

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA



TESIS

“IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ELECTRÓNICO DE
VOLADURA PARA MEJORAR LA DILUCIÓN, SOBRE EXCAVACIÓN,
AVANCE POR DISPARO Y FLUJO ECONÓMICO EN
LABORES HORIZONTALES EN MINERÍA SUBTERRÁNEA”

PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
GESTIÓN MINERA

ELABORADO POR:
WILMER FABRIZIO CONTRERAS QUISPE

ASESOR
M.Sc. Ing. DIONISIO CÁRDENAS GONZÁLES

LIMA-PERÚ
2023

DEDICATORIA

A mi Shadai y mi hijo Leonardo que son mi motivación para seguir y crecer en la vida y por su incondicional apoyo. Mi madre Marcelina por su constante soporte en mi vida y gracias a ella soy todo lo que soy.

AGRADECIMIENTO

A la familia de Pan American Silver – Morococha, con las áreas de soporte de Mina, Geología y Planeamiento y a Exsa - Orica por la confianza y apoyo para la realización del presente trabajo.

Mi agradecimiento en especial a los ingenieros Juan Prado, Marco Rojas, Clever Carlos De la Vega y David Oropeza de la empresa Exsa – Orica y a los ingenieros Julio Rojas Rojas y Saul Parraguez de la empresa Pan American Silver – Morococha.

Un infinito agradecimiento a mis profesores de la maestría en Gestión Minera de la Universidad Nacional de Ingeniería – UNI, mi asesor el ingeniero Dionisio Cardenas por su apoyo incondicional. Por las enseñanzas y soporte en mi crecimiento profesional y en lo personal.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
INTRODUCCIÓN.....	15
CAPÍTULO I.....	17
GENERALIDADES.....	17
1.1. Antecedentes bibliográficos.....	17
1.2. Descripción de la realidad problemática.....	21
1.3. Formulación del problema.....	25
1.3.1. Problema General.....	25
1.3.2. Problemas específicos.....	26
1.4. Justificación e importancia de la investigación.....	26
1.5. Objetivos.....	28
1.5.1. Objetivo General.....	28
1.5.2. Objetivos específicos.....	28
1.6. Hipótesis.....	29
1.6.1. Hipótesis General.....	29
1.6.2. Hipótesis específicas.....	29
1.7. Variables.....	29
1.8. Periodo de análisis.....	30
CAPÍTULO II.....	32
MARCO TEÓRICO Y MARCO CONCEPTUAL.....	32

2.1. Bases teóricas	32
2.1.1. Esquema de voladura	32
2.1.2. Proceso de detonación	34
2.1.3. Sustancia explosiva	35
2.1.4. Tipos de reacción de acuerdo con la cinética química	36
2.1.5. Selección de explosivos	38
2.1.6. Sistema de iniciación de voladura en mina	38
2.2. Marco Conceptual	39
2.2.1. Detonadores electrónicos	39
2.2.2. Dilución	42
2.2.3. Sobre excavación	43
2.2.4. Avance por disparo	44
2.2.5. Valor Actual Neto	45
2.2.6. Tasa Interna de Retorno	47
CAPÍTULO III	48
METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN	48
3.1. Tipo, nivel y diseño de investigación, población, muestra, técnicas e instrumentos para recoger datos, técnicas de procesamiento de datos ...	48
3.2. Desarrollo del trabajo de tesis	50
3.2.1. Determinar la influencia del sistema electrónico de voladura en la mejora del porcentaje de dilución de labores horizontales en minería subterránea.	50
3.2.2. Determinar la influencia del sistema electrónico de voladura en la mejora de sobre excavación de caja techo de labores horizontales en minería subterránea.	58
3.2.3. Determinar la influencia del sistema electrónico de voladura en la mejora de avance por disparo de labores horizontales en minería	

subterránea.....	64
3.2.4. Determinar la influencia del sistema electrónico de voladura en la mejora del flujo económico de labores horizontales en minería subterránea.	68
CAPÍTULO IV.....	74
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	74
4.1. Análisis de los resultados de la investigación.....	74
4.1.1. Análisis de resultados de la influencia del sistema electrónico de voladura en la mejora del porcentaje de dilución de labores horizontales en minería subterránea.	74
4.1.2. Análisis de resultados de la influencia del sistema electrónico de voladura en la mejora de sobre excavación de caja techo de labores horizontales en minería subterránea.....	75
4.1.3. Análisis de resultados de la influencia del sistema electrónico de voladura en la mejora de avance por disparo de labores horizontales en minería subterránea.	76
4.1.4. Análisis de resultados de la influencia del sistema electrónico de voladura en la mejora del flujo económico de labores horizontales en minería subterránea	78
4.2. Discusión de resultados	82
4.3. Contrastación de Hipótesis	87
4.3.1. Contraste de Hipótesis Específica 1.....	88
4.3.2. Contraste de Hipótesis Específica 2.....	93
4.3.3. Contraste de Hipótesis Específica 3.....	97
4.3.4. Contraste de Hipótesis Específica 4.....	102
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	109
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	114

ANEXOS	121
ANEXO N° 1	
MATRIZ DE CONSISTENCIA	121
ANEXO N° 2	
HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PRETEST Y POSTEST	123
ANEXO 03	
SECCIONES DE LABOR	127
ANEXO 04	
PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS DE VOLADURA MEDIANTE SOFTWARE SHOTPLUS	128
ANEXO 05	
RESULTADOS DE VOLADURA CON IMPLEMENTACIÓN	129
ANEXO 06	
DISTRIBUCIÓN DE MATERIAL POR ÁREAS	129
ANEXO 07	
RESULTADO DE VOLADURA, SEPARACIÓN DESMONTE CON MINERAL	130
ANEXO 08	
ENTRENAMIENTO EN CAMPO CON SUPERVISIÓN EN CUANTO AL USO DE EQUIPOS BLASTBOX Y SCANNER	131
ANEXO 9	
ESTIRADO DE CABLE HARNESS WIRE PARA REALIZAR DETONACIÓN ELECTRÓNICA	131
ANEXO 10	
ENTRENAMIENTO EN SECUENCIAMIENTO CON SUPERVISIÓN EN CUANTO A MALLA DE PERFORACIÓN	132
ANEXO 11	
AMARRE DE FRENTE DE DETONACIÓN ELECTRÓNICA CON DETONADRES eDev II	133
ANEXO 12	
VALIDACIÓN DE RESULTADOS POR ÁREA DE GEOLOGÍA	133
ANEXO 13	
CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO CON ALFA DE CRONBACH	134
ANEXO 14	
PETS – VOLADURA ELECTRÓNICA EDEV II EN FRENTE	137
ANEXO 15	
IPEC – LINEA BASE	141
ANEXO 16	
OTROS.....	144
ANEXO 17	
CURRICULUM VITAE.....	145

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Variables e indicadores	29
Tabla 1.2. Cronograma de trabajo – pruebas Ikon III RX.	30
Tabla 1.3. Cronograma de trabajo - implementación eDev II.....	31
Tabla 3.1. Cantidad de detonadores en taladros empleados para voladura.....	51
Tabla 3.2. Avance por disparo.	51
Tabla 3.3. Leyes de Mineral in Situ sin aplicar voladura.	52
Tabla 3.4. Leyes diluidas a sección completa	52
Tabla 3.5. Leyes con voladura electrónica en pruebas y Valor Por Tonelada de Ancho Real.....	53
Tabla 3.6. Leyes de mineral in situ sin aplicación de voladura.....	54
Tabla 3.7. Leyes diluidas a sección completa	55
Tabla 3.8. Leyes con voladura electrónica y Valor Por Tonelada de ancho real.....	56
Tabla 3. 9. Parámetros de sección	59
Tabla 3.10. Secciones actuales con voladura pirotécnica antes de realizar pruebas con IKON III Rx	59
Tabla 3.11. Secciones actuales con voladura pirotécnica antes de la implementación de detonadores electrónicos eDev II.....	60
Tabla 3.12. Porcentaje de sobre excavación real aplicando detonadores electrónicos IKON III Rx.	61
Tabla 3.13. Porcentaje de sobre excavación real aplicando detonadores electrónicos eDev II.	62
Tabla 3.14. Avance programado por sección.....	64
Tabla 3.15. Eficiencia de voladura previamente a pruebas con IKON III Rx.....	64
Tabla 3. 16. Eficiencia de voladura previamente a implementación con eDev II. ...	65
Tabla 3. 17. Eficiencia de voladura de acuerdo con el empleo de detonadores electrónicos IKON III Rx.	66
Tabla 3. 18. Eficiencia de voladura de acuerdo con el empleo de detonadores electrónicos eDev II.....	66
Tabla 3.19. Accesorios empleados con voladura pirotécnica	69
Tabla 3.20. Accesorios empleados con voladura electrónica.....	69

Tabla 3.21. Costo de empleo de detonadores electrónicos	69
Tabla 3.22. Avance por disparo actual.....	70
Tabla 3.23. Avance por disparo real.....	70
Tabla 3.24. Valor de avance por disparo.....	70
Tabla 3.25. Empleo de Shotcrete en escenario actual.....	71
Tabla 3.26. Empleo de Shotcrete después de realizar voladura con detonadores electrónicos.....	71
Tabla 3.27. Valor ganado por costo de Shocrete.....	71
Tabla 3.28. Valor Por Tonelada Actual.....	72
Tabla 3.29. Valor por tonelada real en pruebas con detonadores electrónicos Ikon III Rx.....	73
Tabla 3. 30. Valor por tonelada real con implementación de detonadores electrónicos eDev II.....	73
Tabla 4.1. Compósito de VPT con voladura actual versus VPT con voladura electrónica.....	75
Tabla 4.2. Compósito porcentaje de sobre excavación actual versus aplicando detonadores electrónicos	76
Tabla 4.3. Compósito de eficiencia de voladura actual versus el empleo de detonadores electrónicos.....	77
Tabla 4.4. Compósito del Valor por tonelada real con implementación de detonadores electrónicos.....	78
Tabla 4.5. Flujo neto de línea base de labores programados con voladura pirotécnica	78
Tabla 4.6. Compósito del flujo económico adquirido con voladura con detonadores electrónicos.....	79
Tabla 4.7. Generación de Fujo neto con voladura electrónica.....	80
Tabla 4.8. Compósito del flujo neto con voladura con DNE versus voladura con DE.....	81
Tabla 4.9. Análisis VAN y TIR.....	82
Tabla 4. 10. Análisis estadísticos de la mejora del porcentaje de dilución.....	89
Tabla 4. 11. Análisis de la normalidad de los datos.....	91
Tabla 4. 12. Conclusión de la prueba de T de Wilcoxon.....	92

Tabla 4. 13. Análisis de datos en relación con sobre excavación.....	94
Tabla 4. 14. Análisis de la normalidad de los datos.....	96
Tabla 4. 15. Conclusión de la prueba de T de Wilcoxon.....	97
Tabla 4. 16. Análisis de datos en relación con avance por disparo.....	99
Tabla 4. 17. Análisis de la normalidad de los datos.....	101
Tabla 4. 18. Conclusión de la prueba de T de Student.	102
Tabla 4. 19. Análisis estadísticos de la mejora del flujo neto.	104
Tabla 4. 20. Análisis de la normalidad de los datos.....	106
Tabla 4. 21. Conclusión de la prueba de T de Wilcoxon.....	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Detalle del plan de pruebas Ikon III RX.....	30
Figura 1.2. Detalla del plan de implementación - eDev II.....	31
Figura 2.1. Zonas de voladura en el frente de trabajo	33
Figura 2.2. Velocidad de reacción del explosivo.....	34
Figura 2.3. Reacción de acuerdo con la función de la cinética química.....	38
Figura 2.4. Distribución interna de capsula del detonador electrónico	41
Figura 2.5. Diferencia entre detonar electrónico y no electrónico.....	42
Figura 3.1. VPT de Ancho de Minado vs VPT de Voladura Electrónica.	57
Figura 3.2. Comparación de Valor Por Tonelada de ancho de minado vs voladura electrónica.	57
Figura 3.3. Porcentaje de recuperación de dilución – VPT.	58
Figura 3.4. Sobre excavación actual vs sobre excavación real en pruebas con IKON III.....	62
Figura 3.5. Sobre excavación actual con DNE vs Sobre excavación real empleando detonadores electrónicos eDev II	63
Figura 3.6. Avance por disparo con detonadores IKON III Rx.....	67
Figura 3.7. Avance por disparo con detonadores electrónicos eDev II.	68
Figura 4.1. Base de datos ingresados al software SPSS – VPT en pretest y postest.	90
Figura 4.2. Prueba de Normalidad.....	91
Figura 4.3. Prueba de muestras emparejadas o relacionadas con T de Wilcoxon	92
Figura 4.4. Base de datos ingresados al software SPSS - % de sobre excavación en pretest y postest.	95
Figura 4. 5. Prueba de Normalidad.....	96
Figura 4.6. Prueba de muestras emparejadas o relacionadas con T de Wilcoxon. ...	96
Figura 4. 7. Base de datos ingresados al software SPSS – eficiencia de disparo en pretest y postest.	100
Figura 4. 8. Prueba de Normalidad.....	101
Figura 4. 9. Prueba de muestras emparejadas o relacionadas con T Student.	101
Figura 4. 10. Base de datos ingresados al software SPSS – Flujo neto en pretest y postest.	105

Figura 4. 11. Prueba de Normalidad	106
Figura 4. 12. Prueba de muestras emparejadas o relacionadas con T de Wilcoxon	107

RESUMEN

La presente investigación tuvo como finalidad determinar la influencia de la implementación del sistema electrónico de voladura para la mejora de dilución, sobre excavación, avance por disparo y flujo económico en labores horizontales en vetas angostas. Como problema principal, se tuvo en cuenta los altos porcentajes de dilución y sobre excavación, así como menores avances por disparos por el empleo de detonadores no electrónicos, generando bajos niveles de productividad en labores horizontales, conllevando a la implementación de detonadores electrónicos con la finalidad de mejorar los parámetros presentes de estudio. De acuerdo con la metodología, la presente investigación es de tipo aplicada, de nivel explicativo, diseño cuasiexperimental, teniendo en cuenta como población a labores de preparación en subniveles en vetas angostas, con secciones de 3.0m x 3.8 m y potencias de vetas no mayor a 1 metro. Entre los resultados adquiridos se determinó que la influencia del sistema electrónico de voladura mejora de un 13% en fase inicial a un 3% al instaurar el sistema electrónico a nivel de sobre excavación, de acuerdo a la influencia en el avance por disparo, se tuvo como en cuenta una longitud de perforación de 3.50 metros con una eficiencia base del 86% generando avances de hasta 3 metros, las cuales presentaron mejoría al implementar detonadores electrónicos tomando eficiencias de perforación promedio hasta del 91%, respecto a la dilución se tuvo en cuenta que para la extracción de vetas a sección completa se obtuvo un VPT de 79.41 US\$/Tn a diferencia del empleo de detonadores electrónicos con una relación de extracción desmonte mineral 60/40, que generó un VPT en promedio de 170.50 US\$/Tn y finalmente el flujo económico indica que la implementación de detonadores electrónicos es económicamente rentable generando una utilidad total de 101,873 USD, siendo la utilidad por disparo de 4,429 US\$, con un VAN y un TIR de \$ 53,836 y 41% respectivamente, llegando a la conclusión que la implementación de detonadores electrónicos es económicamente rentable, permitiendo mejorar los parámetros de dilución, sobre excavación, avance por disparo y flujo económico en labores horizontales en minería subterránea.

Palabras claves: Dilución, Sobre excavación, avance, detonador electrónico.

ABSTRACT

The purpose of this research was to determine the influence of the implementation of the electronic blasting system for the improvement of dilution, over-excavation, advance per shot and economic flow in horizontal labors in veins narrows. As main problem, the high percentages of dilution and over-excavation were considered, as well as lower advances per shot due to the use of non-electronic detonators, generating low productivity levels in horizontal works, leading to the implementation of electronic detonators with the purpose of improving the present study parameters. According to the methodology, the present research is of applied type, of explanatory level, quasi-experimental design, taking into account as population the preparation works in sublevels in narrow veins, with sections of 3 x 3.8 m and vein power not greater than 1 meter. Among the results acquired, it was determined that the influence of the electronic blasting system improves from 13% in the initial phase to 3% when the electronic system is installed at the level of over excavation, according to the influence on the advance per shot, taking into account a drilling length of 3.50 meters with a base efficiency of 86% generating advances of up to 3 meters, which showed improvement when implementing electronic detonators taking average drilling efficiencies up to 91%, regarding the dilution it was taken into account that for the extraction of veins at full section a VPT of 79.41 US\$/Tn as opposed to the use of electronic detonators with an extraction ratio of 60/40, which generated a VPT average of 179.51 US\$/Tn and finally the economic flow indicates that the implementation of electronic detonators is economically profitable generating a profit of 101,873 US\$, being the profit per shot of US\$4,429, with a NPV and an IRR of \$53,836 and 41% % respectively, reaching the conclusion that the implementation of electronic detonators is economically profitable, allowing to improve the parameters of dilution, over excavation, advance per shot and economic flow in horizontal works in subway mining.

Keywords: Dilution, overburden, breakthrough, electronic detonator

INTRODUCCIÓN

La principal actividad económica que contribuye al desarrollo del país es dada por la minería, siendo este mismo uno de los diversos sectores donde se encuentra en constante innovación tecnológica, sostenible y aplicando métodos innovadores. Es por ello, que se demuestran nuevos métodos aplicables a los diversos procesos de explotación de minerales.

Entre las operaciones minero unitarias, la voladura es una operación que mantiene mayor relevancia en la actividad minera, teniendo como fin generar una adecuada fragmentación del material de acuerdo a diseños y estándares determinados al plan de minado, logrando generar un daño mínimo en el macizo rocoso (techos y hastiales), formando un frente de trabajo seguro para el personal como los equipos empleados en el carguío y acarreo de mineral, además de la minimización de costos en perforación, voladura, sostenimiento, limpieza, transporte, llegando a obtener mayores rendimientos en las actividades y mayores beneficios tanto para la empresa como el personal.

De acuerdo con lo indicado anteriormente, Compañía minera Argentum es una empresa dedicada a la explotación de minerales mediante labores subterráneas, así mismo, la extracción del mismo se realiza en vetas angostas con taladros largos en el cual se logra obtener sulfuros con metales de valor económico en zinc, cobre, plomo y plata, siendo este último el metal principal explotado. Así mismo, cuenta con una producción promedio al mes de 60000 toneladas. Por consiguiente, Cía. Minera Argentum mantiene el objetivo de lograr explotar vetas de 0.30 m hasta 1.00 m sin adquirir material sobre diluido significativo, generar sobre excavaciones, mantener un

avance por disparo óptimo y un flujo económico efectivo. Las labores se inician desde la preparación en los subniveles y galerías, logrando obtener un VPT mínimo explotable de 60 USD, generando un reto para las operaciones unitarias de perforación y voladura en la adquisición de un frente económicamente explotable en las labores de preparación, a causa de los factores dependientes de ancho de veta y ley del mineral de este.

Por tanto, el presente trabajo está basada en la implementación del sistema electrónico de voladura, a través de un enfoque de aportación para la organización, generando una mejora de sus indicadores tanto en el área de perforación y voladura, dando la mejora continua en la mayor recuperación de mineral en el frente (subniveles y galerías). Así mismo, se mantendrá un enfoque en los diseños de malla de perforación y voladura, parámetros de perforación, secuencia de retardos y diferencia entre desmonte y mineral.

El plan estratégico estará dado con la participación de las áreas principales de Mina, Planeamiento y Geología, permitiendo plasmar los puntos de vistas, sugerencias y comentarios de cualquier tipo de aporte necesario logrando determinar y establecer lineamientos sobre los cuales se desarrollará el sistema electrónico de voladura en labores horizontales. Como siguiente paso, se dará a conocer a todos los miembros involucrados de Cía. Minera Argentum, las mejoras para el desarrollo de las labores en los procesos unitarios de perforación y voladura de labores horizontales, manteniendo un seguimiento óptimo en el disparo, logrando visualizar la diferencia entre desmonte y mineral a causa del resultado de la voladura, los cuales serán adquiridos a mediano plazo debido a que para la adquisición de toma de datos reales se deberá contar con un tiempo determinado.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Antecedentes bibliográficos

Internacional

Say (2017), en su investigación “*The application of Wireless Blasting in Sublevel Caving Mines*”, University of Queensland, Australia, Bachelor of Engineering degree in Mining Engineering. Tuvo como finalidad analizar, comparar y evaluar el rendimiento del sistema de iniciación inalámbrico en comparación con el sistema de iniciación por cable utilizado en una operación de explotación Sub Level Caving. Consigo mantiene una metodología de investigación experimental, nivel descriptivo y tipo aplicada de enfoque cuantitativo. Respecto a la evaluación, se recogieron datos en un periodo de 4 meses sobre el rendimiento de los anillos empleando tanto detonadores inalámbricos y detonadores convencionales. El análisis arrojó datos de trazas vibratorias de campo cercano mostrando la eficacia de la detonación con detonadores inalámbricos mostrando una precisión de tiempo de ± 2 ms manteniendo coherencia con el detonador electrónico utilizado en el sistema de iniciación no siendo afectada por la comunicación entre dispositivos. Respecto al empleo de detonadores

pirotécnicos, arrojo una precisión media de retardo de ± 9 ms. Por otra parte, el análisis de las hojas de inspección en los puntos de voladura reveló que el 67% de los anillos volados con el sistema inalámbrico mantienen una buena precisión a diferencia del 24% de detonadores no eléctricos que deben mantener criterios específicos del lugar para precisar su detonación. Por otra parte, la cantidad anillos de voladura de forma inalámbrica resultaron ser un 50.1% menores que el tamaño en los anillos detonados pirotécnicamente. Esto se debe a la mejora en la precisión de la sincronización y reducción de la no detonación y detonación parcial a causa de las posibles roturas en los taladros. Finalmente, se llega a la conclusión que el empleo de tecnología inalámbrica permite precisar la detonación y modificar los tiempos en cualquier milisegundo deseado, perfeccionando los planes de temporización logrando fracturar el macizo rocoso homogéneamente, además de permitir mayor seguridad en el entorno de trabajo y maximiza el empleo de cargadores en el punto de extracción.

Guan, Guo, Mou, y Shi. (2019), en su artículo *“Tunnel millisecond-delay controlled blasting based on the delay time calculation method and digital electronic detonators to reduce structure vibration effects”*, Qingdao University of Technology, Qingdao, P.R China. Tuvo como objetivo proponer un método para el cálculo de tiempos de retardo de agujeros cortados, fáciles y periféricos considerando el efecto de rotura de rocas y la teoría de superposición de ondas. Consigo mantienen un enfoque cuantitativo, tipo de investigación aplicada y diseño cuasiexperimental De acuerdo con los resultados adquiridos se indica la priorización en los tiempos de retardo de los taladros con el fin de lograr efectos de rotura en la roca con la formación simultánea de una nueva cara libre, considerando luego la cancelación de la superposición de olas. Así mismo, el efecto de cancelación de superposición de olas

es bien empleado siempre y cuando el tiempo de retardo de los taladros cortados fuera de 5 ms. Además, la velocidad de vibración inducida por voladura en los orificios cortado fue dado de solo 0.46 – 0.51 cm/s a diferencia cuando se contaba con un tiempo de retardo de 6 ms o mucho se generaban fallas en el efecto de rotura de rocas. Con respecto a los taladros más fáciles y los de la periferia, el tiempo de retardo óptimo de todos ellos fue de 5 ms. La velocidad máxima vertical de las partículas se redujo de 2.974 cm / s a 0.901 cm / s con detonadores electrónicos digitales disminuyendo en un 69.7% la velocidad de detonación a diferencia de los detonadores no electrónicos. Finalmente, se llega a la conclusión que el método de cálculo del tiempo de retardo propuesto es lo suficientemente preciso y, por lo tanto, se puede utilizar como guía para reducir las vibraciones de las voladuras del túnel.

Nacional

Tomas, Marlon y Pizarro, Edwin (2015), en su investigación “*Optimización de la voladura mediante el uso de detonadores de micro retardo en explotaciones mineras subterráneas en consorcio MINERO HORIZONTE S.A.*”, Universidad Nacional del Centro del Perú, UNCP Perú. Para optar el título de Ingeniero de Minas. Mantiene como fin, exponer la factibilidad de reducir costos y optimizar la voladura, aplicando para ello la utilización de detonadores electrónicos de micro retardo. Consigo mantiene un método de investigación científico, con tipo de investigación aplicada de carácter descriptiva correlacional y valorativo. Debido a lo que se exponen en los resultados que se consiguen en la optimización de la voladura mediante el uso de detonadores de micro retardo en explotaciones mineras subterráneas en Consorcio Minero Horizonte S.A. estos son reflejados en una disminución de los costos de explosivos, con

estabilidad del macizo rocoso con seguridad y control de pérdidas, para finalmente culminar mencionando que, utilizando detonadores electrónicos de micro retardos se adquieren costos de explosivos por US\$127,930 y una producción promedio mensual de 145,253.17 toneladas de mineral, de manera que se logra optimizar la voladura, logrando obtener una eficiencia económica de 0.88 US\$/tonelada de mineral, por lo que incrementa las utilidades económicas. Concluyendo que al controlar de mayor manera la voladura se logra obtener una fragmentación más eficiente de forma que el material mineralizado volado logre ser recuperado haciendo un gasto económico y preciso, lo cual permite que se incrementen las utilidades de manera significativa.

Romero, Royer (2016), en su investigación *“Voladura con detonadores electrónicos para optimizar la fragmentación y seguridad en el tajo Toromocho – Minera Chinalco Perú S.A.”*, Universidad Nacional del Centro del Perú, UNCP Perú. Para optar el título de Ingeniero de Minas. El cual tiene por finalidad la determinación de cómo la voladura con detonadores electrónicos optimizará la fragmentación y la seguridad en el tajo Toromocho en unidad minera Chinalco Perú S.A. Consigo mantiene una metodología de tipo aplicada, de nivel descriptivo y de método científico. De acuerdo con los resultados, la voladura con detonador electrónico permite una eficiencia mayor de 5.4% y 16.7%, con lo que se puede concluir que con su uso se llega a una optimización significativa para fragmentar y brindar seguridad en la operación, si bien es cierto el costo es de US\$1740.83 \$/taladro, el alza se merma con la mejora significativa en los procesos unitarios posteriores. Concluyendo que, aunque se llega a un alza en el costo de la implementación de un sistema electrónico de voladura, la precisión y exactitud que brindan es la de mejorar de manera significativa los procesos que le siguen a la voladura, por ello sigue siendo beneficioso

Cueva, Breidy y Herrera, Irma (2019), en su título “*Comparación de la productividad, fragmentación y costos del sistema de iniciación electrónica versus pirotécnica en voladura Minera Yanacocha S.R.L.*”, Universidad Peruana del Norte, UPN Perú. Para optar el título de Ingeniero de Minas. Tuvieron como fin la determinación de qué sistema de iniciación es más eficiente, dando mejor resultado de fragmentación con menor costo. La metodología empleada para la investigación fue de carácter aplicada, de nivel descriptivo. Se obtuvieron resultados, de acuerdo a la voladura con detonadores electrónicos fueron mejores que con pirotécnicos, el P_{80} con detonadores pirotécnicos fue 3.9” y con detonadores electrónico fue 3.34”, por lo tanto se obtuvo una mejoría de 14.6%, mientras que la productividad de pala con detonadores pirotécnicos es 2982,37 Tm/H y con detonadores electrónicos es 3323.27 Tm/H; por ende concibe una mejora de 11.4% en productividad; el costo por unidad de detonadores pirotécnicos es menor que el costo del detonador electrónico, de manera que concluimos que se obtiene mejor productividad y fragmentación; optimizando procesos posteriores de chancado y molienda. Concluyendo que, de acuerdo con el análisis de los resultados de la iniciación pirotécnica vs la electrónica, de esta manera lograr escoger el de mayor beneficio tras su implementación debido a la mejora en cifras que la iniciación electrónica otorga, lo que origina mejora no solo en voladura, sino en distintos procesos, como productividad, fragmentación y procesos de planta.

1.2. Descripción de la realidad problemática

El empleo de los detonadores electrónicos en las últimas décadas de la minería ha permitido generar un gran avance en la industria electrónica, siendo una pieza clave

dentro del proceso de voladura generando un mayor control de los tiempos de retardo y permitiendo una mayor flexibilidad en los diseños con mayor precisión y generando un aumento en la eficiencia y el rendimiento de la energía en la voladura.

No obstante, en la mayoría de empresas mineras subterráneas el empleo de detonadores eléctricos no es muy usual, debido a sus altos costos de adquisición y a la falta de literatura aplicada a la voladura subterránea, por lo cual, continuamente se emplea detonadores no eléctricos, pero consigo sea cual sea la forma de extraer el mineral es de gran importancia tener en cuenta dos aspectos importantes, la producción y la productividad, que permitan cumplir con lo programado desde el punto de vista económico y operacional.

Por otra parte, el empleo de detonadores no electrónicos podría conllevar a problemas pertinente en el desarrollo de labores, debido a que los sistemas de iniciación mediante chispeo podrían generar fallas en los tiempo tanto de primer taladro con referente al último, conllevado a generar consecuentemente problemas en la labor como dilución del material explotado, sobredimensionamiento de las labores, avances por disparo no eficientes o reducidos y por ende elevando los costos, los cuales conllevan a pérdidas generalizadas para la propia empresa minera (Noreña, 2020).

A nivel Internacional el empleo de sistemas de voladura electrónica inalámbrica aún no es analizado en su totalidad, tal caso fue identificado por Say (2017) en el cual indica que el reciente empleo de dicho sistema ha sido sometido a gran escala por la empresa Orica en la mina Enest Henry (EHM), empleándose en la prueba 29 anillos de subnivel iniciadas bajo tecnología inalámbrica, permitiéndose identificar oportunidad de rendimiento productivo, pero estas no logran ser analizadas de acuerdo

a su rendimiento insitu, para lo cual se deben emplear diversas medidas de rendimiento del nuevo sistema y ser comparados bajo los sistemas convencionales empleados en el Sub Level Caving, además de incluir el diagnostico vibratorio de campo cercano, cantidad de material después de voladura y alcance de daños generados.

Por consiguiente, las causas que se originan están dadas por la inadecuada elección de explosivos y la falta de control de los parámetros de perforación y voladura conllevando al aumento de porcentajes de dilución y altos costos en los tajos.

La sobre dilución es dada por un mal diseño de voladura, hallándose problemas en el factor de carga y la desviación de taladros, generando consigo un aumento de finos por trituración de material minimizando la ley de mineral a causa de su adherencia con el material estéril, generando pérdidas económicas a las empresas mineras.

La mala distribución de taladros sobre las coronas y hastiales, así como el mal empleo de explosivos son causantes de la sobre excavación en el avance de frentes subterráneos generando sobre rotura en la periferia de este aumentando los tiempos de avance elevando los costos operacionales.

El avance por disparo se ve también afectado por causas tales como exceso número de taladros, inapropiado arranque en la perforación, mala distribución de taladros y contar con equipos de perforación y explosivos en mal estado, generando consecuencias como el aumento de costo en el avance lineal por metro, elevar los tiempos en acceder al cuerpo mineralizado, sobre rotura y limitaciones en el avance lineal por guardia.

Cada aspecto mencionado anteriormente se ve reflejado en los flujos económicos

a causa de los elevados costos en las operaciones minero-unitarias del ciclo de producción, minimizando los ingresos para las empresas mineras (Say, 2017).

A nivel Nacional el empleo de detonadores electrónicos permitirá generar una mejor fragmentación del producto de voladura, generando mayores beneficios en el proceso de chancado y molienda, generando óptimos resultados en los costos mina, pero estos no se ven reflejados con el empleo de detonadores no electrónicos, adquiriendo una mala fragmentación y consigo generando problemas en los requerimientos de planta concentradora, además de problemas significativos en relación con la seguridad. Tal caso fue evidenciado por el autor Romero, Royer (2016), indicando que el empleo del sistema de voladura no electrónica generó problemas en el requerimiento de planta concentradora logrando adquirir un P₈₀ de 4.33 y 5.8 pulgadas, siendo establecido un P₈₀ óptimo de 4 pulgadas, a ello se suma el hecho de las grandes cantidades empleadas de explosivo en cada taladro (500 a 1000 kg/tal), generando tiros quedados, afectando a equipos o personas y finalmente, los precios de adquisición tanto de los detonadores eléctricos como no eléctricos mantienen una gran diferencia (US\$25.00 y US\$5.00 respectivamente). (Romero, Royer ,2016).

A nivel Local, la Cía. minera Argentum, se preparan labores horizontales con características de vetas angostas menores a 1 m y con un buzamiento variable en los 50° y 90°. El problema existente en las labores de preparación está dado en que su mayoría no son económicamente explotable, ya que la dilución generada en el frente completo no aporta parte de mineral para la explotación y hace que el planeamiento mantenga altos porcentajes de sobre dilución (% - VPT), menor eficiencia de disparo (m/disp.) y sobre excavación (%), siendo los indicadores de gestión más resaltantes

que impactaran en la mejora de procesos, tanto en la perforación como la voladura y manteniendo involucradas a las áreas de mina, planeamiento y geología.

Entre los resultados adquiridos se tiene en cuenta por cada disparo una sobre dilución promedio del 500% (con un ancho de veta de 0.50 m y un ancho de labor de 3.0 m), en breves palabras, la ley de mineral de plata (Ag) se encuentra en un 100% y logrando diluir el ancho de labor para recuperar el 16.67% de la ley del mineral y como resultado se logra adquirir leyes marginales en un 50% y en un 30% en labores menores llegando a un costo de US\$60/t, dando como resultado una labor económicamente no explotable, siendo los factores de gran importancia, la ley de mineral y en algunos casos sería económicamente rentable la explotación con taladros largos.

De acuerdo con los problemas descritos, se propone en la presente investigación determinar la influencia del sistema electrónico de voladura en la eficiencia de control de perforación, voladura y dilución en vetas angostas mediante el empleo de detonador electrónico eDev II y sistema Ikon III RX mediante la separación de voladura entre desmonte y mineral logrando minimizar la dilución de mineral a diferencia de un disparo en un frente completo. (Fuente; Informe de Mina-Productividad - Exsa Cía. Minera Argentum, 2021 – abril y junio).

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema General

- ¿Cómo influye el sistema electrónico de voladura en la mejora de dilución, sobre excavación, avance por disparo y flujo económico en labores horizontales en minería subterránea?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cómo influye el sistema electrónico de voladura en la mejora del porcentaje de dilución de labores horizontales en minería subterránea?
- ¿Cómo influye el sistema electrónico de voladura en la mejora de sobre excavación de labores horizontales en minería subterránea?
- ¿Cómo influye el sistema electrónico de voladura en la mejora del avance por disparo de labores horizontales en minería subterránea?
- ¿Cómo influye el sistema electrónico de voladura en la mejora del flujo económico de labores horizontales en minería subterránea?

1.4. Justificación e importancia de la investigación

1.4.1. Justificación teórica.

En compañía minera Argentum S.A. como mejora continua en el proceso de voladura se optará por la implementación de nuevas alternativas en los procesos de voladura en labores horizontales en minería subterránea, mediante el empleo de sistemas electrónicos, los cuales son compensados en su adquisición, a causa de su incidencia de los mismos en la mejora de dilución, permitiendo adquirir mayores porcentajes de recuperación de mineral y baja contaminación del mismo, respecto a la sobre excavación, el empleo del presente sistema no sobrepasara los porcentajes de sobre excavación establecidos, de acuerdo al avance por disparo, se tiene mayor efectividad del explosivo logrando generar mayores avances y por ende mayor obtención de mineral y finalmente el flujo económico, permitirá evaluar su adquisición del presente sistema electrónico siendo o no factible para su adquisición e implementación en labores horizontales en minería subterránea. Asimismo, la presente

tesis no genera conocimientos nuevos para la ciencia.

1.4.2. Justificación práctica

Presenta una justificación práctica, a causa de que se busca solucionar los problemas generados por el empleo de detonadores no electrónicos en los procesos de voladura dentro de la empresa minera Argentum siendo causante de la sobre dilución, sobre excavación, reducción del avance por disparo y un aumento de costos operativos. Para ello, se tendrá en cuenta el empleo de detonador electrónico eDev II y el sistema electrónico Ikon III RX mediante pruebas en un cierto periodo de tiempo y evaluando los resultados adquiridos en cada prueba aplicada. Asimismo, la empresa minera se va a beneficiar con la implementación de los detonadores electrónicos para mejorar los indicadores del % de sobre dilución, % de sobre excavación, la eficiencia de disparo y en el flujo económico.

1.4.3. Justificación económica:

Presenta una justificación económica, debido a que se busca reducir los elevados costos en los procesos de voladura a causa del empleo de detonadores no electrónicos en empresa minera Argentum S.A., además de mejorar los indicadores de dilución, sobre excavación y el avance por disparo, así mismo minimizando los riesgos laborales en los trabajos posteriores a la voladura. Asimismo, la inversión del nuevo sistema electrónico de voladura versus lo costos resulta un superávit entor no a la presente tesis.

1.4.4. Justificación personal

Con el desarrollo y sustentación de la presente investigación se logrará y tendrá la oportunidad de lograr obtener el grado académico de Máster en Gestión Minera.

1.4.5. Importancia de la investigación

La importancia de la presente investigación radica en que toda empresa minera a nivel mundial, que cuente con problemáticas similares a la presente investigación tal como la sobre dilución de mineral, sobre excavación de la caja techo, menor avance por disparo y bajo flujo económico, será solucionada mediante la implementación de la voladura selectiva con detonadores electrónicos, permitiendo mejorar dichos indicadores, además de generar una minimización de costos y aumento de la productividad presente en la empresa minera Argentum S.A.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

- Determinar la influencia del sistema electrónico de voladura para la mejora de dilución, sobre excavación, avance por disparo y flujo económico en labores horizontales en minería subterránea.

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar la influencia del sistema electrónico de voladura en la mejora del porcentaje de dilución de labores horizontales en minería subterránea.
- Determinar la influencia del sistema electrónico de voladura en la mejora de sobre excavación de labores horizontales en minería subterránea.
- Determinar la influencia del sistema electrónico de voladura en la mejora de avance por disparo de labores horizontales en minería subterránea.
- Determinar la influencia del sistema electrónico de voladura en la mejora del flujo económico de labores horizontales en minería subterránea.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis General

- El sistema electrónico de voladura influye en la mejora de dilución, sobre excavación, avance por disparo y flujo económico en labores horizontales en minería subterránea.

1.6.2. Hipótesis específicas

- El sistema electrónico de voladura influye en la mejora del porcentaje de dilución de labores horizontales en minería subterránea.
- El sistema electrónico de voladura influye en la mejora de sobre excavación de labores horizontales en minería subterránea.
- El sistema electrónico de voladura influye en la mejora de avance por disparo de labores horizontales en minería subterránea.
- El sistema electrónico de voladura influye en el flujo económico de labores horizontales en minería subterránea.

1.7. Variables

Tabla 1.1. Variables e indicadores

Variables	Indicadores
Variable independiente.	
Sistema electrónico de voladura.	Detonador electrónico.
Variable dependiente.	
Dilución	porcentaje de sobre dilución
Sobre excavación	porcentaje de sobre excavación
Avance por disparo	Cantidad de toneladas producidos
	Eficiencia de disparo
	Avance
Flujo económico	Utilidad – VAN – TIR

Fuente. Elaboración propia, 2021.

1.8. Periodo de análisis

El periodo de análisis de la presente investigación estará dado por un periodo de pruebas de 1 mes aproximadamente con el fin de implementar el sistema electrónico de voladura tal como se observa en la tabla 1.2.

Tabla 1.2. Cronograma de trabajo – pruebas Ikon III RX.

Ítem	Actividades	Días	Inicio	Fin
1	Subida de personal	1	10 Abr.	11 Abr
2	Autorización, Permisos y reunión con las áreas involucradas	3	10 Abr	13 Abr
3	Capacitación al personal involucrado – voladura electrónica	3	13 Abr	15 Abr
4	Inicio de prueba con detonadores electrónicos Ikon III RX	12	15 Abr	30 Abr
5	Reporte diario de voladura	12	15 Abr	30 Abr
6	Presentación de informe de resultados de pruebas	2	30 Abr	2 May
7	Salida de unidad	2	2 May	3 May
Total de días de pruebas		17	10 Abr	3 May

Fuente. Elaboración propia, 2021.

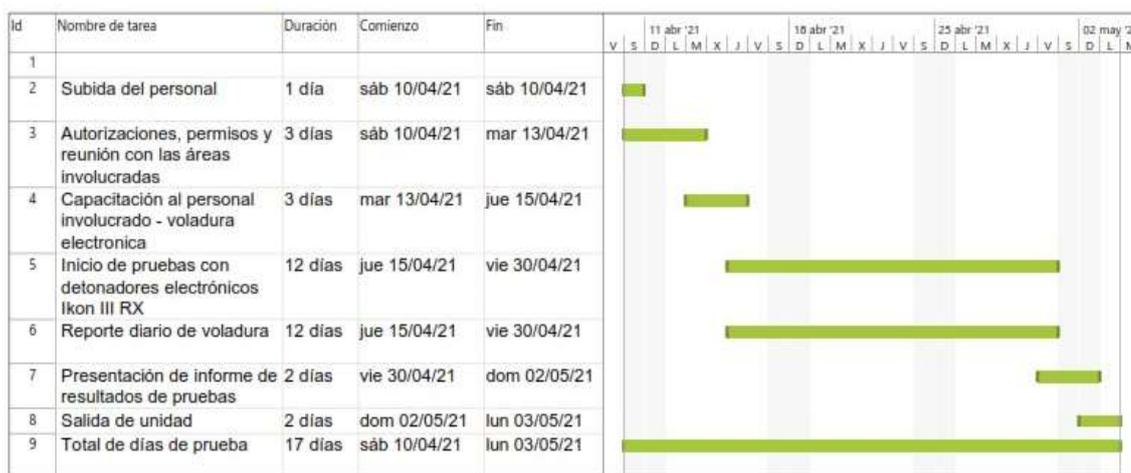


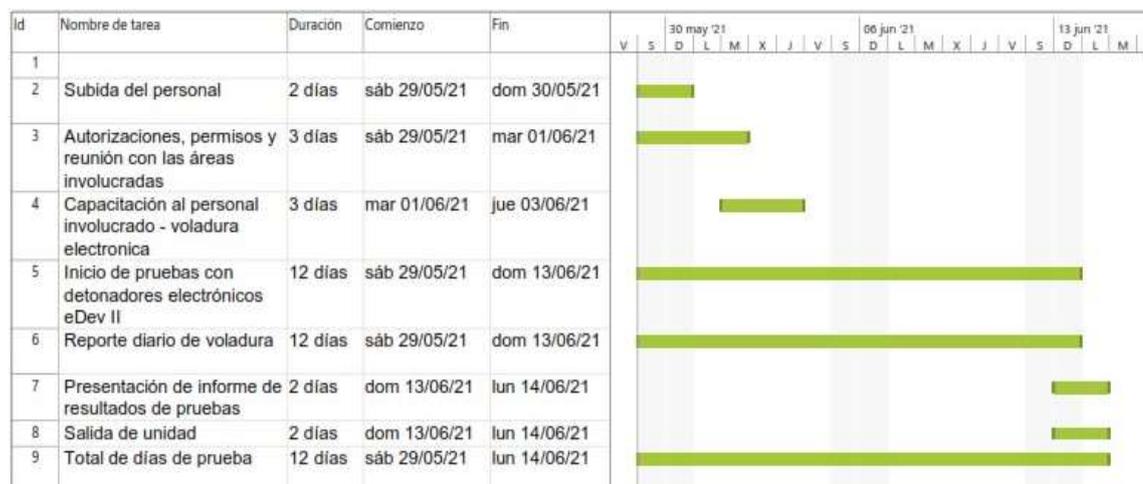
Figura 1.1. Detalle del plan de pruebas Ikon III RX

Fuente. la presente figura muestra la evaluación de tareas y el secuenciamiento con el cual serán elaborados, con el fin de estimar la duración de las pruebas con detonador eléctrico Ikon III RX.

Tabla 1.3. Cronograma de trabajo - implementación eDev II

Ítem	Actividades	Días	Inicio	Fin
1	Subida de personal	1	29 May.	30 May
2	Autorización, Permisos y reunión con las áreas involucradas	3	29 May	1 Jun
3	Capacitación al personal involucrado – voladura electrónica	2	1 Jun	3 Jun
4	Inicio de prueba con detonadores electrónicos eDev II	15	29 May	13 Jun
5	Reporte diario de voladura	15	29 May	13 Jun
6	Presentación de informe de resultados de pruebas	2	13 Jun	14 Jun
7	Salida de unidad	1	13 Jun	14 Jun
Total de días de pruebas		23	10 Abr	3 May

Fuente. Elaboración propia, 2021.

**Figura 1.2.** Detalla del plan de implementación - eDev II

Fuente. La presente figura muestra la evaluación de tareas y el secuenciamiento con el cual serán elaborados, con el fin de estimar la duración de las pruebas con detonador eléctrico eDev II.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO Y MARCO CONCEPTUAL

2.1. Bases teóricas

La voladura de acuerdo con los criterios de mecánica de rotura está definida como un proceso tridimensional, donde grandes presiones que son formadas por el confinamiento de explosivos dentro de los taladros formados por el proceso de perforación, generan una alta concentración de energía logrando producir dos efectos dinámicos los cuales está dado por la fragmentación y el desplazamiento de roca (Gaona, 2015).

2.1.1. Esquema de voladura

En los frentes subterráneos, la voladura es caracterizada por la falta de existencia de una superficie libre de salida a excepción del frente de ataque. Su principio está basado en la formación de un orificio sobre la base rocosa que se encuentre libre a diferencia de los taladros de arranque, hacia el cual logran romper las diversas cargas que se encuentra distribuidas en toda la sección de voladura. El arranque o taladros de arranque tienen por lo general una superficie no mayor a los 2m^2 , a excepción de

diámetros de perforación mayores que logran generar una superficie no mayor a los 4m^2 .

Consigo se presenta el núcleo, el cual en algunos casos se compara geoméricamente con la voladura en banco, ya que se mantiene un requerimiento mayor de consumo de explosivo, entre 4 a 10 veces mayor, debido a que hay fallas en la perforación, menor esponjamiento en el hoyo y mayor inclinación en relación al eje de avance, menor cooperación entre cargas adyacentes y la zona como el arrastre la presencia de gravedad como acción negativa.

Finalmente, se tiene a los taladros de contorno los cuales van a generar la geometría de la labor, y estas se disponen con un espaciamiento reducido y con orientación hacia el interior del macizo rocoso (Condoli y Porras, 2015).

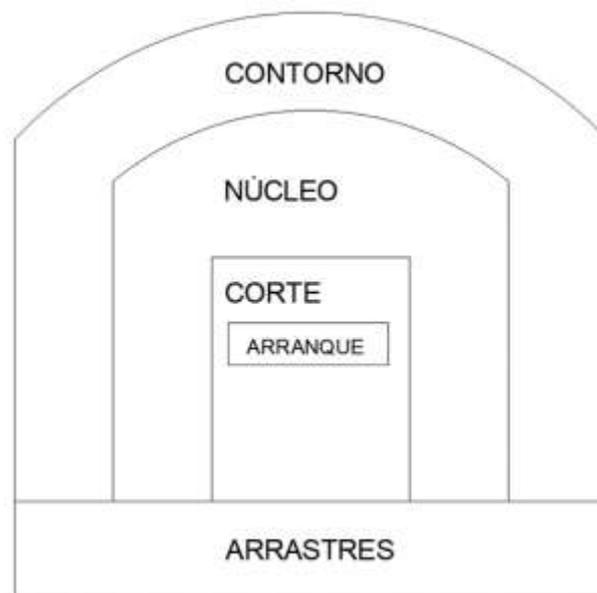


Figura 2.1. Zonas de voladura en el frente de trabajo

Fuente. Manual de Perforación y Voladura - López Jimeno citado por Condoli y Porras (2015).

Universidad Nacional de Huancavelica.

2.1.2. Proceso de detonación

La detonación es una reacción fisicoquímica exotérmica caracterizado por la velocidad de reacción del explosivo y la formación de gran cantidad de producto gaseosos a elevada temperatura, que adquieren una gran fuerza expansiva que se traduce en presión sobre el área circundante (Alcázar, 2017).

Así mismo, se puede identificar dos energías a causa de la reacción del explosivo: la energía de choque y la energía de gas. La energía traducida en onda de choque se propaga mediante la columna explosiva con la máxima energía para activar a la masa explosiva restante provocando así una detonación en cadena y consigo una vez liberada dicha energía, esta es acompañada por la energía de gas. Consigo, la detonación de un explosivo produce gran cantidad de gases a elevadas temperaturas ejerciendo presión sobre el macizo rocoso circundante y el agrietamiento, fragmentación y desplazamiento son dados por la presión de choque y la presión de gas sobre el macizo rocoso (Berrospi, 2019).

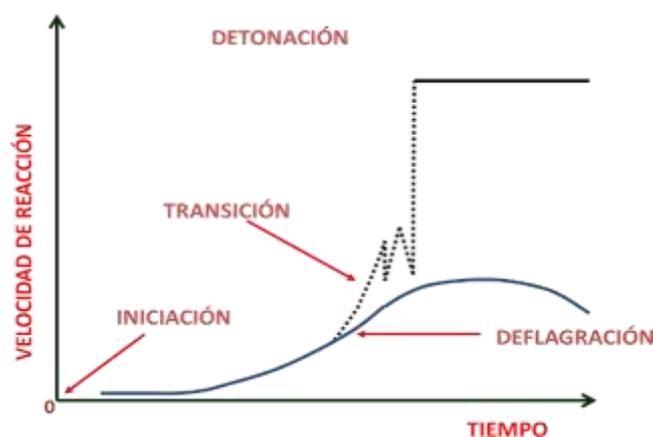


Figura 2.2. *Velocidad de reacción del explosivo*

Fuente. Valencia, J. (2019). “Diseño de voladura para la optimización de fragmentación en mineral y desmonte, mediante el control de vibraciones y velocidad de detonación en mina San Rafael MINSUR S.A.

De acuerdo con Konya la presión de choque está dado por la transición de presión que viaja a la velocidad de detonación del explosivo. Así mismo, se logra estimar que dicha presión se encuentra entre 10% a 15% de la energía de trabajo disponible en un explosivo. Además, la presión de gas es equivalente al 85% al 90% de la energía del explosivo útil (Konya, 2000).

La velocidad y presión de detonación de un explosivo está dado por la siguiente fórmula:

$$PD = 0.25 * \delta_e * (VOD)^2 * 10^{-5}$$

Siendo:

PD: Presión de detonación

δ_e : Densidad del explosivo

VOD: Velocidad de detonación

2.1.3. Sustancia explosiva

Los explosivos son compuestos químicos que mantiene un alto grado de inestabilidad al momento de exponerse a condiciones determinadas o compuestos químicos en su interior logrando producir una reacción en cadena el cual es también conocido como detonación, en el cual se logran liberar gases acompañados de vibraciones y ruidos, logrando transformar la energía química en energía mecánica siendo este mismo el agente rompedor de la roca (Concha y Tarifa, 2020).

Así mismo, un explosivo se caracteriza por ser un compuesto o mezcla química, al iniciarse mediante un detonador (de calor, choque, impacto, fricción o una combinación de las mismas) en el cual el explosivo sufre una reacción química

exotérmica violenta conocida como detonación y consigo, a causa de la detonación, se liberan instantáneamente grandes volúmenes de gas a altas presiones y temperaturas (Chávez, 2005).

Por otro lado, los explosivos se encuentran compuestos por ingredientes químicos como los oxidantes y combustibles, entre ellos el nitrato, el cual es un oxidante común, pero que también puede ser reemplazado por el nitrato de calcio y el nitrato de sodio, además, los combustibles logran cumplir la función de sensibilizar al explosivo, entre los más comunes son el petróleo, aluminio, TNT, nitroglicerina y para la elaboración de explosivos se utilizan también, agua, gomas, espesadores y agentes enlazadores (Quispe, 2014).

La velocidad de detonación de los explosivos químicos industriales se clasifica en: explosivos lentos y deflagrantes que mantienen una velocidad menor a 2000 m/s y explosivos rápidos y detonantes manteniendo una velocidad entre 2000 a 7000 m/s. entre los deflagrantes se tiene en cuenta a las pólvoras, compuestos pirotécnicos y compuestos propulsores para artillería y cohetes, casi sin ninguna aplicación en minería, salvo en el caso de rocas ornamentales (Rodríguez, 2009).

2.1.4. Tipos de reacción de acuerdo con la cinética química

Las moléculas de un explosivo generan grandes fuerzas gracias al impulso energético empleado sobre el mismo, logrando superar la atracción entre átomos, permiten que dichas moléculas se disgreguen y consigo se reagrupen de manera más estable. Dicha energía que es liberada en la presente reacción exotérmica, a través de ondas de presión y elevadas temperaturas, generan la descomposición de las moléculas anexas, de manera que esta reacción es propagada hacia todas las partículas. Por otra

parte, la velocidad con la que se genera la propagación puede lograr estabilizarse hasta llegar a un valor determinado. De tal forma, la reacción de oxidación es dividida en tres reacciones de acuerdo con la velocidad en la que se genera (Otrilla y Romero, 2018).

Así mismo se describen los tipos de reacciones presentes en función a la velocidad en la que se produce la detonación:

- **Combustión:** Es una reacción química de oxidación en el cual se libera grandes cantidades de energía. A simple vista la reacción que genera es presenciada en forma de llama y mantiene una velocidad de reacción menor a 1 m/s (EXSA, 2019).

- **Deflagración:** a diferencia de la combustión, este proceso es de carácter exotérmico en el cual la reacción de descomposición generada por su transmisión es dada primordialmente por la conductividad térmica. Este fenómeno se da de manera superficial, donde el frente de deflagración es propagado por el explosivo en capas paralelas, a una baja velocidad, el cual no es superado por los 1000 m/s (EXSA, 2019).

- **Detonación:** La detonación es caracterizada por generar una combustión supersónica y consigo ondas de choque. Al generarse estas ondas, también se están generando elevadas gradientes de presión y temperatura, debido a que instantáneamente se produce la reacción química. La velocidad de reacción está entre los 1500 a 9000 m/s, y con una onda de presión producida de 105 atmósferas (EXSA, 2019).

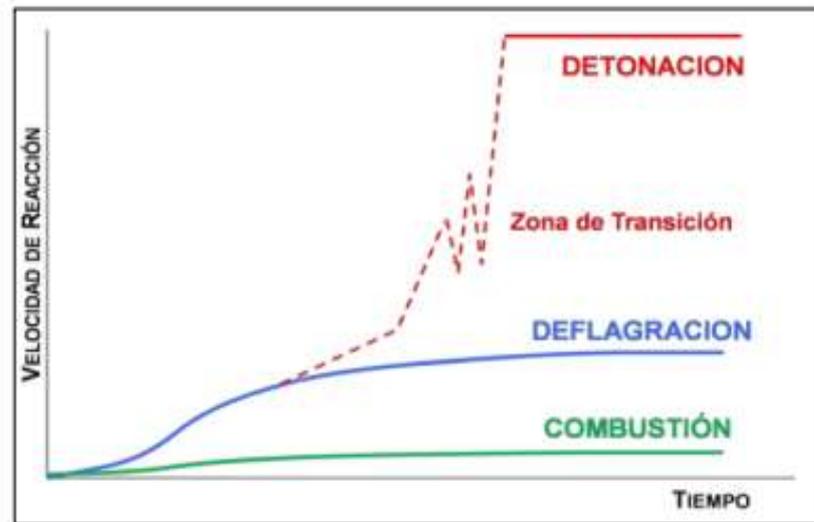


Figura 2.3. *Reacción de acuerdo con la función de la cinética química.*

Fuente. Otrilla, G. y Romero, J. (2018). “Mejora en los parámetros de perforación y voladura para optimiza costos operaciones en la compañía minera Santa Luisa S.A. – Unidad Pallca”.

2.1.5. Selección de explosivos

Los técnicos en voladura manejan uno de los grupos de variables controlables que se encuentra conformado por los explosivos. Su selección del explosivo a emplear es de gran importancia en el diseño de voladura, debido a que se desean adquirir los mejores resultados en campo. Las personas que adquieren explosivos tienden a adquirir mayormente explosivos de bajo costo de arranque, sin que se tenga en cuenta diversos factores que son de esencial análisis para su selección tales como: Costo de explosivo, diámetro de carga, característica del macizo rocoso, volumen a volar de roca, presencia de fluidos (Agua), condiciones de seguridad, atmósferas explosivas y problemas de suministro (Contreras, 2009).

2.1.6. Sistema de iniciación de voladura en mina

El sistema de iniciación de voladura está dado por la transmisión de señales de

detonación entre taladro y taladro en un tiempo determinado o específico. Su selección de dicho sistema para la iniciación en voladura resulta crítica para el logro de este.

Dicho sistema, no solo domina el secuenciamiento de disparo entre taladros, además de ello, logra afectar las vibraciones generadas por voladura, la fragmentación del macizo rocoso, la sobre rotura y la intensidad con la que se puede generar. Si bien, los costos empleados en los sistemas de iniciación son considerablemente importante dentro de su selección, esta debe ser una consideración secundaria, en especial si el sistema de iniciación económico genera mayores problemas como sobre rotura, vibraciones, sobre dilución o poca fragmentación.

Por lo tanto, la selección del sistema de inicio de voladura debe ser un elemento importante en el diseño de voladura. Así también, estas son consideradas en 2 grupos: electrónicos y no eléctricos (Pomaylle y Vásquez, 2013).

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Detonadores electrónicos

Este tipo de detonadores, de similar estructura que el detonador pirotécnico, se encuentra conformado por una capsula metálica de aluminio cerrada en uno de sus extremos, encontrándose en su interior un condensado, un chip, un inflamador, un explosivo primario y un explosivo base. Dichos detonadores mantienen como característica principal la seguridad y precisión de detonación (Bernaola, Castilla y Herrera, 2013)

Con el fin de entender el sistema electrónico de iniciación, se discuten algunos puntos teniendo en cuenta el sistema eléctrico y no eléctrico. Existen diversos tipos de sistema electrónico, los cuales son muy usados en la industria minera, usando algún

tipo de dispositivos almacenado de energía eléctrica que provee energía suficiente para la iniciación del explosivo en un tiempo de retardo programado en un chip electrónico. Todas las demás tecnologías convencionales existentes del detonador incluyendo un tubo de choque, eléctrico o de la mecha de seguridad, etc. Utilizan energía pirotécnica como una manera de iniciación y retraso. Aunque la elaboración de detonadores electrónicos no puede parecer tan significativamente diferente, existe una diferencia básica en el diseño entre el detonador eléctrico, detonador con tubo de choque y detonadores eléctricos (Pomaylle y Vásquez, 2013).

Entre las diferenciaciones básicas en el retraso electrónico con sistemas pirotécnicos de retardo está dada por el posicionamiento del iniciador. En el detonador electrónico, el iniciador estará dispuesto bajo el módulo de retraso, considerando tanto el tubo de choque y el detonador eléctrico utilizan el iniciador antes de los elementos de retardo. Otra diferencia presente en el diseño de detonadores electrónicos está dada por el uso del tipo de dispositivo eléctrico almacenado de energía, siendo usada en el módulo de retardo (Huerta, 2019).

El diseño y construcción de los detonadores electrónicos varían entre fabricantes, además de variar sobre el precio en el mercado, en el cual el detonador pirotécnico mantiene un costo de US\$ 1 a US\$ 2 a diferencia de un detonador electrónico que puede llegar a costar hasta US\$ 25, mantenido un costo variable de acuerdo con el proveedor. Por tanto, los costos elevados en los detonadores electrónicos están dado por la retribución en la seguridad y la fragmentación de rocas que a su vez optimiza las operaciones unitarias.

Así mismo, entre las ventajas ofrecidas por la iniciación electrónica se tiene la

reducción masiva de vibraciones, mayor mejoramiento en la fragmentación de roca a causa de que se tiene mayor precisión del sistema en la cooperación de taladros, no contiene retardos y todos los detonadores mantienen similar característica, manteniendo una logística efectiva y un mejor manejo de inventarios, de fácil adaptación en la secuenciación hasta con 1 ms de precisión y finalmente puede ser empleada en voladuras como la de precorte (Huerta, 2019).

➤ **Componentes de detonador electrónico**

Los componentes del detonador electrónico están dados por una unidad electrónica y un detonador eléctrico inmediato. Presenta un circuito integrado o microchip, siendo la herramienta principal que da vida al detonador, consigo presenta un condensador para acumular energía y un circuito de seguridad el cual mantiene conexión con los hilos sirviendo de seguridad frente a diferentes maneras de sobrecarga eléctrica (Quispe, 2018).

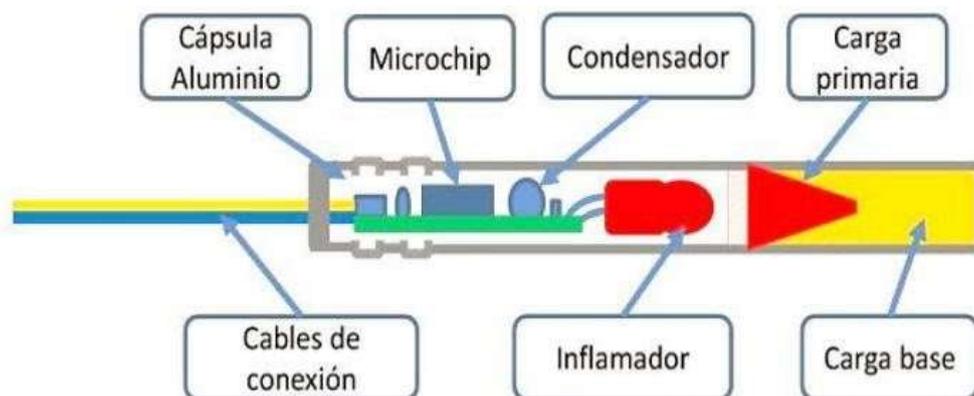


Figura 2.4. Distribución interna de capsula del detonador electrónico

Fuente. Huerta, 2021.

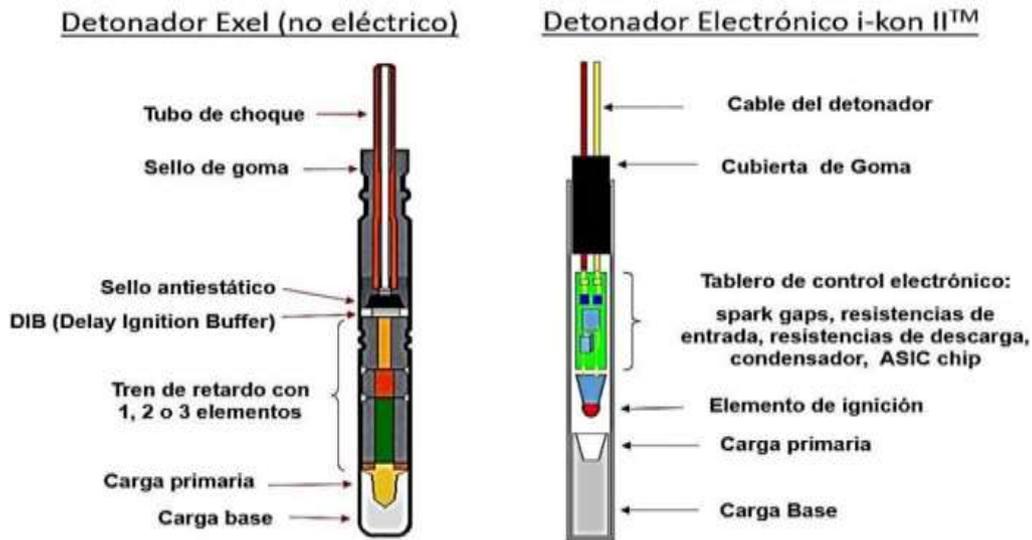


Figura 2.5. Diferencia entre detonar electrónico y no electrónico

Fuente. Romero, 2020

2.2.2. Dilución

Es definido como la mezcla de mineral y estéril, en el cual se procesa materiales que no mantiene valores económicos previstos, o que se desechan hacia los botadores, generando la pérdida de las reservas de mineral (Cebrián, 2007).

En el proceso minero, la dilución mantiene un gran impacto sobre el mismo, ya que está relacionado a los residuos de roca que contienen leyes bajas o material que no genera producción que, al mezclarse con el mineral de alto valor económico, se generan leyes bajas y mínimas cantidades de mineral. Por lo tanto, cuando el tonelaje disminuye y la ley aumenta, la dilución no logra superar lo planificado, indicando que la dilución mantiene un gran impacto sobre los costos operacionales en mina y planta, el cual también puede lograr reducir el valor de mineral, ya que reduce la ley de cabeza, generando efectos negativos sobre la recuperación metalúrgica (Cuevas y Paucarchuco, 2020).

Por otra parte, la dilución puede ser clasificada de 2 maneras: planificada o no planificada. La dilución planificada está basada en los residuos que se incorporan dentro de la labor, manteniendo un diseño de explotación práctico. Esta misma va a depender de la geometría de la veta, espesor, buzamiento del yacimiento y las condiciones del suelo. Por otro lado, la dilución no planificada está dado por la presencia de residuos que de una manera u otra son minados a causa de la sobre excavación, de una mala perforación y voladura o de diversos desechos incorporados al momento de remover escombros (Salmenmaki, 2018).

A su vez, la dilución planeada y no planeada en vetas es calculada de la siguiente manera:

Dilución planeada = [Dilución planeada (m²) / Área mineralizada (m²)] (%)

Dilución no planeada = [Dilución no planeada (m²) / Área mineralizada (m²)] (%)

Por otra parte, para la predicción de la dilución y el ancho de referencia del tajeo, se plantea un método probabilístico de referencia con el fin de poder estimar los anchos de referencia del tajeo en relación al tipo de malla de perforación y voladura que se ha empleado de acuerdo al método de explotación (Fuentes y Gagete, 2021).

Dilución programada = [(Ancho de minado – Ancho de veta) / Ancho de minado] (%)

Dilución real = [(Ancho real – Ancho de veta) / Ancho real] (%)

Sobre Dilución = [(Ancho real – Ancho de minado) / Ancho de minado] (%)

2.2.3. Sobre excavación

La roca circundante en las labores de minera subterránea en su gran mayoría se ve afectadas por el proceso de unitario de perforación y voladura debido a que en algunos

casos se realiza una voladura deficiente, generando el fracturamiento y sobre excavación sobre la roca, generando inestabilidad en el macizo rocoso, daño a los equipos o hasta la pérdida de vidas humanas.

Si bien, el objetivo primordial de voladura está dado en lograr la fragmentación óptima sobre la roca, generando daños mínimos sobre el macizo remanente. En algunos casos, la roca encajonante y/o hastiales presentan daños a causa de una mala distribución de explosivos. Existen hoy en día diversas técnicas que permiten reducir los daños sobre la roca presente, presentes bajo la concepción de “voladura controlada” el cual se enfoca bajo una correcta perforación, distribución de cargas en taladros, tiempos de retardo y una secuencia determinada en la detonación.

De acuerdo a ello, se tiene en cuenta los siguientes criterios para minimizar los daños sobre el macizo rocoso; mediante la determinación del índice de volabilidad y el factor de potencia (kg/m^3) del macizo rocoso presente mediante la evaluación de parámetros geomecánicos, dando consigo un explosivo adecuado para su empleo; conocer las propiedades del macizo rocoso, mediante la clasificación geomecánica y siendo parte para el cálculo de voladura; se debe considerar la orientación de la cara libre en relación a las discontinuidades presentes ya que estos logran condicionar al rendimiento de voladura; se debe emplear explosivos de baja potencia para taladros perimetrales y cargas de explosivos desacopladas con el fin de minimizar la rotura en el contorno de la excavación, etc. (OSINERGMIN, 2017).

2.2.4. Avance por disparo

El avance por disparo es un factor importante dentro del proceso de perforación y voladura, en el cual en su gran mayoría se presentan defectos a causa de un mal manejo

en el empleo de explosivos, deficiencias en los procesos de perforación o por las diversas características que pueda presentar el terreno. Por lo tanto, para lograr identificar dichos problemas, se debe llevar un control adecuado y sistemático que permita medir, evaluar y analizar la causa raíz que genere este problema en el avance por disparo en labores subterráneas (Supo, 2019).

Por otra parte, el autor López Jimeno, citado por los autores Rojas y Flores (2017), indican que el avance estará limitado por dos factores: el diámetro de taladro vacío y la desviación de taladros cargados, para lo cual cuando este último factor se mantenga con un mínimo del 2% los avances medios “X” podrán lograr llegar hasta en un 95% de la profundidad de taladro “L” indicándose por la siguiente fórmula:

$$X = 0.95 * L$$

Sin embargo, otros autores afirman que el empleo de explosivo de acuerdo a su tipo también es un factor relevante en el avance por disparo, por lo cual el autor Solórzano (2019), indica que el cambio de explosivo puede conllevar a una mejora tanto en los costos adicionales de perforación y voladura como en la eficiencia del avance por disparo, tal caso se vio evidenciado en Minería San Vicente – SIMSA, en el cual el empleo de emulsión encartuchada generó un avance por disparo del 92% en secciones de 3.5m x 3.0m a diferencia del empleo de emulsión a granel (Emulfrag MS) que generó un aumento del 2.6% consiguiendo una perforación efectiva de 3.19 m y un avance de 3.03m. (Rojas y Flores, 2017)

2.2.5. Valor Actual Neto

Es una cantidad monetaria, que refleja la diferencia entre el valor actual de los cobros menos el valor actualizado de los pagos; es decir, es el valor de todos los flujos de caja

esperados referido a un mismo momento del tiempo. En términos generales se puede interpretar el VAN del modo siguiente:

- $VAN > 0 \Rightarrow$ Que la empresa genera beneficio
- $VAN = 0 \Rightarrow$ No hay beneficio ni pérdidas, aunque se pierde el tiempo
- $VAN < 0 \Rightarrow$ hay pérdidas en la empresa, además de perder el tiempo.

Se deberá rechazar cualquier inversión cuyo VAN sea negativo ya que descapitaliza la empresa. Entre varios proyectos se elegirá aquel que tenga el VAN positivo sea superior.

La tasa de descuento aplicable puede ser constante en el tiempo o variable y es función del tipo de interés del mercado, el riesgo del sector, así como el del negocio.

- a. El tipo de interés de mercado se considera un vínculo entre el presente y el futuro, constituyendo una base de comparación fundamental. Si utilizando el tipo de interés de mercado el VAN es negativo significa que ese proyecto de inversión no es capaz de hacer frente al coste de su financiación; es decir, al coste del capital. La actualización utilizada no es más que un convenio con el que no todos los inversores están de acuerdo. Otra forma de calcular esta parte del tipo de descuento a aplicar o el coste del capital sería el tipo de mercado de activos seguros (bonos o letras del Tesoro). Este epígrafe por lo tanto incorpora el coste de oportunidad, ya que sería el interés ofrecido a mínimo riesgo.
- b. Factor de riesgo del sector. Los sectores mineros se ven sometidos a oscilaciones cíclicas, precios que es elegido por el mercado.
- c. Factor de riesgo del negocio. En cada producción minera se asume un riesgo del precio y leyes del mineral, más un riesgo productivo imputable al manejo del sistema, desde el punto de vista productivo, económico, operativo y

geológico. (García, Acero y Perea, 2007)

2.2.6. Tasa Interna de Retorno

La tasa de rendimiento interno, tasa interna de rentabilidad o tasa de retorno "r" es el tipo de actualización que iguala a 0 el VAN. En el caso de que los flujos generados por el proyecto sean constantes: Sin embargo, en la mayoría de los casos los flujos generados son diferente cada año, si el proyecto de inversión es en un periodo corto de tiempo, también sería sencillo resolver la siguiente igualdad: Con lo que fácilmente se puede calcular el valor de "r". Pero si el proyecto de inversión se lleva a cabo en un periodo largo de tiempo el cálculo de la TIR se realiza por interpolación. Para saber si un proyecto de inversión es conveniente o no, se deberá comparar la tasa interna de rendimiento (T.I.R.) del proyecto con el tipo de interés vigente en el mercado. Si la diferencia es positiva se puede llevar a cabo el proyecto (siempre que se tenga en cuenta el factor riesgo). Si la diferencia es negativa significa que con los flujos generados no se puede hacer frente ni siquiera al coste del capital (al pago de los intereses por el uso de unos recursos financieros que se han tomado prestados). En caso de elegir un proyecto entre varias alternativas, se escogerá aquel que tenga la mayor diferencia positiva. (García, Acero y Perea, 2007).

CAPÍTULO III

METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo, nivel y diseño de investigación, población, muestra, técnicas e instrumentos para recoger datos, técnicas de procesamiento de datos

La presente investigación es de tipo aplicada, indica que el fin primordial es el de resolver un problema determinado o un planteamiento específico, llegando a enfocarse en la consolidación y búsqueda de los conocimientos, así mismo, se lograra cumplir con los propósitos prácticos inmediatos, en relación a las mediciones de los procesos de voladura actual.

Presenta un nivel explicativo correlacional, indica que se busca la causa del porque se da dicho problema, además de explicar las causas y los efectos presentes que este mismo produce, así mismo los hechos del resultado de voladura y el stripping ratio.

Mantiene un diseño experimental del tipo cuasiexperimental ya que es aplicado a situaciones reales en el cual no se forman grupos aleatorios, pero se manipula la variable experimental, así mismo, en campo se demostrará como resultado la voladura,

con mediciones del antes y el después, comparando los indicadores de gestión, las mejoras continuas y valores obtenidos después de desarrollar dicho plan.

Cuenta como población a las labores de preparación en subniveles en vetas angostas en minera Argentum S.A. subsidiaria de Pan American Silver Perú SAC ubicado en el departamento de Junín, así mismo, se tiene en cuenta como muestra CENSAL de población cuantitativa, a las labores de preparación en vetas angostas menor a 1 metro en secciones de 3 x 3.8 m en las labores Sn_126_3W, Sn_783E, Sn_135_3W; Sn_135_2W y Sn_249E. (*Ver anexo 2*).

Las técnicas (mediante la observación) e instrumentación de recolección de datos (mediante la guía de observación con hojas de Excel, en el cual se va a cuantificar los datos observados) empleadas para la presente investigación están dadas por la observación de campo y el análisis documental. Consigo, los instrumentos requeridos serán conformados por la guía de observación de campo con la finalidad de adquirir datos en relación al porcentaje de sobre dilución, eficiencia de disparo y sobre excavación y el empleo de guía de análisis documental con la finalidad de adquirir datos en relación con las características del explosivo empleado para las pruebas en labores de preparación (subniveles) en Minera Argentum S.A. En anexo se muestran los documentos de recolección de datos validados por magister en el área.

Como primer paso se tendrá la evaluación de los parámetros de sección, así como las leyes sin diluir presentes en las labores de subniveles, los cuales serán adquiridos a través del área de planeamiento y geología, en dicho apartado se evaluarán las características presentes de la labor, así como la programación de toneladas extraídas vs las toneladas programadas. Asimismo, el procesamiento de datos se verificará

mediante modelos estadísticos con el software SPSS, evaluando si los datos de recolección se rigen a una distribución normal (paramétrica) o distribución libre (no paramétrica). Este último usando el modelo de T de Wilcoxon.

3.2. Desarrollo del trabajo de tesis

El primer paso para realizar la presente investigación estará dado en determinar la influencia del sistema electrónico de voladura en la mejora del porcentaje de dilución de labores horizontales en minería subterránea, cuya información será adquirida, luego de realizar las pruebas en campo tanto con el empleo de detonadores electrónicos Ikon III, para luego realizar la implementación con detonadores electrónicos eDev II, así mismo conocer los diversos parámetros de análisis como sobre excavación, sobre dilución, avances por disparo y el flujo económico empleado en labores horizontales en minería subterránea. Y como fuente de recolección de datos a las voladuras horizontales de mineral en vetas angostas menor a 1 metro de secciones de 3.0m x 3.8 m y personal involucrado en el proceso de perforación y voladura en Compañía Minera Argentum, así mismo, se tiene en cuenta la recolección de datos informativos de artículos, maestrías, trabajos de investigación, etc

3.2.1. Determinar la influencia del sistema electrónico de voladura en la mejora del porcentaje de dilución de labores horizontales en minería subterránea.

Como primer punto se tuvo en cuenta la línea base del escenario actual en el desarrollo de perforación y voladura con el empleo de exsaneles (voladura pirotécnica) teniendo en cuenta los datos otorgados por el área de perforación y voladura se indica lo siguiente:

Tabla 3.1. *Cantidad de detonadores en taladros empleados para voladura.*

Descripción	Unidad	Valor
Taladros	Un	30
DNE por taladro	# DNE/tal	1
DNE total	Un	30

Fuente. Datos adquiridos de Minera Argentum – Área de P &V, 2021.

Consigo, en la tabla 3.1, se indica el empleo de 30 detonadores no eléctricos empleados en voladura. Asimismo, se tuvo en cuenta una longitud de perforación de 3.50m con una eficiencia del 86%, adquiriendo un avance total de 3.00 m tal como se indica en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. *Avance por disparo.*

Descripción	Unidad	Valor
Long. de perforación	m	3.50
Eficiencia de disparo	%	86%
Avance	m	3.00

Fuente: Datos adquiridos de Minera Argentum – Área de P &V, 2021.

Asimismo, las secciones empleadas para el desarrollo de labores mantienen un ancho de labor de 3.0m y un alto de 3.8m con una potencia de veta promedio de 0.5m (ver anexo 04).

De acuerdo con los parámetros establecidos, se tuvo en cuenta las leyes sin diluir presentes en cada labor los cuales son descritos a continuación.

Tabla 3.3. *Leyes de Mineral in Situ sin aplicar voladura.*

Leyes sin diluir							
Labor	Pot Veta (m)	Ton min	Ag gr/t A.V.	Cu % A.V.	Pb % A.V.	Zn % A.V.	VPT A.V.
Sn 783-E	0.3	11.29	63.56	0.24	1.75	11.10	230.11
Sn 783-W	0.1	3.76	63.56	0.24	1.75	11.10	230.11
Sn_249W	0.8	30.10	212.91	0.65	2.48	7.79	305.30
Sn_249W	0.8	30.10	212.91	0.65	2.48	7.79	305.30
Gal_425W	0.6	22.57	1,254.51	0.41	1.55	3.60	893.07
Sn_589E	0.6	22.57	147.60	0.23	0.53	5.15	183.96
Sn_589W	0.6	22.57	82.01	0.21	0.58	5.13	141.37
Sn_589E	0.8	30.10	104.40	0.35	2.21	21.69	416.75
Sn_135-5	0.4	15.05	291.24	0.28	3.29	13.09	425.58
Sn_589W	0.5	18.81	302.55	0.54	2.93	12.42	429.58

Fuente. Datos otorgados por el área de planeamiento – Minera Argentum, 2021.

Previamente, a la aplicación de pruebas con detonadores electrónicos, se realizó un análisis de las leyes de mineral insitu, teniendo en cuenta la potencia de veta y las toneladas de mineral insitu que este mismo pueda entregar relativamente. Consigo, se obtuvo un Valor Por Tonelada de Ancho de Veta promedio de 356 \$/Tn de mineral explotado, de la misma forma se programó la voladura explotando el frente al 100%, adquiriendo los siguientes resultados:

Tabla 3.4. *Leyes diluidas a sección completa*

Leyes Dil Ancho secc						
Labor	Ton Prog	Ag gr/t A.M.	Cu %2 A.M.	Pb % A.M.	Zn % A.M.	VPT A.M.
Sn 783-E	112.86	6.36	0.02	0.18	1.11	23.01
Sn 783-W	112.86	2.12	0.01	0.06	0.37	7.67
Sn_249W	112.86	56.78	0.17	0.66	2.08	81.41
Sn_249W	112.86	56.78	0.17	0.66	2.08	81.41
Gal_425W	112.86	250.90	0.08	0.31	0.72	178.61
Sn_589E	112.86	29.52	0.05	0.11	1.03	36.79
Sn_589W	112.86	16.40	0.04	0.12	1.03	28.27
Sn_589E	112.86	27.84	0.09	0.59	5.78	111.13
Sn_135-5	112.86	38.83	0.04	0.44	1.75	56.74
Sn_589W	112.86	50.43	0.09	0.49	2.07	71.60

Fuente. Datos otorgados por el área de planeamiento – Minera Argentum, 2021.

De la misma forma, en la tabla 3.4, se indica una programación de toneladas total para 10 voladuras de 1128.60 Tn, con un Valor Por Tonelada de Ancho Mineralizado promedio de 67.67 \$/Tn, sin embargo, presentan leyes de mineral promedio en Plata, Cobre, Plomo y Zinc de 53.59 gr/Tn, 0.08%, 0.36% y 1.80% respectivamente.

Tabla 3.5. *Leyes con voladura electrónica en pruebas y Valor Por Tonelada de Ancho Real.*

Ton disp Real	Ag gr/t A.R.	Cu % A.R.	Pb % A.R.	Zn % A.R.	VPT A.R.
40.00	24.50	0.05	0.21	1.08	35.76
50.00	4.24	0.02	0.12	0.74	15.34
50.00	56.78	0.17	0.66	2.08	81.41
75.00	86.07	0.26	0.61	3.26	119.93
50.00	308.76	0.04	1.42	1.63	240.92
50.00	35.45	0.08	0.30	3.71	82.43
50.00	200.56	0.33	1.78	11.37	326.01
50.00	39.94	0.08	0.75	5.23	112.53
50.00	81.76	0.20	0.33	3.77	118.16
50.00	72.05	0.14	1.92	5.28	151.09

Fuente. Datos otorgados por el área de planeamiento – Minera Argentum, 2021.

Los empleos de detonadores electrónicos en las pruebas realizadas presentaron un mejoramiento de las leyes de minerales adquiridos a diferencia de la aplicación de detonadores no eléctricos, los cuales minimizan las leyes de los minerales a causa de una mayor dilución del mineral y adquisición de material estéril, si bien, los resultados obtenidos indican que para 10 voladuras aplicadas se obtuvieron un total de 515 tn de mineral con leyes que sobrepasaban lo estimado en voladura con detonadores no eléctricos, adquiriendo leyes de Plata, Cobre, Plomo y Zinc de 92.06 gr/tn, 0.14%, 0.81% y 3.84% y con un valor por tonelada de 129.74 \$/tn, generando una recuperación del 92% VPT a diferencia de la explotación a ancho de sección total con voladura convencional, logrando recuperar hasta un 46% (515 Tn) de mineral.

De acuerdo con los resultados adquiridos en la fase de pruebas con IKON III Rx,

se lograron adquirir altos porcentajes de recuperación de mineral y así mismo minimizando los daños generados por sobre dilución, sobre excavación, y avance por disparo, para lo cual, en la fase de implementación, se tuvo en cuenta 13 voladuras con el empleo de detonadores electrónicos eDev II logrando generar el siguiente reporte, desde la fase inicial hasta su fase de aplicación.

Tabla 3.6. *Leyes de mineral in situ sin aplicación de voladura.*

Leyes sin diluir							
Labor	Pot Veta (m)	Ton	Ag gr/t A.V.	Cu % A.V.	Pb % A.V.	Zn % A.V.	VPT A.V.
Sn_126_3W	0.55	20.69	148.12	0.35	1.29	18.63	386.44
Sn_783E	0.3	11.29	274.57	0.50	0.62	5.92	283.43
Sn_126_3W	0.6	22.57	277.77	0.37	2.09	19.44	490.20
SN_135_3W	0.4	15.05	326.52	0.11	5.03	5.57	350.72
Sn_135_2W	0.2	7.52	307.09	0.83	5.19	28.83	697.31
Sn_135_3W	0.6	22.57	115.69	0.23	2.94	12.09	289.10
Sn_135-2W	0.4	15.05	510.30	0.85	3.33	32.15	850.24
Sn_783E	0.45	16.93	975.04	2.95	1.85	7.25	851.50
Sn_249E	1.2	45.14	167.75	0.30	0.33	2.85	161.49
Sn_783E	0.45	16.93	1,008.77	3.16	0.08	3.57	806.77
Sn_135-2W	0.45	16.93	435.20	0.71	6.65	29.88	806.32
Sn_783E	0.45	16.93	1,558.04	1.66	4.41	5.38	1,174.95
Sn_135-2W	0.45	16.93	461.35	0.70	1.87	18.04	595.81

Fuente. Datos otorgados por el área de planeamiento – Minera Argentum, 2021.

De acuerdo con la tabla 3.6, se tiene un total de 244.53 Toneladas de mineral por un Valor Por Tonelada de Ancho de Veta promedio de 595.71 \$/tn de mineral explotada. Cabe resaltar, que el promedio de potencia de veta no es mayor a un 1.0m, a excepción del Subnivel 249E el cual mantiene un ancho de veta mayor a 1.0m.

De acuerdo con ello, se programó la explotación con leyes diluidas en ancho de sección al 100%, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 3.7. *Leyes diluidas a sección completa*

Leyes Dil Ancho secc						
Labor	Ton Prog	Ag gr/t A.M.	Cu %2 A.M.	Pb % A.M.	Zn % A.M.	VPT A.M.
Sn_126_3W	102.60	27.16	0.06	0.24	3.42	70.85
Sn_783E	102.60	27.46	0.05	0.06	0.59	28.34
Sn_126_3W	102.60	55.55	0.07	0.42	3.89	98.04
SN_135_3W	102.60	43.54	0.01	0.67	0.74	46.76
Sn_135_2W	102.60	20.47	0.06	0.35	1.92	46.49
Sn_135_3W	102.60	23.14	0.05	0.59	2.42	57.82
Sn_135-2W	102.60	68.04	0.11	0.44	4.29	113.36
Sn_783E	102.60	146.26	0.44	0.28	1.09	127.72
Sn_249E	102.60	67.10	0.12	0.13	1.14	64.60
Sn_783E	102.60	151.32	0.47	0.01	0.54	121.01
Sn_135-2W	102.60	65.28	0.11	1.00	4.48	120.95
Sn_783E	102.60	233.71	0.25	0.66	0.81	176.24
Sn_135-2W	102.60	69.20	0.11	0.28	2.71	89.37
	1333.8	76.786	0.147	0.394	2.156	89.351

Fuente. Datos otorgados por el área de planeamiento – Minera Argentum, 2021.

Por consiguiente, en la tabla 3.7, se detalla la explotación con voladura sin aplicación de detonadores electrónicos, teniendo en cuenta el 100% de sección explotada, adquiriendo un total de 1333.8 Toneladas proyectadas con un Valor Por Tonelada promedio de 89.351 \$/Tn, obteniendo promedios de 76.785 gr/t de plata, 0.147% de cobre, 0.394% de plomo y 2.156% de zinc, indicando una gran variación en la recuperación de mineral de acuerdo a lo programado en las leyes sin diluir, generando mayores pérdidas y no siendo económicamente rentable para su explotación., para lo cual se conllevó a implementación de detonadores electrónicos, debido a que en su fase de pruebas permitieron generar una mayor recuperación de mineral con un alto porcentaje de Valor Por Tonelada y altos índices de leyes de mineral adquiridos.

Tabla 3.8. Leyes con voladura electrónica y Valor Por Tonelada de ancho real.

Leyes Dil Ancho Real					
Ton disp Real	Ag gr/t A.R.	Cu % A.R.	Pb % A.R.	Zn % A.R.	VPT A.R.
50.71	83.72	0.16	0.87	2.24	101.28
50.24	215.00	0.08	0.10	0.90	152.46
56.48	147.28	0.31	2.43	18.17	391.91
57.14	105.47	0.44	0.65	1.70	115.20
47.92	93.04	0.12	1.09	3.33	123.59
54.01	54.08	0.35	0.64	2.08	84.51
54.23	154.90	0.24	0.99	3.21	164.57
53.82	328.57	0.42	0.68	1.34	250.24
54.13	41.56	0.14	0.24	3.08	78.21
53.52	404.24	0.46	0.70	1.54	302.60
51.31	269.21	0.21	0.91	3.18	233.94
51.60	519.94	1.40	2.50	5.36	487.25
54.41	86.02	0.20	0.89	3.42	120.99
689.52					200.94

Fuente. Datos otorgados por el área de planeamiento – Minera Argentum, 2021.

Como siguiente paso, se implementó el uso de detonadores electrónicos eDev II a través del método de segregación manteniendo una relación de desmonte/mineral 60/40, con la finalidad de adquirir menor dilución y logrando obtener mayor recuperación de mineral, para lo cual se tomó en cuenta en el proceso de voladura la extracción de mineral, logrando adquirir un total de 686.52 Toneladas explotadas en las 13 voladuras programadas, generando consigo un Valor Por Tonelada Promedio de 200.94 \$/Tn, tal como se muestra en la tabla 3.8, generando una recuperación del 125% VPT a diferencia de la explotación a ancho de sección total con voladura convencional; así mismo, recuperando el 52% (689.52 Tn) de toneladas de mineral extraídas.

Por consiguiente, se presentan las gráficas de resumen de los Valores Por Tonelada (VPT) y el porcentaje de recuperación de Dilución – VPT, tanto para pruebas

como para la implementación de detonadores electrónicos.

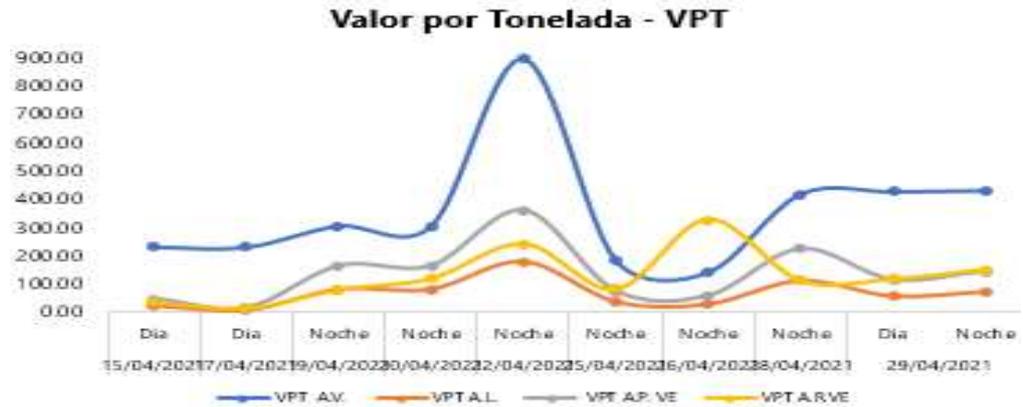


Figura 3.1. VPT de Ancho de Minado vs VPT de Voladura Electrónica.

Fuente. Elaboración propia, 2021.

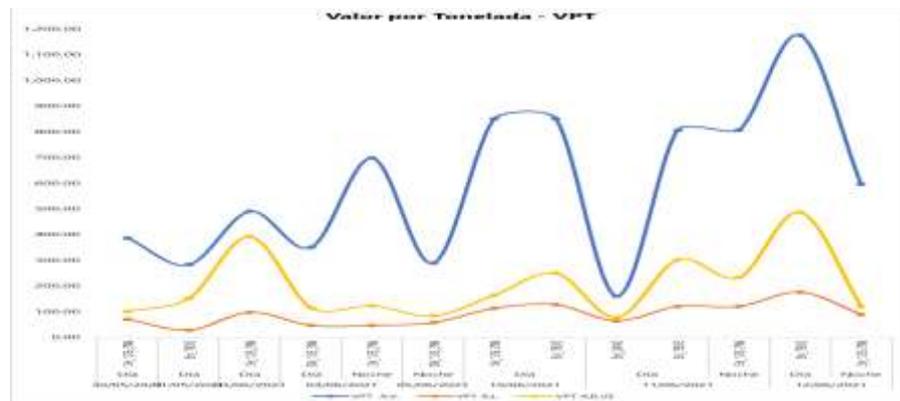


Figura 3.2. Comparación de Valor Por Tonelada de ancho de minado vs voladura electrónica.

Fuente. Elaboración propia, 2021.

En la figura 3.1 y 3.2 se muestran los resúmenes del Valor Por Tonelada del Ancho de Veta, para el cual al aplicar voladura convencional a sección completa (línea naranja) se presenta un promedio de Valor por tonelada de 67.66 \$/Tn y 89.351 \$/Tn de mineral explotado respectivamente para los gráficos presentes, sin embargo, con la implementación de voladura electrónica se logró generar un promedio de Valor Por

Tonelada de 129.74 \$/Tn y 200.94 \$/Tn, siendo mucho más factible y rentable para su extracción. Siendo un promedio de 170.50 \$/Tn



Figura 3.3. Porcentaje de recuperación de dilución – VPT.

Fuente. Elaboración propia, 2021.

Respecto al porcentaje de recuperación por sobre dilución, tal como se indica en la figura 3.3, se detalla lo siguiente: mantienen mayores porcentajes de recuperación de mineral con un ancho real aplicando voladura electrónica, dando consigo una reducción de los porcentajes de sobre dilución a diferencia de explotar el ancho de labor completa de 3 metros. No obstante, cabe indicar que el método de explotación a emplear permite adquirir de una cierta manera la mayor recuperación de mineral, pudiendo mejorar con el empleo de detonadores electrónicos, pero bajo un previo estudio y análisis en campo.

3.2.2. Determinar la influencia del sistema electrónico de voladura en la mejora de sobre excavación de caja techo de labores horizontales en minería subterránea.

De acuerdo con línea base del escenario actual se tiene en cuenta las siguientes características de la labor, labores horizontales con avance en mineral. Cabe resaltar

que el escenario actual con voladura con detonadores no eléctricos (DNE), teniendo estos datos como línea base (pretest).

Tabla 3.9. *Parámetros de sección*

Ancho (m)	Alto (m)	Avance ejecutado (m)	Sección Prog. (m ²)	% de sobre excavación de línea base
3.0	3.8	3.0	11.4	10%

Fuente. Datos adquiridos del área de planeamiento Minera Argentum – 2021.

En la tabla 3.9 se presenta los parámetros de sección estimados para el desarrollo de avance teniendo en cuenta una sección programada de 11.4 m². Cabe resaltar, que el % de sobre excavación no deberá superar el 10% de acuerdo con la meta del 2021.

Tabla 3.10. *Secciones actuales con voladura pirotécnica antes de realizar pruebas con IKON III Rx*

Labores	Veta	Ancho actual (m)	Alto actual(m)	Sección actual (m ²)	%Sobre excavación
Sn 783-E	Karim	3.20	3.80	12.16	7%
Sn 783-W	Karim	3.60	4.30	15.48	36%
Sn_249W	Rubí	3.20	3.80	12.16	7%
Sn_249W	Rubí	3.10	3.80	11.78	3%
Gal_425W	Leticia	3.50	3.80	13.30	17%
Sn_589E	Rubí	3.30	4.20	13.86	22%
Sn_589W	Rubí	3.30	3.90	12.87	13%
Sn_589E	Rubí	3.10	3.90	12.09	6%
Sn_135-5	Maria Luisa	3.20	4.00	12.80	12%
Sn_589W	Rubí	3.10	3.90	12.09	6%

Fuente. Datos adquiridos del área de planeamiento Minera Argentum – 2021.

Como siguiente paso, se tuvo en cuenta la realización de pruebas en minera Argentum con detonadores electrónicos Ikon III Rx; y como primer paso se tuvo en cuenta la voladura con detonadores no eléctricos, obteniendo labores de sección promedio de 3.26 m de ancho por 3.94 m de alto y un área promedio de 12.86m², además de un porcentaje de sobre excavación promedio del 13% siendo presentados

anteriormente en la tabla 3.10.

Tabla 3.11. *Secciones actuales con voladura pirotécnica antes de la implementación de detonadores electrónicos eDev II*

Labores	Veta	Ancho actual (m)	Alto actual(m)	Sección actual (m ²)	%Sobre excavación
Sn_126_3W	Ramal Alianza	3.20	4.10	13.12	15%
Sn_783E	Karim	3.60	3.90	14.04	23%
Sn_126_3W	Ramal Alianza	3.20	3.95	12.64	11%
SN_135_3W	María Luisa	3.20	3.90	12.48	9%
Sn_135_2W	María Luisa	3.20	4.10	13.12	15%
Sn_135_3W	María Luisa	3.30	3.90	12.87	13%
Sn_135-2W	María Luisa	3.20	3.90	12.48	9%
Sn_783E	Karim	3.30	3.90	12.87	13%
Sn_249E	Rubí	3.50	3.90	13.65	20%
Sn_783E	Karim	3.30	3.90	12.87	13%
Sn_135-2W	María Luisa	3.20	4.00	12.80	12%
Sn_783E	Karim	3.10	3.90	12.09	6%
Sn_135-2W	María Luisa	3.20	3.95	12.64	11%

Fuente. Datos adquiridos del área de planeamiento Minera Argentum – 2021.

De la misma manera, en la tabla 3.11 se detallan los diversos anchos y altos de sección generados por la voladura no electrónica (pirotécnica) en un promedio de 3.27 metros y 3.95 metros respectivamente y a sección completa promedio de 12.90 m², los cuales genera promedios de sobre excavación actual del 13%, superando el porcentaje de línea base y consigo aumentando la dilución del mineral. De acuerdo a los presentes parámetros descritos en las tablas 3.10 y 3.11, como primer paso se realizaron las pruebas con detonadores electrónicos IKON III Rx los cuales permitan conocer los parámetros a tener en cuenta en los nuevos resultados adquiridos, para luego lograr implementar los detonadores electrónicos eDev II con la finalidad de reducir los porcentajes de sobre excavación generados por el empleo de voladura pirotécnica, adquiriendo los siguientes resultados, tanto para las pruebas como la implementación.

Tabla 3.12. *Porcentaje de sobre excavación real aplicando detonadores electrónicos IKON III Rx.*

Labores	Veta	Ancho real (m)	Alto real(m)	Sección real (m²)	%Sobre excavación
Sn 783-E	Karim	3.00	3.70	11.10	0%
Sn 783-W	Karim	3.00	3.90	11.70	3%
Sn_249W	Rubí	3.10	3.80	11.78	3%
Sn_249W	Rubí	3.00	3.80	11.40	0%
Gal_425W	Leticia	3.10	3.80	11.78	3%
Sn_589E	Rubí	3.15	3.90	12.29	8%
Sn_589W	Rubí	3.05	3.80	11.59	2%
Sn_589E	Rubí	3.10	3.80	11.78	3%
Sn_135-5	María Luisa	3.08	3.80	11.70	3%
Sn_589W	Rubí	3.10	3.80	11.78	3%

Fuente. Datos adquiridos del área de planeamiento Minera Argentum – 2021.

Tal como se indica en la tabla 3.12, el empleo de detonadores electrónicos IKON III Rx para las pruebas, permitió reducir los porcentajes de sobre excavación logrando adquirir un promedio del 3%, presentándose más acorde al porcentaje de línea base, con sección promedio de 11.69m² y consigo reduciendo los niveles de sobre excavación. Cabe indicar, que la relación desmonte mineral en campo estuvo en un 60/40 debido al buzamiento de la veta, dando mejores resultados.

Tabla 3.13. Porcentaje de sobre excavación real aplicando detonadores electrónicos eDev II.

Labores	Veta	Ancho real (m)	Alto real (m)	Sección real (m)	%Sobre excavación real
Sn_126_3W	Ramal Alianza	3.10	3.80	11.78	3%
Sn_783E	Karim	3.10	3.75	11.63	2%
Sn_126_3W	Ramal Alianza	3.10	3.80	11.78	3%
SN_135_3W	María Luisa	3.05	3.60	10.98	0%
Sn_135_2W	María Luisa	3.10	3.80	11.78	3%
Sn_135_3W	María Luisa	3.10	3.65	11.32	0%
Sn_135-2W	María Luisa	3.15	3.70	11.66	2%
Sn_783E	Karim	3.10	3.80	11.78	3%
Sn_249E	Rubí	3.20	3.75	12.00	5%
Sn_783E	Karim	3.10	3.80	11.78	3%
Sn_135-2W	María Luisa	3.10	3.80	11.78	3%
Sn_783E	Karim	3.00	3.80	11.40	0%
Sn_135-2W	María Luisa	3.10	3.80	11.78	3%

Fuente. Datos adquiridos del área de planeamiento Minera Argentum – 2021.

De la misma forma, tal como se indica en la tabla 3.13, el empleo de detonadores electrónicos eDev II permitió reducir los porcentajes de sobre excavación logrando adquirir un promedio del 3%, presentándose más acorde al porcentaje de línea base, con sección promedio de 11.65m² y consigo reduciendo los niveles de sobre excavación. Cabe indicar, que la relación desmonte mineral en campo estuvo en un 60/40 debido al buzamiento de la veta, dando mejores resultados.

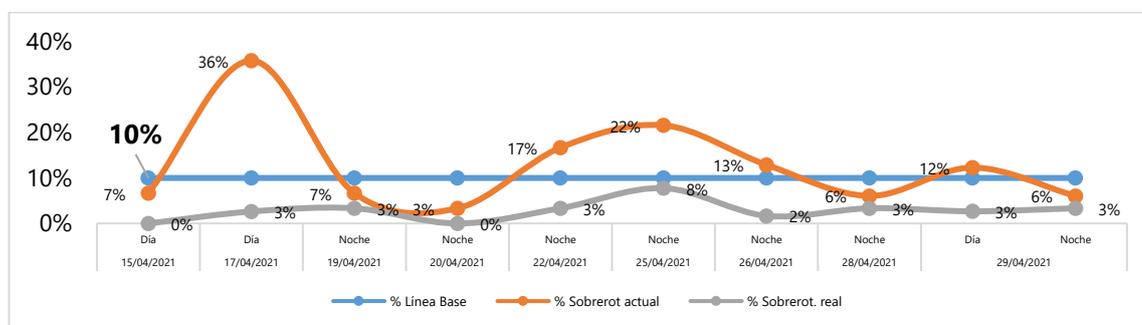


Figura 3.4. Sobre excavación actual vs sobre excavación real en pruebas con IKON III.

Fuente. Elaboración propia, 2021.

Si bien la sobre excavación presente en el estado de pruebas dieron variaciones significativas, para lo cual en su gran mayoría el empleo de detonadores no eléctricos generó mayor porcentaje de sobre excavación, a causa de tener tiempos definidos con carga operante alta, superando el límite promedio establecido, a diferencia del empleo de detonador electrónico (tiempo y secuencia programable con carga operante baja) los cuales no superan la media establecida en campo (10%), tal como se evidencia en la figura 3.4.

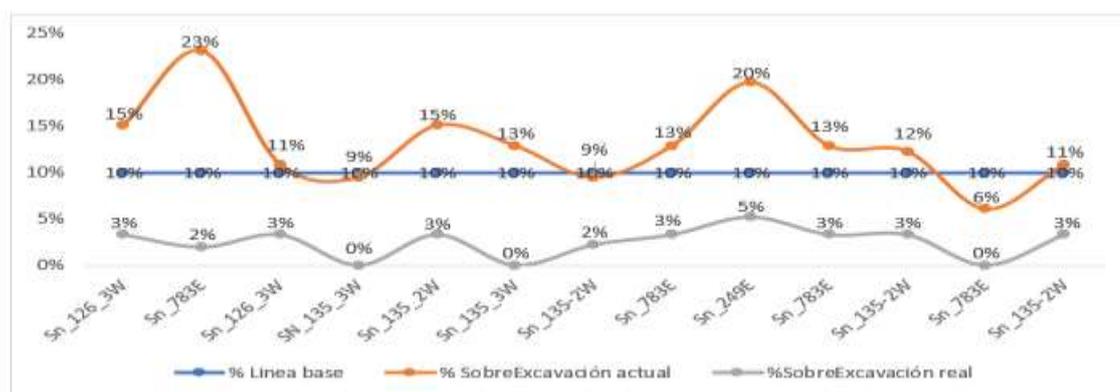


Figura 3.5. Sobre excavación actual con DNE vs Sobre excavación real empleando detonadores electrónicos eDev II

Fuente. Elaboración propia, 2021.

Así mismo en la figura 3.5 se detalla gráficamente los cambios porcentuales de sobre excavación tanto con el empleo de detonadores pirotécnicos (%Sobre excavación actual) los cuales sobre pasan el % de línea base (10%), sin embargo, con el empleo de detonadores electrónicos eDev II se reduce la carga operante, logrando tener mayor efectividad en el porcentaje de sobre excavación adquiriendo un promedio de 3% de sobre excavación presente (ver anexo 6 y 7).

3.2.3. Determinar la influencia del sistema electrónico de voladura en la mejora de avance por disparo de labores horizontales en minería subterránea.

En relación con el avance por disparo en labores horizontales con avance en mineral (subniveles, galerías, etc) se tuvo en cuenta para la obtención de línea base de las pruebas con detonadores electrónicos las siguientes características.

Tabla 3.14. *Avance programado por sección*

Ancho (m)	Alto (m)	Avance Ejecutado (m)	Sección Prog. (m ²)
3	3.8	3	11.4

Fuente. Datos adquiridos del área de planeamiento Minera Argentum – 2021.

Tabla 3.15. *Eficiencia de voladura previamente a pruebas con IKON III Rx.*

Labores	Veta	Avance (m)	Longitud de perforación (m)	Eficiencia de línea base (%)
Sn 783-E	Karim	2.70	3.50	77%
Sn 783-W	Karim	3.10	3.50	89%
Sn_249W	Rubí	2.95	3.50	84%
Sn_249W	Rubí	3.12	3.50	89%
Gal_425W	Leticia	3.25	3.50	93%
Sn_589E	Rubí	3.20	3.50	91%
Sn_589W	Rubí	3.20	3.50	91%
Sn_589E	Rubí	3.00	3.50	86%
Sn_135-5	María Luisa	2.90	3.50	83%
Sn_589W	Rubí	3.00	3.50	86%

Fuente. datos adquiridos del área de Perforación y Voladura, Minera Argentum 2021.

De acuerdo con la tabla 3.15, el avance ejecutado y la longitud de perforación programada genera una eficiencia de línea base del 86% para todas las labores voladas, a causa de que se genere problemas en el proceso de voladura pirotécnica, como la sobre excavación y dilución del mineral. Asimismo, se presentan los parámetros para la implementación con DE eDev II teniendo como línea base los siguientes resultados:

Tabla 3. 16. *Eficiencia de voladura previamente a implementación con eDev II.*

Labores	Veta	Avance (m)	Longitud de perforación (m)	Eficiencia de línea base (%)
Sn_126_3W	Ramal Alianza	2.80	3.50	80%
Sn_783E	Karim	3.21	3.50	92%
Sn_126_3W	Ramal Alianza	2.88	3.50	82%
SN_135_3W	María Luisa	2.78	3.50	79%
Sn_135_2W	María Luisa	2.80	3.50	80%
Sn_135_3W	María Luisa	2.70	3.50	77%
Sn_135-2W	María Luisa	2.78	3.50	79%
Sn_783E	Karim	3.11	3.50	89%
Sn_249E	Rubí	3.10	3.50	89%
Sn_783E	Karim	3.30	3.50	94%
Sn_135-2W	María Luisa	3.10	3.50	89%
Sn_783E	Karim	3.20	3.50	91%
Sn_135-2W	María Luisa	2.92	3.50	83%

Fuente. datos adquiridos del área de Perforación y Voladura, Minera Argentum 2021.

De acuerdo a la tabla 3.16, el avance ejecutado y la longitud de perforación programada genera una eficiencia de línea base del 86% para todas las labores voladas, a causa de que se genere problemas en el proceso de voladura pirotécnica, como la sobre excavación y dilución del mineral, para lo que, en el empleo de voladura electrónica, estas longitudes y avances pueden variar mejorando la eficiencia de perforación, obtienen mejores resultados tanto para las pruebas como para la implementación, los cuales se detallan a continuación.

Tabla 3. 17. Eficiencia de voladura de acuerdo con el empleo de detonadores electrónicos IKON III Rx.

Labores	Veta	Avance (m)	Longitud de perforación (m)	Eficiencia de línea base (%)
Sn 783-E	Karim	2.8	3.5	80%
Sn 783-W	Karim	3.3	3.5	94%
Sn_249W	Rubí	3.1	3.5	89%
Sn_249W	Rubí	3.3	3.5	94%
Gal_425W	Leticia	3	3.5	86%
Sn_589E	Rubí	3.4	3.5	97%
Sn_589W	Rubí	3.35	3.5	96%
Sn_589E	Rubí	3.2	3.5	91%
Sn_135-5	María Luisa	3.35	3.5	96%
Sn_589W	Rubí	3.2	3.5	91%

Fuente. Datos adquiridos del área de Perforación y Voladura, Minera Argentum 2021.

En la tabla 3.17 se indica las nuevas longitudes de perforación de acuerdo a los parámetros de sección de cada labor, adquiriendo consigo longitudes de perforación promedio de 3.52 metros y avances promedio de 3.20 metros, aumentando la eficiencia de perforación hasta en un 91% y generando un aumento del 5% de la línea base inicial. Consigo, se emplearon los detonadores electrónicos eDev II teniendo como resultados:

Tabla 3. 18. Eficiencia de voladura de acuerdo con el empleo de detonadores electrónicos eDev II.

Labores	Veta	Avance (m)	Long. de perforación (m)	Ef. de perf. Actual (%)
Sn_126_3W	Ramal Alianza	3.25	3.50	93%
Sn_783E	Karim	3.4	3.50	97%
Sn_126_3W	Ramal Alianza	3.35	3.50	96%
SN_135_3W	María Luisa	3.05	3.50	87%
Sn_135_2W	María Luisa	3.05	3.50	87%
Sn_135_3W	María Luisa	3.05	3.50	87%
Sn_135-2W	María Luisa	3.1	3.50	89%
Sn_783E	Karim	3.3	3.50	94%
Sn_249E	Rubí	3.4	3.50	97%
Sn_783E	Karim	3.2	3.50	91%
Sn_135-2W	María Luisa	3.1	3.50	89%
Sn_783E	Karim	3.3	3.50	94%
Sn_135-2W	María Luisa	3.1	3.50	89%

Fuente. datos adquiridos del área de Perforación y Voladura, Minera Argentum, 2021.

En la tabla 3.18, se indica las nuevas longitudes de perforación de acuerdo con los parámetros de sección de cada labor, adquiriendo consigo longitudes de perforación promedio de 3.50 metros y avances promedio de 3.20 metros, aumentando la eficiencia de perforación hasta en un 91% y generando un aumento del 5% de la línea base inicial. Estos cambios son generados a causa del aumento de efectividad en el proceso de voladura con detonadores electrónicos.

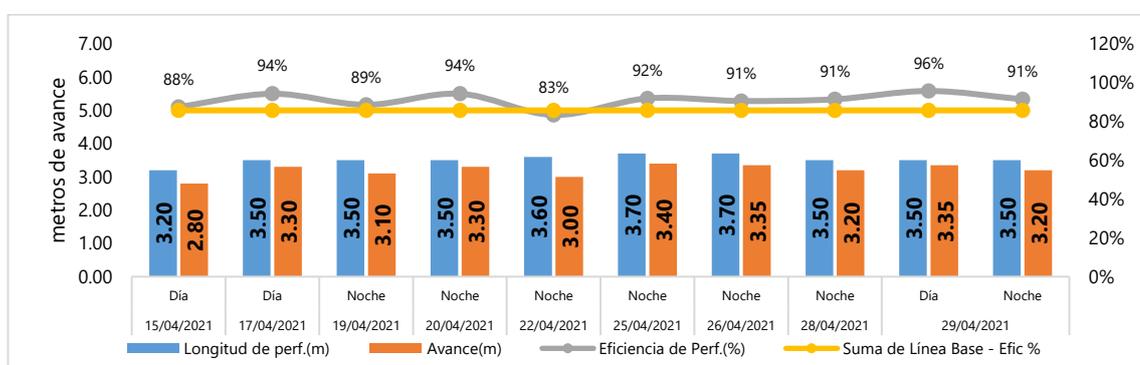


Figura 3.6. Avance por disparo con detonadores IKON III Rx.

Fuente. Elaboración propia, 2021.

Respecto al empleo de detonadores IKON III Rx para las pruebas realizadas en una primera instancia, logran entregar un resultado óptimo, tal como se observa en la figura 3.6, indicando que en más de un 90% se obtuvieron resultados óptimos sobre la línea base (86%), con un porcentaje promedio del 91%, además de generar un aumento en la longitud de perforación los cuales influyen directamente en el avance de labores, siendo más efectiva la adquisición de mineral explotado al día.

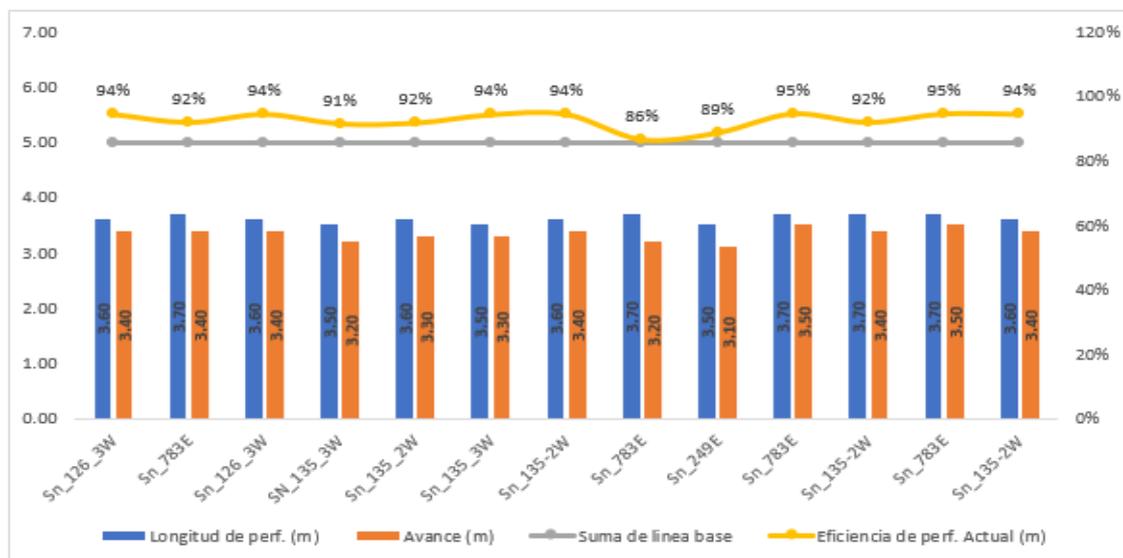


Figura 3.7. Avance por disparo con detonadores electrónicos eDev II.

Fuente. Elaboración propia, 2021.

De acuerdo con la figura 3.7 en las labores de subniveles se muestra una mejora en la eficiencia de disparo, como línea base se tiene una eficiencia del 86% con voladura tradicional y logrando adquirir mejores resultados al aplicar el sistema electrónico de voladura adquiriendo hasta un 93% en promedio con detonadores electrónicos eDev II en labores de subniveles. Cabe resaltar, que tanto la longitud de perforación como el avance por disparo presentan una mejoría viéndose reflejado en los valores porcentuales descritos anteriormente.

3.2.4. Determinar la influencia del sistema electrónico de voladura en la mejora del flujo económico de labores horizontales en minería subterránea.

Como evaluación, se tuvo en cuenta el análisis de los siguientes parámetros: accesorios, avance, shortcrete y sobre dilución, tanto en el empleo de voladura pirotécnica con exsaneles, como el uso de detonadores electrónicos Ikon III Rx y eDev II los cuales fueron evaluados en una primera instancia, tanto para las pruebas como para la implementación, adquiriendo los siguientes resultados:

Tabla 3.19. *Accesorios empleados con voladura pirotécnica*

Accesorios		
Descripción	Un	Valor
Taladros	Un	30
DNE por taladro	# DNE/tal	1
DNE totales	Un	30

Fuente. Datos adquiridos del área de PRODUCTIVIDAD, Minera Argentum, 2021.

En el escenario actual, se tuvo en cuenta el empleo de detonadores no electrónicos por taladros, tomando consigo un promedio total de 30 unidades por frente explotado, tal como se indica en la tabla 3.19.

Tabla 3.20. *Accesorios empleados con voladura electrónica.*

Accesorios		
Descripción	Un	Valor
Taladros	Un	29
eDev II por taladro	# eDev/tal	1
eDev totales	Un	29

Fuente. Datos adquiridos del área de PRODUCTIVIDAD, Minera Argentum – 2021.

Para el escenario real, el empleo de detonadores electrónicos Ikon III Rx y eDev II permitieron minimizar la cantidad de taladros empleados, posibilitando realizar hasta un promedio de 29 taladros por frente y consigo reduciendo la cantidad total de detonadores empleados en un frente de explotación, tal como se indica en la tabla 3.20.

Tabla 3.21. *Costo de empleo de detonadores electrónicos*

eDev II totales	Un	29
P.U eDev II	USD	12.5
P. total eDev II	USD	-362.5
P. total DNE	USD	30
Total Amortizado	USD	-332.5

Fuente. Datos adquiridos del área de PRODUCTIVIDAD, Minera Argentum, 2021.

Cabe indicar que en el empleo de DNE, los precios oscilan entre US\$ 1.00/unidad a diferencia del empleo de Detonadores Electrónicos los cuales mantienen un precio de US\$ 12.50/unidad, conllevando un déficit de US\$ 332.5 por voladura a diferencia

de US\$ 30.00 empleados en voladura pirotécnica.

Tabla 3.22. *Avance por disparo actual.*

Avance		
Descripción	Un	Valor
Long de perf.	m	3.5
Efic. de disparo	%	86%
Avance	m	3.01

Fuente. Datos adquiridos del área de PRODUCTIVIDAD, Minera Argentum, 2021.

En la tabla 3.22, de acuerdo con los datos adquiridos del área de Perforación y Voladura, se tiene en cuenta una longitud de perforación de 3.50 metros, bajo una eficiencia de disparo del 86% logrando adquirir avances de hasta 3 metros.

Tabla 3.23. *Avance por disparo real.*

Avance		
Descripción	Un	Valor
Long de perforación	m	3.50
Efic. De disparo	%	91%
Avance	m	3.20

Fuente. Datos adquiridos del área de PRODUCTIVIDAD, Minera Argentum, 2021.

De acuerdo con los datos adquiridos del escenario actual, se empleó el uso de detonadores electrónicos, con la finalidad de aumentar la eficiencia de disparo y consigo el avance, el cual permitirá obtener mayores ganancias por metro avanzado. Logrando adquirir una eficiencia promedio del 91% y un avance promedio de 3.20 metros por voladura realizada, tal como se indica en la tabla 3.23.

Tabla 3.24. *Valor de avance por disparo.*

Variación	m	0.18
P.U. Avance	USD/m	910
Valor	USD	159.3

Fuente. Datos adquiridos del área de PRODUCTIVIDAD, Minera Argentum, 2021.

De acuerdo con el escenario real, el empleo de detonadores electrónicos permitió

generar una variación promedio en el avance de hasta 0.18 metros, logrando adquirir un margen de ganancia de US\$. 159.3, y consigo reducir los tiempos proyectados para explotación de labores horizontales, tal como se indica en la tabla 3.24.

Tabla 3.25. *Empleo de Shotcrete en escenario actual.*

Shotcrete		
Descripción	Un	Valor
Sobre excavación	%	13%
m2 sobre excavados	m ²	12.9
Vol. Shotcrete	m ³	2.64

Fuente. Datos adquiridos del área de PRODUCTIVIDAD, Minera Argentum, 2021.

Por consiguiente, se evaluó el empleo de shotcrete a causa de la sobre excavación generado por voladura con detonadores pirotécnicos, los cuales mantenían un promedio de sobre excavación del 13% superando en un 3% más a la línea base de sobre excavación establecida e incurriendo a emplear un promedio de 2.64 m³ de shotcrete.

Tabla 3.26. *Empleo de Shotcrete después de realizar voladura con detonadores electrónicos.*

Shotcrete		
Descripción	Un	Valor
Sobre excavación	%	3%
m ² sobre excavados	m ²	11.74
Vol. Shotcrete	m ³	2.54

Fuente. Datos adquiridos del área de PRODUCTIVIDAD, Minera Argentum, 2021.

Si bien, la mejora empleada por el uso de detonadores electrónicos permitió reducir la sobre excavación hasta un promedio del 3%, logrando minimizar las cantidades empleadas de shotcrete en la sección de la labor y consigo no sobrepasando la línea base establecida del mismo (10%), tal como se observa en la tabla 3.26.

Tabla 3.27. *Valor ganado por costo de Shocrete.*

Variación	m ³	0.10
P.U. Shocrete	USD/m ³	280
Valor	USD	28

Fuente. Datos adquiridos del área de PRODUCTIVIDAD, Minera Argentum, 2021.

En la tabla 3.27, se detalla la variación generada de metros cúbicos de shocrete a causa de la mejora en la sobre excavación por el empleo de detonadores electrónicos, conllevando a una mínima variación de 0.10 m³ los cuales permiten adquirir un valor ganado de US\$.28 a nivel de empleo de Shotcrete.

Tabla 3.28. *Valor Por Tonelada Actual.*

Sobre dilución		
Descripción	Un	Valor
Sobre rotura	%	13%
VPT programado	USD/t	107.06
VPT actual	USD/t	79.41

Fuente. Datos adquiridos del área de PRODUCTIVIDAD, Minera Argentum, 2021.

Finalmente, en la tabla 3.28, se tiene en consideración los altos niveles de sobre dilución a causa de los altos porcentajes de sobre rotura o sobre excavación de la labor conllevando así a generar un promedio de Valor Por Tonelada con voladura pirotécnica a sección completa de US\$. 79.41 por tonelada explotada no siendo económicamente rentable para su extracción y minimizando las leyes de los minerales. La minimización de ley de mineral es dada a causa de un aumento de extracción de desmonte generado por diversos factores en los procesos unitarios de perforación y voladura, además de las características geológicas que puedan presentar el macizo rocoso.

Tabla 3.29. *Valor por tonelada real en pruebas con detonadores electrónicos Ikon III**Rx.*

Sobre dilución		
Descripción	Un	Valor
Sobre rotura	%	3%
VPT programado	USD/t	100.96
VPT real	USD/t	129.74

Fuente. Datos adquiridos del área de PRODUCTIVIDAD, Minera Argentum, 2021.

Tabla 3. 30. *Valor por tonelada real con implementación de detonadores electrónicos eDev II.*

Sobre dilución		
Descripción	Un	Valor
Sobre rotura	%	3%
VPT programado	USD/t	100.96
VPT real	USD/t	200.94

Fuente. Datos adquiridos del área de PRODUCTIVIDAD, Minera Argentum, 2021

En la tabla 3.29 y 3.30, se indica una minimización en los porcentajes de sobre excavación y a su vez logrando mantener los porcentajes de sobre dilución en rangos mínimos, aumentando la ley de mineral y evitando la contaminación del mismo por presencia de material estéril, que es dado tanto en las pruebas con detonadores electrónicos Ikon III Rx como en la implementación de detonadores electrónicos eDev II, mejorando el Valor Por Tonelada extraído en un total de US\$129.74 y US\$200.94 por tonelada.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Análisis de los resultados de la investigación

4.1.1. Análisis de resultados de la influencia del sistema electrónico de voladura en la mejora del porcentaje de dilución de labores horizontales en minería subterránea.

Como resultado de las pruebas e implementación de los detonadores electrónicos en la tabla 4.1, se detalla gráficamente los cambios de los valores por tonelada tanto en ancho de veta (A.V.), ancho de voladura actual (V.A.) y ancho de voladura electrónica (V.E.) tanto con el empleo de detonadores pirotécnicos (V.A.) los cuales se tiene un resumen de línea base de un VPT de 79.41 y como resultado con el empleo de detonadores electrónicos ikon III RX y eDev II, se tiene una recuperación con un VPT promedio de 170.50. Siendo un indicador favorable debajo el límite del KPi's como meta 2021.

Tabla 4.1. *Compósito de VPT con voladura actual versus VPT con voladura electrónica.*

VPT RESUMEN					
Labor	Pot Veta (m)	Ton min	VPT A.V.	VPT V.A.	VPT V.E.
Sn 783-E	0.3	11.29	230.11	23.01	35.76
Sn 783-W	0.1	3.76	230.11	7.67	15.34
Sn_249W	0.8	30.10	305.30	81.41	81.41
Sn_249W	0.8	30.10	305.30	81.41	119.93
Gal_425W	0.6	22.57	893.07	178.61	240.92
Sn_589E	0.6	22.57	183.96	36.79	82.43
Sn_589W	0.6	22.57	141.37	28.27	326.01
Sn_589E	0.8	30.10	416.75	111.13	112.53
Sn_135-5	0.4	15.05	425.58	56.74	118.16
Sn_589W	0.5	18.81	429.58	71.6	151.09
Sn_126_3W	0.55	20.69	386.44	70.85	101.28
Sn_783E	0.3	11.29	283.43	28.34	152.46
Sn_126_3W	0.6	22.57	490.2	98.04	391.91
SN_135_3W	0.4	15.05	350.72	46.76	115.2
Sn_135_2W	0.2	7.52	697.31	46.49	123.59
Sn_135_3W	0.6	22.57	289.1	57.82	84.51
Sn_135-2W	0.4	15.05	850.24	113.36	164.57
Sn_783E	0.45	16.93	851.5	127.72	250.24
Sn_249E	1.2	45.14	161.49	64.6	78.21
Sn_783E	0.45	16.93	806.77	121.01	302.6
Sn_135-2W	0.45	16.93	806.32	120.95	233.94
				79.41	170.50

Fuente. Datos adquiridos del área de PRODUCTIVIDAD, Minera Argentum, 2021.

4.1.2. Análisis de resultados de la influencia del sistema electrónico de voladura en la mejora de sobre excavación de caja techo de labores horizontales en minería subterránea.

Como resultado de las pruebas e implementación de los detonadores electrónicos en la figura 4.2 se detalla gráficamente los cambios porcentuales de sobre excavación tanto con el empleo de detonadores pirotécnicos (% Sobre excavación actual) los cuales se tiene un resumen de línea base del 13%, y como resultado con el empleo de detonadores electrónicos ikon III RX y eDev II, se tiene el porcentaje de sobre

excavación adquiriendo un promedio de 3%. Siendo un indicador favorable debajo el límite del KPi's como meta 2021.

Tabla 4.2. *Compósito porcentaje de sobre excavación actual versus aplicando detonadores electrónicos*

Labores	Veta	Ancho act. (m)	Alto act. (m)	Sección act. (m)	% SE actual	Ancho real (m)	Alto real (m)	Sección real (m)	% SE real
Sn 783-E	Karim	3.2	3.8	11.1	7%	3.0	3.7	11.1	0%
Sn 783-W	Karim	3.6	4.3	11.7	36%	3.0	3.9	11.7	3%
Sn_249W	Rubí	3.2	3.8	11.8	7%	3.1	3.8	11.8	3%
Sn_249W	Rubí	3.1	3.8	11.4	3%	3.0	3.8	11.4	0%
Gal_425W	Leticia	3.5	3.8	11.8	17%	3.1	3.8	11.8	3%
Sn_589E	Rubí	3.3	4.2	12.3	22%	3.2	3.9	12.3	8%
Sn_589W	Rubí	3.3	3.9	11.6	13%	3.1	3.8	11.6	2%
Sn_589E	Rubí	3.1	3.9	11.8	6%	3.1	3.8	11.8	3%
Sn_135-5	María Luisa	3.2	4	11.7	12%	3.1	3.8	11.7	3%
Sn_589W	Rubí	3.1	3.9	11.8	6%	3.1	3.8	11.8	3%
Sn 783-E	Karim	3.2	4.1	11.8	15%	3.1	3.8	11.8	3%
Sn 783-W	Karim	3.6	3.9	11.6	23%	3.1	3.8	11.6	2%
Sn_249W	Rubí	3.2	4.0	11.8	11%	3.1	3.8	11.8	3%
Sn_126_3W	Ramal	3.2	3.9	11.0	9%	3.1	3.6	11.0	0%
Sn_783E	Alianza	3.2	4.1	11.8	15%	3.1	3.8	11.8	3%
Sn_126_3W	Ramal	3.3	3.9	11.3	13%	3.1	3.7	11.3	0%
SN_135_3W	Alianza	3.2	3.9	11.7	9%	3.2	3.7	11.7	2%
Sn_135_2W	María Luisa	3.3	3.9	11.8	13%	3.1	3.8	11.8	3%
Sn_135_3W	María Luisa	3.5	3.9	12.0	20%	3.2	3.8	12.0	5%
Sn_135-2W	María Luisa	3.3	3.9	11.8	13%	3.1	3.8	11.8	3%
Sn_783E	Karim	3.2	4	11.8	12%	3.1	3.8	11.8	3%
Sn_249E	Rubí	3.1	3.9	11.4	6%	3.0	3.8	11.4	0%
Sn_783E	Karim	3.2	4.0	11.8	11%	3.1	3.8	11.8	3%
Sn_135-2W	María Luisa	3.2	3.8	11.1	7%	3.0	3.7	11.1	0%
Sn_783E	Karim	3.6	4.3	11.7	36%	3.0	3.9	11.7	3%
Sn_135-2W	María Luisa	3.2	3.8	11.8	7%	3.1	3.8	11.8	3%
					13%				3%

Fuente. Datos adquiridos del área de PRODUCTIVIDAD, Minera Argentum, 2021

4.1.3. Análisis de resultados de la influencia del sistema electrónico de voladura en la mejora de avance por disparo de labores horizontales en minería subterránea.

Como resultado de las pruebas e implementación de los detonadores electrónicos en la figura 4.3, se detalla gráficamente los cambios porcentuales de la eficiencia de

voladura (avance por disparo) tanto con el empleo de detonadores pirotécnicos (% Eficiencia de disparo actual) los cuales se tiene un resumen de línea base del 86%, y como resultado con el empleo de detonadores electrónicos ikon III RX y eDev II, se tiene el porcentaje de la eficiencia de disparo adquiriendo un promedio de 91%. Siendo un indicador favorable debajo el límite del KPi's como meta 2021.

Tabla 4.3. *Compósito de eficiencia de voladura actual versus el empleo de detonadores electrónicos.*

Labores	Veta	Avance (m)	Eficiencia de avance %	Avance (m)	Eficiencia de avance %
Sn 783-E	Karim	2.70	77%	2.80	80%
Sn 783-W	Karim	3.10	89%	3.30	94%
Sn_249W	Rubí	2.95	84%	3.10	89%
Sn_249W	Rubí	3.12	89%	3.30	94%
Gal_425W	Leticia	3.25	93%	3.00	86%
Sn_589E	Rubí	3.20	91%	3.40	97%
Sn_589W	Rubí	3.20	91%	3.35	96%
Sn_589E	Rubí	3.00	86%	3.20	91%
Sn_135-5	María Luisa	2.90	83%	3.35	96%
Sn_589W	Rubí	3.00	86%	3.20	91%
Sn 783-E	Karim	2.80	80%	3.25	93%
Sn 783-W	Karim	3.21	92%	3.40	97%
Sn_249W	Rubí	2.88	82%	3.35	96%
Sn_126_3W	Ramal Alianza	2.78	79%	3.05	87%
Sn_783E	Karim	2.80	80%	3.05	87%
Sn_126_3W	Ramal Alianza	2.70	77%	3.05	87%
SN_135_3W	María Luisa	2.78	79%	3.10	89%
Sn_135_2W	María Luisa	3.11	89%	3.30	94%
Sn_135_3W	María Luisa	3.10	89%	3.40	97%
Sn_135-2W	María Luisa	3.30	94%	3.20	91%
Sn_783E	Karim	3.10	89%	3.10	89%
Sn_249E	Rubí	3.20	91%	3.30	94%
Sn_783E	Karim	2.92	83%	3.10	89%
Sn_135-2W	María Luisa	2.70	77%	2.80	80%
Sn_783E	Karim	3.10	89%	3.30	94%
Sn_135-2W	María Luisa	2.95	84%	3.10	89%
		3.00	86%	3.20	91%

Fuente. Datos adquiridos del área de PRODUCTIVIDAD, Minera Argentum, 2021.

4.1.4. Análisis de resultados de la influencia del sistema electrónico de voladura en la mejora del flujo económico de labores horizontales en minería subterránea

Tabla 4.4. *Compósito del Valor por tonelada real con implementación de detonadores electrónicos*

Sobre dilución			
Descripción	Un	Valor	
Sobre rotura	%	3%	
VPT programado	USD/t	100.96	
VPT real	USD/t	170.50	

Fuente. Datos adquiridos del área de PRODUCTIVIDAD, Minera Argentum, 2021

En la tabla 4.4, se indica el resultado total con voladura electrónica con las pruebas con detonadores electrónicos (Ikon III RX y eDev II), teniendo como valor de VPT promedio de 170.50 US\$/ton,

Tabla 4.5. *Flujo neto de línea base de labores programados con voladura pirotécnica*

Labores	Ton Prog	Ag gr/t A.M.	Cu %2 A.M.	Pb % A.M.	Zn % A.M.	USD/t	USD
Sn 783-E	0	6.36	0.02	0.18	1.11	0.0	-2,457
Sn 783-W	0	2.12	0.01	0.06	0.37	0.0	-2,821
Sn_249W	113	56.78	0.17	0.66	2.08	81.4	9,188
Sn_249W	113	56.78	0.17	0.66	2.08	81.4	9,188
Gal_425W	113	250.9	0.08	0.31	0.72	178.6	20,158
Sn_589E	0	29.52	0.05	0.11	1.03	0.0	-2,912
Sn_589W	0	16.4	0.04	0.12	1.03	0.0	-2,912
Sn_589E	113	27.84	0.09	0.59	5.78	111.1	12,542
Sn_135-5	113	38.83	0.04	0.44	1.75	0.0	-2,639
Sn_589W	113	50.43	0.09	0.49	2.07	0.0	-2,730
Sn_126_3W	0	27.16	0.06	0.24	3.42	0.0	-2,548
Sn_783E	0	27.46	0.05	0.06	0.59	0.0	-2,921
Sn_126_3W	103	55.55	0.07	0.42	3.89	98.0	10,059
SN_135_3W	0	43.54	0.01	0.67	0.74	0.0	-2,530
Sn_135_2W	0	20.47	0.06	0.35	1.92	0.0	-2,548
Sn_135_3W	0	23.14	0.05	0.59	2.42	0.0	-2,457
Sn_135-2W	103	68.04	0.11	0.44	4.29	113.4	11,631
Sn_783E	103	146.26	0.44	0.28	1.09	127.7	13,104
Sn_249E	0	67.1	0.12	0.13	1.14	0.0	-2,821
Sn_783E	103	151.32	0.47	0.01	0.54	121.0	12,416
Sn_135-2W	103	65.28	0.11	1	4.48	121.0	12,409
Sn_783E	103	233.71	0.25	0.66	0.81	176.2	18,082
Sn_135-2W	103	69.2	0.11	0.28	2.71	89.4	9,169
Suma							105, 650

Fuente. Datos adquiridos del área de PRODUCTIVIDAD, Minera Argentum, 2021.

De acuerdo con los parámetros analizados, en la tabla 4.5, se presenta el flujo neto de labores programadas (línea base) realizados con voladura pirotécnica (detonadores no eléctricos), una variación de Ingresos por las toneladas extraídas de US\$. 105,605, indicando valores positivos en los datos de línea base. Sin embargo, se evidencia que hay pérdidas (valores negativos) por labores donde el VPT es menor al cut off (<65 de VPT), siendo labores donde no genera beneficio por labor de avance. Cabe resaltar, que para la presente tabla se tuvo en cuenta el análisis con los detonadores no eléctricos en la fase de línea base (pretest).

Tabla 4.6. *Compósito del flujo económico adquirido con voladura con detonadores electrónicos.*

Labores	Ton Prog	Ag gr/t A.M.	Cu % A.M.	Pb % A.M.	Zn % A.M.	USD/t	USD
Sn 783-E	40	24.5	0.05	0.21	1.08	0	-2,548
Sn 783-W	50	4.24	0.02	0.12	0.74	0	-3,003
Sn_249W	50	56.78	0.17	0.66	2.08	81	9,188
Labores	Ton Prog	Ag gr/t A.M.	Cu % A.M.	Pb % A.M.	Zn % A.M.	USD/t	USD
Sn_249W	75	86.07	0.26	0.61	3.26	120	8,995
Gal_425W	50	308.76	0.04	1.42	1.63	241	12,046
Sn_589E	50	35.45	0.08	0.3	3.71	82	4,122
Sn_589W	50	200.56	0.33	1.78	11.37	326	16,301
Sn_589E	50	39.94	0.08	0.75	5.23	113	5,627
Sn_135-5	50	81.76	0.2	0.33	3.77	118	5,908
Sn_589W	50	72.05	0.14	1.92	5.28	151	7,555
Sn_126_3W	51	83.72	0.16	0.87	2.24	101	5,136
Sn_783E	50	215	0.08	0.1	0.9	152	7,660
Sn_126_3W	56	147.28	0.31	2.43	18.17	392	22,135
SN_135_3W	57	105.47	0.44	0.65	1.7	115	6,583
Sn_135_2W	48	93.04	0.12	1.09	3.33	124	5,922
Sn_135_3W	54	54.08	0.35	0.64	2.08	85	4,564
Sn_135-2W	54	154.9	0.24	0.99	3.21	165	8,925
Sn_783E	54	328.57	0.42	0.68	1.34	250	13,468
Sn_249E	54	41.56	0.14	0.24	3.08	78	4,234
Sn_783E	54	404.24	0.46	0.7	1.54	303	16,195
Sn_135-2W	51	269.21	0.21	0.91	3.18	234	12,003
Sn_783E	52	519.94	1.4	2.5	5.36	487	25,142
Sn_135-2W	54	86.02	0.2	0.89	3.42	121	6,583
Suma							202,738

Fuente. Datos adquiridos del área de PRODUCTIVIDAD, Minera Argentum, 2021.

De acuerdo con los parámetros analizados, en la tabla 4.6 se presenta el flujo económico de labores ejecutadas realizados con voladura electrónicas (Ikon III RX y eDev II), una variación de Ingresos por las toneladas extraídas de US\$. 202,738, indicando valores positivos en los datos de línea base. Sin embargo, se evidencia que hay pérdidas (valores negativos) por labores donde el VPT es menor al cut off (<65 de VPT), siendo labores donde no genera beneficio por labor de avance. Cabe resaltar, que para la presente tabla se tuvo en cuenta el análisis con los detonadores electrónicos en la fase de resultados (postest).

Tabla 4.7. *Generación de Flujo neto con voladura electrónica.*

Labores	US\$ Flujo económico postest	US\$ total de costos de Detonadores.	US\$ total de beneficio por avance	US\$ total de beneficio por shotcrete	US\$ flujo neto postest.
Sn 783-E	-2,548	295	91	28	-2,724
Sn 783-W	-3,003	345	182	28	-3,138
Sn_249W	9,188	383	137	28	8,970
Sn_249W	8,995	345	164	28	8,842
Gal_425W	12,046	320	-228	28	11,527
Sn_589E	4,122	358	182	28	3,974
Sn_589W	16,301	333	137	28	16,133
Sn_589E	5,627	333	182	28	5,504
Sn_135-5	5,908	333	410	28	6,013
Sn_589W	7,555	333	182	28	7,432
Sn_126_3W	5,136	345	410	28	5,228
Sn_783E	7,660	333	173	28	7,528
Sn_126_3W	22,135	333	428	28	22,258
SN_135_3W	6,583	383	246	28	6,474
Sn_135_2W	5,922	283	228	28	5,895
Sn_135_3W	4,564	283	319	28	4,628
Sn_135-2W	8,925	333	291	28	8,911
Sn_783E	13,468	333	173	28	13,336
Sn_249E	4,234	358	273	28	4,177
Sn_783E	16,195	320	-91	28	15,812
Sn_135-2W	12,003	308	0	28	11,724
Sn_783E	25,142	320	91	28	24,941
Sn_135-2W	6,583	333	164	28	6,442
Suma	202,738	7,635	4,141	644	199,888

Fuente. Datos adquiridos del área de PRODUCTIVIDAD, Minera Argentum, 2021.

De acuerdo con los parámetros analizados, en la tabla 4.7, las pruebas realizadas

con el empleo de los detonadores electrónicos (Ikon III Rx y eDev II) indicaron valores positivos, para su implementación, para lo cual se tuvo un flujo neto de US\$. 199,888, siendo el costo de los detonadores electrónicos (compensando con el costo de los DNE) un total de US\$.7,635 por adquisición de accesorios, además, se tiene en cuenta ganancias en relación con el avance, Shotcrete de 4,141 US\$. y 644 US\$., generando utilidades de 199,888 US\$., permitiendo generar su implementación.

Tabla 4.8. *Compósito del flujo neto con voladura con DNE versus voladura con DE.*

Periodos	US\$ flujo neto con DNE	US\$ flujo neto con DE
Inversión – 0	-690	-8,325
1	-2,457	-2,429
2	-2,821	-2,793
3	9,188	9,352
4	9,188	9,187
5	20,158	11,847
6	-2,912	4,332
7	-2,912	16,465
8	12,542	5,837
9	-2,639	6,346
10	-2,730	7,765
11	-2,548	5,573
12	-2,921	7,860
13	10,059	22,591
14	-2,530	6,856
15	-2,548	6,178
16	-2,457	4,911
17	11,631	9,244
18	13,104	13,669
19	-2,821	4,535
20	12,416	16,132
21	12,409	12,031
22	18,082	25,261
23	9,169	6,775
	105,605	207,523

. Fuente. Datos adquiridos del área de PRODUCTIVIDAD, Minera Argentum, 2021.

Finalmente, se tiene en cuenta, los valores generados en cada parámetro analizado, teniendo en cuenta gastos amortizados por adquisición de detonadores electrónicos,

Tabla 4.9. *Análisis VAN y TIR.*

Parámetros	Pretest	Postest
Tasa de actualización	10%	10%
VAN	31,225	53,836
TIR	91%	41%

Fuente. Elaboración propia, 2021.

No obstante, se procedió a realizar un análisis del VAN y TIR para un flujo de caja económica proyectado, con la finalidad de conocer la viabilidad que conlleva la implementación de detonadores electrónicos en minas subterráneas. Las proyecciones realizadas se basaron en las 23 voladuras realizadas, los cuales, están establecidos en 3 meses por los periodos analizados.

En la tabla 4.9, se indica los valores adquiridos del VAN y TIR del pretest (voladura con detonadores no eléctricos) y postest (voladura con detonadores electrónicos) de acuerdo con la tasa de actualización o tasa de recuperación de inversión, logrando adquirir como resultado un VAN de \$ 53,836 y un TIR de 41%, indicando viabilidad en la inversión de detonadores electrónicos para voladuras en minería subterránea.

4.2. Discusión de resultados

De acuerdo a los resultados adquiridos, se puede confirmar la hipótesis planteada que el sistema electrónico de voladura influye en la mejora de dilución, sobre excavación, avance por disparo y flujo económico en labores horizontales en minería subterránea, debido a que al momento de aplicar este nuevo sistema permite comparar tanto las ventajas y/o desventajas relacionados a cada parámetro estudiado, lo cual es corroborado por Say (2017), en su investigación “*The application of Wireless Blasting in Sublevel Caving Mines*” el cual realizó un análisis, comparación y evaluación de un sistema de rendimiento de iniciación inalámbrico en comparación con sistemas de

iniciación por cable en operaciones de explotación Sub Level Caving, indicando óptimos resultados en los tiempos de precisión con detonadores eléctricos en un ± 2 ms a diferencia de detonadores pirotécnicos que arrojaban una precisión de retardo de ± 9 ms, por otra parte generaban mayor precisión en los anillos volados a diferencia del empleo de detonadores no eléctricos, concluyendo finalmente que el empleo de la tecnología inalámbrica mas el empleo de detonadores eléctricos genera mayor precisión en la detonación evitando problemas trascendentales en las labores, además de mejorar la fragmentación rocosa y una mayor seguridad en el entorno laboral.

De acuerdo al primer objetivo específico, Determinar la influencia del sistema electrónico de voladura en la mejora del porcentaje de dilución de labores horizontales en minería subterránea, se obtuvieron resultados insitu con detonadores no eléctricos DNE como un total de 2,462 toneladas de mineral por un Valor Por Tonelada de Ancho de Sección promedio de 79.41 US\$/tn explotada, no siendo económicamente rentable para su extracción al 100% (por voladuras con VPT menor al cutoff); sin embargo, el empleo de detonadores electrónicos permitió adquirir un total de 1,205 toneladas explotadas de mineral generando consigo un valor por tonelada de 170.50 US\$/tn, generando una recuperación del 115% a diferencia de la explotación a ancho de sección completa. Si bien, el empleo de detonadores eléctricos genera un cambio significativo en la dilución de mineral pero a su vez se deben analizar otros aspectos tal como lo indica Calixto (2015), el cual indica que el planeamiento de producción de 1500t/día se logra cumplir pero generando leyes de cabeza por muy debajo de lo estipulado, para lo que se tuvo en cuenta la sección de diseño, levantamiento topográfico de la zona mineralizada y de las labores de extracción, esto con el fin de permitir mejorar el diseño de minado, que para tal caso de un diseño de 4x4m se

rediseño a una sección de 3.5 x 3.5m lo cual permitió mejorar la ley de cabeza y por ende un aumento del VPN de 71.87%, concluyendo que a pesar del empleo de detonadores pirotécnicos, es viable el proyecto del uso de voladura electrónica para labores con las condiciones mencionadas.

Respecto al segundo objetivo, determinar la influencia del sistema electrónico de voladura en la mejora de sobre excavación de caja techo de labores horizontales en minería subterránea, se tuvo en cuenta que se mantenían secciones programadas de 11.4, con un porcentaje de sobre excavación de línea base de 10%, obteniendo como resultados en secciones donde se aplicaba voladura pirotécnica secciones promedio de 12.90 m² con porcentajes de sobre excavación de 13%, y al implementarse detonadores electrónicos eDev II se obtuvieron secciones promedio de 11.65 m² y con porcentajes de sobre excavación del 3%, afirmando la hipótesis planteada, lo cual es confirmado por los autores Guan, Guo, Mou, y Shi (2019) en su artículo “Tunnel millisecond-delay controlled blasting based on the delay time calculation method and digital electronic detonators to reduce structure vibration effects”, indicando que los tiempos de retardo de taladros mantienen una efectividad sobre la rotura de rocas y con la formación simultánea de una nueva cara libre. Así mismo, indican que la velocidad de vibración inducida por voladura en los orificios cortado fue dada de solo 0.46 – 0.51 cm/s a diferencia cuando se contaba con un tiempo de retardo de 6 ms o mucho se generaban fallas en el efecto de rotura de rocas. Con respecto a los taladros más fáciles y los de la periferia, el tiempo de retardo óptimo de todos ellos fue de 5 ms. La velocidad máxima vertical de las partículas se redujo de 2.974 cm / s a 0.901 cm / s con detonadores electrónicos digitales disminuyendo en un 69.7% la velocidad de detonación a diferencia de los detonadores no electrónicos, por lo cual el tiempo de

retardo en los sistemas electrónicos de voladura son mucho más efectivos y precisos, minimizando las vibraciones en voladura subterránea además se genera sobre excavaciones en las labores.

Respecto al tercer objetivo específico, determinar la influencia del sistema electrónico de voladura en la mejora de avance por disparo de labores horizontales en minería subterránea, se indicó que el avance por disparo estuvo en relación a la longitud de perforación y la eficiencia de línea base, para lo cual en una primera instancia se tuvo en cuenta una longitud de perforación de 3.50m con una eficiencia de voladura del 86% adquiriendo avances de 3 metros, los cuales fueron mejorados, teniendo en cuenta parámetros de roca, tipo de explosivo a emplear y buzamiento de la veta, obteniendo resultados favorables en longitud de perforación promedio de 3.50 m con eficiencias promedio del 91%, generando avances de hasta 3.20 metros, afirmando la hipótesis planteada que el sistema electrónico de voladura influye en la mejora de avance por disparo de labores horizontales en minería subterránea, lo cual es corroborado por los autores Pomaylle y Vazques (2013) que indican que el sistema de iniciación mixto eléctrico frente a un sistema convencional genera mayor avance en la profundización de labores, de hasta un 31.96% por disparo, de la misma forma logra reducir hasta en un 23.91% la cantidad de disparos empleados (70 disparos con sistema eléctrico mixto y no eléctrico, y 92 disparos con sistemas convencionales), así mismo redujo hasta en un 10% la sobrerotura, indicando que el empleo de los sistemas eléctricos permiten ser más rápidos y más fáciles de manejar que los sistemas convencionales gracias a su correcto cumplimiento en el proceso de voladura y viéndose desempeñado en la gestión de SST.

Finalmente de acuerdo al último objetivo, determinar la influencia del sistema electrónico de voladura en la mejora del flujo económico de labores horizontales en minería subterránea, se obtuvo como resultado que el empleo de detonadores electrónicos eDev II generan un costo de adquisición de 332.5 US\$/disp. a diferencia del empleo de detonadores no electrónicos que generan un costo de 30 US\$/disp., pero que permiten consigo generar márgenes de ganancia en el avance de hasta 159.3 US\$/disp., respecto al shotcrete genera márgenes de ganancia de 28 US\$/disp., generando utilidades de \$4,429 US\$/disp., además de un VAN y un TIR de \$. 53,836 y 41% respectivamente, afirmando la presente hipótesis que el sistema electrónico de voladura influye en el flujo económico de labores horizontales en minería subterránea, lo cual es corroborado por los autores Tomas y Pizarro (2015) en su investigación “Optimización de la voladura mediante el uso de detonadores de microretardo en explotaciones mineras subterráneas en consorcio MINERO HORIZONTE S.A.” indicando que el empleo de detonadores electrónicos genera un costo por total de explosivos de US\$. 127,930.00 con una producción al mes de 145,253.17 tn de mineral, generando una optimización del proceso de voladura y alcanzando una eficiencia económica de US\$. 0.88 por Tn de mineral generando un aumento de las utilidades económicas, a su vez Romero (2016) indica que el empleo de detonadores electrónicos es mucho más costoso generando en su presente investigación costos por taladro de US\$. 4.052 con detonadores electrónicos a diferencia del empleo de detonadores no eléctricos que genera costos de hasta US\$. 2.311, pero su costeo es recuperado por los procesos posteriores a la voladura que son la productividad en el proceso de chancado y molienda y el carguío de material adquiriendo mejoras significativas, indicando que el empleo de detonadores electrónicos en una fase inicial

genera un alto costo de adquisición pero que son compensados por el mejoramiento de los indicadores evaluados previamente.

4.3. Contrastación de Hipótesis

Se ha determinado que los detonadores electrónicos mantienen una alta influencia en la voladura, permitiendo consigo minimizar los problemas de dilución, sobre excavación, avance por disparo y flujo económico, para tal caso se determinó dos aspectos, las pruebas con detonadores electrónicos Ikon III Rx y la implementación de detonadores electrónicos eDev II permite mantener secciones promedio de 11.69 m² y 11.65 m² respectivamente y porcentajes de sobre excavación del 3%, de la misma forma mejora el avance por disparo del cual se puede lograr obtener hasta una eficiencia de voladura del 91% para ambos detonadores con longitudes de perforación promedio de 3.52 m y 3.50 m previamente al uso de detonadores electrónicos Ikon III Rx y eDev II respectivamente y avances de hasta 3.20 m, respecto a la dilución, se tuvo en cuenta que la explotación a sección completa con detonadores no eléctricos permiten extraer altos tonelajes de material volado de hasta 2,462 tn pero consigo genera mayor dilución de mineral, minimizando las leyes de los metales y consigo reduciendo el Valor Por Tonelada de hasta 79.41 US\$/tn, sin embargo, la implementación de detonadores electrónicos permiten generar extraer selectivamente el material mineralizado del estéril logrando realizar una voladura de segregación y consigo extraer hasta un total de 1,205 tn de mineral en las pruebas con un Valor Por Tonelada de 170.50 \$/tn,, generando una recuperación de hasta el 115% y respecto al flujo económico, el empleo de dichos detonadores electrónicos permiten generar utilidades de hasta 4,429 US\$/disp. En consecuencia, podemos decir que: “El sistema

electrónico de voladura influye significativamente en la mejora de dilución, sobre excavación, avance por disparo y flujo económico en labores horizontales en minería subterránea”.

4.3.1. Contraste de Hipótesis Específica 1

H₁: La implementación de los detonadores electrónicos, mejorará a la dilución (VPT) en labores horizontales en minería subterránea.

Con los resultados de la presente investigación, utilizamos la herramienta estadística de T de Wilcoxon, por ello es necesario utilizar el software SPSS.

Prueba Estadística de T de Wilcoxon para muestras relacionadas no paramétricas

Dicha prueba paramétrica compara dos muestras relacionadas, por ende, compara muestras de un antes y un después en escenarios diferentes. Para esta prueba se debe tener en cuenta que para ambos escenarios tenga la aplicación de un componente transformador, genere la condición de diferencia y permita validar la sostenibilidad del cambio a través de la significancia estadística con distribución no normal.

Para este caso específico compararemos la dilución (VPT) en labores horizontales con detonadores electrónicos.

a) Hipótesis Estadística

- **Ho:** Hipótesis Nula: No existe mejora significativa al implementar los detonadores electrónicos, para mejorar la dilución (VPT) en labores horizontales en minería subterránea, 2021.
- **Ha:** Hipótesis Alternante: Existe mejora significativa al implementar los detonadores electrónicos, para mejorar la dilución (VPT) en labores horizontales

en minería subterránea, 2021.

En el siguiente cuadro mostramos los datos de la dilución (VPT) en las labores horizontales.

Pretest: Este periodo representa antes de la implementación de los detonadores electrónicos de voladura.

Posttest: Este periodo representa después de la implementación de los detonadores electrónicos de voladura.

➤ ANÁLISIS DE PRIMER OBJETIVO ESPECÍFICO

Tabla 4. 10. *Análisis estadísticos de la mejora del porcentaje de dilución.*

Muestra	VPT V.A.	VPT V.E.
1	23.01	35.76
2	7.67	15.34
3	81.41	81.41
4	81.41	119.93
5	178.61	240.92
6	36.79	82.43
7	28.27	326.01
8	111.13	112.53
9	56.74	118.16
10	71.60	151.09
11	70.85	101.28
12	28.34	152.46
13	98.04	391.91
14	46.76	115.2
15	46.49	123.59
16	57.82	84.51
17	113.36	164.57
18	127.72	250.24
19	64.6	78.21
20	121.01	302.6
21	120.95	233.94
22	176.24	487.25
23	89.37	120.99

Fuente. Elaboración propia, 2021.

Así mismo, se presenta los datos para el análisis estadístico con el software SPSS,

teniendo en cuenta el porcentaje de línea base de dilución actual mediante el resultado de VPT con voladura pirotécnica y la dilución propuesta mediante el resultado de VPT empleando sistema electrónico para voladura con el modelo no paramétrico de T de Wilcoxon.

	DLpretest	DLpostest	var	var	var	var	var
1	.23	.36					
2	8	15					
3	81	81					
4	81	120					
5	179	241					
6	37	82					
7	28	325					
8	111	113					
9	57	118					
10	72	151					
11	71	101					
12	28	152					
13	98	392					
14	47	115					
15	46	124					
16	58	85					
17	113	165					
18	128	250					
19	65	78					
20	121	303					
21	121	234					
22	176	487					
23	89	121					
24							
25							

Figura 4.1. Base de datos ingresados al software SPSS – VPT en pretest y postest

Fuente: SPSS - IBM

Determinando de prueba de Normalidad en SPSS

Valor $\alpha = 0.05$ (Al 95% de confiabilidad)

Criterio para el cálculo de normalidad

P-valor $\geq \alpha$, por lo tanto, los datos siguen de una distribución normal.

P-valor $< \alpha$, por lo tanto, los datos no siguen de una distribución normal.

Calculando en el SPSS:

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DLpretest	0,108	23	0,200*	0,945	23	0,225
DLpostest	0,204	23	0,014	0,872	23	0,007

*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Figura 4.2. Prueba de Normalidad

Fuente: SPSS - IBM

De los datos obtenidos se tiene:

Tabla 4. 11. Análisis de la normalidad de los datos.

Normalidad	Valor	α	Resultado
P-valor Pretest	0.225	0.05	Mayor, Los datos siguen una distribución normal
P-valor Postest	0.007	0.05	Menor, Los datos no siguen una distribución normal

Fuente. Elaboración propia, 2021.

Así mismo, se presenta los datos para el análisis de la normalidad, teniendo en cuenta 2 factores tanto en el Valor Por Tonelada por Voladura Actual (pretest) y el Valor Por Tonelada por Voladura electrónica (postest), por ello nos resulta que **no provienen de una distribución normal**. Por ende, se realizará la prueba con modelos no paramétricos, usando el modelo de T Wilcoxon en el software SPSS.

Realizando prueba de T de Wilcoxon en SPSS

	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre rangos con DLpretest y DLpostest es igual a 0.	Prueba de Wilcoxon de los signos de muestras relacionadas	,001	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es ,05.

Figura 4.3. Prueba de muestras emparejadas o relacionadas con T de Wilcoxon

Fuente: SPSS - IBM

Decisión Estadística:

El criterio para decidir:

P-valor $> \alpha$, entonces se acepta la Hipótesis Nula, no hay diferencia significativa en los resultados de pretest y postest.

P-valor $\leq \alpha$, entonces se acepta la hipótesis Alternativa, si hay diferencia significativa en los resultados de pretest y postest.

De los datos de obtiene

Tabla 4. 12. Conclusión de la prueba de T de Wilcoxon.

Prueba No Paramétrica	Valor	α	Resultado
P- Valor Dilución	0.001	0.05	Se acepta la hipótesis alternativa, si hay diferencia significativa en los resultados de Pretest y Postest.

. Fuente. Elaboración propia, 2021.

De acuerdo con el análisis de la T de Wilcoxon el tercer objetivo específico (dilución - VPT), se indica que el valor de p-valor (0.001) es menor al valor crítico para α (0.50), indicando que el empleo de detonadores electrónicos si influye en la dilución – VPT en las labores horizontales en minería subterránea, logrando mejorar el VPT y recuperar labores no planificadas como mineral.

4.3.2. Contraste de Hipótesis Específica 2

H₂: La implementación de los detonadores electrónicos, mejorará % de sobre excavación en labores horizontales en minería subterránea.

Con los resultados de la presente investigación, utilizamos la herramienta estadística de T de Wilcoxon, por ello es necesario utilizar el software SPSS.

Prueba Estadística de T de Wilcoxon para muestras relacionadas no paramétricas

Dicha prueba paramétrica compara dos muestras relacionadas, por ende, compara muestras de un antes y un después en escenarios diferentes. Para esta prueba se debe tener en cuenta que para ambos escenarios tenga la aplicación de un componente transformador, genere la condición de diferencia y permita validar la sostenibilidad del cambio a través de la significancia estadística con distribución no normal

Para este caso específico compararemos el % de sobre excavación en labores horizontales con detonadores electrónicos.

a) Hipótesis Estadística

- Ho: Hipótesis Nula: No existe reducción significativa al implementar los detonadores electrónicos, para mejorar el % de sobre excavación en labores horizontales en minería subterránea, 2021.
- Ha: Hipótesis Alternante: Existe reducción significativa al implementar los detonadores electrónicos, para mejorar el % de sobre excavación en labores horizontales en minería subterránea, 2021.

En el siguiente cuadro mostramos los datos de % de sobre excavación en las labores horizontales.

Pretest: Este periodo representa antes de la implementación de los detonadores

electrónicos de voladura.

Postest: Este periodo representa después de la implementación de los detonadores electrónicos de voladura.

➤ **ANÁLISIS DE SEGUNDO OBJETIVO ESPECIFICO**

Tabla 4. 13. *Análisis de datos en relación con sobre excavación.*

Muestra	% de sobre excavación de línea base	% de sobre excavación con voladura pirotécnica	% de sobre excavación con voladura electrónica
1	0.10	0.07	0.00
2	0.10	0.36	0.03
3	0.10	0.07	0.03
4	0.10	0.03	0.00
5	0.10	0.17	0.03
6	0.10	0.22	0.08
7	0.10	0.13	0.02
8	0.10	0.06	0.03
9	0.10	0.12	0.03
10	0.10	0.06	0.03
11	0.10	0.15	0.03
12	0.10	0.23	0.02
13	0.10	0.11	0.03
14	0.10	0.09	0.00
15	0.10	0.15	0.03
16	0.10	0.13	0.00
17	0.10	0.09	0.02
18	0.10	0.13	0.03
19	0.10	0.2	0.05
20	0.10	0.13	0.03
21	0.10	0.12	0.03
22	0.10	0.06	0.00
23	0.10	0.11	0.03

. Fuente. Elaboración propia, 2021.

Así mismo, se presenta los datos para el análisis estadístico con el software SPSS, teniendo en cuenta el porcentaje de línea base de sobre excavación con voladura pirotécnica y el porcentaje de sobre excavación empleando sistema electrónico para

voladura con el modelo no paramétrico de T de Wilcoxon.

Archivo Edición Ver Datos Transformar Analizar Marketing-directo Gráficos Utilidades Ventana Ayuda										
37										
	SEpretest	SEpostest	var							
1	7	0								
2	36	3								
3	7	3								
4	3	0								
5	17	3								
6	22	8								
7	13	2								
8	6	3								
9	12	3								
10	6	3								
11	15	3								
12	23	2								
13	11	3								
14	9	0								
15	15	3								
16	13	0								
17	9	2								
18	13	3								
19	20	5								
20	13	3								
21	12	3								
22	6	0								
23	11	3								
24										
25										
26										
27										
28										
29										

Figura 4.4. Base de datos ingresados al software SPSS - % de sobre excavación en pretest y postest.

Fuente: SPSS - IBM

Determinando de prueba de Normalidad en SPSS

Valor $\alpha = 0.05$ (Al 95% de confiabilidad)

Criterio para el cálculo de normalidad

P-valor $\geq \alpha$, por lo tanto, los datos siguen de una distribución normal.

P-valor $< \alpha$, por lo tanto, los datos no siguen de una distribución normal.

Calculando en el SPSS:

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	Gl	Sig.
SE pretest	0,196	23	0,023	0,879	23	0,010
SE postest	0,309	23	0,000	0,785	23	0,000

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Figura 4. 5. Prueba de Normalidad

Fuente: SPSS - IBM

De los datos obtenidos se tiene:

Tabla 4. 14. Análisis de la normalidad de los datos.

Normalidad	Valor	α	Resultado
P-valor Pretest	0.010	0.05	Menor, Los datos no siguen una distribución normal
P-valor Postest	0.000	0.05	Menor, Los datos no siguen una distribución normal

Fuente. Elaboración propia, 2021.

Así mismo, se presenta los datos para el análisis de la normalidad, teniendo en cuenta 2 factores tanto en el % de sobre excavación actual (pretest) y el sobre excavación con voladura electrónica (postest), por ello nos resulta que **no provienen de una distribución normal**. Por ende, se realiza la prueba con el modelo de T Wilcoxon con el software SPSS.

Realizando prueba de T de Wilcoxon en SPSS

Resumen de prueba de hipótesis				
	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre SEpretest y SEpostest es igual a 0.	Prueba de Wilcoxon de los rangos con signo de muestras relacionadas	,000	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es ,05.

Figura 4.6. Prueba de muestras emparejadas o relacionadas con T de Wilcoxon.

Fuente: SPSS - IBM

El criterio para decidir:

P-valor $> \alpha$, entonces se acepta la Hipótesis Nula, no hay diferencia significativa en los resultados de pretest y postest.

P-valor $\leq \alpha$, entonces se acepta la hipótesis Alternativa, si hay diferencia significativa en los resultados de pretest y postest.

De los datos de obtiene

Tabla 4. 15. *Conclusión de la prueba de T de Wilcoxon.*

<i>Prueba No Paramétrica</i>	<i>Valor</i>	<i>α</i>	<i>Resultado</i>
P- Valor Sobre excavación	0.00	0.05	Se acepta la hipótesis alternativa, si hay diferencia significativa en los resultados de Pretest y Postest.

Fuente. Elaboración propia, 2021.

De acuerdo con el análisis de la T de Wilcoxon el primer objetivo específico (% de sobre excavación), se indica que el valor de p-valor (0.00) es menor al valor crítico para α (0.50), indicando que el empleo de detonadores electrónicos si influye en la sobre excavación de las labores, logrando reducir en gran porcentaje sin sobre pasar el límite permisible establecido.

4.3.3. Contraste de Hipótesis Específica 3

H₃: La implementación de los detonadores electrónicos, mejorará la eficiencia de disparo en labores horizontales en minería subterránea.

Con los resultados de la presente investigación, utilizamos la herramienta estadística de T Student, por ello es necesario utilizar el software SPSS.

Prueba Estadística de T Student para muestras relacionadas paramétricas

Dicha prueba paramétrica compara dos muestras relacionadas, por ende, compara muestras de un antes (% eficiencia de disparo actual) y un después (% eficiencia de

disparo con voladura electrónica) en escenarios diferentes. Para esta prueba se debe tener en cuenta que para ambos escenarios tenga la aplicación de un componente transformador, genere la condición de diferencia y permita validar la sostenibilidad del cambio a través de la significancia estadística con distribución normal

Para este caso específico compararemos la eficiencia de disparo en labores horizontales con detonadores electrónicos.

a) Hipótesis Estadística

- Ho: Hipótesis Nula: No existe reducción significativa al implementar los detonadores electrónicos, para mejorar la eficiencia de disparo en labores horizontales en minería subterránea, 2021.
- Ha: Hipótesis Alternante: Existe reducción significativa al implementar los detonadores electrónicos, para mejorar la eficiencia de disparo en labores horizontales en minería subterránea, 2021.

En el siguiente cuadro mostramos los datos de la eficiencia de disparo en las labores horizontales.

Pretest: Este periodo representa antes de la implementación de los detonadores electrónicos de voladura.

Posttest: Este periodo representa después de la implementación de los detonadores electrónicos de voladura.

➤ **ANÁLISIS DE TERCER OBJETIVO ESPECIFICO**

Tabla 4. 16. *Análisis de datos en relación con avance por disparo.*

Muestra	% de eficiencia de línea base
1	0.77
2	0.89
3	0.84
4	0.89
5	0.93
6	0.91
7	0.91
8	0.86
9	0.83
10	0.86
11	0.80
12	0.92
13	0.82
14	0.79
15	0.80
16	0.77
17	0.79
18	0.89
19	0.89
20	0.94
21	0.89
22	0.91
23	0.83

Fuente. Elaboración propia, 2021.

Así mismo, se presenta los datos para el análisis estadístico con el software SPSS, teniendo en cuenta el porcentaje de línea base de eficiencia de disparo con voladura pirotécnica y el porcentaje eficiencia de disparo empleando sistema electrónico para voladura con el modelo paramétrico de T Student.

	AVpretest	AVpostest	var	var	var	var	var
1	2,70	2,80					
2	3,10	3,30					
3	2,95	3,10					
4	3,12	3,30					
5	3,25	3,00					
6	3,20	3,40					
7	3,20	3,35					
8	3,00	3,20					
9	2,90	3,35					
10	3,00	3,20					
11	2,80	3,25					
12	3,21	3,40					
13	2,88	3,35					
14	2,78	3,05					
15	2,80	3,05					
16	2,70	3,05					
17	2,78	3,10					
18	3,11	3,30					
19	3,10	3,40					
20	3,30	3,20					
21	3,10	3,10					
22	3,20	3,30					
23	2,92	3,10					
24							

Figura 4. 7. Base de datos ingresados al software SPSS – eficiencia de disparo en pretest y postest.

Fuente: SPSS - IBM

Determinando de prueba de Normalidad en SPSS

Valor $\alpha = 0.05$ (Al 95% de confiabilidad)

Criterio para el cálculo de normalidad

P-valor $\geq \alpha$, por lo tanto, los datos siguen de una distribución normal.

P-valor $< \alpha$, por lo tanto, los datos no siguen de una distribución normal.

Calculando en el SPSS:

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
AVpretest	0,175	23	0,067	0,937	23	0,155
AVpostest	0,169	23	0,087	0,923	23	0,078

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Figura 4. 8. Prueba de Normalidad

Fuente: SPSS - IBM

De los datos obtenidos se tiene:

Tabla 4. 17. Análisis de la normalidad de los datos.

Normalidad	Valor	α	Resultado
P-valor Pretest	0.155	0.05	Mayor, Los datos siguen una distribución normal
P-valor Postest	0.078	0.05	Mayor, Los datos siguen una distribución normal

Fuente. Elaboración propia, 2021.

Así mismo, se presenta los datos para el análisis de la normalidad, teniendo en cuenta 2 factores tanto en la eficiencia de disparo actual (pretest) y la eficiencia de disparo con voladura electrónica (postest), por ello nos resulta que **proviene de una distribución normal**. Por ende, se realizará la prueba en el software SPSS.

Realizando prueba de T Student en SPSS

Prueba de muestras relacionadas								
	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Des. típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza				
				Inferior	Superior			
AVpretest - AVpostest	-,19783	,16660	,03474	-,26987	-,12578	-5,695	22	,000

Figura 4. 9. Prueba de muestras emparejadas o relacionadas con T Student.

Fuente: SPSS - IBM

El criterio para decidir:

$P\text{-valor} > \alpha$, entonces se acepta la Hipótesis Nula, no hay diferencia significativa en los resultados de pretest y postest.

$P\text{-valor} \leq \alpha$, entonces se acepta la hipótesis Alternativa, si hay diferencia significativa en los resultados de pretest y postest.

De los datos de obtiene:

Tabla 4. 18. *Conclusión de la prueba de T de Student.*

<i>Prueba No Paramétrica</i>	<i>Valor</i>	<i>α</i>	<i>Resultado</i>
P- Valor Sobre excavación	0.00	0.05	Se acepta la hipótesis alternativa, si hay diferencia significativa en los resultados de Pretest y Postest.

Fuente. Elaboración propia, 2021.

De acuerdo con el análisis de la T Student el segundo objetivo específico (eficiencia de disparo), se indica que el valor de p-valor (0.00) es menor al valor crítico para α (0.50), indicando que el empleo de detonadores electrónicos si influye en la eficiencia de disparo de las labores horizontales, logrando mejorar la eficiencia de voladura.

4.3.4. Contraste de Hipótesis Específica 4

H₄: La implementación de los detonadores electrónicos, mejorará el flujo económico en labores horizontales en minería subterránea.

Con los resultados de la presente investigación, utilizamos la herramienta estadística de T de Wilcoxon, por ello es necesario utilizar el software SPSS.

Prueba Estadística de T de Wilcoxon para muestras relacionadas no paramétricas

Dicha prueba no paramétrica compara dos muestras relacionadas, por ende, compara muestras de un antes y un después en escenarios diferentes. Para esta prueba

se debe tener en cuenta que para ambos escenarios tenga la aplicación de un componente transformador, genere la condición de diferencia y permita validar la sostenibilidad del cambio a través de la significancia estadística con distribución normal

Para este caso específico compararemos el flujo económico (ingresos y egresos) en labores horizontales con detonadores electrónicos.

a) Hipótesis Estadística

- Ho: Hipótesis Nula: No existe mejora significativa al implementar los detonadores electrónicos, para mejorar el flujo económico en labores horizontales en minería subterránea, 2021.
- Ha: Hipótesis Alternante: Existe mejora significativa al implementar los detonadores electrónicos, para mejorar el flujo económico en labores horizontales en minería subterránea, 2021.

En el siguiente cuadro mostramos los datos del resultado del flujo de beneficios versus el flujo de costos en las labores horizontales.

Pretest: Este periodo representa antes de la implementación de los detonadores electrónicos de voladura.

Posttest: Este periodo representa después de la implementación de los detonadores electrónicos de voladura.

➤ **ANÁLISIS DE CUARTO OBJETIVO ESPECÍFICO**

Tabla 4. 19. *Análisis estadísticos de la mejora del flujo neto.*

Muestra	Flujo Neto V.A.	Flujo Neto V.E.
1	(\$2,457)	(\$2,429)
2	(\$2,821)	(\$2,793)
3	\$9,188	\$9,352
4	\$9,188	\$9,187
5	\$20,158	\$11,847
6	(\$2,912)	\$4,332
7	(\$2,912)	\$16,465
8	\$12,542	\$5,837
9	(\$2,639)	\$6,346
10	(\$2,730)	\$7,765
11	(\$2,548)	\$5,573
12	(\$2,921)	\$7,860
13	\$10,059	\$22,591
14	(\$2,530)	\$6,856
15	(\$2,548)	\$6,178
16	(\$2,457)	\$4,911
17	\$11,631	\$9,244
18	\$13,104	\$13,669
19	(\$2,821)	\$4,535
20	\$12,416	\$16,132
21	\$12,409	\$12,031
22	\$18,082	\$25,261
23	\$9,169	\$6,775

Fuente. Elaboración propia, 2021.

Así mismo, se presenta los datos para el análisis estadístico con el software SPSS, teniendo en cuenta el porcentaje de línea base del flujo neto mediante el resultado de US\$ generados con voladura pirotécnica y el flujo neto mediante el resultado de US\$ empleando sistema electrónico para voladura con el modelo no paramétrico de T de Wilcoxon.

	FEpretest	FEpostest	var	var	var	var	var
1	-690	-8325					
2	-2457	-2429					
3	-2821	-2793					
4	9188	9352					
5	9188	9187					
6	20158	11847					
7	-2912	4332					
8	-2912	16465					
9	12542	5837					
10	-2639	6346					
11	-2730	7765					
12	-2548	5573					
13	-2921	7860					
14	10059	22591					
15	-2530	6856					
16	-2548	6178					
17	-2457	4911					
18	11631	9244					
19	13104	13669					
20	-2821	4535					
21	12416	16132					
22	12409	12031					
23	18082	25261					
24	9169	6775					

Figura 4. 10. Base de datos ingresados al software SPSS – Flujo neto en pretest y postest.

Fuente: SPSS - IBM

Determinando de prueba de Normalidad en SPSS

Valor $\alpha = 0.05$ (Al 95% de confiabilidad)

Criterio para el cálculo de normalidad

P-valor $\geq \alpha$, por lo tanto, los datos siguen de una distribución normal.

P-valor $< \alpha$, por lo tanto, los datos no siguen de una distribución normal.

Calculando en el SPSS:

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
FEpretest	0,302	24	0,000	0,789	24	0,000
FEpostest	0,165	24	0,089	0,950	24	0,275

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Figura 4. 11. Prueba de Normalidad

Fuente: SPSS - IBM

De los datos obtenidos se tiene:

Tabla 4. 20. Análisis de la normalidad de los datos.

Normalidad	Valor	α	Resultado
P-valor Pretest	0.00	0.05	Menor, Los datos no siguen una distribución normal
P-valor Postest	0.275	0.05	Mayor, Los datos siguen una distribución normal

Fuente. Elaboración propia, 2021.

Así mismo, se presenta los datos para el análisis de la normalidad, teniendo en cuenta 2 factores tanto en el flujo neto Actual (pretest) y el flujo neto con Voladura electrónica (postest), por ello nos resulta que **no provienen de una distribución normal**. Por ende, se realizará la prueba con modelos no paramétricos, usando el modelo de T Wilcoxon en el software SPSS.

Realizando prueba de T de Wilcoxon en SPSS

Resumen de prueba de hipótesis

	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión
1	La mediana de las diferencias entre rangos con FEpretest y FEpostest es igual a 0.	Prueba de Wilcoxon de los signos de muestras relacionadas	,040	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es ,05.

Figura 4. 12. Prueba de muestras emparejadas o relacionadas con T de Wilcoxon

Fuente: SPSS - IBM

Decisión Estadística:

El criterio para decidir:

P-valor $> \alpha$, entonces se acepta la Hipótesis Nula, no hay diferencia significativa en los resultados de pretest y postest.

P-valor $\leq \alpha$, entonces se acepta la hipótesis Alternativa, si hay diferencia significativa en los resultados de pretest y postest.

De los datos de obtiene

Tabla 4. 21. Conclusión de la prueba de T de Wilcoxon.

Prueba No Paramétrica	Valor	A	Resultado
P- Valor Dilución	0.040	0.05	Se acepta la hipótesis alternativa, si hay diferencia significativa en los resultados de Pretest y Postest.

Fuente. Elaboración propia, 2021.

De acuerdo con el análisis de la T de Wilcoxon el cuarto objetivo específico (Flujo neto), se indica que el valor de p-valor (0.040) es menor al valor crítico para α (0.50), indicando que el empleo de detonadores electrónicos si influye en el flujo neto en las labores horizontales en minería subterránea, logrando mejorar el flujo de beneficio a comparación del flujo de costos y recuperar labores no planificadas como mineral.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Se concluye que la implementación del sistema electrónico de voladura genera una alta eficiencia en las labores subterráneas, ya que genera una mejora en los parámetros establecidos de dilución, aumentando las leyes del mineral, respecto a la sobre excavación, se logró minimizar de acuerdo a la línea base establecida del 10%, en relación al avance por disparo se logró aumentar hasta en un 5% de su fase inicial en las labores y finalmente el flujo económico de la implementación genera un aumento en las utilidades y por ende indicando un proyecto económicamente viable.
2. Se concluye que respecto a la sobre dilución de mineral, se obtuvieron resultados insitu tales como un total de 244.53 toneladas de mineral por un Valor Por Tonelada de Ancho de Veta promedio de 595.71 US\$/tn explotada, programando consigo voladuras a sección completa, generando un total de 2.462 toneladas proyectadas con un Valor Por Tonelada promedio de 79.41 US\$/tn, no siendo económicamente rentable para su extracción; sin embargo, el empleo de detonadores electrónicos permitió adquirir un total de 1,205 toneladas explotadas de mineral generando consigo un valor por tonelada de 170.50 US\$/tn, generando una recuperación del 115% a diferencia de la explotación a ancho de sección completa. Asimismo, se tiene un VPT de 595.71 como anchos de veta inicial, con voladura DNE se tiene un VPT de 79.41 con una dilución del 87% a sección completa y con voladura DE se tiene un VPT de 170.5 con una dilución del 71% a sección diferenciada. Siendo una

variable no paramétrica donde en el contraste de hipótesis con T de Wilcoxon nos da un nivel de significancia de 0.001, rechazando la hipótesis nula y tomando como resultado la hipótesis alternativa

3. Se concluye que respecto a la determinación de la influencia del sistema electrónico de voladura en la mejora de sobre excavación se tuvo en cuenta que se mantenían secciones programadas de 11.4 m², con un porcentaje de sobre excavación de línea base de 10%, obteniendo como resultados en secciones donde se aplicaba voladura pirotécnica secciones promedio de 12.90 m², con porcentajes de sobre excavación de 13%, y al implementarse detonadores electrónicos eDev II se obtuvieron secciones promedio de 11.65 m² y con porcentajes de sobre excavación del 3%. Siendo una variable no paramétrica donde en el contraste de hipótesis con T de Wilcoxon nos da un nivel de significancia de 0.000, rechazando la hipótesis nula y tomando como resultado la hipótesis alternativa.
4. Se concluye que el avance por disparo estuvo en relación a la longitud de perforación y la eficiencia de línea base, para lo cual en una primera instancia se tuvo en cuenta una longitud de perforación de 3.50m con una eficiencia de voladura del 86% adquiriendo avances de 3 metros, los cuales fueron mejorados, teniendo en cuenta parámetros de roca, tipo de explosivo a emplear y buzamiento de la veta, obteniendo resultados favorables en longitud de perforación promedio de 3.50 m con eficiencias promedio del 91%, generando avances de hasta 3.20 metros. Siendo una variable paramétrica donde en el contraste de hipótesis con T de Student nos da un nivel de significancia de 0.000, en donde se acepta la hipótesis alternativa, que nos afirma que si hay

diferencia significativa entre los resultados del pretest y postest.

5. Se concluye que respecto al flujo económico el empleo de detonadores electrónicos eDev II generan un costo de adquisición de 332.5 US\$/disp. a diferencia del empleo de detonadores no electrónicos que generan un costo de 30 US\$/disp., pero que permiten consigo generar márgenes de ganancia en el avance de hasta 159.3 US\$/disp., respecto al shotcrete genera márgenes de ganancia de 28 US\$/disp., Valor por Tonelada de 94,283 US\$, generando utilidades de 4,429US\$/disp. siendo rentables económicamente para su adquisición, además de un VAN y un TIR de \$. 53,836 y 41% respectivamente. Siendo una variable no paramétrica donde en el contraste de hipótesis con T de Wilcoxon nos da un nivel de significancia de 0.040, rechazando la hipótesis nula y tomando como resultado la hipótesis alternativa.

RECOMENDACIONES

Se recomienda a futuras investigaciones realizaras mayores pruebas en campo, con la finalidad de lograr reducir los márgenes de sobre dilución y sobre excavación tanto en taladros largos como labores horizontales, el avance por disparo en frente. Las pruebas a realizar con detonadores electrónicos con menor costo fijo nos darán un mejor marguen.

Se recomienda, capacitar constantemente a los trabajadores involucrados en la manipulación y operación del sistema de detonadores electrónicos. Mismo que viene ganando terreno de forma ascendente mostrando el costo beneficio a favor de los resultados. Incluso no solo en casos de vetas angostas, sino en casos de voladura masiva para la mejora de los indicadores de las toneladas metro perforado para taladros largos, disminuyendo el costo de metros perforados por fallas de voladura (re-perforación) en un 10% mejorando tiempos operativos en los procesos de perforación y voladura.

Se recomienda realizar controles en campo para la mejorar el % de sobre excavación realizando control de voladura en los contornos reduciendo carga operante, un beneficio más para la utilización de los detonadores electrónicos para el control de contornos. Dicho beneficio nos ayuda para mejorar los procesos y/o tiempos de sostenimiento en un 5%.

Se recomienda que se debe tener en cuenta que la selección de accesorios de voladura no solo se basa netamente en adquirir los productos más económicos, si no el cual pueda cumplir con las expectativas en cuanto a seguridad y eficiencia en el desarrollo de labores horizontales.

Se recomienda para la mejora de la eficiencia de disparo y/o avance por disparo, continuar las pruebas con los detonadores electrónicos, ya que nos ayuda en una mejor precisión de los tiempos y/o retardos a seleccionar en los taladros a cargar. A tiempo más cortos entre sí nos ayuda a mejorar la distancia de proyección de la carga, el cual es no el objetivo del presente trabajo. También se recomienda mejorar el explosivo iniciador con mayor potencia y/o VOD (velocidad de detonación) y con la mejora de los accesorios como los detonadores electrónicos nos ayudan a mejorar la eficiencia de disparo en un 5%.

Se recomienda que la compañía minera Argentum, generalizar y dar continuidad del empleo del sistema electrónico de voladura en todas sus labores, con la finalidad de eliminar tanto los tiros fallados, la sobre excavación, la sobre dilución y mejorar su fragmentación mediante la minimización de vibraciones sísmicas por voladura.

Se recomienda para la mejora de los flujos económicos o VAN será de gran relevancia la selectividad del tipo del detonador electrónico en cuanto al precio unitario, ya que nos afectará en la etapa inicial y por efecto en el proceso al resultado del margen

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Alcázar, P. (2017). *Optimización del proceso de voladura implementando emulsión gasificable en mina de hierro*. [Tesis de grado para optar el título de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann - Tacna]. <https://cutt.ly/wAmkpT1>
- Bernaola, J; Castilla, J. y Herrera J. (2013). *Perforación y voladura de rocas en minería*. Departamento de explotación de Recursos Minerales y Obras Subterráneas. https://oa.upm.es/21848/1/20131007_PERFORACION_Y_VOLADURA.pdf
- Berrospi, V. (2019). *Optimización de la perforación y voladura para mejorar la zona de profundización en la mina Andaychagua de la Cía. minera Volcan S.A.A.* [Tesis para optar el título de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1778/1/T026_47113814_T.pdf
- Calixto, C. (2015). *Control de dilución optimizando los procesos unitarios de perforación, voladura y acarreo*. [Tesis para optar el Título de Ingeniero de Minas, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6472>
- Cebrián Romo, B. (2007). *Técnicas de voladuras para control de dilución en minería metálica* [Presentación de paper]. XII Congreso Internacional de Energía y Recursos Minerales. Madrid, España. <http://blast-consult.com/documentos/control%20dilucion.pdf>
- Chávez, L. (2005). *Uso y control de explosivos aplicados en explotación de bancos de material*. [Tesis para conferir el título de Ingeniero Civil, Universidad De San Carlos De Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2538_C.pdf
- Concha, R. y Tarifa, E. (2020). *Reducción y optimización de costos en perforación y voladura implementando barrenos de 16 pies para labores de desarrollo en la U.O. Inmaculada – Sociedad Minera Ares S.A.C.* [Tesis para obtener el título

profesional de Ingeniero de Minas, Universidad Tecnológica del Perú].
<https://cutt.ly/kAmkyWh>

Condoli Flores, F. y Porras Sayitupac, L. C. (2015). *y voladura para la reducción de costos en los frentes de avances de la U.E.A. Reliquias – Corporación Minera Castrovirrey S.A.* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional de Huancavelica].
<https://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/601/TP%20-%20UNH%20MINAS%200019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Contreras Pérez, W. J. (2009). *Selección del explosivo adecuado y carga máxima por retardo usando el monitoreo, modelamiento y análisis de vibraciones. Aplicación en minas Ares.* [Tesis para optar el grado académico de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/663>

Cueva, B. y Herrera, I. (2018) *Comparación de la productividad, fragmentación y costos del sistema de iniciación electrónico versus pirotécnica en voladura – Minera Yanacocha S.R.L.* [Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas, Universidad Privada Del Norte].
<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/14653/Cueva%20Chuquil%20c3%adn%20Breidy%20Margot%20-%20Herrera%20Salda%20c3%b1a%20Irma%20Lilia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cuevas Meza, J. G. y Paucarchuco Remigio, E. D. (2020). *Mejora de la recuperación del mineral y control de la dilución de los métodos de minado Bench and fill y sublevel stoping con taladros largos, zona Hadas, de la Unidad Minera Raura.* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, Universidad Continental].
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8424/3/IV_FIN_110_TE_Cuevas_Paucarchuco_2020.pdf

EXSA (2019). Manual Práctico de voladura (5ta edición).

Fuentes Rivera Yon, N. I. y Gargate Gomez, J. B. (2021). *Aplicación de los criterios fundamentales de la ingeniería de voladura para controlar la dilución en la explotación de vetas angostas en la Mina Sayapullo S.A.* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Gestión Minera, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].

https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/655358/Fuentes_R_N.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Gaona Gonzales, A. J. (2015). *Optimización de la voladura, mina La Virgen – de la compañía minera San Simón S.A. – Huamachuco Trujillo.* [Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional de Piura].

<https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/963/MIN-GAO-GON-15.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Guan, X., Guo, C., Mou, B. y Shi, L. (2019). Tunnel millisecond-delay controlled blasting based on the delay time calculation method and digital electronic detonators to reduce structure vibration effects. *PLoS ONE* 14(3).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212745>

Huerta Valer, G. S. (2019). *Análisis comparativo de la eficiencia de la triple iniciación electrónica en voladura vs la iniciación electrónica simple y doble en la explotación de un yacimiento cuprífero a cielo abierto.* [Tesis para optar el título

de Ingeniero de Minas, Universidad Continental].
https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/5488/2/IV_FIN_110_TE_Huerta_Valer_2019.pdf

Hernández, R. y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la Investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta (Primera ed.).* México: McGRAW-HILL/Interamericana Editores S.A. Obtenido de http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/SampieriLasRutas.pdf

Noreña, E. (2020). *Estandarización del proceso de perforación y voladura en labores de exploración y desarrollo, mediante la aplicación de emulsiones y detonadores*

no eléctricos, en la Unidad Minera Santa Filomena de la Empresa Sotrami S.A.
 [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Gestión Minera,
 [Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/653131>

OSINERGMIN (2017). *Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas.*
https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/mineria/Documentos/Publicaciones/Guia-Criterios-Geomecanicos.pdf

Otrilla Aguirre, G. y Romero Chávez, J. D. (2018). Mejora en los parámetros de perforación y voladura para optimizar costos operaciones en la compañía minera Santa Luisa S.A. – Unidad Pallca. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, Universidad Privada del Norte].
<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/13958/Otrilla%20Aguirre%20Gofrey%20-%20Romero%20Ch%C3%A1vez%20Jos%C3%A9%20David.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Per, P., Roger H. y Jaimin, L. (1994) Rock blasting and explosives engineering.
<https://www.routledge.com/Rock-Blasting-and-Explosives-Engineering/Persson-Holmberg-Lee/p/book/9780849389788>

Pérez, J. (2019). *Utilización de la medida de vibraciones en voladuras para el conocimiento de los daños al macizo de roca ornamental.* [Tesis doctoral para obtener el grado en Tecnología y Modelización en Ingeniería Civil, Minera y Ambiental, Universidad Politécnica de Cartagena].
<https://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/7809/jcpc.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Pomaylle, J y Vásquez, M. (2013). *Voladura con sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico en la profundización del Pique N°2, Mina Teresita, Unidad de producción recuperada de la Cía. de Minas Buenaventura S.A.A.* [Tesis para optar el título de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional de Huancavelica].

<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/294>

Quispe, C. (2018). *Análisis de la fragmentación resultante de voladura para la evaluación de la expansión de las mallas de perforación aplicando sistema de iniciación electrónico en minera Coimolache – 2016*. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo].

http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2241/T033_47468249_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Quispe, J. (2014). *Reducción de costos en perforación y voladura por la aplicación de cámaras de aire en la U.M. Constancia – Hudbay Perú S.A.C.* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].

<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3913/MIquchja101.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rodríguez, L. (2009). *Sistema de medición de velocidad y tiempo de detonación para explosivos usando el método de fibras ópticas*. [Tesis para optar el título de ingeniero electrónico, Pontificia Universidad Católica Del Perú].

<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/294>

Romero, R. (2016) *Voladura con detonadores electrónicos para optimizar la fragmentación y seguridad en el tajo Toromocho – Minera Chinalco Perú S.A.* [Tesis para optar el título de ingeniero de minas, Universidad Nacional del Centro Del Perú].

<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3897/Romero%20Paucar.pdf?sequence=1>

Romero, R. (2020) Detonadores no electrónicos y detonadores electrónicos. <http://royer92voladura.blogspot.com/2020/03/detonadores-no-electricos-y-electronicos.html>

Salmenamaki, P. (2018). Reduciendo la dilución en la minería de vetas angostas.

<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1348/Tesis%20Pizarro%20y%20Tomas%20final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Valencia, J. (2019). *Diseño de voladura para la optimización de fragmentación en mineral y desmonte, mediante el control de vibraciones y velocidad de detonación en Mina San Rafael MINSUR S.A.* [Tesis para optar el título de Ingeniero de Minas, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/10033/IMvaovjfw.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ANEXOS

ANEXO N° 1 MATRIZ DE CONSISTENCIA

Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Diseño metodológico
General	General	General	Independiente		Tipo de investigación
¿Cómo influye el sistema electrónico de voladura en la mejora de dilución, sobre excavación, avance por disparo y flujo económico en labores horizontales en minería subterránea?	Determinar la influencia del sistema electrónico de voladura para la mejora de dilución, sobre excavación, avance por disparo y flujo económico en labores horizontales en minería subterránea.	El sistema electrónico de voladura influye en la mejora de dilución, sobre excavación, avance por disparo y flujo económico en labores horizontales en minería subterránea.	Sistema electrónico de voladura	Detonador electrónico	Aplicada
Específicos	Específicos	Específicos		Sistema electrónico Ikon III RX	Nivel de investigación
¿Cómo influye el sistema electrónico de voladura en la mejora del porcentaje de sobre dilución de labores horizontales en minería subterránea?	Determinar la influencia del sistema electrónico de voladura en la mejora del porcentaje de dilución de labores horizontales en minería subterránea.	El sistema electrónico de voladura influye en la mejora del porcentaje de dilución de labores horizontales en minería subterránea.		Dependiente	Descriptiva - explicativa
¿Cómo influye el sistema electrónico de voladura en la mejora de sobre excavación de labores horizontales en minería subterránea?	Determinar la influencia del sistema electrónico de voladura en la mejora de sobre excavación de caja techo de labores horizontales en minería subterránea.	El sistema electrónico de voladura influye en la mejora de sobre excavación de caja techo de labores horizontales en minería subterránea.	Dilución,	porcentaje de sobre dilución	Diseño

<p>¿Cómo influye el sistema electrónico de voladura en la mejora del avance por disparo de labores horizontales en minería subterránea?</p>	<p>Determinar la influencia del sistema electrónico de voladura en la mejora de avance por disparo de labores horizontales en minería subterránea.</p>	<p>El sistema electrónico de voladura influye en la mejora de avance por disparo de labores horizontales en minería subterránea.</p>	<p>Sobre excavación,</p>	<p>porcentaje de sobre excavación</p>	<p>Cuasiexperimental Cuantitativa</p>
<p>¿Cómo influye el sistema electrónico de voladura en la mejora del flujo económico de labores horizontales en minería subterránea?</p>	<p>Determinar la influencia del sistema electrónico de voladura en la mejora del flujo económico de labores horizontales en minería subterránea.</p>	<p>El sistema electrónico de voladura influye en el flujo económico de labores horizontales en minería subterránea.</p>	<p>Avance por disparo</p> <p>Flujo económico en labores horizontales</p>	<p>Cantidad de toneladas producidos</p> <p>Eficiencia De disparo</p> <p>Avance</p> <p>Utilidad – VAN - TIR</p>	<p>Población Labores de preparación (subniveles y galerías) SENSAL</p> <p>Muestra vetas angostas menor a 1 metro en secciones de 3 x 3,8 m en las labores Sn_126_3W, Sn_783E, Sn_135_3W; Sn_135_2W y Sn_249E.</p>

ANEXO N° 2



HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PRETEST Y POSTEST

NOMBRES Y APELLIDOS:
MINA:
PERIODO

WILMER FABRIZIO CONTRERAS OJUISE
COMPAÑÍA MINERA ARGENTUM
ABRIL - JUNIO 2021

ZONA:
VOLADURAS
VARIABLE:

CODICIADA - ALAPAMPA
23 VOLADURAS
DILUCIÓN - VPT

DILUCIÓN - VPT

LÍNEA BASE

Labores	Veta	Ton Prog	Ag gr/t A.M.	Cu %2 A.M.	Pb % A.M.	Zn % A.M.	VPT A.M.
Sn_783-E	Karim	113	6.36	0.02	0.18	1.11	23.0
Sn_783-W	Karim	113	2.12	0.01	0.06	0.37	7.7
Sn_249W	Rubi	113	56.78	0.17	0.66	2.08	81.4
Sn_249W	Rubi	113	56.78	0.17	0.66	2.08	81.4
Gal_425W	Leticia	113	250.90	0.08	0.31	0.72	178.6
Sn_589E	Rubi	113	29.52	0.05	0.11	1.03	36.8
Sn_589W	Rubi	113	16.40	0.04	0.12	1.03	28.3
Sn_589E	Rubi	113	27.84	0.09	0.59	5.78	111.1
Sn_135-5	Maria Luisa	113	38.83	0.04	0.44	1.75	56.7
Sn_589W	Rubi	113	50.43	0.09	0.49	2.07	71.6
Sn_126_3W	Ramal Alianza	103	27.16	0.06	0.24	3.42	70.9
Sn_783E	Karim	103	27.46	0.05	0.06	0.59	28.3
Sn_126_3W	Ramal Alianza	103	55.55	0.07	0.42	3.89	98.0
Sn_135_3W	Maria Luisa	103	43.54	0.01	0.67	0.74	46.8
Sn_135_2W	Maria Luisa	103	20.47	0.06	0.35	1.92	46.5
Sn_135_3W	Maria Luisa	103	23.14	0.05	0.59	2.42	57.8
Sn_135-2W	Maria Luisa	103	68.04	0.11	0.44	4.29	113.4
Sn_783E	Karim	103	146.26	0.44	0.28	1.09	127.7
Sn_249E	Rubi	103	67.10	0.12	0.13	1.14	64.6
Sn_783E	Karim	103	151.32	0.47	0.01	0.54	121.0
Sn_135-2W	Maria Luisa	103	65.28	0.11	1.00	4.48	121.0
Sn_783E	Karim	103	233.71	0.25	0.66	0.81	176.2
Sn_135-2W	Maria Luisa	103	69.20	0.11	0.28	2.71	89.4
							79.41

2,462

FIRMA MAGISTER
ING. SAÚL PARRAGUEZ SERPA

RESULTADOS CON VOLADURA ELECTRÓNICA

Detonador	Labores	Veta	Ton disp Real	Ag gr/t A.R.	Cu % A.R.	Pb % A.R.	Zn % A.R.	VPT A.R.
Ikon III	Sn_783-E	Karim	40	24.5	0.1	0.2	1.1	35.8
Ikon III	Sn_783-W	Karim	50	4.24	0.0	0.1	0.7	15.3
Ikon III	Sn_249W	Rubi	50	56.78	0.2	0.7	2.1	81.4
Ikon III	Sn_249W	Rubi	75	86.07	0.3	0.6	3.3	119.9
Ikon III	Gal_425W	Leticia	50	308.76	0.0	1.4	1.6	240.9
Ikon III	Sn_589E	Rubi	50	35.45	0.1	0.3	3.7	82.4
Ikon III	Sn_589W	Rubi	50	200.56	0.3	1.8	11.4	326.0
Ikon III	Sn_589E	Rubi	50	39.94	0.1	0.8	5.2	112.5
Ikon III	Sn_135-5	Maria Luisa	50	81.76	0.2	0.3	3.8	118.2
Ikon III	Sn_589W	Rubi	50	72.05	0.1	1.9	5.3	151.1
eDev II	Sn_126_3W	Ramal Alianza	51	83.72	0.2	0.9	2.2	101.3
eDev II	Sn_783E	Karim	50	215	0.1	0.1	0.9	132.5
eDev II	Sn_126_3W	Ramal Alianza	56	147.28	0.3	2.4	18.2	391.9
eDev II	Sn_135_3W	Maria Luisa	57	105.47	0.4	0.7	1.7	115.2
eDev II	Sn_135_2W	Maria Luisa	48	93.04	0.1	1.1	3.3	123.6
eDev II	Sn_135_3W	Maria Luisa	54	54.08	0.4	0.6	2.1	84.5
eDev II	Sn_135-2W	Maria Luisa	54	154.9	0.2	1.0	3.2	164.6
eDev II	Sn_783E	Karim	54	328.57	0.4	0.7	1.3	250.2
eDev II	Sn_249E	Rubi	54	41.56	0.1	0.2	3.1	78.2
eDev II	Sn_783E	Karim	54	404.24	0.5	0.7	1.5	302.6
eDev II	Sn_135-2W	Maria Luisa	51	269.21	0.2	0.9	3.2	233.9
eDev II	Sn_783E	Karim	52	519.94	1.4	2.5	5.4	487.3
eDev II	Sn_135-2W	Maria Luisa	54	86.02	0.2	0.9	3.4	121.0
							1,205	170.5

FIRMA MAGISTER
ING. JULIO ROJAS ROJAS

NOMBRES Y APELLIDOS:
MINA:
PERIODO:

WILMER FABRIZIO CONTRERAS QUISEPÉ
COMPañía MINERA ARGENTUM
ABRIL - JUNIO 2021

ZONA:
VOLADURAS
VARIABLE:

CODICIADA - ALAPAMPA
23 VOLADURAS
EFICIENCIA DE DISPARO - AVANCE

EFICIENCIA DE DISPARO - AVANCE

LÍNEA BASE

Labores	Veta	Longitud de Perforación	Avance
Sn_783-E	Karim	3.50	2.70
Sn_783-W	Karim	3.50	3.10
Sn_249W	Rubi	3.50	2.95
Sn_249W	Rubi	3.50	3.12
Gal_425W	Leticia	3.50	3.25
Sn_589E	Rubi	3.50	3.20
Sn_589W	Rubi	3.50	3.20
Sn_589E	Rubi	3.50	3.00
Sn_135-5	María Luisa	3.50	2.90
Sn_589W	Rubi	3.50	3.00
Sn_126_3W	Ramal Alianza	3.50	2.80
Sn_783E	Karim	3.50	3.21
Sn_126_3W	Ramal Alianza	3.50	2.88
SN_135_3W	María Luisa	3.50	2.78
Sn_135_2W	María Luisa	3.50	2.80
Sn_135_3W	María Luisa	3.50	2.70
Sn_135-2W	María Luisa	3.50	2.78
Sn_783E	Karim	3.50	3.11
Sn_249E	Rubi	3.50	3.10
Sn_783E	Karim	3.50	3.30
Sn_135-2W	María Luisa	3.50	3.10
Sn_783E	Karim	3.50	3.20
Sn_135-2W	María Luisa	3.50	2.92
			3.00

Firma

FIRMA MAGISTER
ING. SAUL PARRAGUEZ SERPA

RESULTADOS CON VOLADURA ELECTRÓNICA

Detonador	Labores	Veta	Longitud de Perforación	Avance	Ef. Voladura %
Ikon III	Sn_783-E	Karim	3.50	2.80	80%
Ikon III	Sn_783-W	Karim	3.50	3.30	94%
Ikon III	Sn_249W	Rubi	3.50	3.10	89%
Ikon III	Sn_249W	Rubi	3.50	3.30	94%
Ikon III	Gal_425W	Leticia	3.50	3.00	86%
Ikon III	Sn_589E	Rubi	3.50	3.40	97%
Ikon III	Sn_589W	Rubi	3.50	3.35	96%
Ikon III	Sn_589E	Rubi	3.50	3.20	91%
Ikon III	Sn_135-5	María Luisa	3.50	3.35	96%
Ikon III	Sn_589W	Rubi	3.50	3.20	91%
eDev II	Sn_126_3W	Ramal Alianza	3.50	3.25	93%
eDev II	Sn_783E	Karim	3.50	3.40	97%
eDev II	Sn_126_3W	Ramal Alianza	3.50	3.35	96%
eDev II	SN_135_3W	María Luisa	3.50	3.05	87%
eDev II	Sn_135_2W	María Luisa	3.50	3.05	87%
eDev II	Sn_135_3W	María Luisa	3.50	3.05	87%
eDev II	Sn_135-2W	María Luisa	3.50	3.10	89%
eDev II	Sn_783E	Karim	3.50	3.30	94%
eDev II	Sn_249E	Rubi	3.50	3.40	97%
eDev II	Sn_783E	Karim	3.50	3.20	91%
eDev II	Sn_135-2W	María Luisa	3.50	3.10	89%
eDev II	Sn_783E	Karim	3.50	3.30	94%
eDev II	Sn_135-2W	María Luisa	3.50	3.10	89%
				3.20	91%

Firma

FIRMA MAGISTER
ING. JULIO ROJAS ROJAS



HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PRETEST Y POSTEST

NOMBRES Y APELLIDOS: WILMER FABRIZIO CONTRERAS QUIJSPE
 MINA: COMPAÑÍA MINERA ARGENTUM
 PERIODO: ABRIL - JUNIO 2021

ZONA: CODICIADA - ALAPAMPA
 # VOLADURAS: 23 VOLADURAS
 VARIABLE: % SOBRE EXCAVACIÓN

% SOBRE EXCAVACIÓN

Labores	Veta	Ancho real (m)	Alto real (m)	Sección real (m)	% Sobre excavación real
Sn_783-E	Karim	3.2	3.8	12.2	7%
Sn_783-W	Karim	3.6	4.3	15.5	36%
Sn_249W	Rubi	3.2	3.8	12.2	7%
Sn_249W	Rubi	3.1	3.8	11.8	3%
Gal_425W	Leticia	3.5	3.8	13.3	17%
Sn_589E	Rubi	3.3	4.2	13.9	22%
Sn_589W	Rubi	3.3	3.9	12.9	13%
Sn_589E	Rubi	3.1	3.9	12.1	6%
Sn_135-5	María Luisa	3.2	4.0	12.8	12%
Sn_589W	Rubi	3.1	3.9	12.1	6%
Sn_126_3W	Ramal Alianza	3.2	4.1	13.1	15%
Sn_783E	Karim	3.6	3.9	14.0	23%
Sn_126_3W	Ramal Alianza	3.2	4.0	12.6	11%
SN_135_3W	María Luisa	3.2	3.9	12.5	9%
Sn_135_2W	María Luisa	3.2	4.1	13.1	15%
Sn_135_3W	María Luisa	3.3	3.9	12.9	13%
Sn_135-2W	María Luisa	3.2	3.9	12.5	9%
Sn_783E	Karim	3.3	3.9	12.9	13%
Sn_249E	Rubi	3.5	3.9	13.7	20%
Sn_783E	Karim	3.3	3.9	12.9	13%
Sn_135-2W	María Luisa	3.2	4.0	12.8	12%
Sn_783E	Karim	3.1	3.9	12.1	6%
Sn_135-2W	María Luisa	3.2	4.0	12.6	11%
					13%

[Signature]

FIRMA MAGISTER
 ING. SAUL PARRAGUEZ SERPA

RESULTADOS CON VOLADURA ELECTRÓNICA

Detonador	Labores	Veta	Ancho real (m)	Alto real (m)	Sección real (m)	% Sobre excavación real
lkon III	Sn_783-E	Karim	3.0	3.7	11.1	0%
lkon III	Sn_783-W	Karim	3.0	3.9	11.7	3%
lkon III	Sn_249W	Rubi	3.1	3.8	11.8	3%
lkon III	Sn_249W	Rubi	3.0	3.8	11.4	0%
lkon III	Gal_425W	Leticia	3.1	3.8	11.8	3%
lkon III	Sn_589E	Rubi	3.2	3.9	12.3	8%
lkon III	Sn_589W	Rubi	3.1	3.8	11.6	2%
lkon III	Sn_589E	Rubi	3.1	3.8	11.8	3%
lkon III	Sn_135-5	María Luisa	3.1	3.8	11.7	3%
lkon III	Sn_589W	Rubi	3.1	3.8	11.8	3%
eDev II	Sn_126_3W	Ramal Alianza	3.1	3.8	11.8	3%
eDev II	Sn_783E	Karim	3.1	3.8	11.6	2%
eDev II	Sn_126_3W	Ramal Alianza	3.1	3.8	11.8	3%
eDev II	SN_135_3W	María Luisa	3.1	3.6	11.0	0%
eDev II	Sn_135_2W	María Luisa	3.1	3.8	11.8	3%
eDev II	Sn_135_3W	María Luisa	3.1	3.7	11.3	0%
eDev II	Sn_135-2W	María Luisa	3.2	3.7	11.7	2%
eDev II	Sn_783E	Karim	3.1	3.8	11.8	3%
eDev II	Sn_249E	Rubi	3.2	3.8	12.0	5%
eDev II	Sn_783E	Karim	3.1	3.8	11.8	3%
eDev II	Sn_135-2W	María Luisa	3.1	3.8	11.8	3%
eDev II	Sn_783E	Karim	3.0	3.8	11.4	0%
eDev II	Sn_135-2W	María Luisa	3.1	3.8	11.8	3%
					3%	

[Signature]

FIRMA MAGISTER
 ING. JULIO ROJAS ROJAS



HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS PRETEST Y POSTEST

CODICIADA - ALAPAMPA
23 VOLADURAS
FLUJO NETO - FLUJO ECONOMICO

WILMER FABRIZIO CONTREBAS OLIVERA
COMPAÑIA MINERA ARGENTUM
ABRIL - JUNIO 2021

ZONA: # VOLADURAS
VARIABLE:

FLUJO NETO - FLUJO ECONOMICO

LÍNEA BASE		Ton Prog	Ag gr/t A.M.	Cu %2 A.M.	Pb % A.M.	Zn % A.M.	USD/t	USS Flujo Neto pretest
Inversión								
Sn_783-E	Karim	0	6.36	0.02	0.18	1.11	0.00	-2,457
Sn_783-W	Karim	0	2.12	0.01	0.06	0.37	0.00	-2,821
Sn_249W	Rubi	113	56.78	0.17	0.66	2.08	81.40	9,188
Sn_249W	Rubi	113	56.78	0.17	0.66	2.08	81.40	9,188
Gal_425W	Leticia	113	250.90	0.08	0.31	0.72	178.60	20,158
Sn_589E	Rubi	0	29.52	0.05	0.11	1.03	0.00	-2,912
Sn_589W	Rubi	0	16.40	0.04	0.12	1.03	0.00	-2,912
Sn_589E	Rubi	113	27.84	0.09	0.59	5.78	111.10	12,542
Sn_135-5	Maria Luisa	113	38.83	0.04	0.44	1.75	0.00	-2,639
Sn_589W	Rubi	113	50.43	0.09	0.49	2.07	0.00	-2,730
Sn_126_3W	Ramal Alianza	0	27.16	0.06	0.24	3.42	0.00	-2,548
Sn_783E	Karim	0	27.46	0.05	0.06	0.59	0.00	-2,921
Sn_126_3W	Ramal Alianza	103	55.55	0.07	0.42	3.89	98.00	10,059
Sn_135_3W	Maria Luisa	0	43.54	0.01	0.67	0.74	0.00	-2,530
Sn_135_2W	Maria Luisa	0	20.47	0.06	0.35	1.92	0.00	-2,548
Sn_135_3W	Maria Luisa	0	23.14	0.05	0.59	2.42	0.00	-2,457
Sn_135-2W	Maria Luisa	103	68.04	0.11	0.44	4.29	113.40	11,631
Sn_783E	Karim	103	146.26	0.44	0.28	1.09	127.70	13,104
Sn_249E	Rubi	0	67.10	0.12	0.13	1.14	0.00	-2,821
Sn_783E	Karim	103	151.32	0.47	0.01	0.54	121.00	12,416
Sn_135-2W	Maria Luisa	103	65.28	0.11	1.00	4.48	121.00	12,409
Sn_783E	Karim	103	233.71	0.25	0.66	0.81	176.20	18,082
Sn_135-2W	Maria Luisa	103	69.20	0.11	0.28	2.71	89.40	9,169
								105, 650

VAN 5/31,225 TIR 91%

[Signature]
FIRMA MAGISTER
ING. SAUL PARRAGUEZ SERPA

RESULTADOS CON VOLADURA ELECTRÓNICA

Detonador	Labores	Veta	Ton Real	Ag gr/t V.E.	Cu %2 V.E.	Pb % V.E.	Zn % V.E.	USD/t	USD Flujo economico	US\$ total de beneficio por avance	US\$ total de beneficio por shotcrete	US\$ Flujo neto postest.
Ikon III	Sn_783-E	Karim	40	24.50	0.05	0.21	1.08	0.00	-2,548	91	28	-8,325
Ikon III	Sn_783-W	Karim	50	4.24	0.02	0.12	0.74	0.00	-3,003	182	28	-2,429
Ikon III	Sn_249W	Rubi	50	56.78	0.17	0.66	2.08	81.00	9,188	137	28	-2,793
Ikon III	Sn_249W	Rubi	75	86.07	0.26	0.61	3.26	120.00	8,995	164	28	9,352
Ikon III	Gal_425W	Leticia	50	308.76	0.04	1.42	1.63	241.00	12,046	-228	28	9,187
Ikon III	Sn_589E	Rubi	50	35.45	0.08	0.30	3.71	82.00	4,122	182	28	11,847
Ikon III	Sn_589W	Rubi	50	200.56	0.33	1.78	11.37	326.00	16,301	137	28	4,332
Ikon III	Sn_589E	Rubi	50	39.94	0.08	0.75	5.23	113.00	5,627	182	28	16,465
Ikon III	Sn_135-5	Maria Luisa	50	81.76	0.20	0.33	3.77	118.00	5,908	410	28	5,837
Ikon III	Sn_589W	Rubi	50	72.05	0.14	1.92	5.28	151.00	7,555	182	28	6,346
eDev II	Sn_126_3W	Ramal Alianza	51	83.72	0.16	0.87	2.24	101.00	5,136	410	28	7,765
eDev II	Sn_783E	Karim	50	215.00	0.08	0.10	0.90	152.00	7,660	173	28	5,573
eDev II	Sn_126_3W	Ramal Alianza	56	147.28	0.31	2.43	18.17	392.00	22,135	428	28	7,860
eDev II	Sn_135_3W	Maria Luisa	57	105.47	0.44	0.65	1.70	115.00	6,583	246	28	22,591
eDev II	Sn_135_2W	Maria Luisa	48	93.04	0.12	1.09	3.33	124.00	5,922	228	28	6,856
eDev II	Sn_135_3W	Maria Luisa	54	54.08	0.35	0.64	2.08	85.00	4,564	319	28	6,178
eDev II	Sn_135-2W	Maria Luisa	54	154.90	0.24	0.99	3.21	165.00	8,925	291	28	4,911
eDev II	Sn_783E	Karim	54	328.57	0.42	0.68	1.34	250.00	13,468	173	28	9,244
eDev II	Sn_249E	Rubi	54	41.56	0.14	0.24	3.08	78.00	4,234	273	28	13,669
eDev II	Sn_783E	Karim	54	404.24	0.46	0.70	1.54	303.00	16,195	-91	28	4,535
eDev II	Sn_135-2W	Maria Luisa	51	269.21	0.21	0.91	3.18	234.00	12,003	0	28	16,132
eDev II	Sn_783E	Karim	52	519.94	1.40	2.50	5.36	487.00	25,142	91	28	12,031
eDev II	Sn_135-2W	Maria Luisa	54	86.02	0.20	0.89	3.42	121.00	6,583	164	28	25,261
									202,738	4,141	644	207,523

VAN 5/63,836 TIR 41%

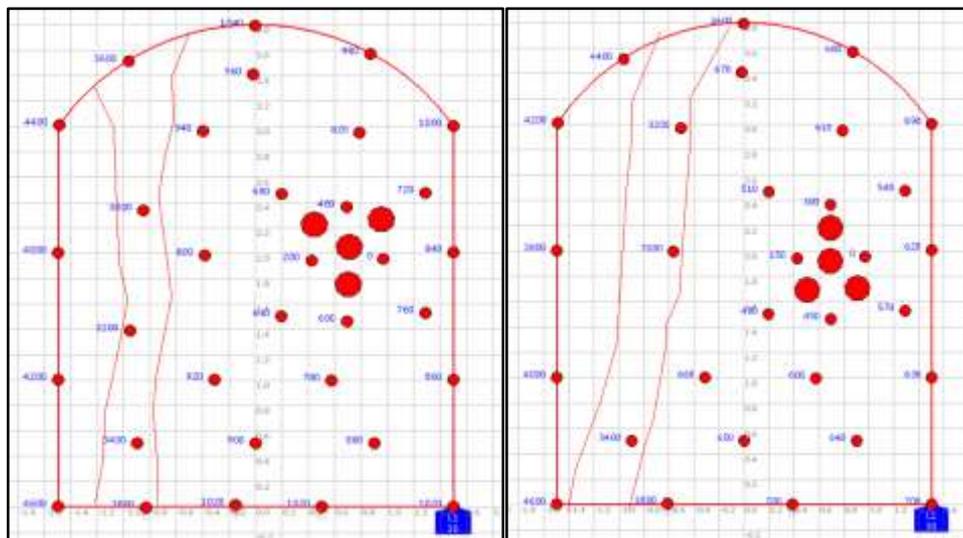
[Signature]
FIRMA MAGISTER
ING. JULIO ROJAS ROJAS

ANEXO 03
SECCIONES DE LABOR

Veta	Labores	Pot Veta (m)	Ancho	Alto	Avance Prog	Sección Prog.
Ramal Alianza	Sn_126_3W	0.55	3	3.8	2.70	11.4
Karim	Sn_783E	0.3	3	3.8	3.10	11.4
Ramal Alianza	Sn_126_3W	0.6	3	3.8	2.95	11.4
Maria Luisa	SN_135_3W	0.4	3	3.8	3.12	11.4
Maria Luisa	Sn_135_2W	0.2	3	3.8	3.25	11.4
Maria Luisa	Sn_135_3W	0.6	3	3.8	3.20	11.4
Maria Luisa	Sn_135-2W	0.4	3	3.8	3.20	11.4
Karim	Sn_783E	0.45	3	3.8	3.00	11.4
Rubí	Sn_249E	1.2	3	3.8	2.90	11.4
Karim	Sn_783E	0.45	3	3.8	3.00	11.4
Maria Luisa	Sn_135-2W	0.45	3	3.8	2.80	11.4
Karim	Sn_783E	0.45	3	3.8	3.21	11.4
Maria Luisa	Sn_135-2W	0.45	3	3.8	2.88	11.4

Fuente. Área de planeamiento – Minera Argentum, 2021.

ANEXO 04
PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS DE VOLADURA MEDIANTE
SOFTWARE SHOTPLUS

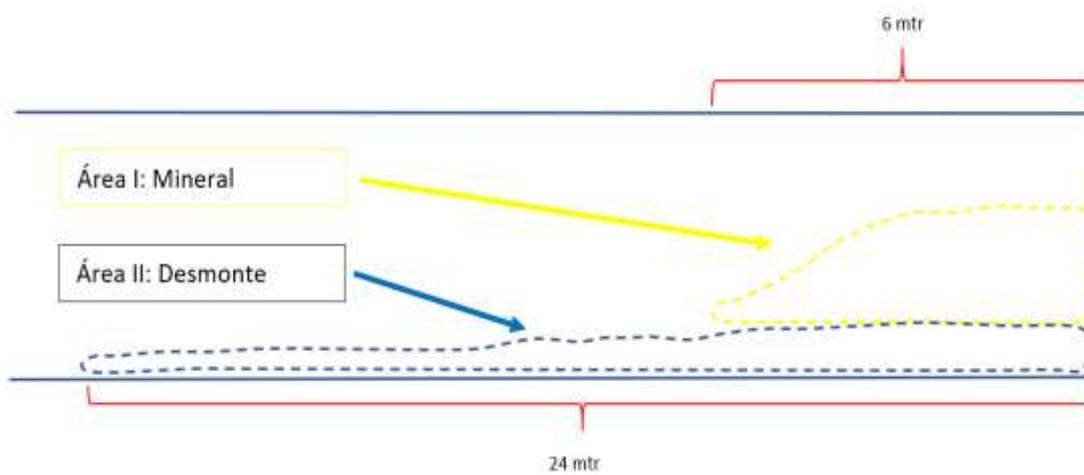


Fuente. Diseño de taladros y tiempos mediante empleo de software ShotPlus, con secuencia de voladura en 2 fases: 1ra fase, salida de material estéril; 2da fase, salida del mineral, con tiempos que oscilan entre 2 a 4 segundos de acuerdo al tipo de roca. Se tiene en cuenta un aumento de tiempos en el arranque de 150 ms; la primera ayuda con aumento de 30 ms y los demás taladros de desmonte con incrementos de 10 ms y los taladros de mineral con incrementos de 200 ms.

ANEXO 05
RESULTADOS DE VOLADURA CON IMPLEMENTACIÓN



ANEXO 06
DISTRIBUCIÓN DE MATERIAL POR ÁREAS



Fuente. Elaboración propia, 2021.

ANEXO 07
RESULTADO DE VOLADURA, SEPARACIÓN DESMONTE CON
MINERAL



ANEXO 08

**ENTRENAMIENTO EN CAMPO CON SUPERVISIÓN EN CUANTO AL
USO DE EQUIPOS BLASTBOX Y SCANNER**



ANEXO 9

**ESTIRADO DE CABLE HARNESS WIRE PARA REALIZAR
DETONACIÓN ELECTRÓNICA**



ANEXO 10
ENTRENAMIENTO EN SECUENCIAMIENTO CON SUPERVISIÓN EN
CUANTO A MALLA DE PERFORACIÓN



ANEXO 11
AMARRE DE FRENTE DE DETONACIÓN ELECTRÓNICA CON
DETONADORES eDev II



ANEXO 12
VALIDACIÓN DE RESULTADOS POR ÁREA DE GEOLOGÍA



Fuente. Se presenta evidencia en relación con validación de resultados de voladura de la diferenciación de desmonte con mineral, se tiene un mineral con menor porcentaje de dilución a comparación de un disparo pirotécnico a frente completo.

ANEXO 13
CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO CON ALFA DE CRONBACH

1. Alfa de Cronbach del % de Dilución

Muestra	Pretest	Posttest	Valor
1	23.01	35.76	58.77
2	7.67	15.34	23.01
3	81.41	81.41	162.82
4	81.41	119.93	201.34
5	178.61	240.92	419.53
6	36.79	82.43	119.22
7	28.27	326.01	354.28
8	111.13	112.53	223.66
9	56.74	118.16	174.90
10	71.60	151.09	222.69
11	70.85	101.28	172.13
12	28.34	152.46	180.80
13	98.04	391.91	489.95
14	46.76	115.20	161.96
15	46.49	123.59	170.08
16	57.82	84.51	142.33
17	113.36	164.57	277.93
18	127.72	250.24	377.96
19	64.60	78.21	142.81
20	121.01	302.60	423.61
21	120.95	233.94	354.89
22	176.24	487.25	663.49
23	89.37	120.99	210.36
Varianzas	2,020.20	13,131.18	21,666.52

k= 2.00

V_i= 15,151.38

V_r= 21,666.52

α= 0.601

2. Alfa de Cronbach de avance por disparo

Muestra	Pretest	Postest	Valor
1	2.70	2.80	5.50
2	3.10	3.30	6.40
3	2.95	3.10	6.05
4	3.12	3.30	6.42
5	3.25	3.00	6.25
6	3.20	3.40	6.60
7	3.20	3.35	6.55
8	3.00	3.20	6.20
9	2.90	3.35	6.25
10	3.00	3.20	6.20
11	2.80	3.25	6.05
12	3.21	3.40	6.61
13	2.88	3.35	6.23
14	2.78	3.05	5.83
15	2.80	3.05	5.85
16	2.70	3.05	5.75
17	2.78	3.10	5.88
18	3.11	3.30	6.41
19	3.10	3.40	6.50
20	3.30	3.20	6.50
21	3.10	3.10	6.20
22	3.20	3.30	6.50
23	2.92	3.10	6.02
Varianzas	0.03	0.02	0.09

$$k = 2.00$$

$$V_i = 0.057$$

$$V_r = 0.087$$

$$\alpha = \mathbf{0.693}$$

3. Alfa de Cronbach del flujo económico

Muestra	Pretest	Postest	Valor
1	-2,457.0	-2,429.0	-4,886.0
2	-2,821.0	-2,793.0	-5,614.0
3	9,188.0	9,352.4	18,540.4
4	9,188.0	9,186.6	18,374.6
5	20,158.0	11,846.5	32,004.5
6	-2,912.0	4,331.5	1,419.5
7	-2,912.0	16,465.0	13,553.0
8	12,542.0	5,836.5	18,378.5
9	-2,639.0	6,345.5	3,706.5
10	-2,730.0	7,764.5	5,034.5
11	-2,548.0	5,573.4	3,025.4
12	-2,921.0	7,860.5	4,939.5
13	10,059.0	22,590.8	32,649.8
14	-2,530.0	6,856.2	4,326.2
15	-2,548.0	6,177.9	3,629.9
16	-2,457.0	4,910.9	2,453.9
17	11,631.0	9,243.8	20,874.8
18	13,104.0	13,668.8	26,772.8
19	-2,821.0	* 4,534.5	1,713.5
20	12,416.0	16,132.2	28,548.2
21	12,409.0	12,031.5	24,440.5
22	18,082.0	25,261.1	43,343.1
23	9,169.0	6,774.9	15,943.9
Varianzas	63,557,250.2	42,274,262.3	169,456,028.4

$$k = 2.00$$

$$V_r = 105,831,512.52$$

$$V_t = 169,456,028.37$$

$$\alpha = 0.751$$

ANEXO 14

PETS – VOLADURA ELECTRÓNICA EDEV II EN FRENTE

	PROCEDIMIENTO ESCRITO DE TRABAJO SEGURO VOLADURA ELECTRÓNICA EDEV II EN FRENTE		COMPAÑÍA MINERA ARGENTUM S. A
	CÓDIGO: PETS-MO-MI-002	Versión: 01	
	Área: Mina	Página 137 de 3	

1. PERSONAL

- | | |
|---|-------------------|
| 1.1. Perforista Equipo Liviano. | 1.5. Personal EBS |
| 1.2. Ayudante Perforista Equipo Liviano | |
| 1.3. Técnico Equipo Pesado B. | |
| 1.4. Operador Maquinaria Pesada C | |

2. RIESGOS ASOCIADOS

- | | |
|--|----------------------|
| 2.1. Caída de personas. | 2.4. Corte en manos. |
| 2.2. Caída de rocas. | 2.5. Explosión |
| 2.3. Impacto por proyección de detritos al momento de la limpieza del taladro. | |

3. EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL

- | | |
|--|---|
| 3.1. Casco minero con barbiquejo. | 3.8. Correa porta lámparas con su anillo en forma de D. |
| 3.2. Lentes de seguridad. | 3.9. Lámpara de reglamento. |
| 3.3. Tapones de oído y orejeras. | 3.10. Ropa de jebe (previa evaluación). |
| 3.4. Respirador con filtro de polvo. | 3.11. Autorescatador. |
| 3.5. Guantes de cuero o neopreno. | |
| 3.6. Overol con cinta reflectiva. | |
| 3.7. Botas de jebe con punta de acero. | |

4. EQUIPO/HERRAMIENTAS/MATERIALES

- | | |
|---|--|
| 4.1 Atacador de madera. | 4.7 Mochilas de Lona. |
| 4.2 Punzón de cobre, madera o PVC. | 4.8 Escalera tipo retráctil o telescópica. |
| 4.3 Explosivos y accesorios de voladura. | 4.9 Letrero de advertencia "Riesgo Explosión" y prohibitivo "No hay pase". |
| 4.4 Tacos de arcilla y/o material plástico (retenedores de energía) | 4.10 Perno con cabeza expansiva. |
| 4.5 Tubos de PVC. | 4.11 Scanner. |
| 4.6 Cucharilla. | |

5. PROCEDIMIENTO

- 5.1 Al inicio de turno el personal recibirá la capacitación de 5', se debe contar con la orden de trabajo escrita y firmada por el supervisor responsable, así como el IPERC continuo para la ejecución de la voladura.
- 5.2 Todo el personal que realizará trabajos de voladura con el detonador electrónico eDev II, deberá contar con autorización para manipular explosivos SUCAMEC.
- 5.3 El personal que realizará los trabajos de programación de los detonadores electrónicos eDev II, deberá tener las autorizaciones correspondientes.
- 5.4 Antes de ingresar a la labor, el trabajador inspeccionará el área de trabajo con el formato de IPERC continuo, verificando la ventilación, desate de rocas sueltas techo y hastiales, iluminación de la labor.
- 5.5 Verificar que los taladros cumplan con la malla de perforación, longitud de taladro y procediendo a su limpieza con la cucharilla y/o sopleteando con aire.
- 5.6 Realizar el pedido de explosivos según la malla de perforación y longitud de taladro.
- 5.7 Realizar el traslado de explosivos y accesorios de voladura a la labor haciendo uso de las mochilas de lona y separadas a 10 metros entre accesorios y explosivos. El peso no deberá de exceder los 25Kg.

PRIMADO Y CARGUÍO

- 5.8 Preparar los cebos verificando que no exista fuente de ignición, cables energizados, objetos y herramientas metálicas cerca al área de preparación.
- 5.9 El personal encargado de las voladuras electrónicas eDev II, deberá revisar los equipos (Scanner y Blast Box) y completar el check list de operatividad de estos antes de cada voladura electrónica.
- 5.10 Verificar que los taladros cumplan con la malla de perforación, longitud de taladro, distanciamiento entre taladros y desviaciones durante la perforación; evitando errores en los tiempos de iniciación de cada detonador electrónico.
- 5.11 Verificar el diseño del carguío de los explosivos en los taladros.
- 5.12 Terminado el carguío de los taladros con el detonador electrónico eDev II, se realizará el reordenamiento de los cables sueltos de cada detonador por grupo de inicio, para evitar el tropiezo o caída del personal de voladura electrónica.

ESCANEO DE LOS DETONADORES ELECTRÓNICOS

- 5.13 Determinar en el diseño de secuenciamiento, los grupos y tiempos de retardo por detonador.
- 5.14 El escaneo de los detonadores se realiza con el Scanner.
- 5.15 La lectura de cada detonador electrónico se realiza, de manera ordenada y por grupos.
- 5.16 Limpiar el conector de cada detonador, para tener una mejor lectura.
- 5.17 Contar la cantidad exacta de detonadores escaneado.

CONEXIÓN DE DETONADORES ELECTRÓNICOS

- 5.18 Revisar la zona de trabajo, asegurando el desatado necesario, para un trabajo seguro.
- 5.19 Revisar el área de trabajo, revisando el sostenimiento de la zona.
- 5.20 Asegurar la ventilación e iluminación de la zona de trabajo.
- 5.21 Ordenar cada cable de detonador en el frente, evitando algún tipo de tropiezo o daño del cable cuando se realice la conexión de los detonadores.
- 5.22 Usar el conector de cada detonador para colocar el cable de conexión en circuito cerrado, todos los detonadores de la malla de voladura. Evitando al conectar algún tipo de fuga o corto circuito, en el sistema.

- 5.23 Contar el número exacto de detonadores conectados, comparando con los detonadores escaneados.
- 5.24 Cuando el conector de un detonador este en mal estado y no permite una buena conexión, se debe empalmar usando un pelacable, siendo la unión de los cables de colores iguales.

TESTEO DE MALLA DE VOLADURA

- 5.25 Todos los detonadores escaneados se deben de realizar su testeo, haciendo uso del Scanner para esta acción.
- 5.26 Tener los detonadores conectados al Scanner mediante el cable de conexión, y en la opción del Menú, TEST DETONATOR, se ingresa, con posibilidad que el sistema detecte error de comunicación en el detonador, como podrían ser detonadores Globales o NCO, detonador desconectado, detonador con cable cortado.
- 5.27 Para un sistema que este fuera del rango de fuga se debe detectar el detonador o el cable de conexión, que sea fuente de la elevación del mA en el sistema.
- 5.28 Si existen detonadores escaneados, se debe ubicar cada uno de ellos e insertarlos en el sistema de acuerdo con el secuenciamiento de la malla y la ubicación correspondiente.

EXTENSIÓN DEL CABLE DE CONEXIÓN O CABLE DE DISPARO

- 5.29 Realizar y revisar los empalmes.
- 5.30 Al extender, cuidar el posible corte del cable, evitando así una futura fuga de corriente o falla en la continuidad del sistema.
- 5.31 Colocar el cable a una altura de 1.5 m como mínimo, para evitar algún tipo de corte.

Programación de voladura electrónica:

- 5.32 Coordinar con el supervisor de la empresa contratista, responsable de la zona de trabajo, la iniciación del frente de voladura, que este dentro del horario de disparo.
- 5.33 Coordinar con el supervisor de la empresa contratista, la evacuación del personal que tenga influencia en el disparo electrónico.
- 5.34 El Blast Box, es el único equipo generador de energía codificada, para la iniciación de los detonadores electrónicos eDev II.
- 5.35 El Scanner – Blast Box, son los únicos equipos del sistema que permiten dar el último testeo en comunicación y fuga de energía del sistema de voladura electrónico eDev II.

VOLADURA ELECTRÓNICA ABORTADA

- 5.36 La pérdida de comunicación de los detonadores y el Scanner – Blast Box, se debe básicamente a la desconexión del conector del detonador electrónico con el cable de conexión, corte del cable de conexión y/o del cable de disparo.
- 5.37 La presencia de fuga de corriente en el sistema de voladura electrónico se debe a detonadores dañados en su cable al ser ingresados al taladro, al cable de conexión en mal estado, provocando una caída de voltaje.
- 5.38 La decisión de abortar la programación del proceso de voladura electrónico implica ingresar a la labor, para ello se debe iniciar el proceso de disipación de energía.
- 5.39 El tiempo de disipación de energía es de cinco minutos según el protocolo de aborto del sistema de voladura electrónico eDev II.
- 5.40 El personal encargado de la voladura electrónica de la labor, como parte de las buenas prácticas debe tener siempre en su tutelaje la llave o dongle del Blast Box.

DISPARO

- 5.41 Luego de la coordinación, y el proceso de programación llevado al nivel de 100%, sin ningún tipo de errores de comunicación, fuga de corriente, caída de voltaje, no aparición de detonadores globales y tampoco de detonadores NCO, se puede iniciar el proceso final de voladura electrónica.
- 5.42 Los horarios establecidos para el proceso de voladura son:
- 5.43 5:25 a.m. turno noche y 5:30 p.m. turno día para las Zonas de Codiciada y Alapampa.
- 5.44 El jefe de guardia y supervisor de operaciones debe coordinar e informar a sus colaboradores, a los supervisores y colaboradores de empresas contratistas, de las labores donde se realizarán voladuras en la zona, retirando al personal y colocando vigías y bloqueos con sus respectivos letreros de advertencia "RIESGO DE EXPLOSIÓN" y prohibitivo "NO HAY PASE" en los accesos a las labores a chispear de acuerdo al estándar de bloqueos para voladura, el jefe de guardia o supervisor de operaciones deberá planear y dirigir el proceso de voladura en la zona de su responsabilidad.
- 5.45 Para el disparo en accesos o labores principales se deberá contar con la presencia del supervisor y/o jefe de guardia durante la voladura.
- 5.46 Si la labor se encuentra por comunicar con una labor diferente, se bloquearán los accesos hacia ambas labores y se colocaran vigías y la voladura será liderada por el supervisor, además el área de ventilación debe verificar que el circuito de ventilación brinde las condiciones necesarias antes de comunicar realizando el disparo, de lo contrario no se realizará el disparo.
- 5.47 La voladura de cunetas se debe realizar a 15 metros del frente o tope de la labor.
- 5.48 El inicio de la programación de la voladura electrónica se realizará luego que se tiene la orden por parte de la supervisión responsable de la voladura por la empresa mandante o supervisor de la contrata encargada de la zona, dentro del horario de disparo.
- 5.49 El inicio de la voladura se realizará con la orden de la supervisión responsable de la voladura por la empresa mandante o supervisor de la contrata encargada de la zona.

6. RESTRICCIONES

- 6.1. No realizar el escaneo, testeo e inicio de los detonadores electrónicos, sin antes contar con la orden de trabajo debidamente firmada por el supervisor y el IPERC continuo para esta actividad.
- 6.2. No ejecute este procedimiento si no cuenta con la autorización de manipuleo de explosivos SUCAMEC.
- 6.3. No realizar el escaneo de los detonadores electrónicos cuando hay equipos cercanos a la labor.
- 6.4. No realizar el escaneo de los detonadores electrónicos si no se ha realizado la ventilación y el desatado de rocas.
- 6.5. No realizar el escaneo de los detonadores si la labor no se encuentra iluminada.
- 6.6. No realizar trabajos simultáneos.
- 6.7. No realice la programación de los detonadores electrónicos sin antes verificar la no existencia de personal en labores cercanas.
- 6.8. No realice el inicio de los detonadores electrónicos sin antes coordinar con la supervisión encargada de la voladura el bloqueo, señalización y colocación de vigías en los accesos al punto de la voladura electrónica.
- 6.9. No realice el proceso de voladura si la labor se encuentra por comunicar a otra y no se ha realizado la evaluación o cambio de circuito de ventilación por parte del área de ventilación.

7. ANEXOS O DIAGRAMAS

- 7.1. Ninguno.

ANEXO 15
IPERC – LINEA BASE

 <p align="center">IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS, EVALUACIÓN DE RIESGOS Y MEDIDAS DE CONTROL - IPERC LINEA BASE</p>		CÓDIGO	PP-PAS PERU-04-01
		VERSIÓN	'06
		INGENIERO	DES/3/04/2021
		PÁGINA 1 DE 1	

UNIDAD / PROYECTO: ARGENTUM	EQUIPO EVALUADOR NOMBRES Y APELLIFIRMA	FIRMA GERENCIA DE OPERACIONES <div style="border: 1px solid black; height: 40px; width: 100%;"></div>
GERENCIA: SUPERINTENDENCIA MIN/		
AREA: SUPERINTENDENCIA MIN/		
FECHA DE ELABORACION (CREACIÓN PRIMERA MATRIZ)	31-May	
FECHA DE ACTUALIZAC		

PROCESO	ACTIVIDAD	TIPO DE ACTIVIDAD	PUESTO DE TRABAJO	TAREA	PELIGRO	DETALLE DEL PELIGRO	RIESGO	CONSECUENCIA	EVALUACIÓN DE RIESGOS				JERARQUÍA DE CONTROL				RE-EVALUACION				PLAN DE ACCIÓN DE MEORA							
									SEVERIDAD (S)	PROBABILIDAD (P)	NIVEL DE RIESGO (P x S)	ELIMINACIÓN	SUSTITUCIÓN	CONTROLES DE INGENIERIA	CONTROLES ADMINISTRATIVOS	EPP	SEVERIDADES	PROBABILIDAD (P)	NIVEL DE RIESGO (P x S)	ACCION DE MEORA	RESPONSABLE	FECHA PROPUESTA	FECHA EJECUTADA	OBSERVACIONES				
VOLADURA CON DETONADOR ELECTRONICO eDev II		RUTINARIA	Jefe de Guardia Mina - Argentum	Diseño de secuencia de iniciación electrónica	Bancos de roca colgados, sueltos	*Durante el diseño de iniciación electrónica	Caja de roca	Contusión , fracturas , muerte	2	D	12						Programa de campaña de desate de rocas mensual		3	C	13	Superintendencia	25-Feb					
					Manipulación de objetos, materiales y herramientas manuales	*Durante el diseño de iniciación electrónica	Golpe por objetos y/o herramientas	Contusión , fracturas , muerte	3	C	13									Capacitación de riesgo por manipulación de objetos, herramientas manuales		3	D	17	Superintendencia	25-Feb		
					Equipos o materiales en suspensión	*Durante el diseño de iniciación electrónica	Caja de materiales / objetos	Contusión , fracturas , muerte	4	C	18											4	C	18				

PROCESO	ACTIVIDAD	TIPO DE ACTIVIDAD	PUESTO DE TRABAJO	TAREA	PELIGRO	DETALLE DEL PELIGRO	RIESGO	CONSECUENCIA	EVALUACIÓN DE RIESGOS				FAMAJUÁ DE CONTROL				RE-EVALUACIÓN				PLAN DE ACCIÓN DE MEDIDA					
									SEVERIDAD (S)	PROBABLE AD (P)	NIVEL DE PELIGRO (PS)	ELIMINACIÓN	SUSTITUCIÓN	CONTROLES ADMINISTRATIVOS	EPP	SEVERIDAD(S)	PROBABLE (P)	NIVEL DE PELIGRO (PS)	ACCIÓN DE MEDIDA	RESPONSABLE	FECHA PROPUESTA	FECHA EJECUTADA	OBSERVACIONES			
VOLADURA CON DETONADOR ELECTRÓNICO eDev II	VOLADURA	RUTINARIA	Programación, conexión y amarre con sistema electrónico eDev II	Supervisión de Operaciones, Maestro de voladura, Personal EDS-Exa.	Gases (roca, voladura, combustión, soldadura, entre otros)	*Presencia de alcoholnami y/o polvo en la zona de trabajo durante el proceso de voladura electrónica	Inhalación, irritación, Asfixia, intoxicación, gaseamiento	Muerte	a. Estándar de ventilación adecuado b. Uso de ventiladores adecuados c. IPERC continuo d. Monitoreo de gases en labores e. Uso de EPP adecuado para la tarea f. Pizarra de monitoreo	2	D	12					3	C	13	Programa de mantenimiento y/o calibración de los monitores de gases Programa de reparación de mangas de ventilación en las labores de trabajo Programa de mantenimiento de ventiladores	Superintendencia de Minería Superintendencia de Seguridad Superintendencia de Energía y Mantenimiento	25-Feb				
						Posturas forzadas / Estáticas	Exposición forzada a Posturas Estáticas	Lesiones musculares, esqueléticas o (Lumbalgias, hernias, discales, etc.)	a. Capacitación en ergonomía b. Capacitación en pausas activas c. Examen periódico anual (discales, etc.)	3	C	13									3	D	17	Salud e Higiene Ocupacional	25-Feb	
						Movimientos repetitivos	Exposición a Movimientos repetitivos	Lesiones musculares o (Lumbalgias, hernias, discales, etc.)	a. Capacitación en movimientos repetitivos b. Capacitación en pausas activas c. Examen periódico anual (discales, etc.)	3	B	9										3	D	17	Salud e Higiene Ocupacional	25-Feb
VOLADURA	VOLADURA	RUTINARIA	Programación, conexión y amarre con sistema electrónico eDev II	Supervisión de Operaciones, Maestro de voladura, Personal EDS-Exa.	Materiales biológicos biocontaminados	*Personal infectado con COVID-19 durante el proceso de voladura con detonadores electrónicos con eDev II	Enfermedad, intoxicación, infección, muerte	Daño a la salud	a. Prevención y vigilancia médica ante cuadros respiratorios agudos o sospecha de Coronavirus. b. Guía de acción para la vigilancia al retorno de labores mineras. c. Check list de prevención del COVID 19. d. Vigilancia médica antes y durante el traslado del personal al campamento minero. e. Boletines y cartillas informativas para la prevención del COVID 19. f. Área de aislamiento para pacientes con sospecha de COVID 19.	2	C	8				2	D	12	Distanciamiento social de 1.50m a 2.0m dentro de las instalaciones mineras de carácter obligatorio. Marca de espacios a 1.50m de distancia. Letreros disuasivos de distanciamiento de personas.	Superintendencia	25-Feb					
						Fatiga mental	Daño a la salud (estrés)	Dobres de cabeza, cansancio, agotamiento o pérdida de energía.	a. Cartillas de pausas activas	3	C	13								3	D	17	Superintendencia de Minería Salud e Higiene Ocupacional	25-Feb		

ANEXO 16



Ley N° 30035
Respositorio Nacional Digital



**UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
INGENIERIA**

**FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN
ELECTRÓNICA EN EL PORTAL DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL
DE LA UNI**

1. DATOS PERSONALES

Apellidos y nombres: CONTRERAS QUISPE, WILMER FABRIZIO

D.N.I: 46723244

Teléfono casa: -

celular: 992 448 129

Correos electrónicos: wcontrerasq@gmail.com

2. DATOS ACADÉMICOS

Grado académico: Bachiller

Mención: Ingeniería de Minas

3. DATOS DE LA TESIS

Título:

“Implementación del Sistema Electrónico de Voladura para Mejorar la Dilución, sobre Excavación, Avance por Disparo y Flujo Económico en Labores Horizontales en Minería Subterránea”.

Año de publicación: 2023

A través del presente, autorizo a la Biblioteca Central de la Universidad Nacional de Ingeniería, la publicación electrónica a texto completo en el Repositorio Institucional, el citado título.

Firma:

Fecha de recepción: 19/07/2023

ANEXO 17

CURRICULUM VITAE

Wilmer Fabrizio Contreras Quispe

Celular: +51 992448129

wcontrerasq@gmail.com

<https://www.linkedin.com/in/wilmercontrerasquispe/>



Soy Ingeniero de Minas bilingüe con más de 8 años de sólida experiencia en la industria minera subterránea, especializado en perforación y voladura, con Maestría en Gestión Minera y Diplomados en Finanzas Empresariales. Especialista en perforación y voladura en métodos de minado masivos y en vetas angostas (Taladros largos), así mismo considero la seguridad como uno de mis valores más importantes. Gestión mediante mapeo de procesos, especialmente en perforación y voladura, gestión de personas y cumplimiento de producción con estándares de calidad y cultura de costos bien definida, en este sentido puedo lograr resultados en base a los objetivos de la organización y mantener un mejoramiento continuo aplicando el círculo de Deming; optimista y disposición ante las tareas. Busco responder a los compromisos y desarrollar al máximo potencial de mis habilidades, competencias personales y profesionales de manera que estas puedan aportar valor para el desarrollo integral de la organización en la que ejerza mis competencias.

EXPERIENCIA LABORAL

SANDVIK DEL PERÚ – Perú

Jun 22 – Oct 22

Empresa industrial, líder en fabricación y comercialización de equipos mineros superficiales y subterráneos en el Perú y alrededor del mundo.

Ingeniero de Aplicación UG – Equipos de Perforación

- Visitar y desarrollar un amplio conocimiento de las operaciones y necesidades de los clientes, con el fin de proponer soluciones de seguridad, productividad y costos de acuerdo con nuestra oferta de productos y servicios.
- Trabajar con los AM y clientes (Ingenieros, Consultores, Ingenieros de Diseño, etc) para entender la performance de proceso e identificar oportunidades de mejora en la productividad y seguridad
- Seguimiento al desempeño durante la vida de los productos en el mercado. Realizar estudios a detalle de equipos en: productividades, costos operativos y aplicaciones en específico.
- Proveer información sobre las necesidades de los clientes no satisfechos por el actual offering.
- Trabajar en conjunto con las PAs y BLMs, empleando el offering actual, para proveer soluciones a los clientes.
- Mantener una base de datos actualizada de la información de la competencia, incluyendo equipos, especificaciones, actividades de Mercado y participación de mercado.
- Brindar soporte de ventas a los nuevos equipos y actualizaciones a los equipos existentes con sustento en la operación minera empleando los modelos TCO.
- Proveer toda la información necesaria que se requiera para soportar la venta • Proveer reportes de visita a clientes a través del CRM.
- Elaborar estudios de productividad de la maquinaria Sandvik para demostrar su rendimiento y compararlo con equipos de la competencia.

PAN AMERICAN SILVER BOLIVIA - San Vicente, Potosí – Bolivia

Ago 21 – Jun 22

Empresa minera canadiense líder en plata, con operaciones en Argentina, Bolivia, Guatemala, México, Perú, y Canadá.

Consultor Especialista en Perforación y Voladura

- Planificar, organizar, administrar, dirigir, coordinar y realizar seguimiento y control de las mejoras sobre las actividades de ejecución y cumplimiento de perforación y voladura en taladros largos y

labores horizontales.

- Capacitación, entrenamiento y seguimiento en perforación y voladura.
- Introducción de detonadores electrónicos para la mejora de la recuperación de labores de vetas angostas.
- Mejora de los rendimientos de aceros mediante el control DMAIC.
- Mediciones de sismicidad, VOD y fragmentación.

EXPLOSIVOS SA – EXSA ORICA, Lima

Ago 16 - Jul 21

EXSA, empresa peruana líder en comercialización de explosivos y accesorios de voladura.

Ingeniero de Asistencia Técnica

- Planificar, organizar, administrar, dirigir, coordinar y realizar seguimiento y control de las mejoras sobre las actividades de ejecución y cumplimiento de perforación y voladura en taladros largos y labores horizontales cumpliendo los procedimientos, estándares de seguridad y calidad del Área Mina.
- Seguimiento y control del Plan de minado semanal, mensual, Control de los factores de avance (Kg/m) y factores de carga (Kg/t) y gestión de Costos en Explosivos
- Elaboración del consumo de explosivos y las proyecciones del mismo.
- Capacitación y entrenamiento la personal involucrado en los procesos de perforación y voladura.
- Generación de Propuesta de valor en productos nuevos en innovación electrónica (eDEv II, WebGen e Ikon) e Implementación de detonadores electrónicas en Cía. Minera Argentum y Huaron.

CENTRO TECNOLOGICO MINERO - CETEMIN, Lima

May 2016 – Ago 2016

Instituto del rubro industrial y minero, proveedora de servicios de educación en el ámbito minero.

Asistente de Ventas Corporativas

- Control, ventas y presupuesto de programas de Explotación de Minas y todas las especialidades.
- Capacitación y entrenamiento al personal de mina en los procesos de perforación, voladura, operaciones, acarreo y transporte de mineral.

CONSORCIO MINERO BETZ, Lima

Ene 2016 - Mar 2016

Consortio minero enfocado a minería no metálica.

Asistente de Producción

- Planificar, organizar, administrar, dirigir, coordinar y realizar seguimiento y control de la producción de la cantera, cumpliendo los procedimientos, estándares de seguridad y calidad del Área Mina.

COMPAÑÍA MINERA CONDESTABLE, Mala

Ene 2015 - Ene 2016

Compañía minera de minerales extractivas de concentrados de Cu.

Practicante Profesional

- Manejo de recursos en aceros, control y aumento de mallas de perforación en taladros largos y en frentes de avance, mejorando costos y tiempos en dichas operaciones.
- Prueba de aceros de perforación en Jumbos, control de sostenimiento con perno, perno malla, mejora en los rendimientos de Scoop y neumáticos.
- Control y supervisión de operaciones unitarias de minado, control de tiempos de perforación, voladura, acarreo y transporte de minado.

SOLUCIONES INFORMATICAS NOOVA 7 SAC, Lima

May 2014 - Nov 2014

Consultora especializada en servicios mina (ventilación minera).

Soporte Técnico

- Levantamiento de caudales principales y secundarios de flujo de aire Simulación con VentSim para el

mejoramiento del sistema de ventilación.

- Reporte al Gerente Técnico de Proyectos el avance en cada una de las tareas bajo mi responsabilidad.
- Proyecto realizado en Cía. Minera Alpamarca UEA Rio Pallanga - Volcan

EDUCACIÓN

Ingeniería de Minas - (CIP 259836), egresado 2013

Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)

Finanzas Empresariales, 2021

Escuela de Posgrado UNI – Lima.

Maestría en Gestión Minera, 2019

Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)

Gestión de Costos unitarios en Operaciones Mineras, 2015

Cámara Minera del Perú - CAMIPER

Inglés, 2013

Instituto Cultural Peruano Norte Americano – ICPNA

OTROS DOMINIOS Y CONOCIMIENTOS

Inglés intermedio

MS Microsoft, nivel intermedio

Autocad

JK Simblast

Blastware

Split Desktop

Devisoft

OTRAS ACTIVIDADES DE INTERÉS

Bombero voluntario, educación, desarrollo personal, viajes, deporte.

REFERENCIAS

Disponible a solicitud.

CURRICULUM VITAE

Wilmer Fabrizio Contreras Quispe

Cell phone: +51 992448129

wcontrerasq@gmail.com

<https://www.linkedin.com/in/wilmercontrerasquispe>



I am a bilingual Mining Engineer with more than 9 years of solid experience in the underground mining industry, specializing in drilling and blasting, with a master's degree in mining management and Diplomas in Business Finance. Specialist in drilling and blasting in massive mining methods and in narrow veins (long drills), I also consider safety as one of my most important values. Management through process mapping, especially in drilling and blasting, people management and production compliance with quality standards and a well-defined cost culture, in this sense I can achieve results based on the organization's objectives and maintain continuous improvement by applying Deming's circle; Optimistic and ready for tasks. I seek to respond to the commitments and develop my skills, personal and professional skills to the fullest potential so that they can add value to the comprehensive development of the organization in which I exercise my skills.

WORK EXPERIENCE

SANDVIK DEL PERÚ – Perú

Jun 22 – Oct 22

Industrial company, leader in manufacturing and marketing surface and underground mining equipment in Peru and around the world.

Application Engineer UG Drilling Equipment

- Visit and develop a broad knowledge of the operations and needs of customers, in order to propose security, productivity and cost solutions in accordance with our offer of products and services.
- Work with AM and clients (Engineers, Consultants, Design Engineers, etc.) to understand process performance and identify opportunities for improvement in productivity and safety.
- Follow-up of the performance during the life of the products in the market. Carry out detailed studies of equipment in: productivities, operating costs and specific applications.
- Provide information about the needs of customers not satisfied by the current offering.
- Work together with PAs and BLMs, using the current offering, to provide solutions to clients
- Maintain an updated database of competitor information, including equipment, specifications, market activities and market share.
- Provide sales support to new equipment and upgrades to existing equipment with support in the mining operation using TCO models.
- Provide all the necessary information required to support the sale.
- Provide customer visit reports through the CRM.
- Carry out productivity studies on Sandvik machinery to demonstrate its performance and compare it with competing equipment.

PAN AMERICAN SILVER BOLIVIA - San Vicente, Potosí – Bolivia

Aug 21 – Jun 22

Leading Canadian silver mining company with operations in Argentina, Bolivia, Guatemala, Mexico, Peru, and Canada.

Drilling and Blasting Specialist Consultant

- Plan, organize, manage, direct, coordinate and monitor and control the improvements on the activities of execution and compliance of drilling and blasting in long holes and horizontal work.
- Training, training and monitoring in drilling and blasting.
- Introduction of electronic detonators to improve the recovery of narrow vein workings.
- Improvement of steel yields through DMAIC control.
- Measurements of seismicity, VOD and fragmentation

EXPLOSIVOS SA – EXSA ORICA, Lima**Aug 16 - Jul 21**

EXSA, XSA, a leading Peruvian company in the marketing of explosives and blasting accessories in mining.
Technical Assistance Engineer

- Plan, organize, manage, direct, coordinate and monitor and control the improvements on the activities of execution and compliance of drilling and blasting in long holes and horizontal work, complying with the procedures, safety standards and quality of the Mine Area.
- Monitoring and control of the weekly and monthly mining plan, Control of advance factors (Kg/m) and load factors (Kg/t) and Explosives Cost management.
- Elaboration of the consumption of explosives and its projections.
- Qualification and training of the personnel involved in the drilling and blasting processes.
- Generation of Value Proposal in new products in electronic innovation (eDEv II, WebGen and Ikon) and Implementation of electronic detonators in Cía. Minera Argentum and Huaron.

CENTRO TECNOLOGICO MINERO - CETEMIN, Lima**May 2016 – Aug 2016**

Institute of the industrial and mining field, provider of education services in the mining field.

Corporative Sales Assistant

- Control, sales and budget of Mining Exploitation programs and all specialties.
- Education and training of mine personnel in the processes of drilling, blasting, operations, hauling and ore transportation.

CONSORCIO MINERO BETZ, Lima**Jan 2016 - Mar 2016**

Mining consortium focused on non-metallic mining.

Production assistant

- Plan, organize, manage, direct, coordinate and monitor and control the production of the quarry, complying with the procedures, safety and quality standards of the Mine Area.

COMPAÑÍA MINERA CONDESTABLE, Mala**Jan 2015 - Jan 2016**

Mining company of extractive minerals of Cu concentrates.

Professional Trainee

- Management of steel resources, control and increase of drilling grids in long holes and In advance fronts, improving costs and times in said operations.
- Testing of drilling steels in Jumbos, support control with pin, mesh pin, improvement in Scoop and tire performance.

SOLUCIONES INFORMATICAS NOOVA 7 SAC, Lima**May 2014 - Nov 2014**

Consultant specializing in mine services (mining ventilation).

Technical support

- Survey of main and secondary flows of air flow. Simulation with VentSim for the improvement of the ventilation system.
- Report to the Technical Project Manager the progress in each of the tasks under my responsibility.
- Project carried out in Cía. Minera Alpamarca UEA Rio Pallanga - Volcan

EDUCATION**Mining Engineering - (CIP 259836), graduated 2013**

National University of Engineering (UNI)

Business Finance, 2021

UNI Postgraduate School – Lima.

Master of Mining Management, 2019

National University of Engineering (UNI)

Unit Cost Management in Mining Operations, 2015

Mining Chamber of Peru – CAMIPER

English, 2013

North American Peruvian Cultural Institute - ICPNA

OTHER DOMAINS AND KNOWLEDGE

Intermediate English

MS Microsoft, intermediate level

autocad

JK Simblast

Blastware

Split Desktop

Devisoft

OTHER ACTIVITIES OF INTEREST

Volunteer firefighter, paramedic, education, personal development, travel, sports.

REFERENCES

Available on request.