

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



T E S I S

**Aplicación de la iniciación electrónica para mejorar el sistema de gestión de
seguridad y productividad en el proceso de voladura de la U.E.A. Heraldos
Negros**

**Para optar el título profesional de:
Ingeniero de Minas**

Autor:

Bach. Yhina Milvia RIVERA YALICO

Asesor:

Mg. Silvestre Fabian BENAVIDES CHAGUA

Cerro de Pasco - Perú - 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



T E S I S

**Aplicación de la iniciación electrónica para mejorar el sistema de gestión de
seguridad y productividad en el proceso de voladura de la U.E.A. Heraldos
Negros**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Edwin Elias SANCHEZ ESPINOZA
PRESIDENTE

Ing. Toribio GARCIA CONTRERAS
MIEMBRO

Mg. Luis Alfonso UGARTE GUILLERMO
MIEMBRO



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION

Facultad de Ingeniería de Minas

Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas

"Año de la Recuperación y Consolidación de la Economía Peruana"



Firmado digitalmente por CONDOR SURICHACUJI Santa Silvia FAU 20154605046 soft Soy el autor del documento 03/08/2025 16:56:39 -05:00



INFORME DE ORIGINALIDAD N° 031-2025

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Originality, que a continuación se detalla:

Presentado por:

Bach. Yhina Milvia RIVERA YALICO

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería de Minas

Tipo de trabajo:

Tesis

Título del trabajo

"Aplicación de la Iniciación Electrónica para Mejorar el Sistema de Gestión de Seguridad y Productividad en el Proceso de Voladura de la U.E.A. Heraldos Negros"

Asesor:

Mg. Benavides Chagua Silvestre Fabián

Índice de Similitud: **13%**

Calificativo

APROBADO

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 26 de agosto de 2025.

Sello y Firma del responsable
de la Unidad de Investigación

DEDICATORIA

Al creador de la naturaleza, que me da luz y me acompaña siempre; a mis padres, por el sustento incondicional en mi carrera profesional y a mi hija, que es el motivo del proceso de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A los catedráticos de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Minas; por sus experiencias y aportes compartidos conocimientos que son los pilares de mi profesión.

A los Ingenieros de la minera “Heraldos Negros”, por permitirme desarrollar el proceso de esta investigación y a todos los amigos que participaron y me apoyaron en la cristalización del presente.

RESUMEN

El trabajo de investigación **“Aplicación de la Iniciación Electrónica para Mejorar el Sistema de Gestión de Seguridad y Productividad en el Proceso de Voladura de la U.E.A. Heraldos Negros”**. Se propone con el objetivo de mejorar el proceso de la voladura de las labores subterráneas de la unidad minera. El estudio se plasma gracias al apoyo incondicional del Área de voladura de la Unidad Minera “Heraldos Negros”. Esta unidad minera pertenece a la Compañía Minera San Valentín S.A.

En los procesos de voladura de las labores subterráneas de los diferentes frentes como galerías, subniveles, rampas y otros se utiliza la voladura convencional con el uso de iniciadores no eléctricos que han sido evaluadas de las operaciones normales para luego efectuar la relación de los resultados con la aplicación de iniciadores electrónicos. El desarrollo de la investigación propone la aplicación de detonadores electrónicos que sea capaz de mejorar los parámetros de seguridad, productividad y los costos.

Aplicado la voladura remota con su alternativa de los iniciadores electrónicos, se notó un reflejo significativo en el resultado de la seguridad, productividad y costos; se tenía riesgos laborales por la presencia de personal de chispeo y vigías en los frentes de voladura, el cambio del método en el proceso de voladura electrónica se elimina este riesgo laboral al no requerir personal de chispeo y vigía en labores de voladura. Asimismo, en cuanto a la productividad se mejoró la disponibilidad de horas hombre y la disponibilidad mecánica de los equipos de sostenimiento, perforación acarreo y transporte en horas máquina y finalmente en cuanto a los costos se obtiene una rentabilidad 33 737 dólares anuales. Estos resultados muy significativos se logran con la aplicación de la voladura electrónica.

Palabras Claves: Iniciación electrónica, Gestión de seguridad, Productividad. Costos

ABSTRACT

The research work “Application of Electronic Initiation to Improve the Safety and Productivity Management System in the Blasting Process of the U.E.A. Black Heralds.” It is proposed with the objective of improving the blasting process of the underground workings of the mining unit. The study is carried out thanks to the unconditional support of the Blasting Area of the “Heraldos Negros” Mining Unit.

In the blasting processes of the underground works of the different fronts such as galleries, sublevels, ramps and others, conventional blasting is used with the use of non-electric initiators that have been evaluated from normal operations and then relate the results with the application of electronic initiators. The development of the research proposes the application of electronic detonators that is capable of improving safety, productivity and cost parameters.

Applied remote blasting with its alternative of electronic initiators, a significant reflection was noted in the result of safety, productivity and costs; There were occupational risks due to the presence of sparking personnel and lookouts at the blasting fronts, the change in the method in the electronic blasting process eliminates this occupational risk by not requiring sparking and lookout personnel in blasting work. Likewise, in terms of productivity, the availability of man hours and the mechanical availability of the support, drilling, hauling and transportation equipment in machine hours were improved and finally in terms of costs, a profitability of 33,737 dollars per year was obtained. These very significant results are achieved with the application of electronic blasting.

Keywords: Electronic initiation, Security management, Productivity. Costs

INTRODUCCIÓN

El fin del proceso de investigación: **“Aplicación de la Iniciación Electrónica para Mejorar el Sistema de Gestión de Seguridad y Productividad en el Proceso de Voladura de la U.E.A. Heraldos Negros”**, es mejorar los riesgos laborales, la productividad y los costos de rentabilidad de la minera mencionada; y demostrar que con la aplicación de la voladura remota en el proceso de voladura de las labores subterráneas de los diferentes frentes se obtiene estos objetivos.

En el capítulo primero se describe el planteamiento del problema, delimitación de la investigación, objetivos de la investigación, justificación y limitaciones de investigación

En el capítulo segundo se desarrolla el marco teórico describiendo las características del método de la voladura remota, los detonadores electrónicos, instrumentos utilizados en este proceso el capítulo es muy importante para poder comprender el desarrollo del proceso de investigación.

En el capítulo tercero se resalta toda la metodología del trabajo de investigación.

En el capítulo cuarto se presenta el resumen del trabajo de campo describiendo el proceso de la voladura remota electrónica detallando los instrumentos y condiciones de este método de voladura innovadora; posteriormente se realiza el análisis y discusión de resultados comparando los indicadores obtenidos en las pruebas de campo de cada método, para demostrar las hipótesis planteadas.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.2. Delimitación de la investigación.....	2
1.2.1. Unidad Económica Administrativa los Heraldos Negros	2
1.3. Formulación del problema	21
1.3.1. Problema general.....	21
1.3.2. Problemas específicos	21
1.4. Formulación de objetivos.....	22
1.4.1. Objetivo general	22
1.4.2. Objetivos específicos	22
1.5. Justificación de la Investigación	22
1.6. Limitaciones de la investigación.....	23

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio	24
2.2. Bases teóricas - científicas	28

2.2.1. Seguridad y salud ocupacional en minería	28
2.2.2. Accidente de trabajo	28
2.2.3. Estándar de Trabajo.....	29
2.2.4. Accesorios de Voladura	30
2.2.5. Voladura en labores subterráneas.....	31
2.2.6. Sistemas de Iniciación	34
2.3. Definición de términos básicos	38
2.4. Formulación de hipótesis	39
2.4.1. Hipótesis general	39
2.4.2. Hipótesis específicas	39
2.5. Identificación de variables	40
2.6. Definición Operacional de variables e indicadores.....	41

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación	42
3.2. Nivel de investigación.....	42
3.3. Métodos de investigación.....	42
3.4. Diseño de investigación	43
3.5. Población y muestra	43
3.6. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	43
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	44
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	45
3.9. Tratamiento estadístico	45
3.10. Orientación ética filosófica y epistémica	45

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo	46
4.1.1.	Proceso estándar de voladura	46
4.1.2.	Proceso del sistema de iniciación electrónica subterránea.....	48
4.1.3.	Reconocimiento de labores en interior mina.....	54
4.1.4.	Proceso de Pruebas.....	60
4.1.5.	Prueba con detonadores inertes	64
4.1.6.	Programación de los iniciadores electrónicos	65
4.1.7.	Conexión de detonadores electrónicos	66
4.1.8.	Test de la línea M35 y detonadores electrónicos	68
4.1.9.	Proceso de voladura inalámbrica	70
4.1.10.	Reingreso Post – Voladura.....	75
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados	75
4.2.1.	Presentación y análisis del sistema electrónico.....	75
4.2.2.	Interpretación de los resultados del sistema electrónico	85
4.3.	Prueba de hipótesis.....	94
4.3.1.	Hipótesis general	94
4.3.2.	Hipótesis específicas	94
4.4.	Discusión de resultados.....	96

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la unidad minera	3
Figura 2. Acceso de la unidad minera	4
Figura 3. Geología regional de la unidad minera	6
Figura 4. Geología local de la unidad minera	8
Figura 5. Columna estratigráfica de la unidad minera	11
Figura 6. Geología estructural de la unidad minera	14
Figura 7. Microcuenca de la unidad minera	16
Figura 8. Unidades hidro estratigráficas Chilhuayco.	17
Figura 9. Distribución de taladros de la malla de voladura.....	33
Figura 10. Detonador ordinario	35
Figura 11. El detonador eléctrico	35
Figura 12. Detonador no eléctrico	36
Figura 13. Detonador electrónico	37
Figura 14. Equipo de Programación.....	49
Figura 15. Remote Blaster (DRB2).....	50
Figura 16. Unidad Blast Driver	50
Figura 17. Modem RipEX2.....	51
Figura 18. Ficha de seguridad RFID.	52
Figura 19. Instalación del cable M35.	53
Figura 20. Equipos empleados en la unidad maestra	53
Figura 21. Equipos de la unidad esclava.	54
Figura 22. Red de comunicación.....	55
Figura 23. Instalación de Cable nivel 1325 - 1400.....	56
Figura 24. Instalación en la zona esperanza.	56

Figura 25. Localización del equipo remoto BP1350	59
Figura 26. Ubicación de unidad remota BP 1300W	59
Figura 27. Instalación de la línea radiante.....	60
Figura 28. Control de comunicación de las unidades.....	62
Figura 29. Buena señal de comunicación BP 1350	62
Figura 30. Rampa 315, cámara de bombeo (CA_B316)	63
Figura 31. Sector tres buenas señales de información.....	63
Figura 32. Programa del detonador electrónico.	66
Figura 33. Conexión de la línea M35.	66
Figura 34. Conexión en vacío a la línea M35.....	67
Figura 35. Empalme de la cápsula a la red pirotécnica	68
Figura 36. Control del empalme a la mecha.....	68
Figura 37. Valores en el control de la red M35.....	69
Figura 38. Control de la red M35.	70
Figura 39. Asociación de la PU a la DBD.....	71
Figura 40. Pantalla de autorización	72
Figura 41. Autorización desde superficie.....	73
Figura 42. Diferencia de los tipos de iniciación	76
Figura 43. Consumo de detonadores electrónicos	78
Figura 44. Eventos de seguridad.	79
Figura 45. Cuadro de frentes no iniciados.....	80
Figura 46. Retrasos por disparo.....	81
Figura 47. Suspensiones de voladuras.....	82
Figura 48. Frentes iniciados y cantidad de iniciadores por labor	83
Figura 49. Control preventivo para el chispeo manual	86

Figura 50. Voladura de modo Onetouch Multiblast.....	88
---	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Accesos a la unidad minera.	3
Tabla 2. Definición Operacional de variables e indicadores	41
Tabla 3. Actividades del proceso de chispeo.....	47
Tabla 4. Zonas de prueba en esperanza	57
Tabla 5. Zonas de prueba en niveles.....	58
Tabla 6. Frentes de disparo sector esperanza.	74
Tabla 7. Labores de disparo en Zona tres	75
Tabla 8. Registro de las voladuras realizadas.....	77
Tabla 9. Criterio de evaluación en eventos de seguridad	79
Tabla 10. Regla de evaluación de labores no iniciados	80
Tabla 11. Regla de evaluación de Retraso por disparo.....	80
Tabla 12. Regla de evaluación de cancelación de disparo.	81
Tabla 13. Frentes simulados por voladura.....	83
Tabla 14. Regla de Validación modo multi-disparo.....	84
Tabla 15. Voladuras por el sistema Onetouch Multiblast	84
Tabla 16. Control de disparo convencional	87
Tabla 17. Control de disparo electrónico remoto	87
Tabla 18. Proceso de disparo remoto Multiblast Onetouch.....	89
Tabla 19. Plan de horas de trabajo.....	90
Tabla 20. Ahorro originado por la aplicación de voladura electrónica remota	91
Tabla 21. Renta mensual y anual.....	92
Tabla 22. Costos de implementación del cable M35.....	92
Tabla 23. Costo de la línea de disparo.....	92
Tabla 24. Costo anual de reposición de cable de disparo.....	93

Tabla 25. Costo anual del consumo de detonadores electrónicos	93
Tabla 26. Costo anual de equipos y personal	93
Tabla 27. Costo total anual de implementación y años siguientes	94
Tabla 28. Rentabilidad con la aplicación de la iniciación electrónica.....	94

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

Una empresa minera de manera constante va mejorando sus operaciones buscando una mayor eficiencia posible en cada ciclo de la explotación del yacimiento; uno de ellos su objetivo es de mejorar la gestión de seguridad para sus trabajadores como en el proceso de voladura en la ejecución de las diferentes labores subterráneas como tajos, galerías, rampas en general todo frente de voladura con altos rendimientos en los resultados de avances y seguridad en los operadores. Considerando este principio el problema planteado en el proyecto de investigación es que al realizar las voladuras con un sistema de iniciadores y accesorios convencionales la seguridad de los trabajadores de mina tienen un alto riesgo en los accidentes leves o fatales por encontrarse muy cerca de la zona de chispeo de las voladuras; considerando todos estos factores en la U.E.A. Heraldos Negros en el proceso de la ejecución de voladuras en las labores diferentes de sus operaciones en la actualidad el proceso no son eficientes referidos a la seguridad del personal, el proceso convencional ha generado muchas veces accidentes, ello

influye en el incremento de los índices de seguridad de la minera el mismo requiere mayor supervisión en el área de voladura y mayor tiempo en el cumplimiento de los estándares de seguridad en voladura. Por todos los factores descritos se propone utilizar los iniciadores electrónicos con el objetivo de mejorar la gestión de seguridad del personal en el proceso de voladura de la U.E.A. Heraldos Negros; con el uso de este sistema de iniciación se mejorara significativamente la eficiencia y rendimiento de la gestión de seguridad del proceso de voladura asimismo, implica en los resultados de la producción por el requerimiento de menos personal y tiempo que va incidir indudablemente en mejorar los costos de las operaciones, también va mejorar el cumplimiento del programa de producción de la mina.

1.2. Delimitación de la investigación

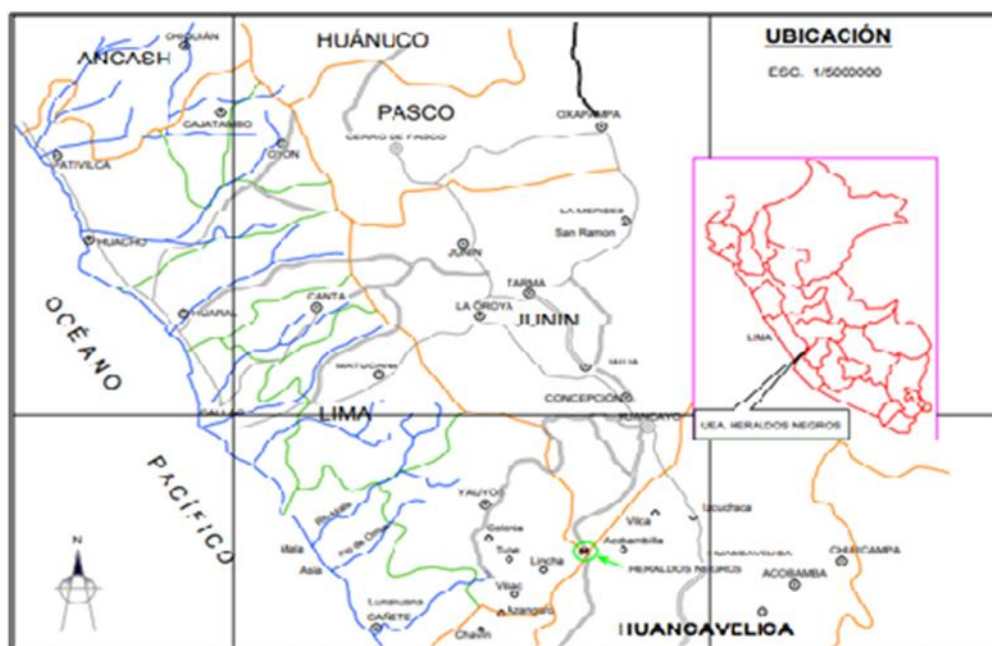
1.2.1. Unidad Económica Administrativa los Heraldos Negros

A. Ubicación Geográfica

Se localiza en la ciudad de Acobambilla, distrito de Acobambilla, provincia y región de Huancavelica.

Se encuentra emplazado en el cerro Condoray, cerca de las lagunas Capillayoc, Acchicocha, Esperanza, Angascocha y Condoray. A una altitud referente al mar de 4,840.0 m.s.n.m.

Figura 1. Ubicación de la unidad minera



Fuente: Área de geología

B. Accesibilidad

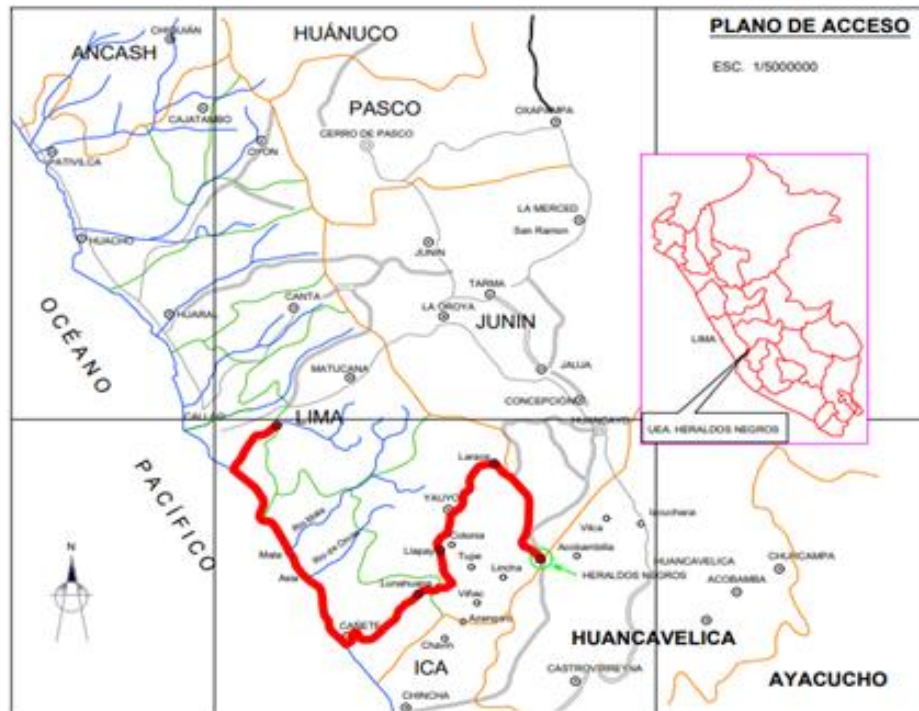
Para llegar al campamento minero se tiene como vías de acceso una carretera asfaltada y otra afirmada, la información se nota en la tabla 1.

Tabla 1. Accesos a la unidad minera.

Tramo	Distancia (Km)	Recorrido camioneta en (Horas)	Tipo de vía
Lima – Cañete	150	2.5	Asfaltada
Cañete – Lunahuana	40	0.7	Asfaltada
Lunahuana – Llapay	120	3.0	Asfaltada
Llapay – Laraos	12	0.4	Asfaltada
Laraos – San Valentín	19	0.7	Afirmada
San Valentín –Heraldos Negros	50	2.5	Afirmada
Total	391	9.8	

Fuente: Área de geología

Figura 2. Acceso de la unidad minera



Fuente: Área de geología

C. Geología Regional

Relacionando las imágenes satelitales Landsat III (SSM) y Landsat (VTM), los planos de distribución y planos geológicos regionales, de los principales yacimientos en producción, se determina que en altas cumbres de la Cordillera Occidental de los Andes centrales existe una gran cantidad de yacimientos polimetálicos, ubicados entre zonas de fallas longitudinales de pronunciado ángulo.

Esta zona, es la estructura regional más importante, que controla la ubicación de diversos yacimientos y también se tiene la presencia de centros volcánicos Neógenos y stocks intrusivos.

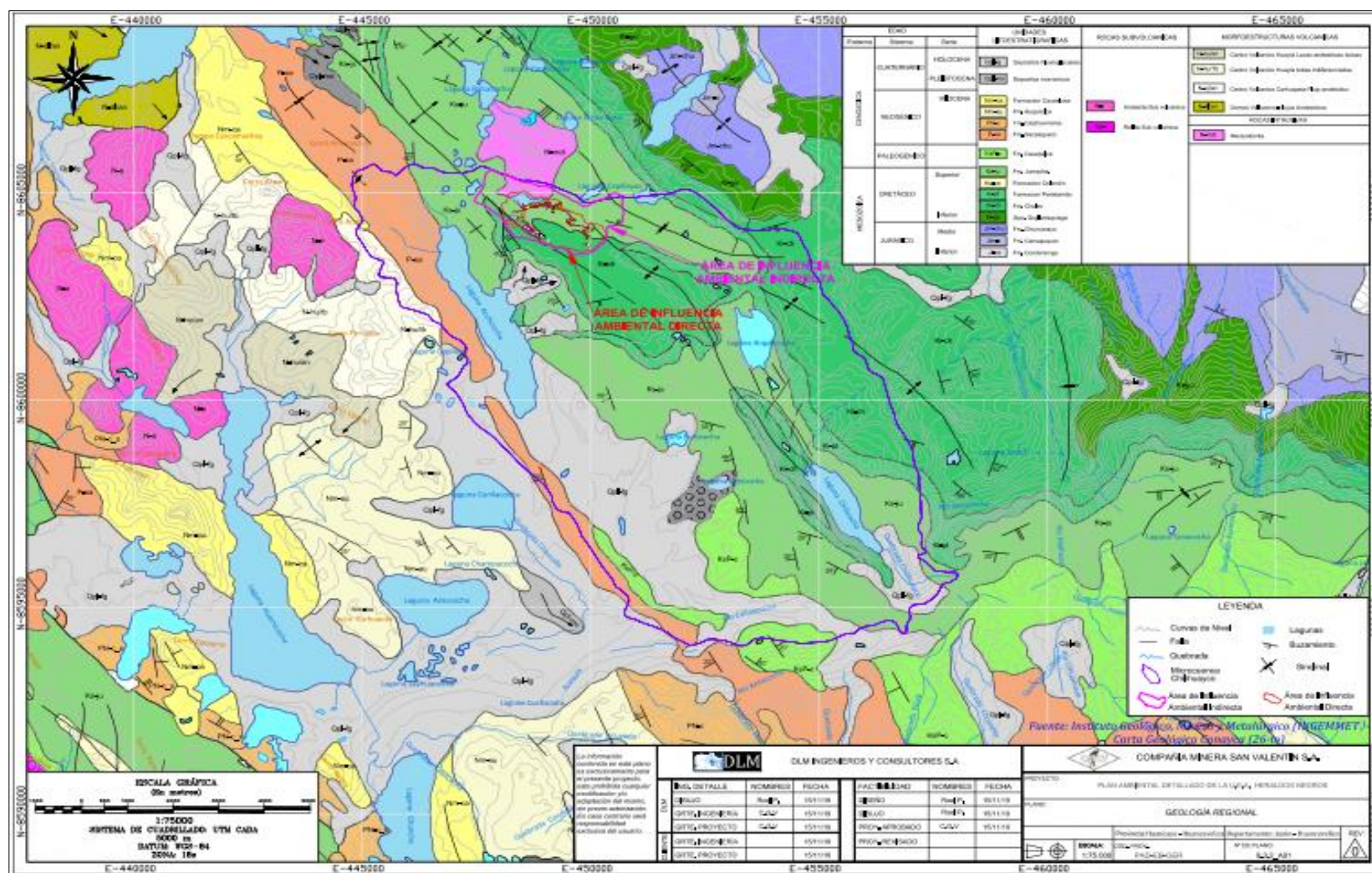
Tomando referencia el yacimiento Hualdos Negros. La zona de falla incluye hacia los noreste yacimientos polimetálicos como

Yauricocha, San Valentín, San Cristóbal y Morococha y al sureste a los yacimientos de San Genaro, Castrovirreyna, Huachocolpa, Julcani.

La falla longitudinal toma el nombre de "Falla Chonta", de pronunciado ángulo, en la zona de San Genaro de acuerdo con las imágenes satelitales. La Falla Chonta de la unidad minera, coincide con la veta bomboncito antes falla Esperanza.

En el yacimiento San Valentín, en la zona de las fallas, hay cuerpos mineralizados de brecha que se están explotando subterráneamente.

Figura 3. Geología regional de la unidad minera



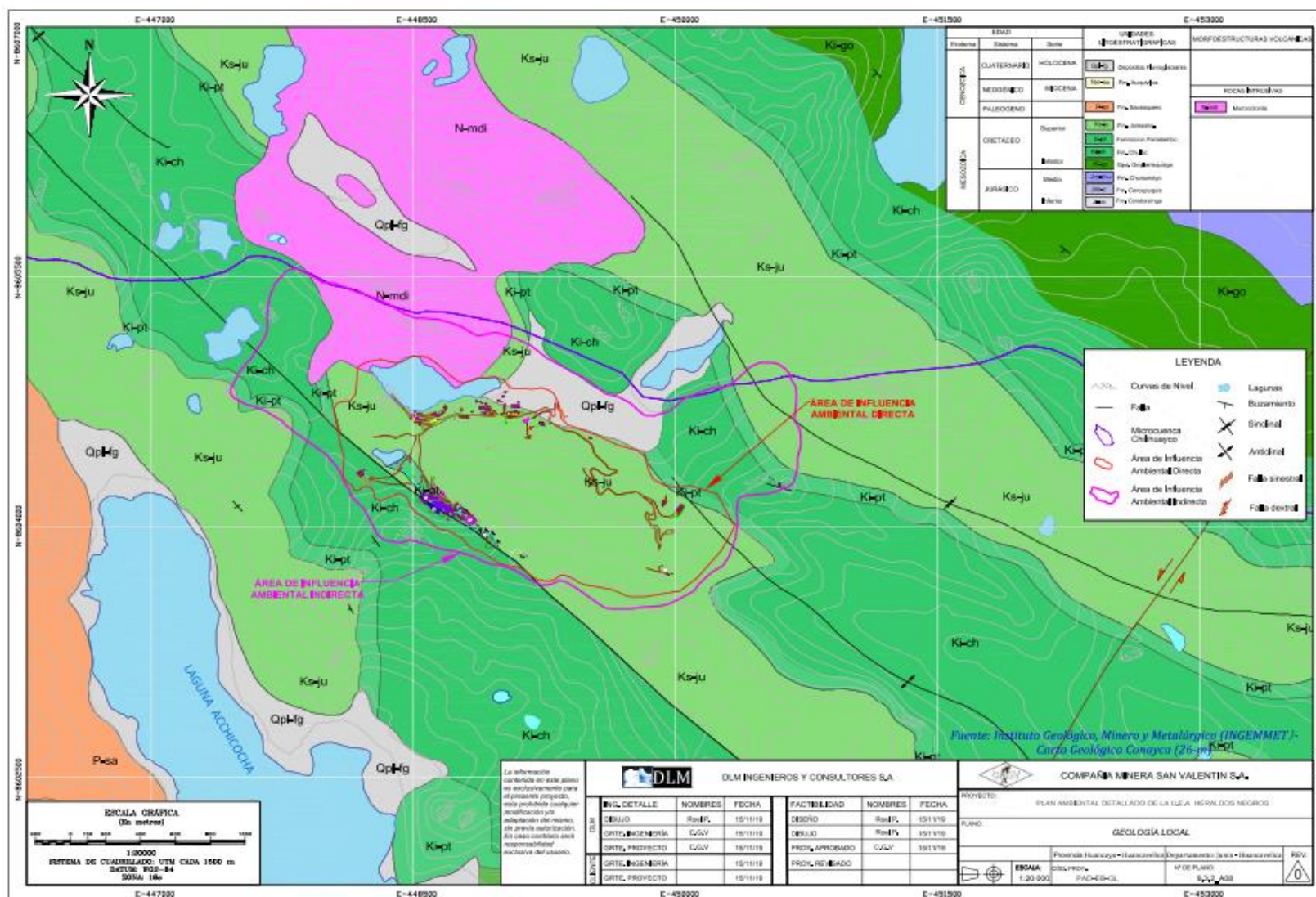
Fuente: Área de geología de la unidad

D. Geología local

En la zona donde se ubica la unidad minera, se cuenta con afloramientos de calizas grises y gris claro con rumbo N20°W, rocas sedimentarias con buzamiento 55°SW, y volcánicas andesíticas, han sido atravesadas por diminutos intrusivos, que han dado origen a la piritación de las rocas consecuentes, los depósitos minerales con valor económico están relacionado al intrusivo. Las formaciones de Pariatambo, Jumasha sobre yacen formando un anticlinal.

En el cerro Nevado Condoray, dentro de la unidad minera, el plano axial del anticlinal mencionado, se produjo una falla formando una brecha que la misma aloja a los cuerpos mineralizados entre fisuras mediante la bomboncito y veta Heraldos acompañado de un sistema conjugado de fracturas transversales, alojando vetillas de calcita con ciertos sulfuros. Al noreste del anticlinal y de la laguna Condoray, un Stock monzo diorítico aloja calizas de Formación Jumasha con una aureola de calcita mármolizada, asimismo un pórfido cuarcífero con disseminación de pirita aflora al este de la laguna Condoray.

Figura 4. *Geología local de la unidad minera*



Fuente: Área de Geología U.E.A. Heraldos

E. Estratigrafía

La distribución estratigráfica es considerada en la región como sigue.

1. Formaciones Chúlec – Pariatambo (Ki-chp)

Se ubica en laderas de los cerros de las altiplanicies compuestas por el miembro Chúlec formada por lutitas arenosas, arcillas calcáreas y calizas con intercalaciones de margas calcáreas; al tope se encuentra Pariatambo, compuesto por yeso, calizas bituminosas y bancos de arcilla.

El mineral se encuentra en un paquete de estratificación delgada negra en el flanco Noreste de la quebrada Heraldo Negro, que se observa en el Nv. 900. Es una formación bituminosa de nódulos de chert con potencia promedio de 120 m. emplazada de limonitas calcáreas, estratos delgados de calizas y con algunos horizontes de lutitas. Es la formación no continúa del flanco opuesto al anticlinal por un desplazamiento normal de la falla Esperanza.

2. Formación Jumasha (ks-j)

La formación se encuentra emplazado con la formación Pariatambo en el anticlinal de lineamiento andino con un eje inclinado muy leve al NW. Tiene un afloramiento circundante en la zona del proyecto, posee una potencia media de 405 m y sobreyace en formación Pariatambo con calizas y lutitas. Se encuentra con intercalaciones de calizas color gris a calizas dolomíticas de color gris blanco a amarillento. Presentan algunas

veces el chert e intercalaciones de margas.

3. Grupo Goyllarisquizga (Ki-g)

Constituido a base de derrames volcánicos, areniscas cuarzosas de lutitas gris verdosas, mantos carbonosos y ocasionalmente “sills” de diabasa. Corresponde a las rocas clásticas sobre las calizas Pucará y bajo las formaciones calcáreas del Albiano.

4. Formación Sacsaquero (Tim-s)

Es la secuencia volcánica-sedimentaria, compuesta por rocas limosas-argiláceas andesíticas, tobas, areniscas. En superficie se tiene con relieve muy accidentado y agreste, con escasa cobertura de suelo residual moderadamente alterada.

5. Formación Caudalosa (Ts-ca)

Es la secuencia volcánica, contiene areniscas tufáceas, piroclastos, flujos andesíticos, riolacitas. Se aprecia en zonas con terreno suave.

6. Depósitos Glaciares (Qr-g) y Fluvioglaciares (Qr-tg)

Llamado también depósitos morrénicos de gravas angulosas, bloques, guijarros y arena de forma redondeado, sin estratificación con matriz de arcilla y limo, se observa en colinas bajas y llanuras. Los suelos se muestran compactos, el depósito se ubica en la zona de actividades mineras. Los fluvioglaciares se tiene en zonas con depresión suave con dirección a la corriente del agua.

7. Rocas Intrusivas (t-mdi)

Pertenece a la litología terciaria compuesta de andesitas y un

Figura 5. Columna estratigráfica de la unidad minera



Todo el yacimiento es un relleno de fracturas de espacios abiertos muy favorables en todas las fallas bomboncito y Heraldos Negros, en

donde se emplazan cuerpos y lentes mineralizados muy alargadas, discontinuas. Las estructuras son:

- **Veta Heraldos Negros**

Constituido de minerales de sulfuros como galena-argentífera, calcopirita, pirita, esfalerita, galena; con estructuras tipo rosario, de potencia variable con una media de 3.5 metros hasta estrangularse; en algunas zonas tiene calizas bien fracturadas con relleno de calcita, plomo y sulfuros de zinc. Los extremos tienen caliza bituminosa de la formación Pariatambo. El rumbo medio de veta de N35°W.

- **Veta Bomboncito**

Emplazada en la falla Esperanza, con longitud más representativo de 300 metros, presentándose como lazos cimoides y bolsonadas con potencias medias de 8 metros, aparentemente de rumbo NE-SW. Los minerales que presenta son galena y esfalerita rubia con una matriz panizada y brechoza, algunas veces contiene mineral deleznable, el rumbo medio es de N40°E.

- **Stock Work**

En la superficie se tiene una zona de vetillo entre la falla esperanza y Heraldos Negros en un ancho de 55 metros, está constituido en la formación Jumasha que al pasar a la Pariatambo se inicia su estrangulación y empobrecimiento.

Sobre la superficie se tiene fallamientos que rellenan la calcita presentan venillas y disseminaciones de galena y esfalerita

discontinuos por brechas de calizas pobres.

G. Geología estructural

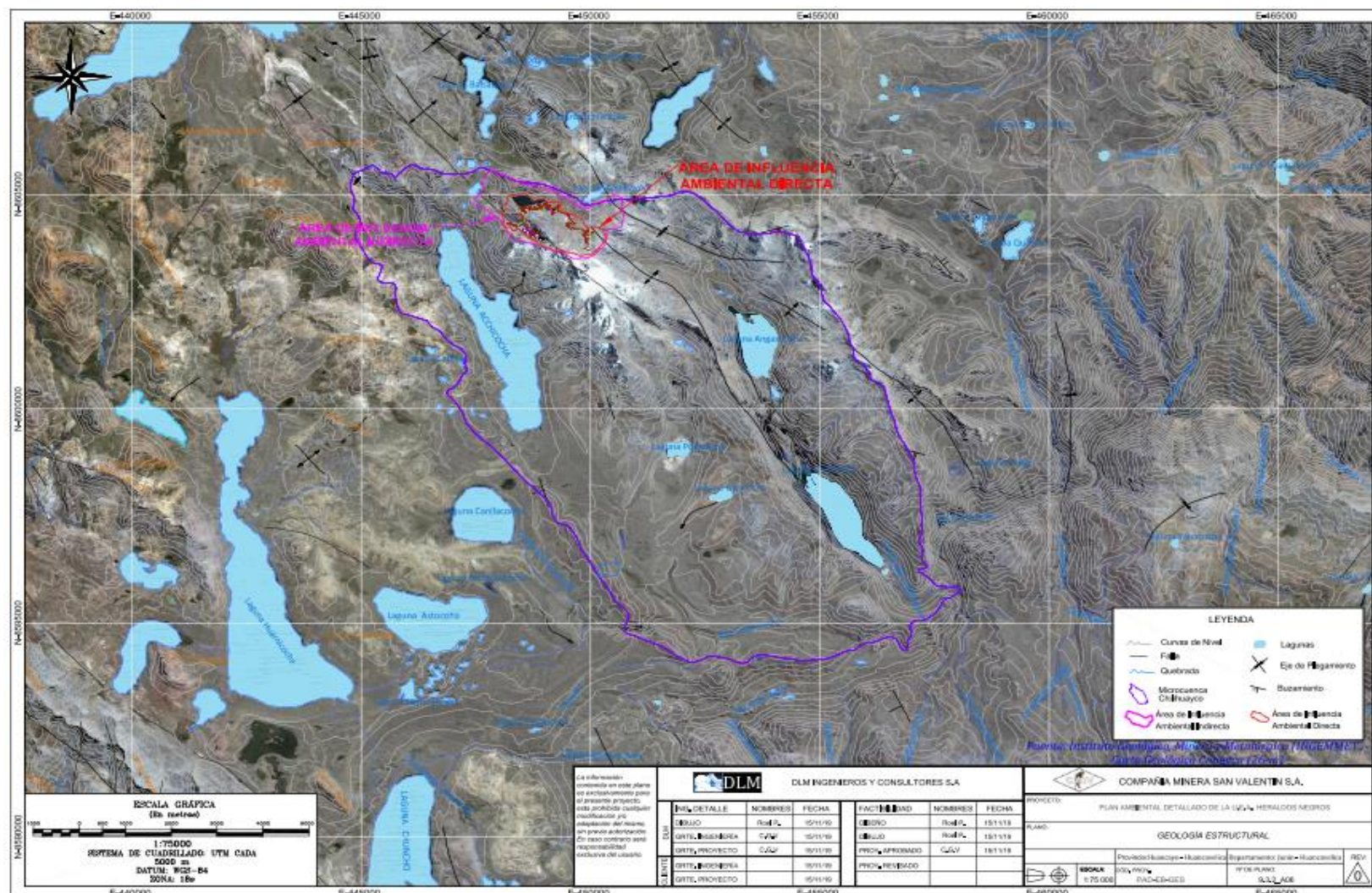
La veta Heraldos Negros es parte de la falla regional Chonta; posee de alto ángulo, cuya zona de la falla Esperanza coincide, con la falla tiene un rumbo de S50°W, S65°W, S40°W y S55°W. Estas fallas controlan el yacimiento de los minerales; también los centros volcánicos neógenos y el stock de intrusivos. Las formaciones Pariatambo y Jumasha sobreyacen formando un anticlinal, que su eje axial fue fallado conformando un área de brecha, donde se rellenaron cuerpos de minerales entre sus fisuras, veta esperanza y heraldos negros, asimismo está compuesto por un sistema transversal con fracturas relleno de calcita.

H. Geomorfología

En el área se encuentran geoformas formadas por agentes de meteorización en el tiempo, que actuaron en la zona rocosa modelando el relieve. Se identifica características geomorfológicas más relevantes, como las formas dominantes del relieve, considerando la magnitud de las elevaciones topográficas, el origen, litología y pendiente. También se evalúan los procesos erosivos que inciden en su morfología.

La altitud es variable parte de 4100 m.s.n.m. hasta 5100 msnm, presenta pendiente fuerte a moderada y el modelo resultante predominante es Montañosa totalmente empinadas en las altiplanicies.

Figura 6. *Geología estructural de la unidad minera*



Fuente: Área de geología de la U.E.A. Los Heraldos Negros

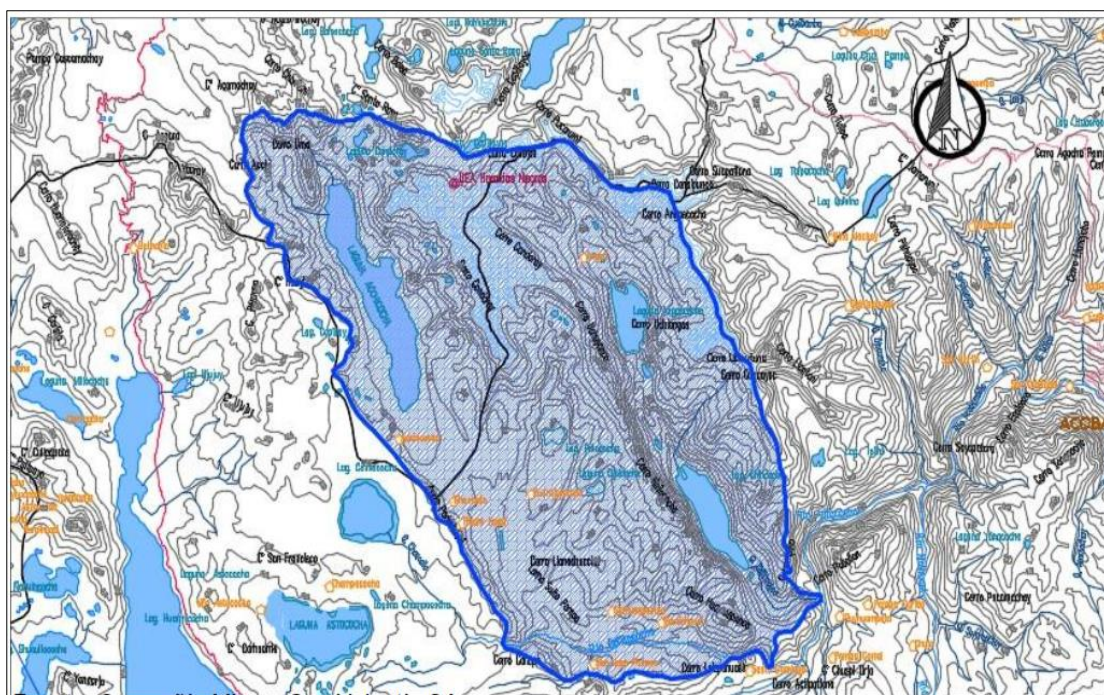
I. Caracterización hidrológica

La principal fuente es la cuenca del Mantaro que cuenta con nevados, ríos manantiales, lagunas y quebradas, las fuentes se formaron de la precipitación pluvial. estacional de la zona y del aporte de las filtraciones de los sectores superiores. En la zona de influencia se reconoce a la quebrada Chilihuayco. Hidrográficamente la quebrada limita en el sur con lagunas de Angascocha y Yurajcocha, por el norte limita con quebradas Picuy y Chojepite, por el este limita con las lagunas Champacocha y Canllacocha, por el oeste limita con el río Antacocha. El área se encuentra con altitudes desde un nivel de 4100 msnm hasta los 4300 msnm con una altura máxima de 4400 msnm.

La quebrada nace en los cerros Uchuyanco, Cuncayoc Huamaspunco y Huilacocha, con un rumbo de NW a SE, pertenece al sistema hidrográfico cuenca del Mantaro a su vez pertenece a la cuenca hidrográfica del Amazonas.

Su clima de la microcuenca Chilihuayco tiene un régimen permanente, se tiene precipitaciones en todo el año, excepto en verano, considerado como zona semifrigida, con precipitaciones anuales medias de 750 a 1400 mm. La microcuenca Chilihuayco, cuenta un área de drenaje de 91.200 km², asimismo su cauce tiene una longitud de 12.100 km. con una pendiente media de 8.506 %.

Figura 7. Microcuenca de la unidad minera



Fuente: Área de geología

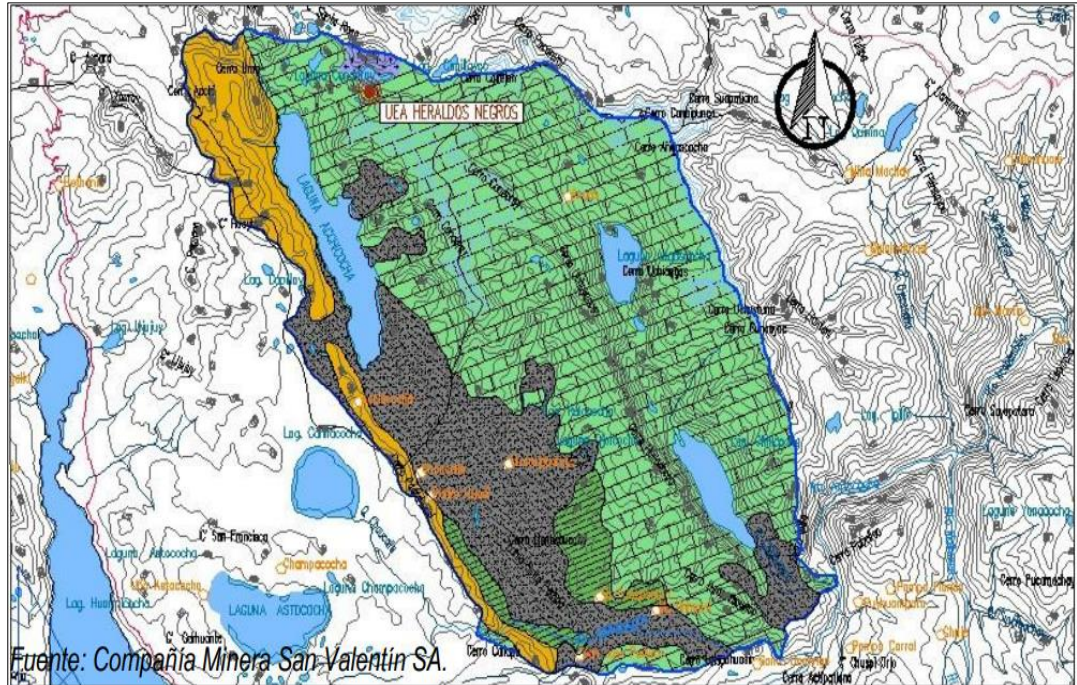
J. Caracterización hidrogeológica

Desde el punto vista hidrogeológico se inicia el estudio geológico la litología, la posición estratigráfica, estructural, descripción de las rocas y propiedades hidrogeológicas inherentes; La geomorfología ligado al procesos de dinámica externa: sedimentación, erosión, transporte que dan lugar a ciertos depósitos: aluviales, fluviales, glaciales que constituyen acuíferos; fallas en los afloramientos de rocas, las frecuencias de fracturas. La unidad hidro estratigráfica se caracteriza por el grado de almacenar y transmitir agua, las unidades hidro estratigráficas reconocidas de la unidad minera son la unidad hidrogeológica:

- Semi consolidada.
- Volcánica – piroclástica fisurada.
- Fisurada sedimentario volcánico.

- Fisurada calcáreo.
- Acuífera intrusivo.

Figura 8. *Unidades hidro estratigráficas Chilhuayco.*



Fuente: Área de geología

K. Propiedades de la zona mineralizada

1. Densidad

Se tiene muestras representativas de mineral, las cuales fueron analizadas en el laboratorio; obteniéndose muestra Nivel - Zona 2.62 gr/cm³.

2. Humedad

La evaluación en el laboratorio CMSV S.A, de ensayos de humedad natural se obtuvo.

Muestra Nivel – Zona; Humedad de 7.87 %

3. Módulo de Deformación.

El módulo de Young es un factor que caracteriza el comportamiento elástico de la roca, se consideró las relaciones

con respecto a l RMR (Serafín & Pereira, 1994).

(Gap RMR >60)

(Gap RMR <60)

Varia de 35 a 50 en rebote.

4. Resistencia a la Compresión Simple

Un principal factor geo mecánico del macizo rocoso es la resistencia a la compresión simple de la roca intacta, para determinar se utilizó el método indirecto.

Con el martillo de schmithd, la media es de 79.50 MPa.

5. Dureza

El macizo rocoso presenta una media de RMR de 42 a 59, considerado a la roca tipo III, regular. Con una perforación en breasting se tiene un techo más seguro y estable.

L. Método de explotación

El método de explotación de la minera es del corte y relleno ascendente, el mineral es extraído por cortes horizontales, perforación en breasting y perforación en realce se inicia por la zona inferior de un cuerpo de mineral y se avanza verticalmente. Al concluir la extracción de la franja completa, para el volumen extraído se utiliza el relleno detrítico proveniente de labores de avance, que sirve de piso de trabajo para el siguiente corte al mismo tiempo permite el sostenimiento natural de las paredes del tajo. La producción diaria de la unidad es de 500 ton/día.

Se utiliza este método de explotación de corte y relleno por que el yacimiento se presenta con fuerte buzamiento, mayor a 50° de

inclinación, propiedades físico-mecánicas del mineral y roca de caja relativamente mala, una roca incompetente, de potencia moderada, con límites regulares del yacimiento.

M. Ciclo de minado

- **Perforación**

Se disponen de perforadoras jackleg para la perforación de labores de exploración, preparación y desarrollo; se utiliza en los avances de frentes de 3.0 x 3.0 m, 3.5 x 3.0 m y en chimeneas con barrenos de 4' y 6' y de 1.5 x 1.5 m, con brocas 38 mm y 41 mm. En

La explotación, se utilizan en perforaciones de tajos en realce.

Se dispone de un equipo mecanizado el jumbo Rocket Bommer 281 electrohidráulico de un brazo utiliza barrenos de 14 pies con broca de 45 mm. de diámetro, con una perforación efectiva de 4.22 m; perfora en avances de frentes horizontales con sección de 3.5 x 3.0 m y 3.0 x 3.0 m y en la explotación para perforaciones horizontales en breasting con una malla de 1.0 x1.0 m.

- **Voladura**

Para la voladura se utiliza accesorios de voladura como el carmex, mecha rápida, fanel, ultimo el detonador electrónico; como explosivos la dinamita, emulsión encartuchada, pentacord y como agente de voladura el anfo; la elección del explosivo adecuado se determina por las condiciones del macizo rocoso.

- **Limpieza, acarreo y transporte del mineral**

Para la limpieza del mineral de tajos, se dispone de un Scooptram de 2.5 yd³ y para el acarreo a las cámaras de acumulación y para el transporte a los echaderos se utiliza el scooptram de 4.2 yd³ y Dumper de 15 ton.

- **Sostenimiento**

Para fortificar las fuerzas del macizo rocoso por la generación de espacios vacíos por la extracción del mineral, se compensa realizando el sostenimiento de labores con cuadros de madera, split set, malla electrosoldada y perno helicoidal.

- **Relleno detrítico**

Concluida la rotura y la limpieza del corte, en el vacío se procede a rellenar para estabilizar las cajas del tajo y preparar el piso para el siguiente corte con desmonte producto de las preparaciones adyacentes.

N. Programa de control de seguridad

Mediante el diagnóstico y los resultados obtenidos el año 2023 se han trazado cuatro objetivos principales para el año 2024 como disminuir la ocurrencia de incidentes o accidentes por caída de rocas en mina, Control de reporte de oportunidades de Mejora, a través del cierre de actos y condiciones subestándares, Incrementar el nivel de cumplimiento de estándares y disminuir los comportamientos de riesgo en base a liderazgo por áreas. Para cada objetivo, se cuenta con un plan de acción con la finalidad de ejecutar el control de las actividades programadas. También se cuenta con el programa de

capacitación y entrenamiento del personal, de acuerdo con el marco legal DS N° 023-2017-EM, de prevención en seguridad, salud ocupacional y medio ambiente, consolidar el cambio de cultura de seguridad en el trabajo.

Asimismo se tiene en el programa la identificación de peligros, evaluación y control de riesgos “IPERC”, complementando el análisis de tareas críticas y estándares de procedimientos de trabajo.

En el programa anual 2024 está considerado mejorar el control de la salud ocupacional, Inducción al personal nuevo, Instructivos de 10 minutos, Reuniones de Comité de Seguridad y Salud ocupacional, inspecciones de auditoría y preparación, respuestas para emergencias.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Sera posible mejorar la gestión de seguridad y productividad en el proceso de voladura al aplicar el sistema de iniciación electrónica remota ubicado en superficie para labores subterráneas del proceso de voladura en la U.E.A. Heraldos Negros?

1.3.2. Problemas específicos

- a) ¿Sera factible minimizar los riesgos laborales con la aplicación del sistema de iniciación electrónica en el proceso de voladura de la U.E.A. Heraldos Negros?
- b) ¿La aplicación del sistema de voladura electrónica remota hará posible en contribuir los beneficios de la productividad en el proceso de voladura de la U.E.A. Heraldos Negros?
- c) ¿Será posible mejorar los costos con la aplicación de la iniciación

electrónica en el proceso de voladura de la U.E.A. Heraldos Negros?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Aplicar el sistema de iniciación electrónica remota ubicada en superficie de labores subterráneas para mejorar la gestión de seguridad y productividad en el proceso de voladura de la U.E.A. Heraldos Negros.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Aplicar el sistema de iniciación electrónica para minimizar los riesgos laborales en el proceso de voladura de la U.E.A. Heraldos Negros.
- b) Aplicar el sistema de voladura remota electrónica para contribuir los beneficios de la productividad en el proceso de voladura de la U.E.A. Heraldos Negros.
- c) Mejorar los costos con la aplicación de la iniciación electrónica en el proceso de voladura de la U.E.A. Heraldos Negros.

1.5. Justificación de la Investigación

El proceso del presente proyecto de investigación se justifica porque nos permite contribuir al desarrollo operativo de los resultados de ejecución de las diferentes labores subterráneas en la mina Heraldos Negros, principalmente en la optimización de iniciación de las voladuras en cuanto al tiempo y personal en los procesos de los proyectos de los frentes de avance, asimismo mejorar los avances de las labores producto de la voladura y eliminar la sobre excavación obteniendo una eficiente gestión de tiempos del proceso, el riesgo de gaseamiento del personal y obtener un perfil más homogéneo de la labor; por ende va incidir

en la reducción de costos. El uso de los detonadores electrónicos va a contribuir en la aplicación de tecnologías y desarrollo de conocimientos actuales, el cual va ser muy factible su aplicación en otras unidades mineras.

La presente investigación también tiene como fin de evaluar técnicamente los resultados de la ejecución de los frentes de avance actual como línea base y después de aplicar el sistema de los detonadores electrónicos, con el objetivo de obtener una nueva opción que permita mejorar la seguridad del proceso y los resultados de los proyectos de los frentes. Así mismo que sirva como base y modelo para la investigación de otras empresas mineras en cuanto a estas labores.

1.6. Limitaciones de la investigación

En el desarrollo de la investigación no se tuvo limitaciones en cuanto se refiere a la obtención de datos de los resultados de tiempos de ejecución de las diferentes labores, ya que se nos brindó todas las facilidades por parte del departamento de planeamiento de desarrollo y preparación de la mina Heraldos Negros.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

a. Antecedentes nacionales

- Sánchez, D. & González, Luis. (2022). En su trabajo para titulación en la PUCP “Optimización del proceso de voladura usando detonadores electrónicos para minería subterránea aplicado a vetas angostas - U.M. Huarón “Evalúa las bondades de los detonadores electrónicos para minería subterránea de vetas angostas, los iniciadores electrónicos tienen como función segregar el mineral del desmonte en una misma voladura y evitar dos voladuras mediante el método del circado. La separación mineral/desmonte origina una ley de plata con menor dilución de alto valor a comparación del uso de detonadores pirotécnicos. De acuerdo a las pruebas se verifica que el detonador electrónico es más eficiente en el avance 90 % y menor sobre excavación 7%. El detonador electrónico al ser programables, se puede configurar los retardos de cada uno de ellos con el objetivo de originar la segregación, se debe ejecutar una nueva

mallas de perforación con la cualidad de realizar el arranque en la zona del desmonte ya que con mayor cantidad de explosivo y energía se fragmente en un primer tiempo y se expulse a unos 19 metros del frente mientras que el área de mineral se fragmente en un segundo tiempo a una distancia de 5 metros del frente.

- Quispe, M. (2023). en su tesis presentado en la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac “influencia de la implementación de detonadores electrónicos en el proceso de voladura en la unidad minera Cerro Corona-Cajamarca”. El trabajo determina el problema de que se tiene vibraciones excesivas por las voladuras que se realizan, superando la VPP crítico que establece la NIV (Norma internacional de vibraciones), como también se obtiene una fragmentación inadecuada de la roca generando ineficiencia en el proceso de carguío, como consecuencia, la seguridad del personal de la zona de esta actividad y las instalaciones cercanas se encuentran en riesgo. De tal manera, que el objetivo de la investigación determina la influencia de la implementación de detonadores electrónicos. Realiza pruebas de voladuras donde se logra resultados significativos, asimismo los detonadores electrónicos, no generan tiros cortados y tiros quedados, por ello en la fragmentación y las vibraciones se obtuvieron buenos resultados muy satisfactorios; al implementar los detonadores electrónicos DigiShot Plus en las labores de minado se logró un grado de porcentaje de fragmentación menor del P80 de 8,70” a 2,90”, también los detonadores electrónicos DigiShot Plus mejoro significativamente el nivel de vibración de 19,15 mm/s y 11,83 Hz a 8,64 mm/s y 9,56 Hz para el nivel medio de VPP y frecuencia

respectivamente. Concluye que con la implementación de detonadores electrónicos se obtiene una buena fragmentación y el nivel de vibración está por debajo según NIV, la seguridad del operario involucrado en la voladura e instalaciones cercanas se encuentran protegidas por los beneficios que tiene el sistema de detonadores electrónicos, haciendo factible la optimización del proceso de voladura en la unidad minera cerro corona

b. Antecedentes internacionales.

- Contreras, M. & Cueto, J. (2021). En su tesis presentada en la Universidad Técnica Federico Santa María de Chile “Propuesta de Implementación de Tronadura por Detonadores Electrónicos” En la minería siempre existen riesgos, tal como el que presentamos en la problemática para desarrollar la investigación. Se obtiene como resultado en la voladura tiros quedados, que por deficiencia de la tronadura no detonan, es un resultado ineficiente que produce un alto riesgo en el proceso del trabajo. Para menorar el riesgo se promueve protocolos que consideran medidas inmediatas de lo ocurrido. Para resolver el problema se propone para las voladuras implementar los detonadores electrónicos para mejorar los riesgos en este proceso. El trabajo contiene 3 capítulos, en las que identifica los tipos de rocas de acuerdo con las características geomecánicas.

También explica la forma de extracción del mineral de acuerdo con el método de la explotación. En el capítulo II presenta tipos de voladura trabajan actualmente en minería, según el método de perforación y voladura. Diferenciar el detonador electrónico con los convencionales.

para concluir establece un proceso de voladura de rocas mediante el detonador electrónico, de esta manera logra la modernización en los procesos de voladuras.

- Lepileo, P. (2018). En su tesis presentada a la Universidad de Chile “Análisis de modos de falla en el proceso de detonación electrónica”. El incremento de una inversión extranjera en la explotación minera chilena ha originado la necesidad de optimizar el proceso de extracción y tratamiento del mineral, también implementar programas de disminución de los costos asociados. El trabajo tiene el objetivo de realizar un estudio FMECA (Fault Mode, Effects and Criticality Analysis) para el proceso de voladura por Orica Chile S.A. y controlado por los dispositivos I-Kon en la división Orica Mining Services. El trabajo se ejecuta en dos de las muchas mineras. Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi y Compañía Minera Spence. En el desarrollo de la investigación se analiza el proceso de la voladura, identificando los modos de falla, causas, nivel de impacto en el proceso y sus efectos. Asimismo, se efectúa encuestas a los operarios de los equipos I-Kon, para lograr una información de frecuencia y criticidad de las fallas. Con la base de datos se realiza una gama de gráficos que relacionan las deficiencias provocadas por algún tipo de causa con su frecuencia. Como resultado del estudio se encuentra las causas de las deficiencias más importantes en el proceso de voladura, donde tres de las cinco causas se asocian directamente a los operadores en las diferentes etapas de la operación. Para cada causa sugiere medidas de prevención para evitar las deficiencias y en consecuencia, evitar los retrasos que implican en la producción. Sugiere también a futuro, una

mejora procesos de prevención para deficiencias causadas por diferentes incumplimientos, sugiere que con un estudio más detallado se relacione el campo electromagnético de la conductividad del mineral, se podrían encontrar nuevas medidas de programación de voladuras.

2.2. Bases teóricas - científicas

2.2.1. Seguridad y salud ocupacional en minería

El objetivo principal de la SSO es de tener que velar por la seguridad y salud de los trabajadores del inicio, en el proceso y después de las actividades de su jornada, debe prevenir todo tipo de incidentes, accidentes y enfermedades ocupacionales manteniendo una cultura de prevención y seguridad de todas actividades.

2.2.2. Accidente de trabajo

Según el D.S. N.º 023-2017-EM, es todo suceso repentino que sea ocasionado por la actividad y que genere en el trabajador una lesión orgánica, una perturbación funcional, una incapacitación o la muerte. Es también accidente de trabajo aquel que se produce durante la ejecución de órdenes del empleador o durante la ejecución de una labor bajo su autoridad y aun fuera del lugar y horas de trabajo (2017:26). Los accidentes que generan lesiones personales se pueden clasificar por la gravedad de lo sucedido, en:

- Accidente leve:

En donde el accidentado se toma un descanso con retorno máximo de un día.

- Accidente incapacitante:

Descanso mayor a un día y se le otorga un tratamiento al accidentado, puede ser

- Parcial temporal: Imposibilidad parcial de realizar sus labores.

- Total temporal Imposibilidad total de realizar sus labores.
- Parcial permanente: Pérdida parcial de un miembro u órgano.
- Total permanente: Incapacidad total del trabajador.
- Accidente mortal: En las que se producen la muerte del trabajador.
- Incidente: Suceso con potencial de pérdidas acaecido en el curso del trabajo o en relación con el trabajo, en el que la persona afectada no sufre lesiones corporales; (D.S. N.º 023-2017-EM 2017:39).
- Enfermedad Ocupacional: “Es el daño orgánico o funcional ocasionado al trabajador como resultado de la exposición a factores de riesgos físicos, químicos, biológicos, psicosociales y disergonómicos, inherentes a la actividad laboral; (D.S. N.º 023-2017-EM 2017:34).
- Peligro: Situación o característica intrínseca de algo capaz de ocasionar daños a las personas, equipos, procesos y ambiente” (D.S. N.º 023-2017-EM 2017:43). Como, por ejemplo, una labor no desatada o un área de trabajo no ordenada.
- Riesgo: Probabilidad de que un peligro se materialice en determinadas condiciones y genere daños a las personas, equipos y al ambiente; (D.S. N.º 023-2017-EM 2017:47).

2.2.3. Estándar de Trabajo

Son los patrones, modelos y pautas que determinan todos los parámetros establecidos por las normas legales o reglamentos de la unidad minera; son reglas mínimas que se cumple en cualidad, valor, peso, medida, cantidad y calidad, establecidos por análisis del avance tecnológico, investigación, experimentales, legislación vigente o resultado que hace posible relacionar las actividades de comportamiento industrial, desempeño y trabajo. Un estándar es el que indica la

manera correcta y a la vez segura de realizar una actividad. El estándar controla las siguientes cuestiones: ¿Quién es el responsable de que el trabajo sea seguro?, ¿Cuándo se hará?, ¿Qué hacer? y ¿Quién lo hará?; (D.S. 023-2017-EM 2017:36).

2.2.4. Accesorios de Voladura

Son materiales producidos específicamente para la transmisión de una señal, onda de choque para activar una carga explosiva de forma segura y efectiva.

a) Mecha de seguridad

La mecha de seguridad es un accesorio que transporta una chispa de fuego a un iniciador o carga explosiva a velocidad continua y uniforme. Conformado por un cordón flexible con contenido de pólvora negra forrado de una cubierta con textiles, posee un revestimiento impermeable. Los materiales textiles protegen el núcleo de pólvora, dan resistencia a la abrasión y a la presencia de agua. Su velocidad de propagación tiene un promedio de 115 segundos por metro lineal.

b) Fulminante

Este accesorio es una cápsula de forma cilíndrica de aluminio ciega por un extremo, en el interior lleva una cantidad de explosivo primario bastante sensible a la chispa de fuego de la mecha de seguridad y otro secundario la pentrita, con un alto poder explosivo. Es utilizada para la detonación de un iniciador o explosivo. Compuesta por 3 cargas, la primera es la mezcla de ignición es el que capta la chispa de la llama proveniente de la mecha de seguridad, la segunda es la carga que transforma la combustión en detonación y la tercera carga inicia la base de PETN. En el mercado se encuentran

diferentes números de fulminantes que corresponde a los gramos de azida de plomo que contengan pueden ser el número 6, 8 o 12.

c) Cordón Detonante

Este accesorio es un cordón flexible que en su alma contiene pentrita sólida de alto poder explosivo, tiene una gran resistencia a la tensión. Está conformado en su núcleo del explosivo pentrita (PETN) reforzado por capas de fibras sintéticas. Se utiliza en minería subterránea para detonar iniciadores como también para realizar voladuras de pre-corte con el objetivo de obtener un contorno uniforme de la labor.

d) Mecha Armada

Es el accesorio que permite un sistema seguro de iniciación convencional en el uso de explosivos, la mecha armada está integrado por accesorios convencionales, el fulminante, la mecha de seguridad y un conector, se encuentra ensamblado con equipos neumáticos de alta precisión.

2.2.5. Voladura en labores subterráneas

Una voladura subterránea es diferente a la voladura de un banco, la primera se realiza solamente en una cara libre mientras que en un banco se efectúa en dos o más caras libres. Así la subterránea se encuentra más restringida para este caso de labores de interior mina es necesario crear una segunda cara libre para que la roca se pueda fragmentar y la roca triturada se desplace en la zona de voladura.

A. Malla de Perforación

La malla de perforación es la distribución geométrica de los taladros a perforar en un frente, en donde se diseña considerando la relación de la profundidad de dichos taladros, burden, espaciamiento y la dirección. El

burden se considera a la distancia perpendicular del taladro hacia la cara libre o taladro de alivio. El espaciamiento es la distancia que tienen los taladros.

B. Diseño de malla de perforación

Se considera al esquema geométrico de la distribución de los taladros dentro de una malla de perforación como parámetros se considera el burden y espaciamiento, en este diseño se calcula la cantidad necesaria de carga explosiva por cada taladro y la secuencia de iniciación de la tanda de detonadores. Por cada tipo de roca se tiene como referencia un diseño de malla estandarizado con el objetivo de obtener la mayor eficiencia en parámetros controlables de voladura. En el diseño de una malla de perforación se define diferentes zonas en el área de perforación, tienen la siguiente definición; el arranque, ayuda de arranque, sobre ayuda, taladros de corona, taladros de hastiales y taladros de arrastres.

El arranque son los taladros del centro de la sección, son disparados primeramente que generan la cavidad inicial en el frente, normalmente se cargan con una mayor cantidad en peso de explosivos en relación con los demás taladros.

La ayuda de arranque son taladros que se encuentran en el entorno de los taladros de arranque y hacen mayor la cavidad inicial, varían por la distribución y no tienen taladros vacíos o de alivio.

La sobre ayuda es la secuencia de la voladura dentro de la malla, el número de taladros es la que genera una mayor cantidad de material fragmentado.

Los Hastiales Son los taladros de las cajas laterales izquierda, derecha de la malla de perforación.

La corona son los taladros que forman el techo del frente y le dan la forma de un baúl.

Los taladros de contorno son los taladros que dan la forma del perfil del frente, se cargan con menor cantidad de explosivos en peso para evitar una sobre excavación mínima del frente.

El arrastre son los taladros realizados en el piso del frente de voladura, son disparados al último de toda la malla.

Una voladura en minería subterránea al inicio no tiene cara libre, por lo que al inicio de la voladura subterránea se genera la cara libre con taladros de arranque y ayuda los cuales hacen detonar las cargas restantes. La posición del arranque, en su mayoría, se perfora en la parte central superior para una buena distribución de taladros en el frente de perforación.

Figura 9. *Distribución de taladros de la malla de voladura*



Fuente: Manual EXSA 2021.

La cantidad de carga explosiva por cada taladro, se encuentra en función de la sección o dimensión del frente y dureza de la roca. Para el análisis y la evaluación de una voladura de frentes se considera los siguientes indicadores: Trituración de la roca, sobre perforación, costos, volumen removido, avance real y factor de carga.

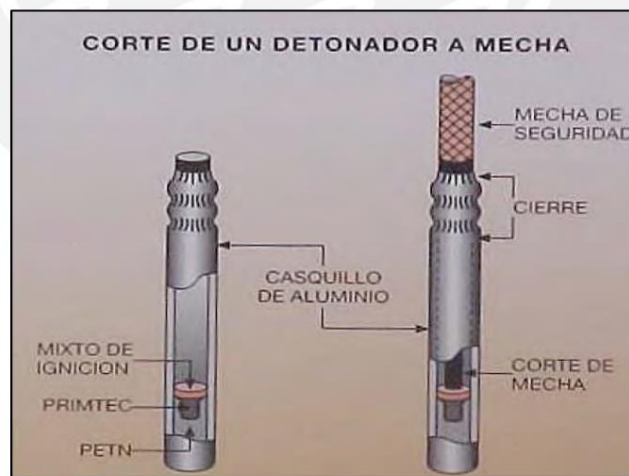
2.2.6. Sistemas de Iniciación

Denominados también como detonadores, son utilizados para las voladuras de métodos explotación subterránea y a cielo abierto. Se usan con el objetivo de hacer detonar los explosivos colocados dentro del taladro, primero inicia al cartucho cebo o el booster. Para la selección de los diferentes tipos los sistemas de iniciación es necesario tener en cuenta las características del macizo rocoso, la versatilidad de realizar la conexión de los iniciadores, entre otros parámetros. Los diferentes tipos de detonadores tienen un sistema de iniciación. Los detonadores son una cápsula, que son de cobre o aluminio, dentro de ella se encuentra alojado el explosivo que origina la voladura, tiene una carga base de pentrita y azida de plomo. La carga de iniciación se activa mediante energía inflamable, que se encuentra dentro de la cápsula, tanto en los detonadores eléctricos y no eléctricos o de forma directa.

Detonadores de mecha

Se inician mediante mecha lenta. Es una guía lenta se introduce en el extremo abierto de la cápsula de aluminio donde se encuentra la carga explosiva del detonador y se sella mediante una instrumentación especial, de forma que la guía se deteriore durante la manipulación. Es usado en voladuras de roca ornamental. Debido a que es solo un detonador ensamblado con la guía lenta no contiene ningún tipo de retardo por lo que se activa instantáneamente al llegar la chispa de iniciación a la carga del detonador.

Figura 10. Detonador ordinario

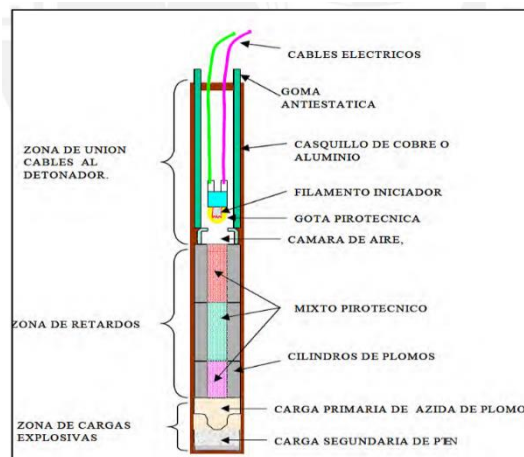


Fuente: Manual de ENAEX

Detonadores eléctricos

El iniciador eléctrico utiliza la energía eléctrica para su detonación. Este accesorio eléctrico contiene un inflamador pirotécnico denominado cerilla, a través de este medio circula la corriente eléctrica que provoca la detonación del detonador. La cerilla es una pequeña resistencia cubierta de una pasta explosiva, a la resistencia se le conoce también como puente de incandescencia, está conectada al hilo de conexión mediante ello recibe la corriente eléctrica. Si la intensidad suficientemente el puente se calienta, hasta una temperatura que produce la inflamación de la pasta de la cerilla.

Figura 11. El detonador eléctrico



Fuente: Manual de ENAEX

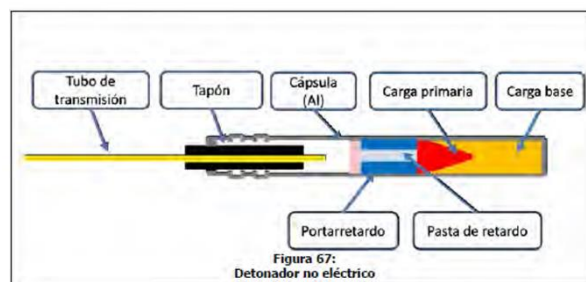
Sus características eléctricas se consideran:

- Intensidad de corriente controlada: Es la intensidad mínima de corriente para lograr que el detonador reciba la energía suficiente para su detonación.
- Corriente de seguridad: Se considera la fuerza de encendido o la sensibilidad eléctrica del iniciador, la energía eléctrica debe ser lo suficiente para provocar la inflamación de la cerilla.
- Resistencia del puente: Es la resistencia del puente de la cerilla medido en ohmios.

Iniciadores no eléctricos

El detonador no eléctrico no utiliza la corriente eléctrica en su detonación. Sus elementos explosivos es el mismo a los iniciadores eléctricos, pero a parte de un inflamador la carga posee retardo que se inicia mediante una onda de choque que se transmite a través de una manguera de transmisión. Esta manguera de transmisión es un plástico que contiene en su interior cierta cantidad de material explosivo. Este tubo está conectado al detonador, el cual permite que la onda de energía que transmite hace que se inicie la carga de retardo.

Figura 12. Detonador no eléctrico



Fuente: Voladura de rocas – Bernaola

Detonadores electrónicos

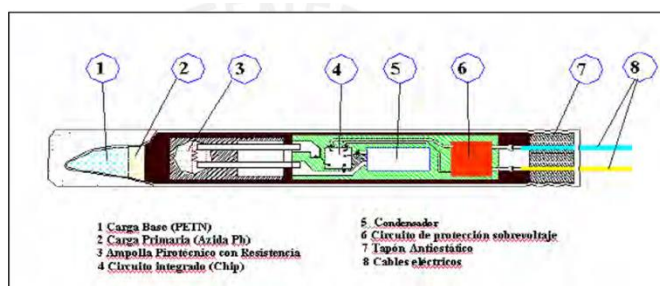
El iniciador electrónico es uno de los últimos avances tecnológico de los sistemas de iniciación en voladuras. La diferencia principal del detonador electrónico en relación al eléctrico o no eléctrico, es que su pasta pirotécnica que

determina el tiempo de retardo es sustituida por un circuito electrónico, donde un microchip es el que realiza la descarga de un condensador en el preciso instante deseado. En los otros tipos de iniciadores, el retardo esta fijado por el tiempo que se consume la pasta pirotécnica.

La precisión del tiempo de retardo de los iniciadores electrónicos es de un rango de 0.02%, siendo mucha mayor precisión en correlación a los demás sistemas de detonación. Como el detonador eléctrico como el no eléctrico poseen un casquillo metálico que contiene una sustancia pirotécnica que se consume a cierta velocidad, es por ello que la precisión de los sistemas es limitada. Se encuentra en el mercado sistemas diseñados para ser detonados en el mismo tiempo de retardo, pero el resultado de las voladuras no es el mismo. Esto significa que los iniciadores con tiempos de 20 ms. se pueden iniciar a 19,7 ms. o a 20,3 ms. Es el efecto de dispersión.

Entre los componentes principales del detonador electrónico se puede encontrar un microchip, un circuito de seguridad y un condensador para almacenar la energía, la otra parte está compuesta por una gota inflamatoria para iniciar la carga primaria.

Figura 13. Detonador electrónico



Fuente: Manual ENAEX

2.3. Definición de términos básicos

Iniciador

Dispositivo que contiene una carga detonante para iniciar un explosivo, al que normalmente se le conoce como fulminante. Pueden ser eléctricos o no instantáneos o con retardo.

Fragmentación

Acción o efecto de triturar la roca. Acción y efecto de fraccionar un entero en partes o de separar los componentes de una mezcla.

Seguridad

La seguridad es la protección frente a peligros externos que afecten negativamente la calidad de vida de la persona; en tanto la referencia a un sentimiento, los criterios para determinar los grados de seguridad poseen algún grado de subjetividad.

Tiro fallado

Son taladros cargados con explosivo que no detona durante una voladura de todo un conjunto de taladros. Es un peligro muy latente y de alto riesgo que requiere un proceso de voladura secundaria, requiere implementar controles para evitar que es necesario y de suma importancia.

Voladura

Es una técnica para fragmentar el macizo rocoso mediante el uso de explosivos, en una mina a tajo abierto o subterránea.

Frente de Trabajo

Un frente de trabajo es donde se llevan los procesos de actividades de avance y desarrollo en la mina.

PETS

El Procedimiento escrito de trabajo seguro es el documento que describe detalladamente cómo ejecutar una tarea de manera segura y correcta, se utilizan para garantizar la seguridad en diferentes tareas laborales.

Riesgo

El riesgo es la probabilidad de que un peligro se materialice bajo ciertas condiciones y cause daños a los trabajadores, equipos o medio ambiente.

Factor de carga

Cantidad de explosivo usado para fragmentar cierto volumen de roca. El factor de carga tiene como magnitud kg/m^3 .

Granulometría

Dimensión del mineral o roca fragmentado, que es resultado de una voladura prediseñada con objetivos de tratamiento metalúrgico o transporte.

Productividad

Es la calidad de la extracción de mineral con estándares y procesos a un costo mínimo un volumen o tonelaje determinado.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Con la aplicación del sistema iniciación electrónica remota ubicada en superficie se mejora la gestión de seguridad y productividad de las labores subterráneas en el proceso de voladura de la U.E.A. Heraldos Negros.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a) Con la aplicación del sistema de iniciación electrónica se minimiza los riesgos laborales en el proceso de voladura de la U.E.A. Heraldos Negros.

- b) Con la aplicación del sistema de voladura electrónica se contribuye en los beneficios de la productividad en el proceso de voladura de la U.E.A. Heraldos Negros.
- c) Se logra mejorar los costos con la aplicación de la iniciación electrónica en el proceso de la voladura de la U.E.A. Heraldos Negros.

2.5. Identificación de variables

- **Variable Independiente**

X: Aplicación del sistema de iniciación electrónica en la U.E.A. Heraldos Negros.

- **Variable Dependiente**

Y: Mejorar la gestión de seguridad y productividad en el proceso de voladura en la U.E.A. Heraldos Negros.

2.6. Definición Operacional de variables e indicadores

Tabla 2. Definición Operacional de variables e indicadores

TIPO DE VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	
VARIABLE INDEPENDIENTE	X: Aplicación del sistema de iniciación electrónica en la U.E.A. Heraldos Negros	La aplicación del sistema de iniciación electrónica en el proceso de voladura de labores subterráneas permite optimizar la seguridad del personal los resultados de avance, fragmentación y obtener un perfil más homogéneo en los frentes; estos resultados se logran con el uso de los detonadores electrónicos ya que mediante el uso de equipos remotos desde superficie se realiza la iniciación de la voladura .	Retardos	Tiempo	ms.
			Precisión	Tiempo	ms.
			Exactitud		
				Tiempo	ms.
VARIABLE DEPENDIENTE	Y: mejorar la gestión de seguridad y productividad en el proceso de voladura en la U.E.A. Heraldos Negros	Cuando se logra la programación eficiente de los detonadores electrónicos tal que se cumpla con las técnicas en el proceso de la voladura de las labores subterráneas se optimiza la seguridad los resultados eficientes de avance del frente; logrando el proceso de voladura en menor tiempo y menor cantidad de personal la eliminación del consumo de iniciadores convencionales, un perfil del contorno homogéneo en resultados de la voladura.	Seguridad Riesgo laboral	Incidentes	Numero de operarios
				Accidentes	Numero de operarios
			Productividad	Disponibilidad del personal Disponibilidad mecánica	Horas Horas Dólares
			Costos	Rentabilidad	

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

La investigación se procesa del tipo experimental - aplicativo que se determina por sus objetivos, Todo el trabajo del proyecto está centrado en lo descriptivo, relacional y explicativo.

3.2. Nivel de investigación

La investigación está dentro del nivel descriptivo, en el desarrollo se describe el uso del detonador eléctrico y electrónico de lo actual y lo propuesto en el ciclo de la voladura en con la finalidad de mejorar los factores de seguridad y productividad en minera Heraldos Negros. El objetivo es estimar factores y analizar. Se procesa la información recopilada y promedios.

3.3. Métodos de investigación

En el desarrollo del proyecto se considera el método lógico por la presentación de la base de data, seguido del análisis, consecuentemente la deducción y las conclusiones, también se obtiene los resultados finales mediante la síntesis que relacionan al objetivo del estudio.

3.4. Diseño de investigación

El desarrollo de toda la investigación corresponde al diseño cuantitativo y descriptivo, se cuantifica una base de datos recopilada y se presenta los resultados al utilizar el iniciador no eléctrico y también del iniciador electrónico en la voladura. Una vez ejecutado las pruebas se complementa con el diseño descriptivo con las conclusiones obtenidas en el análisis de la correlación entre el detonador no eléctrico y electrónico.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Conformado por los proyectos de ejecución de labores subterráneas de la U.E.A. Heraldos Negros.

3.5.2. Muestra

Voladura de 20 labores subterráneas del nivel 3900

3.6. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

➤ Técnicas utilizadas

✓ Búsqueda y recopilación de información

Se buscó los archivos de información de voladuras con el uso de detonadores e iniciadores no eléctricos

✓ Observación insitu

Se evaluó las observaciones en el campo con información real de los resultados de voladuras con iniciadores no eléctricos e iniciadores electrónicos en forma directa en los frentes de voladura de ambos casos.

✓ Información textual

Se utilizó la bibliografía para la lectura de textos con respecto a los fundamentos de los iniciadores para voladura en minería para

profundizar el conocimiento científico acerca del tema del detonador no eléctrico y detonador electrónico.

➤ **Instrumentos de recolección de datos**

✓ **Materiales**

- Proyecto de minado del 2023
- Reportes del plan de voladuras de los frentes
- Informe geo mecánico de la zona
- Reporte de base de datos de voladura con detonador eléctrico
- Reporte de base de datos de voladura con detonador electrónico

➤ **Equipos**

- ✓ Computadora personal
- ✓ Equipo para el control de gases
- ✓ Equipos de voladura electrónica
- ✓ Sensores
- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Cronómetro.

➤ **Software**

- ✓ Excel

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

La recolección de datos insitu se relacionó para procesar el proyecto en mención; se administró los registros tomados en la zona durante la ejecución para la evaluación.

Los análisis de la seguridad, fragmentación y demás factores se validan mediante los registros de la voladura del área de voladura de la unidad Heraldos Negros, los resultados son supervisados con por los jefes del área.

los datos son reales, porque la recolección de toda la información fue en la zona de voladuras en tiempo real. Todo resultado y conclusión del proyecto fueron también coordinados con el departamento de voladura.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

El proceso y análisis de datos se efectuó con el Microsoft Excel, con el conjunto de cada variable y todo resultado se presenta en tablas y gráficos dinámicos.

3.9. Tratamiento estadístico

Para el análisis se utiliza histogramas y otros gráficos estadísticos en Microsoft Excel y el software de SPSS.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

El proceso de la tesis es original, inédita se realiza con los principios de la ética profesional, con los valores, principios y criterios pertinentes que una investigación debe desarrollarse. Todo el trabajo de campo es el resultado del seguimiento realizado insitu en la unidad.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. Proceso estándar de voladura

En el proceso estándar de voladura se considera a la sucesión de eventos establecidos para llegar a ejecutar el chispeo y luego la voladura en la operación de la perforación y voladura. El proceso se forma jerárquica y se ejecuta a cabo por los siguientes responsables:

- El jefe de mina coordina de chispeo para la voladura.
- El jefe de la guardia día/noche.
- El operario de Chispeo del disparo.

El proceso del disparo se realiza en 3 tiempos, durante la jornada de la guardia, donde operan las personas mencionadas. Las partes son la reunión de inicio de guardia, reunión de media guardia y el proceso de Chispeo y Voladura, el mismo se inicia a las 6:30 a.m. y 18:30 p.m., finalizando a las 7:15 a.m. y 19:15 p.m. respectivamente para el reingreso de la siguiente guardia. A continuación,

se presenta una tabla con la descripción de todas las actividades del proceso, así como los horarios.

Tabla 3. Actividades del proceso de chispeo.

PROCEDIMIENTO	HORARIO		ACTIVIDADES
	INICIO	FIN	
REPARTO DE GUARDIA	7:00 a.m. / 19:00 p.m.	7:30:00 a.m./ 19:30 p.m.	Jefe de Guardia verifica que los responsables del chispeo y voladura cuenten con su carpet carnet de SUCAMEC
			Jefe de Guardia registra al personal involucrado en el formato de "SECUENCIA DE CHISPEO" y las labores programadas
REPARTO DE MEDIA GUARDIA	12:00 p.m. / 12:00 a.m.	12:30 p.m. / 12:30 a.m.	Jefe de Guardia entrega al Jefe Jefe de Mina el formato de "SECUENCIA DE CHISPEO" con las labores actualizadas y se da la conformidad
CHISPEO Y VOLADURA	18:30 p.m. / 6:30 a.m.	19:15 p.m. / 7:15 a.m.	Llenado del formato de "PERMISO DE CHISPEO Y VOLADURA" en donde se asigna la ubicación de las vigias vigías y es validado por el Jefe Jefe de Guardia
			Se asegura la evacuación de todo el personal y se procede con el silencio radial
			Durante el silencio radial se comunica solamente el Jefe Jefe de Mina y Jefe de Guardia verificando verificando que se tenga firmado el "PERMISO DE CHISPEO Y VOLADURA"
			El Jefe Jefe de Guardia de cada zona se comunica con el responsable de chispeo de todas sus labores y se da inicio al secuenciamiento de iniciación manual secuenciamiento de iniciación manual
			El Jefe Jefe de Guardia de cada zona se comunica con el Jefe de Mina indicando que el chispeo programado ha concluido y se contabiliza al personal
			Se elimina el silencio radial y se retira el cordón de bloqueo de la bocamina liberándose liberándose el ingreso para la siguiente guardia

Fuente: Área de perforación y voladura.

Si bien el proceso de chispeo y voladura se considera ciertos factores en la secuencia para una voladura segura, entre ellos mediante la comunicación por radio permanentemente participa el jefe de guardia y los operarios, vigías y el programa digital que contabiliza a los trabajadores, se controla al personal de mina en el momento de la voladura, si el chispeo se realiza de forma presencial, por lo que el mismo operario se encuentra en riesgo laboral permanente por algún caso fortuito o por una iniciación no prevista. El objetivo de anular este proceso de riesgo laboral que se puede originar en la voladura, se aplica la iniciación electrónica remota con el fin de no contar ningún trabajador en interior mina, por lo que se puede realizar los disparos desde un lugar seguro en superficie.

4.1.2. Proceso del sistema de iniciación electrónica subterránea

Para la iniciación electrónica se utilizan los siguientes equipos y accesorios de voladura.

A. Unidad de programación (PU)

Es un dispositivo que programa los detonadores, es el que asigna un retardo mediante un tiempo con un rango de 0 mls. – 15000 mls. Tiene una ficha RFID allí se acumula un único número ID del iniciador, es la identificación de salida relacionado al retardo. Se debe considerar que tiene un límite de unidades para programar que varía de uno a seis cada uno de ellos puede programar hasta mil iniciadores electrónicos. Asimismo, tiene varias funciones dando mayor versatilidad para programar los iniciadores. Se considera:

- **Test de línea**

Es el que identifica el corte de línea o fuga, entrega valores amperaje y voltaje.

- **Búsqueda de iniciadores**

Ejecuta el control y busca todos los iniciadores que se ha programado y los que se han conectado al cable de disparo.

- **Conteo de iniciadores**

Es el que realiza la contabilidad de los iniciadores que se encuentran conectadas al cable de la voladura.

Figura 14. *Equipo de Programación*



Fuente: Manual de uso Bickford

B. Remote Blaster (DRB2)

Es el equipo de disparo, unidad encargada de ejecutar el proceso de disparo, proporciona toda la descripción de control y energiza los iniciadores para activarlos. La operación del Remote Blaster se debe ubicar en un espacio seguro, considerando el reglamento de seguridad. Este equipo de disparo puede controlar hasta 1500 iniciadores posee un modelo de operación, donde se da el proceso de voladura, controla el test de verificación y carga de detonadores.

Figura 15. *Remote Blaster (DRB2).*



Fuente: Pruebas de Voladura Centralizada Esperanza.

C. Blast Driver (DBD)

Es parte del programa de voladura, está conectada a la línea de disparo cuando la voladura se inicia en modo remoto. Se transmite con los detonadores, ejecuta testeos, carga los detonadores y emite un comando seguro de disparo, puede controlar hasta mil quinientos iniciadores. El Blast Driver tiene un control remoto mediante el DRB2 se conecta a la línea de voladura. Asimismo, el DRB2 controla el estado en todo instante del Blast Driver, monitorea toda falla que suscite en el proceso de voladura. El DBD se encuentra cerca al sector del disparo de la labor.

Figura 16. *Unidad Blast Driver*



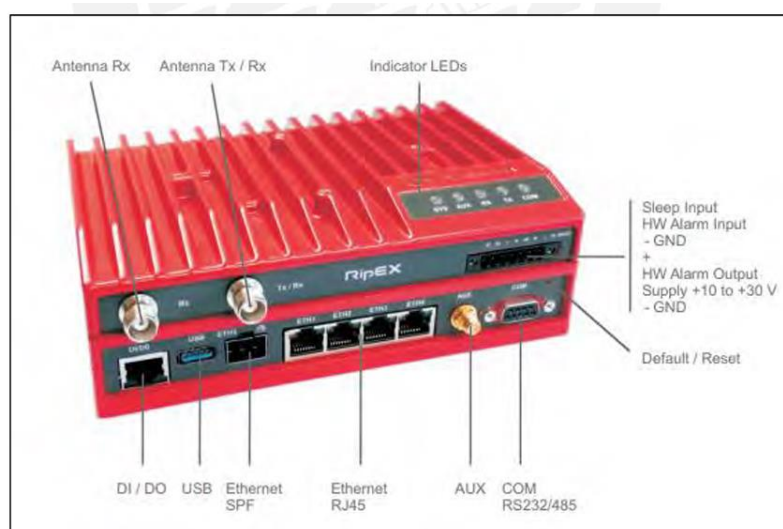
Fuente: Pruebas de Voladura zona Esperanza.

D. Radio Modem

Es un radio compacto altamente configurable, enruta el IP del radio es muy funcional, va conectado a la antena y a la energía de alimentación, se debe configurar con una PC y una web. Para el disparo centralizado se utiliza un modem RipEX2, es un dispositivo IP nativo, configurado por el sistema Linux.

El fin de instalar el modem al programa de disparo centralizado sea funcional con todo el equipo de detonación electrónica, con la línea de comunicación Leaky Feeder, transforma la frecuencia de trabajo y conduce a trabajar con igual frecuencia de la línea de comunicación.

Figura 17. Modem RipEX2.



Fuente: Manual de RACOM.

E. Tarjeta RFID

RFID es una tarjeta que asegura el programa. Sin ella el Remote Blaster no ingresa al proceso de operación del disparo y por lo tanto no se puede procesar la voladura. Para usar el RFID, hay que deslizar por la zona posterior del DRB se ve el código RFID. La tarjeta DRB2 puede procesar hasta dos clases de tarjetas RFID:

- Ficha de prueba RFID color blanco que se requiere para proseguir con el test después de transportar los datos de todos los iniciadores almacenados en la PU al DRB2.
- Ficha de disparo RFID de color rojo carga los iniciadores que se programa para que luego se disparen.

Figura 18. *Ficha de seguridad RFID.*

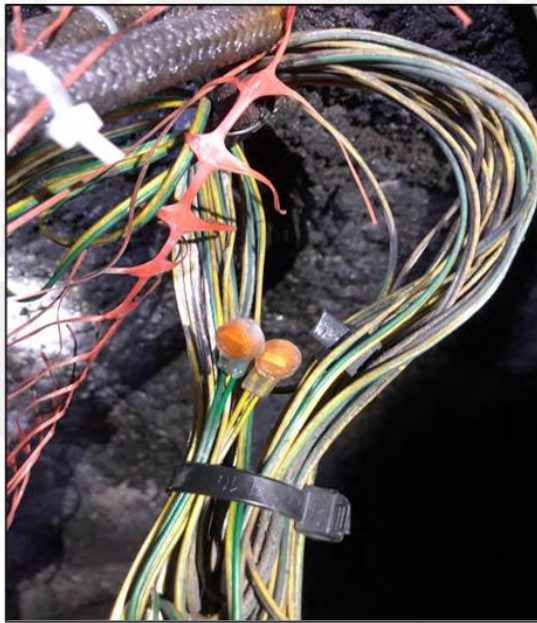


Fuente: Manual de uso Bickford

F. Cable de conexión M35

Es usado para la conexión del detonador electrónico mediante su conector 3M, da la fuerza para lograr activar. La red de voladura M35 va conectado al equipo de disparo PU, DRB2, DBD y se traslada por todo el sistema de implementación del programa de voladura. La red M35 es una línea de cobre de temple blando cubierto con un aislante de polietileno y en la parte interna PVC. Se tiene de color verde y amarillo en rollos de 500 metros.

Figura 19. *Instalación del cable M35.*



Fuente: Voladura Centralizada Esperanza.

G. Unidad maestra y esclava

Esta unidad es un equipo ubicado en superficie mina, cuenta con un DRB2, es la se encarga de ejecutar el disparo juntamente con su radio modem. La figura siguiente se muestra los equipos que utiliza la unidad maestra.

Figura 20. *Equipos empleados en la unidad maestra*

Equipo	Cantidad
Radio Modem 	1
DRB2 	1

Fuente: Manual User por Davey Bickford

Esta unidad esclava se coloca en interior mina, posee un DBD que se conecta a la línea de disparo M35 y al radio modem interno que convierte la señal de la red Leaky Feeder y comunica a los equipos.

Figura 21. Equipos de la unidad esclava.

Equipo	Cantidad
Radio Modem 	2
DBD 	2

Fuente: Manual User por Davey Bickford

4.1.3. Reconocimiento de labores en interior mina

Primeramente, se reconoce las infraestructuras de interior mina, junto con operarios de perforación y voladura, se verifica las zonas instaladas con la línea de comunicación Leaky Feeder en interior mina y las zonas que se realizaran las pruebas de iniciación electrónica.

A. Zonas con red de comunicaciones Leaky Feeder

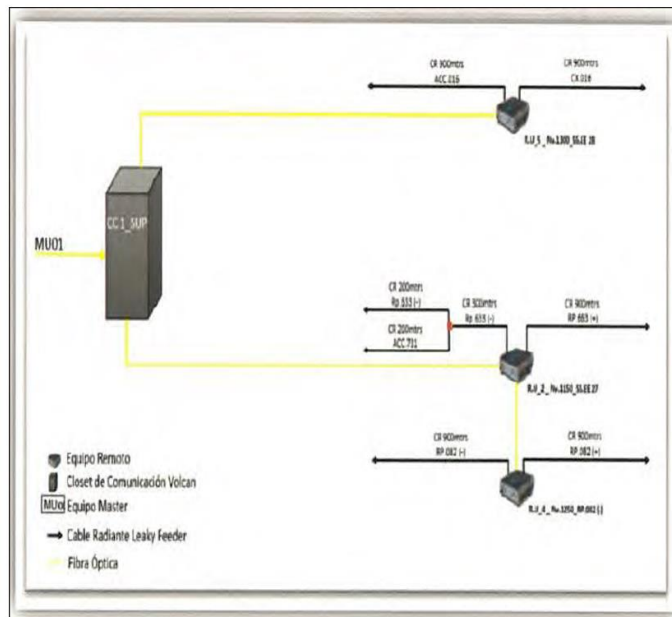
En el recorrido a los sectores con la instalación de comunicación de toda la red Leaky Feeder, se verifica el inicio de la línea al punto final.

- **Funcionamiento de la línea de comunicaciones**

El programa que comunica interior mina, controla la emisión de la señal digital de superficie, transforma la señal óptica por la unidad maestra MU y trasmite la señal a las unidades remotas de interior mina. Cuando ya se tiene la señal, la unidad remota transforma en señal digital la señal óptica, la cual comunica al equipo esclavo mediante la línea Leaky Feeder a toda zona establecida para probar la detonación electrónica en labores mina.

La unidad remota puede controlar hasta dos mil metros de cable y la comunicación en interior mina tiene la frecuencia del UHF en una variación de banda de 400 Mz. – 425 Mz.

Figura 22. Red de comunicación.



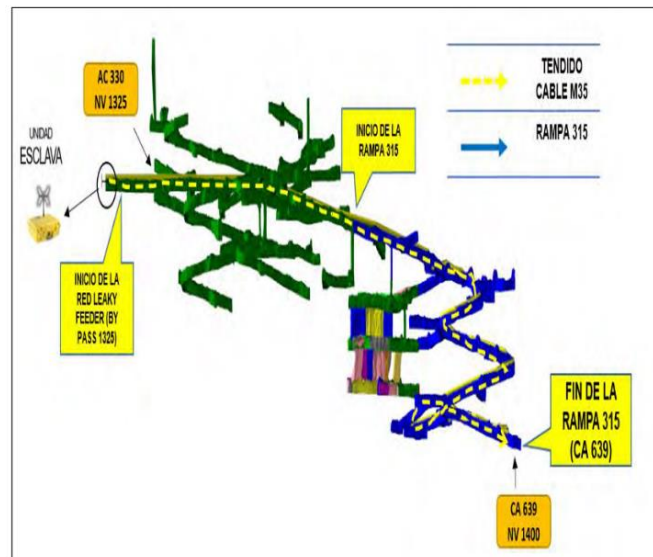
Fuente: Área de TI Esperanza

- **Distribución de las redes de comunicación en interior mina**

Primero la red de comunicación Leaky Feeder se comparte en dos sectores de prueba, cubre las zonas de disparo del sistema zona esperanza.

El inicio del cable Leaky Feeder se encuentra desde la entrada del acceso 330 continua su recorrido en la Rampa 315. En la figura inferior se observa la instalación de la línea Leaky Feeder y su ubicación del equipo esclavo.

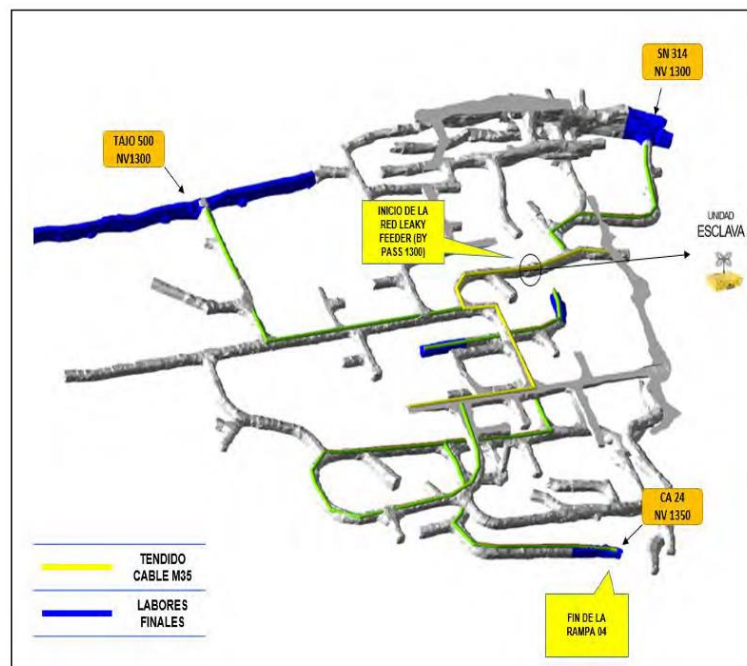
Figura 23. *Instalación de Cable nivel 1325 - 1400*



Fuente: Zona de voladura

El inicio del cable Leaky Feeder es del by pass 1300 y se tiende en tres direcciones; hacia el SN 315, TJ 500 y Rampa 4, finaliza en la CA 24. La figura inferior se ve la instalación de la línea Leaky Feeder y la ubicación del equipo esclavo.

Figura 24. *Instalación en la zona esperanza.*



Fuente: Zona de voladura

B. Zonas de pruebas de voladura

Se identificaron 2 zonas de pruebas en la voladura centralizada, la rampa 04 del nivel 1350 y profundización, rampa 315 de la Zona de la esperanza, se realizó un listado de las labores que se programaron pruebas con iniciación remota de detonadores electrónicos.

Tabla 4. *Zonas de prueba en esperanza*

ZONA SALVADORA		
NIVEL	UBICACIÓN	LABOR
1325	BY PASS 1325	BP 1325
1325	BY PASS 1325	CA 131
1350	BY PASS 500	CM 56 CM 54
1350	BY PASS 501	CM 4 CM 5 CM 6 CM 8 CM 9
1400	ACCESO 322	XC 1400
1400	RAMPA 315	CAV 317
1400	BY PASS 502	CA 22
1400	ACCESO 323	BP 503 N BP 503 S

Fuente: Zona de voladura

Tabla 5. Zonas de prueba en niveles

Zona Andaychagua – Veta Adriana		
NIVEL	UBICACIÓN	LABOR
1300	ACCESO 600	BR 079 SN 314
1300	ACCESO 1351	TJ 500
1350	ACCESO 600	ACC 382
1400	CRUCERO 1350	CA V24
1400	BY PASS 1400	BP 1400

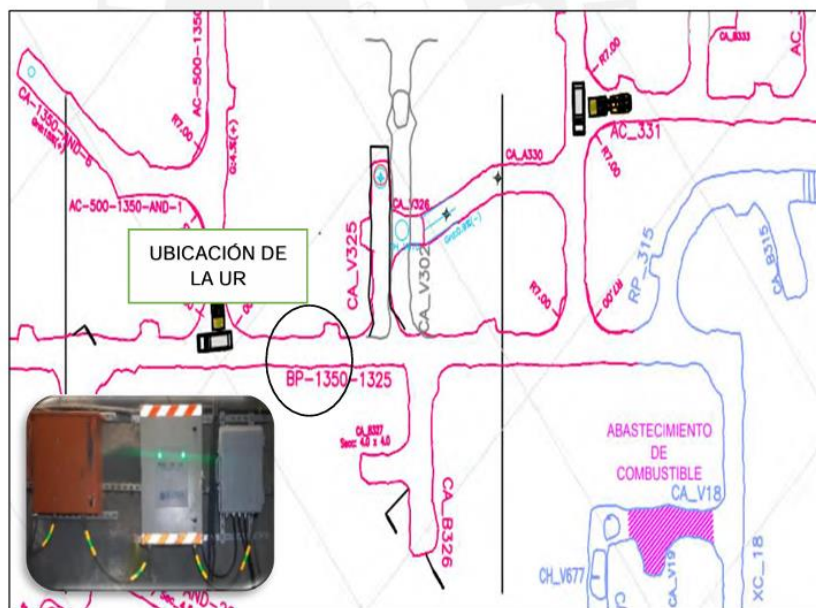
Fuente: Zona de voladura

C. Zonas de pruebas de comunicación

Las zonas de interior mina se controla una comunicación constante del modem maestro y esclavo, se encuentran junto a las unidades remotas de comunicación. La prueba de comunicación tiene el objetivo de controlar la comunicación de todas las unidades electrónicas y la línea de Leaky Feeder. En esta prueba se identifican 2 unidades remotas, que reciben con la fibra óptica el reporte tetra, convertido por el equipo maestro en señales de RF, que irradia a lo largo de las galerías de interior mina por la línea Leaky Feeder diseñado para las bandas del circuito.

El primer equipo remoto llamado UR15 que se ubica en el by pass 1350 junto al CA V325; se encarga de transferir la señal de comunicación Leaky Feeder del sector esperanza, parte de la Rampa 315. En la figura inferior se ve la localización de la UR.

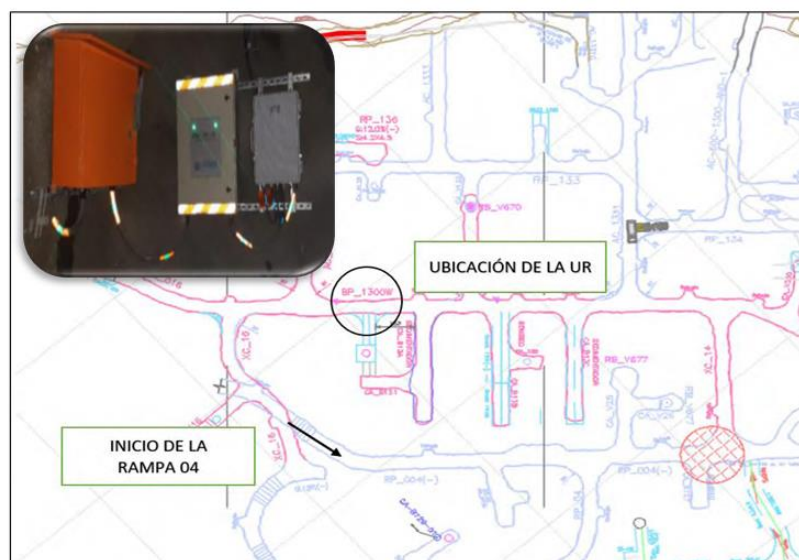
Figura 25. Localización del equipo remoto BP1350



Fuente: Zona de voladura

La unidad remota dos se denomina UR5 y se ubica en el BPY300 cerca al ACC 1351; transmite la señal de comunicación Leaky Feeder en la zona esperanza nivel 1350 - 1400 – Rampa 04. En la siguiente figura se muestra la ubicación de la UR.

Figura 26. *Ubicación de unidad remota BP 1300W*



Fuente: Zona de voladura

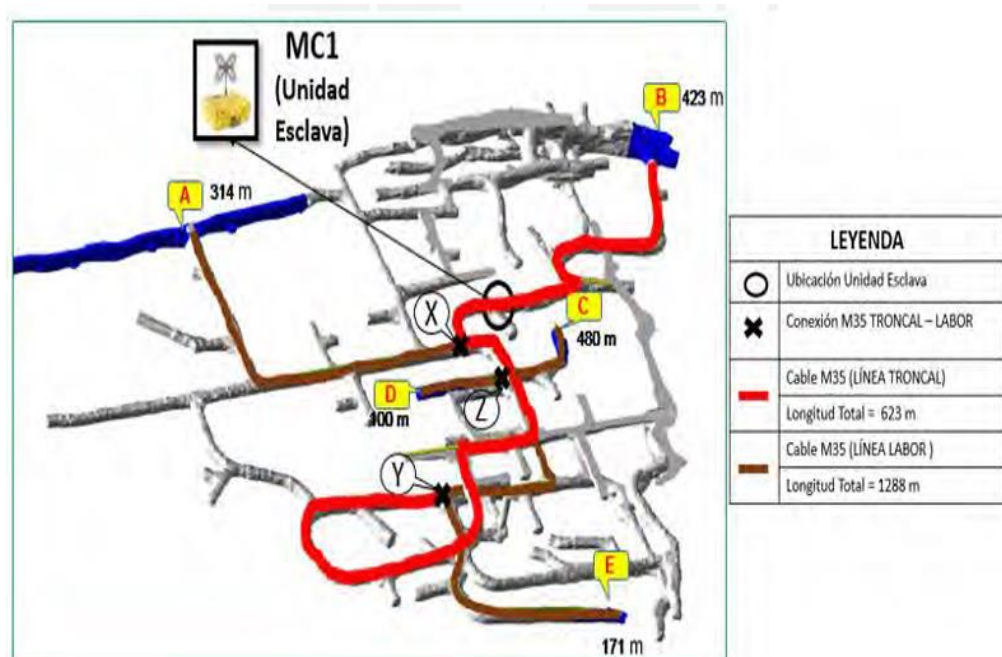
4.1.4. Proceso de Pruebas

El proceso de pruebas de la voladura centralizada son varias actividades que ejecutan la iniciación remota de superficie de los iniciadores electrónicos para iniciar la voladura.

A. Instalación de la línea M35

Es el tendido de la línea M35 a lo largo de todas las zonas de voladuras, la instalación de la línea se inicia de una troncal y sigue su trayectoria por las labores principales, finaliza en el sector de la voladura. Toda la trayectoria llamada línea troncal de aquí salen bifurcaciones a diferentes galerías de zonas asignadas, hasta llegar al punto del disparo; se empalman a la red troncal y se excluyen en el punto final de la trayectoria evitando cortos circuitos o fugas. En la figura inferior se muestra la colocación de la línea en el sector esperanza.

Figura 27. *Instalación de la línea radiante*



Fuente: Zona de voladura

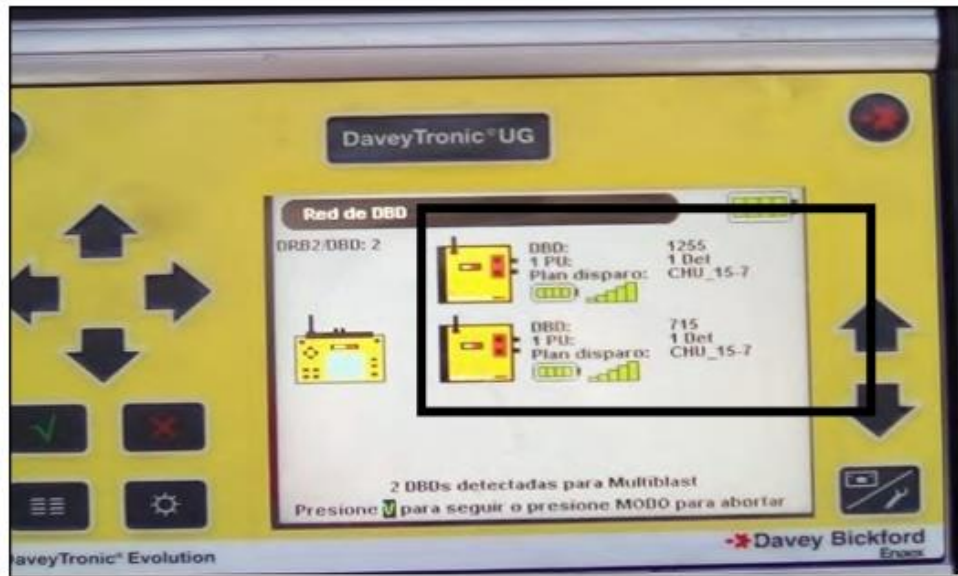
La línea troncal y las bifurcaciones de las labores son tendidas en zonas superiores de interior mina, tal que no sean afectadas por mangas de ventilación, el tránsito de equipos, entre otras. Para el empalme de la línea

troncal con todas las bifurcaciones, se empalman el alma de cobre de color verde con el alma de cobre del mismo color de la bifurcación y el alma de cobre de color amarillo. Además, estos empalmes se realizan en la entrada de intersección de la rampa principal, donde está instalado la línea troncal, a todos los accesos de las labores a ser iniciadas.

B. Prueba de señal de comunicación

La prueba de señal de comunicación consiste en la verificación del sistema de comunicación de radiofrecuencia de interior mina con el programa de comunicación de los equipos electrónicos por la red Leaky Feeder. La comunicación es de manera bidireccional, la unidad maestra en superficie con las unidades esclavas de las dos zonas de voladura. Instalados los dos equipos se procede a encender y con las antenas se realiza la comunicación mediante el cable radiante. El factor principal es determinar un punto de partida de la línea troncal es identificado con el equipo remoto de señal muy cercana. Para saber si hay comunicación se controla el intercambio permanente de comunicación de ambas unidades esto se prueba con la guía de calidad que es un tren de cinco varillas, cada varilla es parte de la comunicación compartida y se muestra en el visor del equipo de voladura DRB2.

Figura 28. *Control de comunicación de las unidades.*



Fuente: Informe de Voladura ENAEX.

C. Zonas de ubicación de la unidad esclava

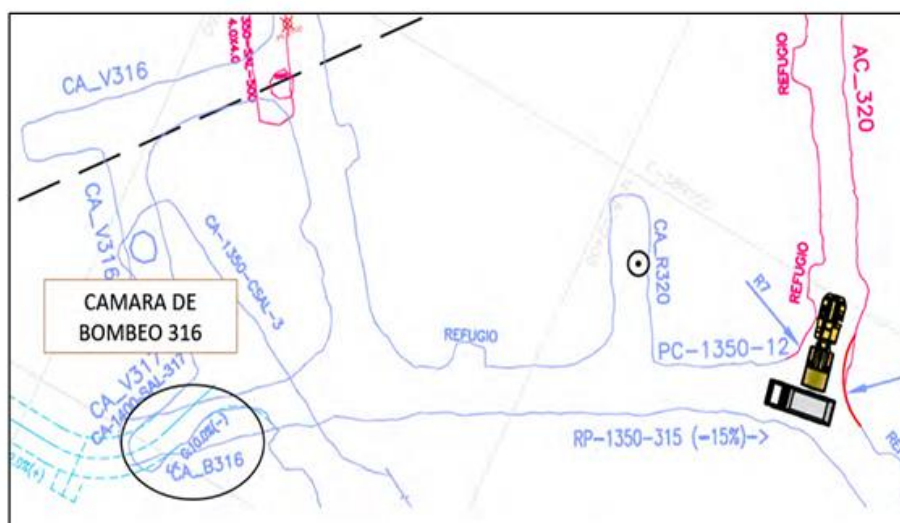
En la zona esperanza se identifican 2 puntos uno para la instalación del modem esclavo, donde la señal de comunicación varía entre 4 a 5 barras de intensidad. Se muestra en la siguiente figura con la ubicación módems esclavos. By pass 1350, a la izquierda de la cámara 325.

Figura 29. Buena señal de comunicación BP 1350



Fuente: Zona de voladura

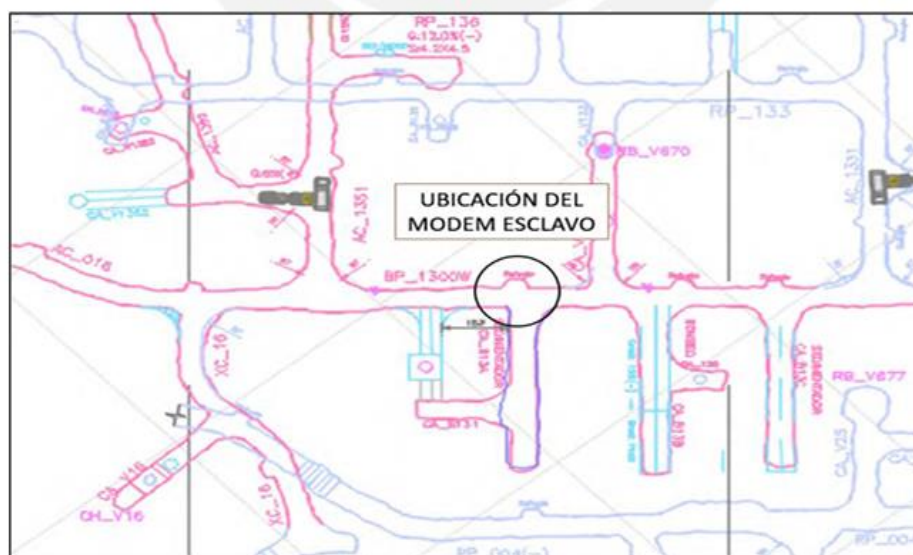
Figura 30. *Rampa 315, cámara de bombeo (CA_B316)*



Fuente: Zona de voladura

En la zona 3 y profundización se identifica el punto de instalación del modem esclavo, donde la señal de comunicación varía entre 4 a 5 barras de intensidad. Se muestra en figura inferior la localización del modem esclavo BP1300, a la derecha de la labor 1351.

Figura 31. Sector tres buenas señales de información.



Fuente: Zona de voladura

4.1.5. Prueba con detonadores inertes

Los accesorios inertes, en el interior no tienen ningún tipo de carga, se utiliza para realizar simulación de voladura electrónica. La iniciación con detonadores inertes es al iniciar la guardia y antes de cada voladura. Se programan detonadores y se conectan en toda labor asignada de voladura centralizada, simulando un disparo real, se considera todos los procedimientos en el horario de voladura; su objetivo es verificar dos puntos importantes antes de cada voladura.

- Se verifica la línea M35 que no presente daño antes de la voladura, que no se tenga fuga de corriente en todo el recorrido de la línea.
- Se verifica la comunicación estable y continua de los equipos de voladura centralizada, unidad maestra y unidad esclava.

A. Plan de Contingencia

En la simulación de iniciación con detonadores inertes se puede presentar dos problemas, si ocurre se tiene programado un plan de contingencia. Si hay presencia de fuga de corriente o daño del cableado se procede a:

1. Primero se desligan las conexiones de la red troncal y se corta en la mitad de la red para limitar la parte de la búsqueda.
2. Segundo con la unidad del programa PU, se realiza la prueba de la red partiendo de la primera red troncal, si no se encuentra la falla, se realiza la prueba en el siguiente tramo.
3. Una vez determinado la zona de corte, de nuevo se corta la red en dos tramos y se prosigue nuevamente a comprobar con el equipo del programa, en donde se encuentra los sectores de fuga. El proceso es una exploración binaria y se usa para recortar los sectores de exploración

hasta tener un sector muy pequeño hasta poder observar el corte de la red.

4. Por último al encontrar el punto de falla se repara, cambiando con una nueva línea, se vuelve a empalmar todos los cortes realizados.

Si no existe comunicación en los equipos de voladura remota se procede a:

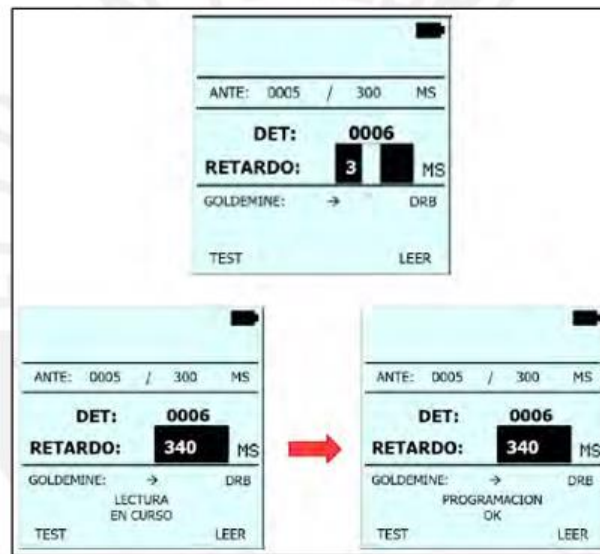
1. Si no se tiene información en un punto, se dispone otro punto junto con otro equipo repetidor Leaky Feeder. Al encontrar la marca en otro punto se informa al operario de TI la falla del primer equipo repetidor.
2. Si no se tiene señal en ningún punto de comunicación de la mina, se informa la falla en la red de comunicación. Al reparar la falla antes de media guardia se realiza de nuevo el test con iniciadores inertes partiendo del primer punto para localizar el modem esclavo. Si no se encuentra se debe arreglar la falla de la línea de comunicación, se informa al departamento de perforación y voladura.

4.1.6. Programación de los iniciadores electrónicos

El iniciador se identifica por el equipo de programa Remote Blaster DRB2 y el Blast Driver DBD por un único código que lo identifica. En el proceso del programa, se fija un código de forma secuencial al iniciador y el responsable determina el programa secuencial de inicio, es posible programar detonadores con el mismo tiempo.

En pruebas de voladura centralizada se da un modo de programación conectando uno por uno el responsable empalma el iniciador de manera individual al PU se programa de forma manual, se codifica el retardo con la tecla numérica y el detonador se empalma a terminales de conexión del PU.

Figura 32. Programa del detonador electrónico.



Fuente: Manual de Voladura ENAEX

4.1.7. Conexión de detonadores electrónicos

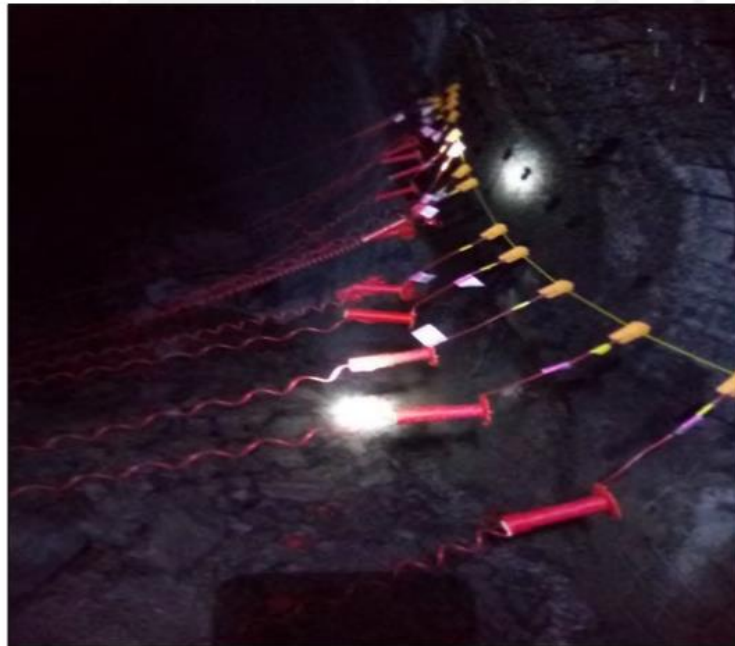
En el proceso de voladura centralizada, el detonador electrónico sustituye la mecha de seguridad, los iniciadores electrónicos repartidos y programados por cada frente se empalman a la red M35, con los conectores 3M, que se ha proyectado hasta un punto cercano a la labor determinada.

Figura 33. Conexión de la línea M35.



Fuente: Informe de Voladura Centralizada ENAEX.

Figura 34. *Conexión en vacío a la línea M35.*



Fuente: Informe de Voladura Centralizada ENAEX.

Los detonadores electrónicos se conectan a la mecha rápida considerando:

Envolver las 2 puntas de la mecha de seguridad de la red alrededor de la capsula del iniciador electrónico tal que forme una “U”, las puntas de la mecha deben apuntar a la red de perforación. Seguidamente se envuelve el empalme con cinta aislante tal que el iniciador no quede visible, verificar que este empalmado la cabeza del iniciador, hay que evitar enrollar la mecha de seguridad a la cápsula del iniciador en forma de nudo, en el instante de la detonación puede proyectar partículas pudiendo originar un corte en la red de la voladura.

Figura 35. *Empalme de la cápsula a la red pirotécnica*



Fuente: Informe final de la voladura

Figura 36. *Control del empalme a la mecha*



Fuente: Informe final de la Voladura

4.1.8. Test de la línea M35 y detonadores electrónicos

Conectado y amarrado los detonadores electrónicos a labores asignadas, se procede con la prueba de la red del M35, la troncal y la proyección de los frentes, un mal empalme del iniciador de la línea M35. Evitando en el proceso de disparo se tenga un corto circuito o fuga de corriente en la red.

La prueba de la línea M35 se realiza con el equipo de programación, se conecta en el primer punto de la línea M35 en los pines del PU, que puede detectar

fuga de corriente. El máximo valor de carga de voltaje esta en relación con el número de detonadores conectados a la línea, generalmente tiene un valor de 16V. La PU muestra el consumo de corriente en la línea en miliamperios y el voltaje; en las pruebas de voladura centralizada, se cuenta con un tendido de cable M35 libre de fugas y cortes, el test de línea mostraba resultados del voltaje entre 11 – 11.2 voltios y con un amperaje de 0 – 0.4 mA, se presenta en la figura inferior:

Figura 37. Valores en el control de la red M35.



Fuente: informe final de la voladura

Figura 38. *Control de la red M35.*



Fuente: informe final de la voladura

4.1.9. Proceso de voladura inalámbrica

Se realizan 2 pasos previos al inicio, considerando:

A. Transferencia de datos de la PU a la DBD

Se establece las unidades de programación que se utilizara en cada zona, ya que estas estarán asociadas con cada DBD respectivamente. La unidad de programación tiene todos los datos de programación como nombre de la red, número único de ID del detonador, número de secuencia y retardo, se encuentra en la etiqueta RFID, se muestra en la siguiente imagen.

Figura 39. Asociación de la PU a la DBD



Fuente: Manual ENAEX

B. Configuración de la DBD y la DRB2 de comunicación inalámbrica

Ambos equipos se encuentran configurados, la DBD funciona como equipo inalámbrico. Esta configuración se realiza con las funciones del DRB2, se puede configurar la DBD como módem interno inalámbrico o módem externo modo repetidor. Para la voladura subterránea, el DBD es usado como módem externo, ya que se tiene otro modem conectado al DBD con características específicas. La configuración se da para que exista una comunicación continua entre estos equipos y se verifican con las pruebas de señal de comunicación.

El indicador de calidad muestra la calidad de la señal (Q), el gráfico debe mostrar cinco barras, que indica la calidad de señal de los últimos 5 datos transmitidos.

C. Proceso operativo de iniciación electrónica

1. El proceso operativo de la voladura centralizada tiene como fin transferir la información de los detonadores programados, almacenados en la PU, hacia la DRB2.

2. Luego de los chequeos se cumplen con las unidades de comunicación, los datos del programa de disparo se transfieren a la DRB2, se realiza el proceso de disparo y las pruebas asociados deslizando anticipadamente la tarjeta RFID de la DRB2. El test realizado en esta etapa es tres:
 - El test de cable verifica el estado de la línea M35, si este presenta corte de línea o alguna fuga.
 - La prueba de iniciadores verifica si se tiene iniciadores que no se ha programado que están empalmados a la red de la voladura.
 - El auto test de iniciadores verifica el estado de estos que están empalmados a la red de la voladura.
3. Al ejecutar el test de los iniciadores, se continua con el visor de carga, el disparador se habilita con el botón tajeando la ficha RFID. Activado, este botón aproximado en 10 segundos, la carga de los detonadores es aproximado a 20 segundos, se observa en una barra de la pantalla en porcentaje, cuando la carga está concluida se da la orden de la voladura con el mensaje de voz “LISTO PARA DETONAR”.

Figura 40. Pantalla de autorización

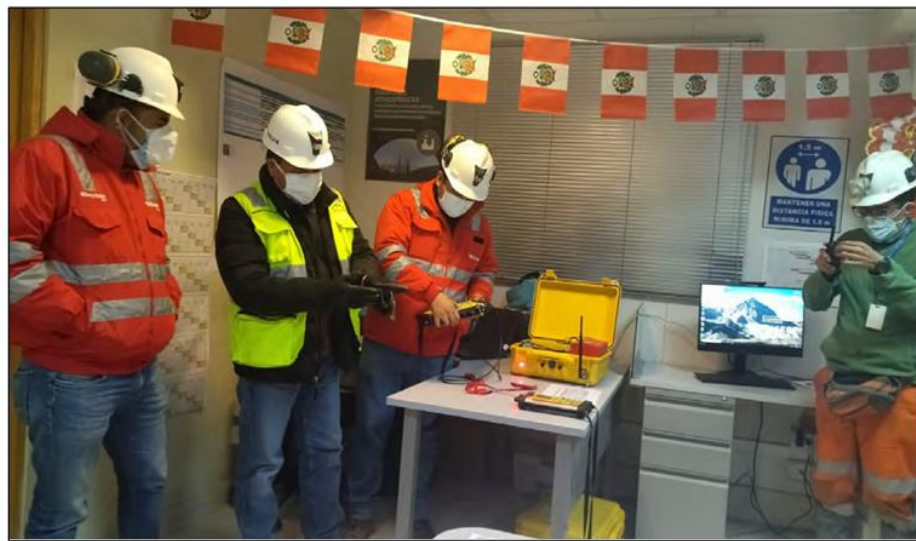


Fuente: Informe final de la voladura

4. Cargado los detonadores se ilumina el botón de disparo, el operador presiona el botón lo mantiene presionado; una línea en la zona inferior

de la pantalla se muestra el progreso de la voladura. Finalizado el disparo, se observa en la pantalla “disparo realizado”; si el botón no se presiona antes que finalice la cuenta regresiva, el automático retorna en modo seguro y los condensadores se descargan. Se considera que para cargar y disparar es posible solo después de tajar la DRB2 y tarjeta de disparo RFID.

Figura 41. *Autorización desde superficie.*



Fuente: Informe final de la voladura

D. Zona de cuerpo esperanza

En la zona esperanza se identifican 12 labores, fueron programadas para iniciar la voladura remota. Se efectuaron un total de 81 voladuras con 173 detonadores en total. En la tabla siguiente se observa los frentes de disparo.

Tabla 6. *Frentes de disparo sector esperanza.*

NIVEL	LABOR	
1350	BP 500	CM 56
		CM 54
	BP 501	CM 4
		CM5
		CM 6
		CM 8
		CM 9
1400	ACC 322	XC 1400
	RP 315	CAV 317
	BP 502	CA 22
	ACC 323	BP 503 N
		BP 503 S
		CA B503
	CA 639	CA V639
	CA V636	CA V644
1325	BP 1325	BP 1325
	BP 1325	CA 131
1400	BP 502	CA 24

Fuente: Informe de la voladura centralizada

E. Zona tres y Profundización

En la zona se identificaron 7 labores, se realizaron 13 voladuras mediante 43 detonadores. En la tabla siguiente se presenta las labores disparadas.

Tabla 7. Labores de disparo en Zona tres

NIVEL	LABOR
1300	SN 314
1300	BR 079
1300	TJ 500
1350	ACC 380
1350	ACC 382
1400	BP 1400
1400	CA 24

Fuente: Informe de la voladura centralizada

4.1.10. Reingreso Post – Voladura

Luego de las voladuras es el reingreso tanto reales como en vacío, para verificar la correcta detonación puesto en vacío y los detonadores electrónicos conectados a la malla pirotécnica.

Se evita el reingreso al post – voladura con el sistema DaveyTronic que cuenta con una función “Line Cut Monitoring”, es el que realiza el monitoreo continuo del de los detonadores electrónicos programados para el disparo. El monitoreo se realiza desde el inicio del proceso de voladura hasta el instante que el operador presiona el botón de “FUEGO” de la DRB2.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Presentación y análisis del sistema electrónico

Las pruebas de la voladura centralizada se analizan mediante ciertos indicadores que evalúan el funcionamiento del sistema de iniciación electrónica, así como los beneficios en temas de seguridad, productividad y costos.

Figura 42. Diferencia de los tipos de iniciación

PROCEDIMIENTO TRADICIONAL	MULTIBLAST	ONETOUCH
INICIACION MANUAL MEDIANTE CHISPEO DE LOS FRENTE	INICIACION ELECTRONICA REMOTA	INICIACION ELECTRONICA REMOTA CON UN SOLO PROCEDIMIENTO Y/O COMANDO
EXPOSICION DEL PERSONAL A GASES POST-VOLADURA	NO EXPOSICION DEL PERSONAL A GASES POST - VOLADURA	NO EXPOSICION DEL PERSONAL A GASES POST - VOLADURA
USO DE VIGIAS	ELIMINACION DE VIGIAS	ELIMINACION DE VIGIAS
VOLADURA DE MULTIPLES ZONAS	VOLADURA DE MULTIPLES ZONAS EN SIMULTANEO	VOLADURA DE MULTIPLES ZONAS EN SIMULTANEO

Fuente: Informe de Voladura Centralizada

Funcionamiento del sistema electrónico

El proceso del sistema electrónico Daveytronic Evolution y el beneficio que se tiene en el proceso del disparo. Con cierto número de voladuras se demuestra los beneficios y cualidades del sistema electrónico en los disparos. La facilidad del sistema se ha evaluado considerando los factores relevantes para el proceso, considerando:

- Los eventos de seguridad
- Los frentes no iniciados por el sistema
- Los retrasos por voladura
- La suspensión de voladuras
- La cantidad de labores iniciadas
- La validación de modalidad multi - disparo

En el proceso de las pruebas de voladura centralizada se ejecutó once voladuras exitosas mediante el sistema, nueve se inició de manera remota y dos fueron iniciadas de forma alámbrica.

El disparo alámbrico fue por una falla generada en el cableado de la red Leaky Feeder y la unidad repetidora cerca de la línea troncal. A pesar de ello, se demostró la garantía de los equipos, en la siguiente tabla se presenta el resumen de voladuras y consumo de detonadores por voladura.

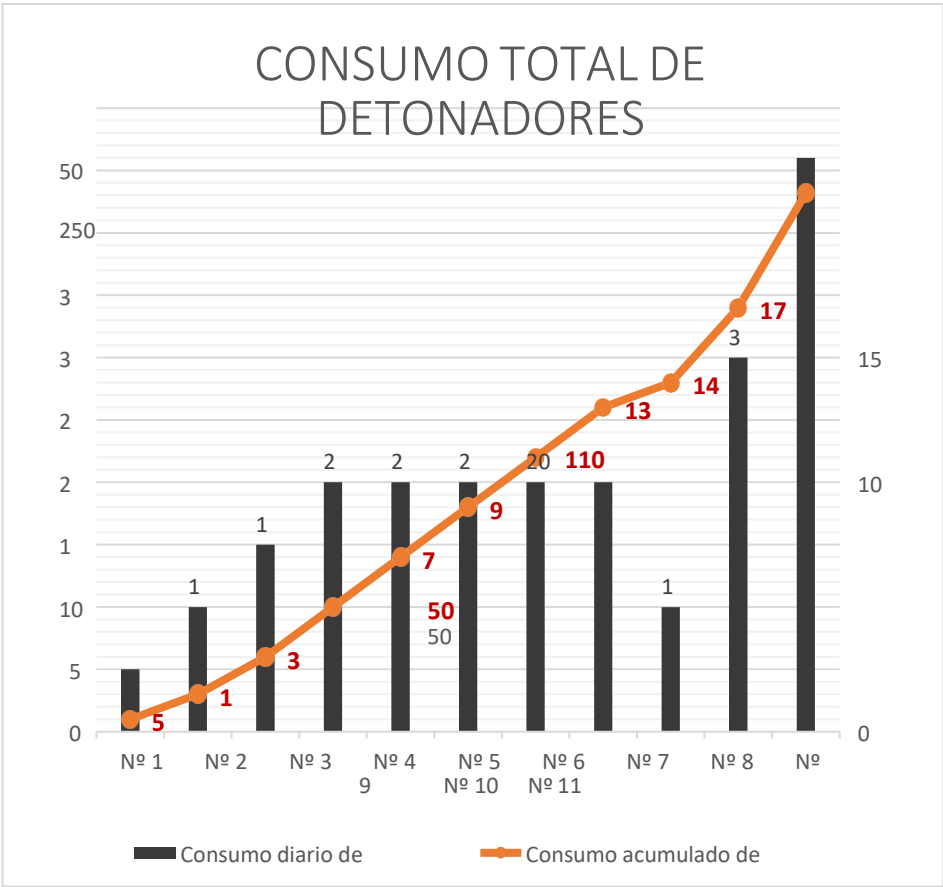
Tabla 8. Registro de las voladuras realizadas

Nº VOL.	FECHA	TIPO DE VOLADURA	ZONAS DE VOL.	Labor Real	Labor Simulada	Total de Labores Iniciadas	Consumo total de Detonador
Nº 1	23/08/2021	MONOBLAST	SALVADORA	3	2	5	5
Nº 2	24/08/2021	MONOBLAST	SALVADORA	1	9	10	10
Nº 3	25/08/2021	MONOBLAST	SALVADORA	4	5	9	15
Nº 4	26/08/2021	MONOBLAST	SALVADORA	2	8	10	20
Nº 5	27/08/2021	MONOBLAST	SALVADORA	3	6	9	20
Nº 6	28/08/2021	ALAMBRICO	SALVADORA	2	7	9	20
Nº 7	29/08/2021	ALAMBRICO	SALVADORA	3	5	8	20
Nº 8	30/08/2021	MONOBLAST	SALVADORA	1	5	6	20
Nº 9	31/08/2021	ONETOUCH	ADRIANA SALVADORA	2	4	6	10
Nº 10	1/09/2021	ONETOUCH	ADRIANA SALVADORA	5	5	10	30
Nº 11	2/09/2021	ONETOUCH	ADRIANA SALVADORA	6	9	15	46

Fuente: informe de voladura

Al referirse labores simuladas, son que se inició detonadores en vacío. La simulación se realiza con el objetivo de demostrar la garantía del sistema electrónico que puede iniciar las labores programadas. Los disparos ejecutados el día 28 y 29 de agosto del 2023 se realizaron de manera alámbrica debido a un corte en la comunicación, ocasionada por las operaciones mina. En la siguiente figura se presenta un resumen del consumo total de detonadores.

Figura 43. Consumo de detonadores electrónicos



Fuente: Informe de voladura

También, durante la evaluación de resultados de la voladura se consideró los siguientes indicadores para medir los beneficios:

- **Seguridad del sistema**

Un objetivo de la seguridad es que al término de la jornada laboral todos deben retornar sanos. Para lograr se debe contar con cero eventos de accidentes, en el periodo de pruebas se garantiza el cumplimiento del principal beneficio del sistema. El criterio de evaluación del KPI se presenta en la siguiente tabla.

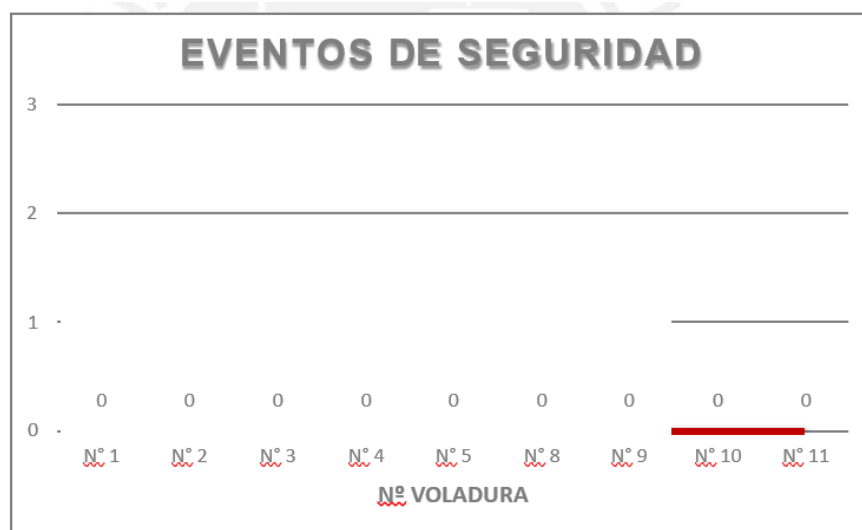
Tabla 9. *Criterio de evaluación en eventos de seguridad*

CRITERIO	EVALUACIÓN
Cero (0)	Excelente
1 o más	Inaceptable

Fuente: Área de planeamiento

En nueve voladuras centralizadas se obtuvieron cero eventos de seguridad, evaluando el KPI es “Excelente”. Se demuestra el beneficio que se obtiene en lo que es la gestión de seguridad. En la siguiente figura se muestra los eventos de seguridad ocurridos en el proceso del proyecto.

Figura 44. *Eventos de seguridad.*



Fuente: Área de voladura

- **Labores no iniciadas por el sistema**

Una labor no iniciada por el sistema electrónico es el frente donde se instaló un detonador electrónico para dar inicio a una voladura y por algún problema relacionado al sistema de iniciación electrónica, la malla programada no se inicie. Ello es una consecuencia no deseada de alto riesgo, esto en las operaciones mineras se evita tener este tipo eventos. El criterio de evaluación del KPI se presenta en la siguiente tabla.

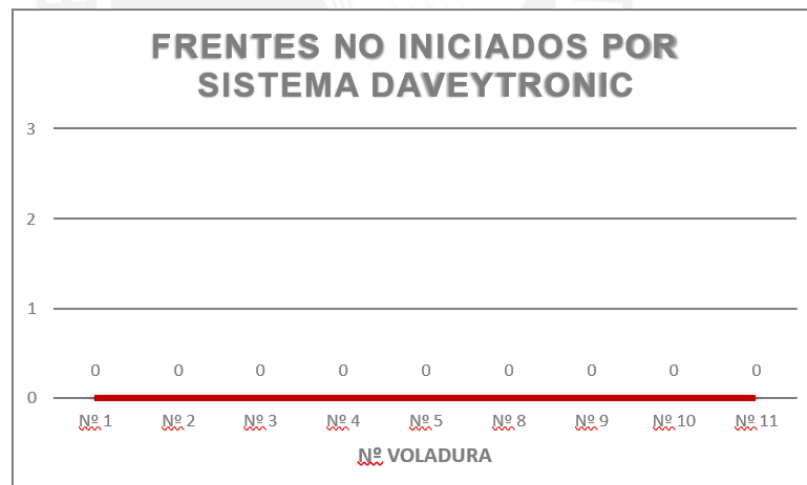
Tabla 10. Regla de evaluación de labores no iniciados

CRITERIO	EVALUACIÓN
Cero (0)	Excelente
1 o más	Inaceptable

Fuente: Área de planeamiento

En las nueve voladuras centralizadas se obtuvieron cero frentes no iniciados del sistema electrónico, por lo que al evaluar el KPI es “Excelente”. Se presenta la siguiente figura el informe.

Figura 45. Cuadro de frentes no iniciados



Fuente: Área de voladura

- **Retrasos por voladura**

Considerando el número de veces que se tiene un retraso al momento del disparo programado. En la etapa de pruebas se debe obtener cero retrasos por voladura, considerando el retraso por una falla en la iniciación del sistema electrónico de la voladura. El criterio de evaluación del KPI se presenta en la siguiente tabla.

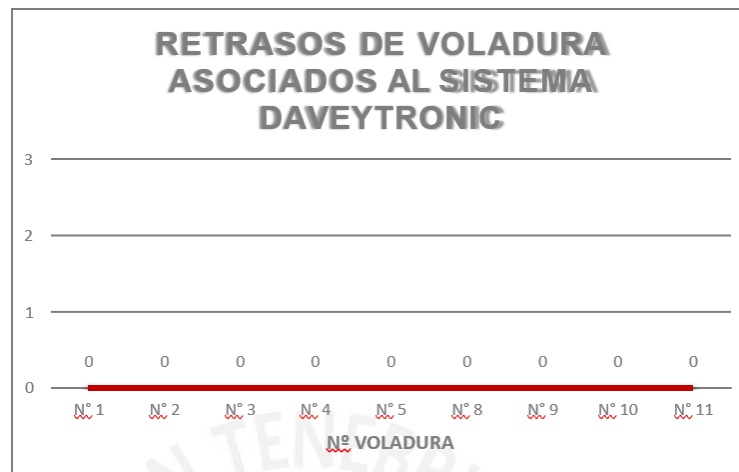
Tabla 11. Regla de evaluación de Retraso por disparo

CRITERIO	EVALUACIÓN
Cero (0)	Excelente
1 o más	Inaceptable

Fuente: Área de planeamiento

Como resultado se obtiene cero retrasos por voladura, por lo que evaluando el KPI es “Excelente”. Se demuestra el fácil manejo del sistema realizar el proceso de voladura, el resultado genera un ahorro significativo de tiempo por no tener retrasos en el momento de la voladura. Se presenta en la siguiente figura los retrasos.

Figura 46. Retrasos por disparo



Fuente: Área de voladura

- **Cancelación de voladura**

La cancelación de una voladura programada a causa de la falla del sistema de iniciación electrónico. Para ello se establece una meta durante la etapa de pruebas de tener cero suspensiones de voladura debido a falla en la iniciación del disparo. El criterio de evaluación del KPI se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 12. Regla de evaluación de cancelación de disparo.

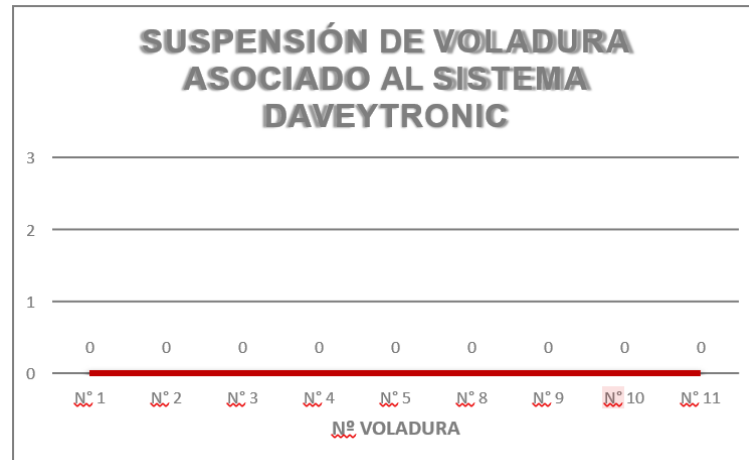
CRITERIO	EVALUACIÓN
Cero (0)	Excelente
1 o más	Inaceptable

Fuente: Área de planeamiento

En las 9 voladuras centralizadas ejecutadas se obtuvo cero suspensiones por voladura, evaluando el KPI es “Excelente”. Se demuestra la alta garantía del sistema electrónico en el funcionamiento. Se presenta en la siguiente figura

las suspensiones por voladura en el proceso de prueba del proyecto.

Figura 47. *Suspensiones de voladuras*



Fuente: Área de voladura

- **Labores iniciadas por Voladura Centralizada**

Para la medición del KPI respectivo se tendría que considerar el número de labores iniciadas y el consumo de detonadores realizados por el sistema de iniciación electrónica, en el desarrollo de las pruebas para la iniciación de los frentes en cuanto a disponibilidad dependía de la coordinación y planificación con representantes de la zona de prueba, por lo que el número de labores y detonadores se fue incrementado por cada voladura consumiendo en la última voladura 46 detonadores.

El criterio de evaluación para el KPI es demostrar que el número de detonadores a iniciar debe ser mayor al total de voladuras por guardia. La relación se encuentra en promedio de 20 voladuras; pero se puede notar que el uso de detonadores se fue incrementando a mayor disponibilidad de zonas de frentes de pruebas, por lo tanto, la cantidad de detonadores se incrementó, se logró disparar en ambas zonas de prueba.

Tabla 13:

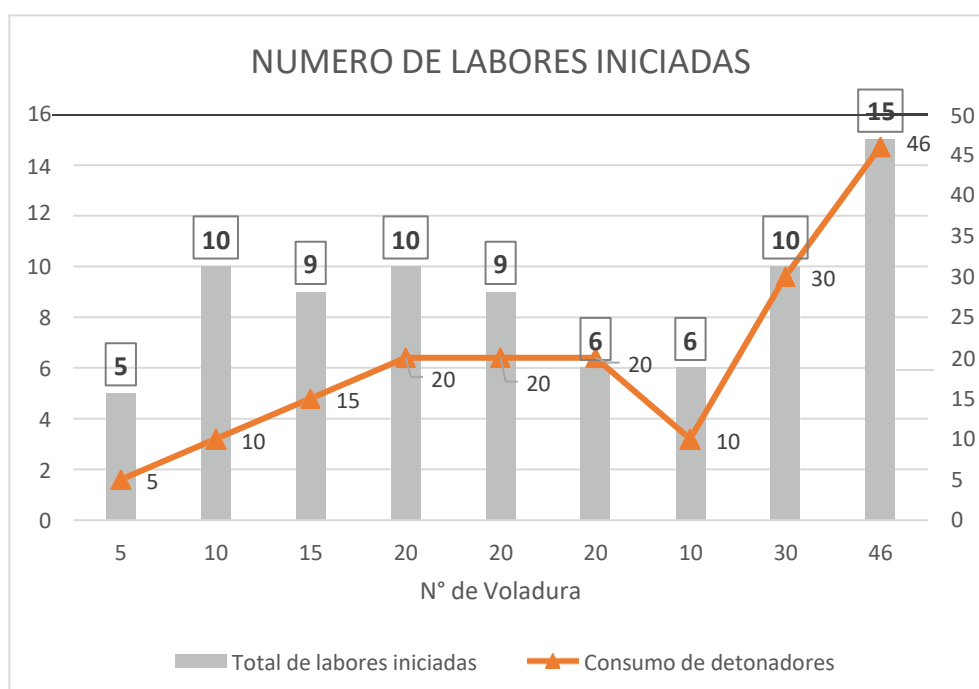
Tabla 13. Frentes simulados por voladura

Nº VOLADURA	FECHA	TIPO DE VOLADURA	ZONAS DE VOLADURA	LABORES REALES	LABORES SIMULADAS	TOTAL DE LABORES INICIADAS
Nº 1	23/08/2021	MONOBLAST	SALVADORA	3	2	5
Nº 2	24/08/2021	MONOBLAST	SALVADORA	1	9	10
Nº 3	25/08/2021	MONOBLAST	SALVADORA	4	5	9
Nº 4	26/08/2021	MONOBLAST	SALVADORA	2	8	10
Nº 5	27/08/2021	MONOBLAST	SALVADORA	3	6	9
Nº 8	30/08/2021	MONOBLAST	SALVADORA	1	5	6
Nº 9	31/08/2021	ONETOUCH	ADRIANA Y PROF. / SALVADORA	2	4	6
Nº 10	1/09/2021	ONETOUCH	ADRIANA Y PROF. / SALVADORA	5	5	10
Nº 11	2/09/2021	ONETOUCH	ADRIANA Y PROF. / SALVADORA	6	9	15

Fuente: Área de planeamiento

Se la siguiente figura se muestra los frentes iniciados por día y cantidad de iniciadores utilizados.

Figura 48. Frentes iniciados y cantidad de iniciadores por labor



Fuente: Área de voladura

- **Validación de la modalidad multi-disparo**

La determinación de ejecutar un disparo remoto en sectores de pruebas, utilizando los 2 módems esclavos al mismo instante. El objetivo se valida con el proceso del disparo exitoso en ambos sectores y la regla de evaluación del KPI es:

Tabla 14. Regla de Validación modo multi-disparo

CRITERIO	EVALUACIÓN
Sin problemas de comunicación	Excelente
Fallas de comunicación sin retraso	Aceptable
Fallas de comunicación con retraso	Inaceptable

Fuente: Área de planeamiento

En el proceso de pruebas de voladura centralizada se ejecutaron tres voladuras de manera remota multi-disparo, se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 15. Voladuras por el sistema Onetouch Multiblast

Nº VOLADURA	FECHA	TIPO DE VOLADURA	ZONAS DE VOLADURA	LABORES INICIADAS	LABORES SIMULADAS	TOTAL DE LABORES INICIADAS	CONSUMO TOTAL DE DETONADORES
Nº 9	31/08/2021	ONETOUCH	PROSPERIDAD SALVADORA	2	4	6	10
Nº 10	01/09/2021	ONETOUCH	PROSPERIDAD SALVADORA	5	5	10	30
Nº 11	02/09/2021	ONETOUCH	PROSPERIDAD SALVADORA	6	9	15	46

Fuente: Área de planeamiento

En 3 disparos realizados no se tuvo problemas y el proceso de estos fue en el horario de voladura programada. La voladura realizada fue Onetouch Multiblast, cabe resaltar que con solo presionar el botón de CARGA y DISPARO se iniciaron los detonadores de ambas zonas. Los resultados y el criterio de evaluación mencionado en el KPI para ambas voladuras multi-disparo es de excelencia.

4.2.2. Interpretación de los resultados del sistema electrónico

A. Seguridad

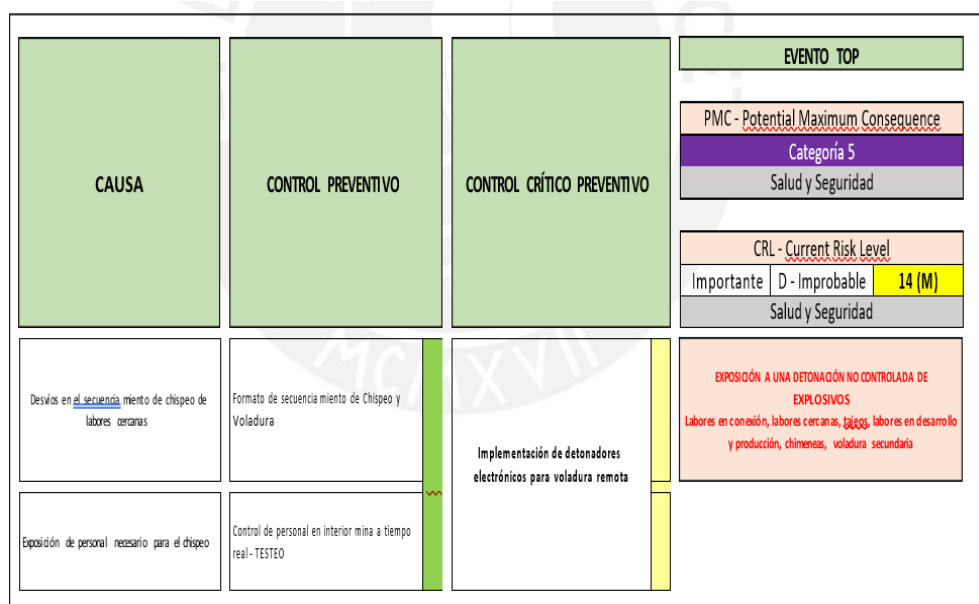
En las normas legales de riesgos laborales en cuanto al manejo de explosivos y voladuras, se identifica como uno de los principales riesgos críticos y sea para prevenir la aplicación de los detonadores electrónicos para iniciar una voladura de la malla de perforación mediante el sistema remoto, con el fin de reforzar 2 en la zona de voladura, como el físico presencial del Chispeo y control en tiempo real del personal que ingresa a las labores de interior mina. Se cuenta de estar expuesto a la detonación no prevista de explosivos ellos son dos; el desvío en la secuencia de chispeo de labores adyacentes y la exposición de operarios que se requiere para el chispeo, para ambas actividades es necesario la presencia de operarios en las labores.

Con la aplicación del uso de detonadores electrónicos con sistema de voladura remota, se elimina las posibilidades de una detonación fortuita con personal expuesto en la labor, un evento que se tenga desvíos en secuencias de chispeo y el personal expuesto para el chispeo. Al aplicar la iniciación remota desde un punto de la superficie se tiene un mejor control en tiempo real de todos los personales en el instante de la voladura; por que el proceso de voladura electrónica se inicia cuando todo el personal se encuentra fuera del radio de influencia de las voladuras, se elimina vigías en zonas de voladura. las cualidades de un detonador electrónico es que posee una cápsula de cobre y protección de resina ante presiones dinámicas de taladros cercanos; se realiza un monitoreo constante en

todo el procedimiento para iniciar el detonador, se reporta de inmediato cualquier anomalía que presente el detonador; el módulo electrónico de doble condensador permite que la energía para programar e iniciar se almacena por separado, inmunidad a EMI (Electromagnetic Interference) o RFI (Radio Frequency Interference) y otros. Asimismo, los equipos de operación (DRB2 y DBD) como son las tarjetas RFID brindan alta seguridad son las únicas que permiten realizar el proceso del disparo. Estas cualidades eliminan una iniciación intempestiva del detonador y la malla de perforación eliminando la probabilidad que ocurra un evento de categoría 5 que es catastrófico, es de 0%.

En la figura siguiente se muestra el proceso de voladura modificado del uso del detonador electrónico para iniciar la voladura de nominado BOW TIE como alternativa a la exposición a una detonación fortuita de explosivos.

Figura 49. Control preventivo para el chispeo manual



Fuente: Área de Seguridad Esperanza

B. Productividad

En cuanto a la productividad se obtiene un ahorro significativo, por el tiempo de reingreso de los operarios después de la voladura, por ser de manera remota, no contando con operarios en la labor para iniciar el disparo, se elimina todo tipo de personal en labores de la mina, como vigías y operario de chispeo en el frente. En la siguiente tabla se muestra tiempos requeridos para una voladura convencional en relación a una voladura electrónica remota desde superficie, se nota claramente el tiempo ahorrado en beneficio de horas/hombre que se logra.

Tabla 16. *Control de disparo convencional*

HORARIO	ACTIVIDAD
06:30 – 06:53 a.m. / p.m.	Inicio del chispeo de las zonas
06:53- 07:00 a.m. / p.m.	Detonación de las labores
07:00 - 07:15 a.m. / p.m.	Confirmación de voladura exitosa en cada zona
07:15 a.m. / p.m.	Ingreso de la siguiente guardia

Fuente: Área de Seguridad Esperanza

Tabla 17. *Control de disparo electrónico remoto*

HORARIO	ACTIVIDAD
6:20 - 6:29 a.m. / p.m.	Realización de testeos
6:29 - 6:34 a.m. / p.m.	Carga de los detonadores
6:34 – 06:35 a.m. / p.m.	Iniciación remota
06:50 a.m. / p.m.	Ingreso de la siguiente guardia

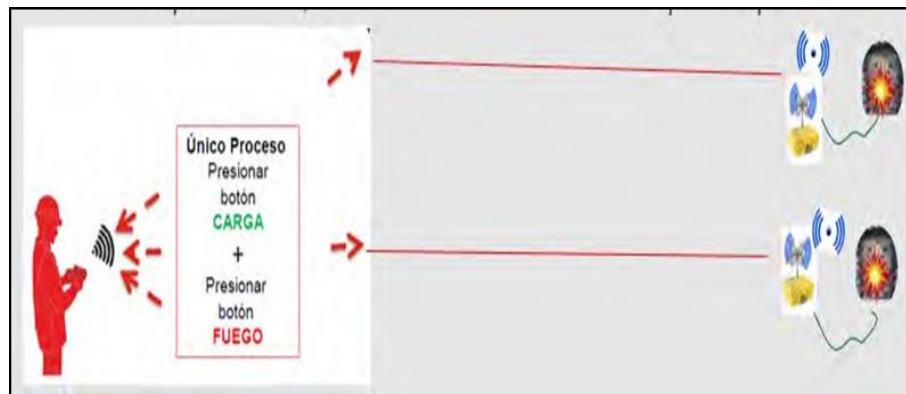
Fuente: Área de Seguridad Esperanza

Como se nota con la voladura centralizada electrónica remota se mejora el tiempo de reingreso de operarios de guardia hasta de 25

minutos. Al ejecutar la voladura en el método Multiblast, el proceso de carga y fuego se repiten para cargar los detonadores de cada sector de manera independiente.

Durante las pruebas, cuando se requería iniciar dos sectores en forma simultánea se utilizó el sistema inalámbrico modo Onetouch. El método se basa en su valor de simplicidad, que permite realizar el proceso de disparo de todos los sectores con un solo comando de carga y fuego.

Figura 50. Voladura de modo Onetouch Multiblast.



Fuente: Informe final de Voladura

Por la simplicidad del uso y el disparo inalámbrico origina un significativo ahorro en tiempo de reingreso de operarios. Se obtiene un ahorro de tres a seis minutos por cada zona iniciada, por lo que este método Onetouch inicia los detonadores y el disparo al presionar solo un botón de carga y fuego. En la siguiente tabla se muestra el proceso de voladura electrónica Multiblast Onetouch.

Tabla 18. *Proceso de disparo remoto Multiblast Onetouch*

HORARIO	ACTIVIDAD
06:20 - 06:29 a.m. / p.m.	Realización de testeos y Carga de los detonadores
06:29 - 06:30 a.m. / p.m.	Iniciación remota
06:45 a.m. / p.m.	Ingreso de la siguiente guardia

Fuente: Área de Seguridad Esperanza

Se concluye que se obtiene un ahorro significativo de 25 minutos, con el Multiblast, se inicia desde superficie con detonadores electrónicos. Asimismo, se obtiene un ahorro de 3 a 6 minutos por sector iniciado cuando es simultáneo con el modo Onetouch, teniendo un tiempo total de 30 minutos. Todo este tiempo se ve reflejado en el incremento de horas – hombre y horas – máquina en actividades de carguío y acarreo, transporte, así como la disposición de personal para realizar otras actividades secundarias.

C. Costos

En el análisis de los costos se relacionó el margen del valor de la implementación de la voladura electrónica remota, el costo anual relacionando con la rentabilidad en producción, se interpretó anteriormente, por el incremento de horas laborables al día y de los equipos de operación. En la tabla siguiente se muestra el cronograma de horario de trabajo con el proceso estándar de chispeo y voladura en relación a la voladura centralizada.

Tabla 19. *Plan de horas de trabajo.*

Descripción de actividades	Voladura con chispeo	Voladura centralizada
Culminación de actividades ajenas a voladura	04:15 a.m./p.m.	05:00 a.m./p.m.
Lavado y estacionamiento de equipos	04:15 -05:15	05:00 – 06:00
Movilización de vigías y responsables de chispeo	05:15 – 06:00	-
Evacuación de personal ajeno al Procedimiento de Voladura	06:00 – 06:30 a.m./p.m.	06:00 – 06:30 a.m./p.m.
Testeo y carga de detonadores	-	06:20 – 06:29 a.m./p.m.
Inicio de chispeos	06:30 – 06:53 a.m./p.m.	-
Última detonación	07:00 a.m./p.m.	06:30
Entrada de la siguiente guardia	07:15	06:45

Fuente: Área de planeamiento

Se puede notar en la información que, por una guardia, se tiene un ahorro en el horario laborable, de 1 hora y 15 minutos promedio, por lo que se obtiene 45 minutos originados por eliminar la movilidad de vigías, culminando las labores a las 5:00 a.m. / p.m., y 30 minutos originados por el proceso de voladura electrónica remota. Este menor tiempo se refleja en costo de dólares por hora de equipos involucrados en las actividades de perforación, sostenimiento, carguío y acarreo de todos los sectores del proceso de voladura centralizada, se tiene un incremento significativo en la disponibilidad mecánica de cada equipo. En la tabla siguiente se nota la disponibilidad mecánica de cada equipo en horas y costos.

Tabla 20. Ahorro originado por la aplicación de voladura electrónica remota

Equipos	DispMec (%)	Utiliz (%)	Días programados	Horas adicionales por mes (+1.25h/ guardia)	PU \$/h.mes	Total US\$/mes
EQR-EMPERNADOR	80.3%	18.9%	120	49.85		2,501
JUM-0417-YA	85.5%	19.6%	30	12.56	50	630
JUM-0418-YA	81.1%	20.7%	30	12.61	50	632
JUM-0422-YA	71.8%	14.1%	30	7.59	50	381
JUM-0429-YA	88.2%	25.9%	30	17.10	50	858
EQR-JUMBO	84.2%	13.5%	150	43.09		2,018
JUM-0149-YA	97.9%	1.3%	30	0.94	47	44
JUM-0151-YA	90.8%	12.4%	30	8.45	47	396
JUM-0158-YA	80.4%	15.5%	30	9.37	47	439
JUM-0159-YA	74.3%	12.1%	30	6.72	47	315
JUM-0161-YA	92.5%	25.4%	30	17.61	47	825
EQR-SIMBA	85.1%	25.8%	120	68.61		3,831
JUM-0315-YA	86.8%	23.5%	30	15.28	56	853
JUM-0317-YA	82.8%	21.6%	30	13.43	56	750
JUM-0323-YA	86.0%	30.0%	30	19.36	56	1,081
JUM-0326-YA	86.5%	31.6%	30	20.54	56	1,147
EQR-CABLE BOLTING	87.3%	8.0%	90	90.00		311
JUM-0500-YA	87.3%	8.0%	30	5.25	59	311
EQR-SCOOP	93.5%	38.9%	180	163.58		11,969
SCO-0652-YA	94.5%	37.6%	30	26.68	73	1,952
SCO-0662-YA	89.0%	38.8%	30	25.88	73	1,894
SCO-0663-YA	91.1%	37.6%	30	25.66	73	1,878
SCO-0664-YA	96.4%	37.0%	30	26.78	73	1,960
SCO-0665-YA	96.3%	41.4%	30	29.93	73	2,190
SCO-0670-YA	93.4%	40.9%	30	28.64	73	2,095
EQR-DESATADOR	95.0%	12.7%	120	35.63		1,360
SCA-0134-YA	99.9%	3.0%	30	2.24	38	85
SCA-0137-YA	94.0%	5.5%	30	3.88	38	148
SCA-0139-YA	93.6%	17.3%	30	12.12	38	463
SCA-0142-YA	97.0%	23.9%	30	17.39	38	664
EQR-UTILITARIO	94.6%	20.0%	60	28.39		696
PLA-0014-YA	94.0%	25.0%	30	17.62	25	432
PLA-0015-YA	95.3%	15.1%	30	10.77	25	264
Total	88.8%	23.3%	840	479		22,684

Fuente: Área de planeamiento

En la tabla anterior se nota que los equipos usados en las operaciones, la disponibilidad mecánica de cada equipo y el porcentaje de operación. Obteniendo esta información y el incremento de la hora y media por el uso del sistema de iniciación electrónica, el costo por hora y días al mes, se tiene una rentabilidad por mes de cada equipo en dólares con un total 22,684 \$/mes. Se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 21. Renta mensual y anual

Ahorro Mensual (\$)	22,684
Ahorro Anual (\$)	272,213

Fuente: Área de planeamiento

Analizado la rentabilidad que origina la aplicación de la voladura electrónica remota, se analizan el costo, tanto en la aplicación del cable M35 en las labores principales de interior mina, consumo por disparo del cable, detonadores electrónicos por mes, alquiler de equipos electrónicos para la iniciación remota. En la implementación se considera el uso del cable M35 para el tendido en las rampas y labores de los sectores utilizarse. En la siguiente tabla se muestra un resumen del cable de uso permanente en la implementación y el costo asociado.

Tabla 22. Costos de implementación del cable M35

Zona	Nivel	Veta	Números de Labor	Cable Disparo Permanente (m)
1	1300	Andaychagua	A	639,1
			B	
			C	
2	1325	Andaychagua	D	1014,2
			E	
			F	
			G	
			H	
3	1350 1400	Salvadora	I	1324,4
			J	
			K	
4	1250	Prosperidad I	L	225,5
			M	
5	1300 1350	Prosperidad Techo	N	1863,4
			O	
			P	
			Q	
7	1250	Prosperidad Techo-Vanesa	R	595,1
			S	
			T	
8	900	Prosperidad Este	U	572
			V	
			W	
TOTAL			23	6233,7

Fuente: Área de planeamiento

Tabla 23. Costo de la línea de disparo

Material	Cant. (m)	Consumo Cable / Año (m)	P.U. (\$/m)	Costo Anual (\$)
Cable de disparo permanente	6233,7	6233,70	0,21	\$ 1.309,08

Fuente: Área de planeamiento

En la Tabla anterior se nota el consumo del cable de disparo, el valor por metro de cable y el costo anual.

El costo anual del cable de disparo por cada voladura que se utiliza 16 metros por disparo, el alquiler de equipos utilizados para la voladura remota, detonadores electrónicos y los operarios encargados de realizar el disparo.

Tabla 24. Costo anual de reposición de cable de disparo

Material	Cant. (m)	Disparo por Día	Consumo Cable / Día (m)	Consumo Cable / Mes (m)	Consumo Cable / Año (m)	P.U. (\$/m)	Costo Diario (\$)	Costo Mensual (\$)	Costo Anual (\$)
Reposición de cable de disparo por voladura	15	14	210	6300	75600	0,21	\$ 44,10	\$ 1.323,00	\$ 15.876,00

Fuente: Área de planeamiento

Tabla 25. Costo anual del consumo de detonadores electrónicos

Material	Disparo por Día	Consumo Detonadores / Día	Consumo Detonadores / Mes	Consumo Detonadores /Año	P.U. (\$/Und.)	Costo Diario (\$)	Costo Mensual (\$)	Costo Anual (\$)
Detonador Electrónico	14	14	420	5040	17,5	\$ 245,00	\$ 7.350,00	\$ 88.200,00

Fuente: Área de planeamiento

Equipos necesarios de alquiler para la voladura, se tiene un modem maestro y 8 modems esclavos se utilizan para las 8 zonas de disparo, se requiere 2 personas para ejecutar todo el proceso de voladura. En la siguiente tabla se presenta el costo anual de estos requerimientos.

Tabla 26. Costo anual de equipos y personal

Descripción	Costo (\$/anual)
Equipos	\$ 86.400,00
Personal	\$ 48.000,00

Fuente: Área de planeamiento

De los cálculos analizados se tiene un costo anual de \$ 238,476, es necesario notar que el año uno sería de \$ 239,785 por la implementación, se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 27. Costo total anual de implementación y años siguientes

Descripción	Año de implementación	Años siguientes
Cable de disparo permanente	\$1,309	0
Cable de disparo reposición	\$15,876	\$15,876
Detonador electrónico	\$88,200	\$88,200
Alquiler de equipos	\$86,400	\$86,400
Personal	\$48,000	\$48,000
Total	\$239,785	\$238,476

Fuente: Área de planeamiento

Finalmente, al aplicar la iniciación electrónica se genera un ahorro anual de 32,428 dólares en el primer año de la aplicación y en los siguientes años el monto de rentabilidad sería de 33,737 dólares.

Tabla 28. Rentabilidad con la aplicación de la iniciación electrónica

Años	Ahorro (\$/anual)	Costo (\$/anual)	Margen (\$/anual)
Año de Implementación	272,213	239,785	32,428
Años Siguietes	272,213	238,476	33,737

Fuente: Área de planeamiento

4.3. Prueba de hipótesis

4.3.1. Hipótesis general

Se planteo la siguiente hipótesis “Con la aplicación del sistema iniciación electrónica remota ubicada en superficie se mejora la gestión de seguridad y productividad de las labores subterráneas en el proceso de voladura de la U.E.A. Heraldos Negros. De acuerdo con los análisis realizados en cuanto a la seguridad, productividad y costos se ha mejorado significativamente en relación con el uso de iniciadores convencionales.

4.3.2. Hipótesis específicas

a. Prueba de la primera hipótesis específica

La primera hipótesis específica plantea: “Con la aplicación del sistema de iniciación electrónica se minimiza los riesgos laborales en el proceso de voladura de la U.E.A. Heraldos Negros”. De acuerdo con los análisis y resultados realizados mediante el criterio del control

de los eventos de seguridad durante 11 voladuras centralizadas se obtuvieron un total de cero eventos en riesgos laborales por lo que la evaluación del KPI es “excelente”; se muestra en la figura 49. Asimismo, no se requiere personal expuesto en interior mina para el chispeo y vigía para la voladura, por tener una iniciación remota desde superficie.

b. Prueba de la segunda hipótesis específica

La segunda hipótesis específica plantea: “Con la aplicación del sistema de voladura remota electrónica se contribuye en los beneficios de la productividad en el proceso de voladura de la U.E.A. Heraldos Negros”. De acuerdo con los análisis e interpretación realizada de todas las actividades de la voladura con iniciadores electrónicos; en cuanto al reingreso del personal de la guardia a las labores es en menor tiempo en 25 minutos menos en relación a la voladura convencional, ello refleja en el aumento de horas – hombre y horas máquina para las actividades de sostenimiento, carguío y acarreo, como personal para ejecutar otras actividades secundarias. Por lo tanto, se tiene un significativo incremento en la productividad.

c. Prueba de la tercera hipótesis específica

La tercera hipótesis específica plantea: “Con la aplicación del sistema de voladura remota de iniciación electrónica se mejora los costos en el proceso de voladura de la U.E.A. Heraldos Negros. De acuerdo con las muestras tomadas y luego del análisis e interpretación respectiva se obtiene que el costo de implementación de la voladura electrónica se tiene una inversión inicial de 239 785 \$/año y en el

siguiente año de 238 476 \$/año; también en cuanto a la producción y rentabilidad de los equipos se tiene un valor 272 213 \$/año finalmente teniendo un margen de ganancia inicial de 32 428 \$/año y en el siguiente año de 33 737 \$/año. Por lo que de acuerdo con la hipótesis planteada se obtiene una significativa mejora en los costos.

4.4. Discusión de resultados

En relación con el título de la investigación “Aplicación de la Iniciación Electrónica para Mejorar el Sistema de Gestión de Seguridad y Productividad en el Proceso de Voladura de la U.E.A. Heraldos Negros”. Podemos citar:

- Con la aplicación de la voladura convencional se tenía presente los riesgos laborales en cuanto a los incidentes y accidentes repercutiendo en la gestión de seguridad de la empresa, ya que se tuvo varios eventos al contar con personal en la zona de chispeo y de vigías. Esto se ha minimizado con la aplicación de la voladura electrónica remota.
- Con la aplicación de la voladura convencional se tuvo menor productividad en referencia a las horas – hombre y horas – maquina por guardia. Por requerir mayor tiempo en el proceso de la voladura, ello incide en la disponibilidad del personal y equipos. Con la aplicación de la voladura electrónica remota se ha mejorado significativamente la disponibilidad del personal y equipos de perforación, sostenimiento, carguío y acarreo.
- Con el uso de la voladura convencional se obtenía menor rentabilidad en la producción de acuerdo con el análisis realizado en relación con la aplicación de la voladura electrónica remota se obtiene significativamente una mejor rentabilidad.

CONCLUSIONES

1. Con la aplicación de la voladura electrónica se mejoró el sistema de gestión de seguridad de la empresa; por lo que se eliminó la presencia del personal en interior mina para el inicio del procedimiento de la voladura; por no requerir vigías y operador en cada labor para iniciar la mecha pirotécnica de seguridad.
2. Con la aplicación de la voladura electrónica se demuestra la confiabilidad y seguridad en el sistema de iniciación electrónica y del detonador electrónico. Para ello se realizaron tests de línea y el monitoreo continuo del estado del detonador, así como la necesidad de dos tarjetas RFID para el proceso de voladura.
3. Se concluye que el sistema de iniciación electrónica tiene una gran capacidad, por lo que se puede realizar disparos en dos zonas de voladura de manera simultánea, tanto en tajos como en frentes, con más de 40 detonadores iniciados de forma remota, obteniendo hasta 20 disparos por guardia.
4. Se obtiene beneficios con la implementación de un sistema de voladura remota; se tiene un incremento en las horas de disponibilidad mecánica de los equipos de perforación, sostenimiento, carguío y acarreo, eliminando el tiempo en la distribución de vigías y personal de chispeo, una reducción de tiempo en el procedimiento de voladura.
5. Se concluye finalmente que se tiene un margen de rentabilidad con la implementación de la voladura electrónica. Estos valores fueron llevados en dólares/año y se relacionó los costos de implementación con la productividad de los equipos generando significativamente una renta aproximada de 33,000 dólares por año.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el cambio de un cable más reforzado para la instalación de la línea troncal, debido a la dinámica de las operaciones como tránsito de equipos pesado y sostenimiento con shotcrete, que afecta a la condición del cable, entre otros. Un cable más robusto reduciría las fugas o cortes que se podrían ocasionar por las operaciones mencionadas.
2. Realizar permanentemente capacitaciones al personal de carguío del frente para garantizar un correcto empalme del conector de los detonadores al cable M35 y un correcto amarre del detonador del frente de disparo que generaría una reducción en tiempos de programación.
3. Se debe de continuar con la implementación de la voladura electrónica en todos los niveles de las labores de producción y preparación para generar mayor rentabilidad en la producción.
4. Se debe implementar al personal de la empresa en cuanto al mantenimiento de los equipos de voladura electrónica ya que se ha notado que solo lo realiza personal de los fabricantes del producto.
5. Se debe realizar una investigación en cuanto a los parámetros de los resultados de la voladura como perfil de la labor, granulometría de la voladura, vibraciones de la voladura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ashutosh, P., Abhijit, N., Dr. Jayanthu. (2013). *Wireless Communication Systems for Underground Mines - A Critical Appraisal*. International Journal of Engineering Trends and Technology Vol. 4 Issue.
- Badillo, G. (2013). *Las telecomunicaciones y sus desafíos en la minería subterránea*. Material del congreso Iberoamericano de Minería Sustentable. Santiago - Chile: Universidad Andrés Bello.
- Berrospi, V. (2019). *Optimización de la perforación y voladura para mejorar la zona de profundización en mina Andaychagua de la Cía. minera Volcán S.A.A*. Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero de minas. Cerro de Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Escuela de formación profesional de ingeniería de Minas.
- Chen, M. & Zhang J. (2021). *The Application of Wi-Fi 6 technology in Underground Mine*. IOP Conf. Ser.: Earth Environ.
- Chipana, R. (2015). *Diseño de perforación y voladura para reducción de costos en el frente de la galería progreso de la contrata minera Cavilquis - Corporación Minera Ananea S.A*. Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero de Minas. Puno: Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería de Minas.
- Condori, M. (2021). *Optimización de perforación y voladura por el método de Roger Holmberg en minera aurífera Estrella de Chaparra S.A*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas. Arequipa: Universidad Tecnológica del Perú, Facultad de ingeniería de Minas.
- Contreras, G., & Del Carpio, A. (2014). *Modelo de implementación de una red inalámbrica Carrier Class Multi-Servicios redundante para una red corporativa minera*. Tesis de para optar por el título profesional de Ingeniero de Sistemas.

Arequipa: Universidad Católica de Santa María, Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales.

- Dyno Nobel (2015). *Detonadores electrónicos para elevar los índices de producción* [Informe].
- ENAEX. (2021). *Pruebas de Voladura Centralizada Unidad Minera Heraldos*. Lima. Errazuris, E. (2022). *Sistemas Redundantes SIGMA Telecom* [Material de Exposición]. SIGMA. Telecom.
- EXSA S.A. (2021). *Manual práctico de voladura*. Lima: Grupo Brescia.
- Fundación UOCRA (2009). *Salud y Seguridad en trabajos de minería*. En OIT. Consulta: 09 de mayo de 2022.
https://www.oitcinterfor.org/sites/default/files/salud_seg_mineria.pdf
- Fundamentos sobre explosivos (s.f.). Disponible 10 de junio de 2022
<http://www.energiayminasmoquegua.gob.pe/web/phocadownload/capacitaciones/2-Fundamentos-sobre-Explosivos.pdf>
- Griffin, K., Schafrik, S., Karmis, M. (2010). *Designing and Modeling Wireless Mesh Communications in Underground Coal Mines*. SME Annual Meeting. Virginia Tech. Blacksburg USA.
- Institute of Makers of Explosives (IME). (2017). *Electronic Blast Initiation Systems (EBIS) Guideline*.
- Ramírez, M. (2015). *Análisis comparativo sobre los sistemas Leaky Feeder y DAS para la transmisión de voz y datos hacia el interior de minas subterráneas*. Tesis para optar por el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. Loja: Universidad Nacional de Loja, Carrera de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones.

ANEXOS

Instrumentos de recolección de datos

PLAN DE MINADO 2023 U.E.A. LOS HERALDOS NEGROS

PRODUCCIÓN JULIO 2021

NIVEL	LABOR	VETA	TMS
5010	TJ 220	HERALDOS	900
5010	TJ 770 N	BOMBONCITO	1080
5010	TJ 770 S	BOMBONCITO	2160
4890	TJ 145 N	HERALDOS	2025
4890	TJ 145 S	HERALDOS	2633
4890	TJ 340 N	BOMBONCITO	1080
4890	TJ 340 S	BOMBONCITO	540
4890	TJ 660 N	BOMBONCITO	1215
4890	TJ 660 S	BOMBONCITO	1215
4980	TJ 710	BOMBONCITO	3600
5010	TJ 990	BOMBONCITO	2552

PRODUCCIÓN AGOSTO 2021

NIVEL	LABOR	VETA	TMS
5010	TJ 220	HERALDOS	2005
5010	TJ 770 N	BOMBONCITO	900
5010	TJ 770 S	BOMBONCITO	1800
4890	TJ 145 N	HERALDOS	2025
4890	TJ 145 S	HERALDOS	2025
4890	TJ 340 N	BOMBONCITO	1620
4890	TJ 340 S	BOMBONCITO	810
4890	TJ 660 N	BOMBONCITO	1215
4890	TJ 660 S	BOMBONCITO	1215
4980	TJ 710	BOMBONCITO	1800
4840	GAL 400 N	BOMBONCITO	743
4840	GAL 400 S	BOMBONCITO	743
5010	TJ 990	BOMBONCITO	2100

PRODUCCIÓN SETIEMBRE 2021

NIVEL	LABOR	VETA	TMS
5010	TJ 220	HERALDOS	1080
4890	GAL 345 S	BOMBONCITO	1238
4890	TJ 145 N	HERALDOS	2025
4890	TJ 145 S	HERALDOS	2633
4890	TJ 340 N	BOMBONCITO	1782
4890	TJ 340 S	BOMBONCITO	891
4890	TJ 660 N	BOMBONCITO	2313
4890	TJ 660 S	BOMBONCITO	2430
4980	TJ 710	BOMBONCITO	2430
4840	GAL 400 N	BOMBONCITO	916
4840	GAL 400 S	BOMBONCITO	1114

PRODUCCIÓN OCTUBRE 2021

NIVEL	LABOR	VETA	TMS
5010	TJ 220	HERALDOS	1888.56
4890	TJ 145 N	HERALDOS	2025
4890	TJ 145 S	HERALDOS	2632.5
4890	TJ 340 N	BOMBONCITO	1620
4890	TJ 340 S	BOMBONCITO	810
4890	TJ 660 N	BOMBONCITO	2430
4890	TJ 660 S	BOMBONCITO	2430
4980	TJ 710	BOMBONCITO	4050
4840	GAL 400 S	BOMBONCITO	1113.75

TOTAL

18850

TOTAL

19000

CARACTERIZACION GEOMECANICA ZONA ESPERANZA

Caracterización geomecánica – zona esperanza

La caracterización geomecánica de los tajos programados ha sido obtenida de labores existentes, en niveles inferiores, y/o proyección de estas.

Cuadro N°05.- Caracterización geomecánica rampa 500, Nivel 1300

Ítem	Estructura	Valoración de la masa rocosa				Descripción
		RMR (1989)	Tipo	GSI	Índice Q	
01	Caja techo	48	III-B	43	0.736	Regular B
02	Caja piso	51	III-A	46	1.166	Regular A
03	Estructura	42	III-B	37	0.293	Regular B

Fuente: U.E.A. los Heraldos Negros

Estado de esfuerzos in-situ del macizo rocoso – zona esperanza

La caracterización geomecánica de los tajos programados ha sido obtenida de labores existentes, en niveles inferiores, y/o proyección de estas.

Cuadro N°11.- Estado de esfuerzos in-situ rampa 500, Nv.1350

Ítem	Característica		Medida	Unidades
1	Profundidad	Mínima	95.6	m
		Máxima	135.2	m
2	Densidad de roca		2.6	t/m3
3	Gravedad		9.8	m/s2
4	Esfuerzo vertical	Mínima	2.44	MPa
		Máxima	3.44	MPa
5	Relación de poisson		0.3	-
6	Módulo de elasticidad		11.9	GPa
7	Esfuerzo horizontal	Mínima	1.04	MPa
		Máxima	1.48	MPa

Fuente: U.E.A. los Heraldos Negros

Máxima abertura de la excavación

Para la determinación de la máxima abertura de la excavación según la calidad del macizo rocoso se ha empleado el modelo matemático de Barton, en función a la estimación del Span es que se ha dimensionado las labores mineras, las cuales serán sostenidas o fortificadas

Máxima abertura de la excavación– zona esperanza

Cuadro N°19.- tajo 750, Nivel 1350

Tipo de labor	Calidad de roca		Tipo de labor	ESR	Sección (m)	
	RMR	Índice Q			Maxima	Diseño
Rampa	52	2.36	Permanente	1.6	4	3.0 a 3.5
Crucero	48	1.74	Temporal	3	7	3.0 a 3.5
Galería	42	1.29	Temporal	3	6	3.0 a 3.5
Tajo	42	1.29	Temporal	3	6	3.5 a 6.0

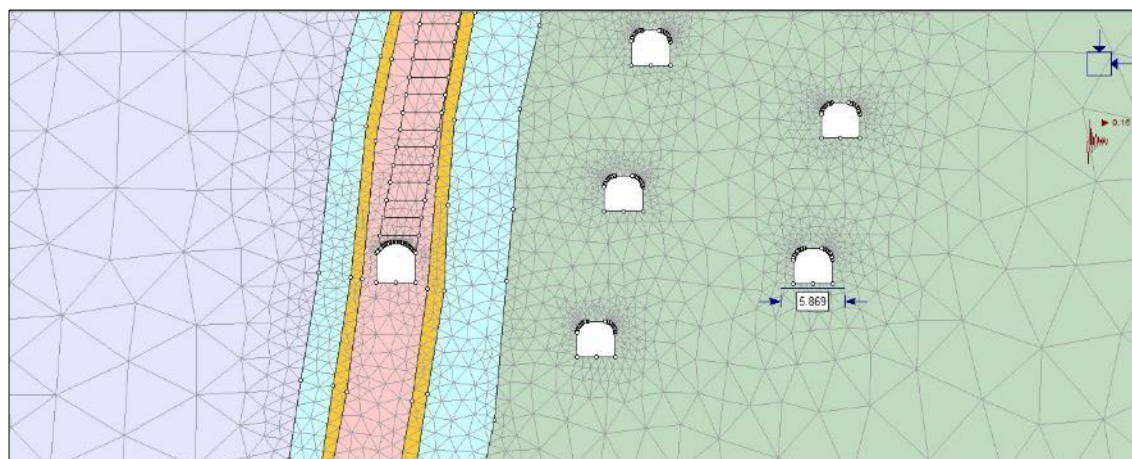
Fuente: U.E.A. los Heraldos Negros

Cuadro N°38.- Características geométricas de la zona esperanza

Parámetro	Características
Forma del	Tabular
Orientación	N38°W
Potencia	3-8m
Inclinación	70° - 75°
Tipo de manto	vertical
Profundidad	>120 m
Densidad media	2.9 t/m ³

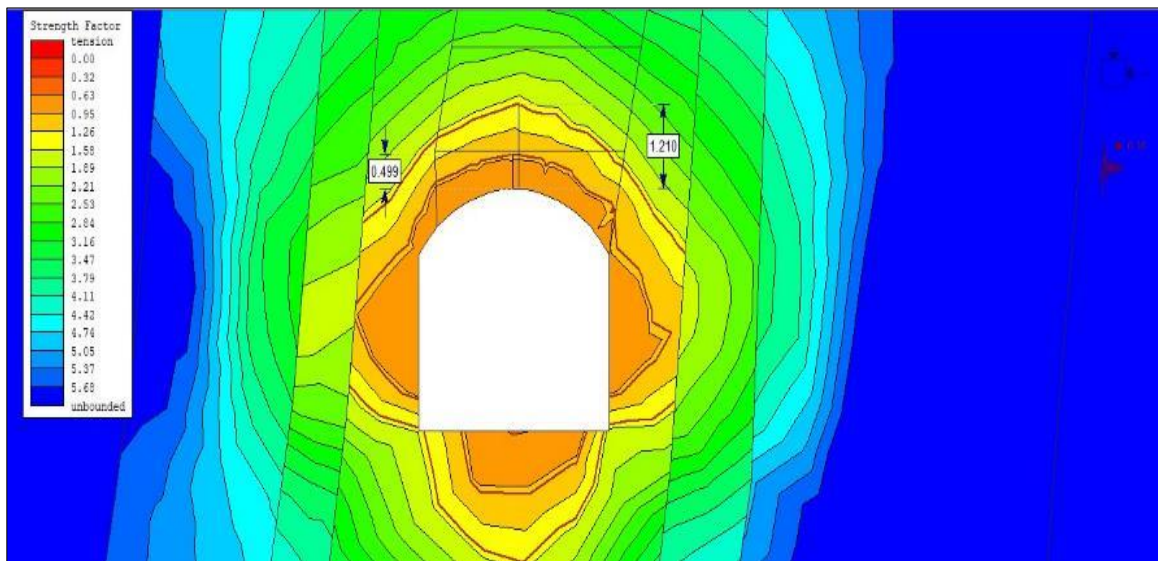
Fuente: U.E.A. los Heraldos Negros

Mapeo geo mecánico de frentes – zona esperanza



Fuente: U.E.A. los Heraldos Negros

Maapeo geo mecánico - Análisis de zona plastificada en zona esperanza



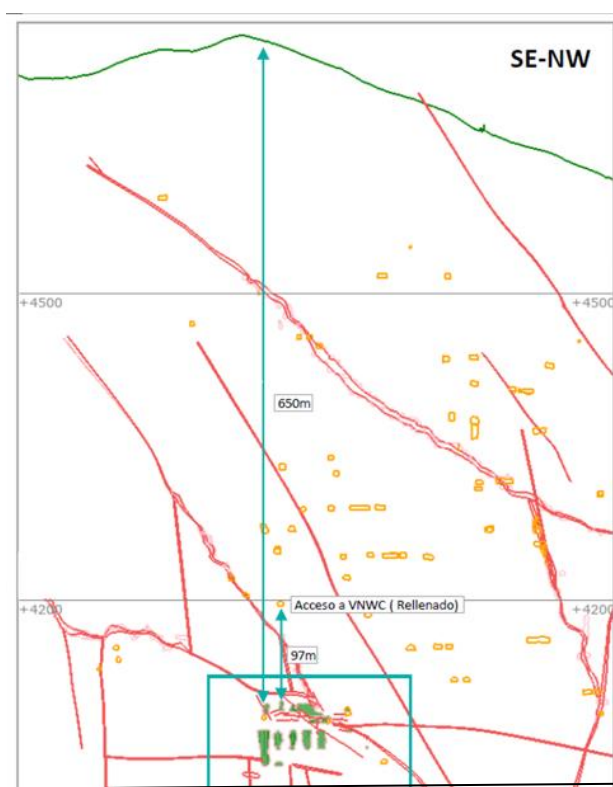
Fuente: U.E.A. los Heraldos Negros

Maapeo geo mecánico – zona esperanza



Fuente: U.E.A. los Heraldos Negros

Mapeo geo mecánico – rampa 315



Fuente: U.E.A. los Heraldos Negros

REGISTRO DE DATOS DE MUESTRAS DE VOLADURA CONVENCIONAL

Nº de tal. unidad	Avance metros	Granulometria pulgadas	Explosivo kilogramos	Factor de carga Kg/tn.	Toneladas rotas
20	1.90	7.5	16	0.32	50.16
20	1.80	7.0	16	0.34	47.52
20	1.95	7.0	16	0.31	51.48
20	2.00	7.5	16	0.30	52.8
20	1.80	6.5	16	0.34	47.5
20	1.85	6.0	16	0.33	48.8
20	1.85	6.5	16	0.33	48.8
20	1.80	5.5	16	0.34	47.52
20	1.85	5.0	16	0.33	48.84
20	1.90	5.5	16	0.32	50.16

REGISTRO DE DATOS DE MUESTRAS DE VOLADURA ELECTRONICA

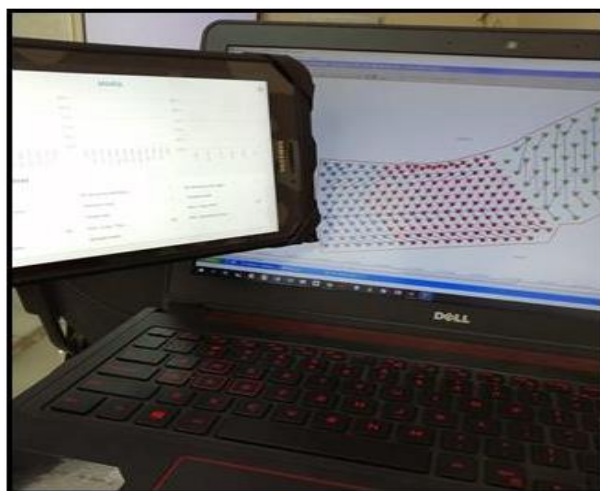
N° de tal. unidad	Avance metros	Granulometría pulgadas	Explosivo kilogramos	Factor de carga Kg/tn.	Toneladas rotas
13	2.25	4.5	14.90	0.25	60.75
13	2.20	4.0	14.90	0.26	59.40
13	2.30	4.0	14.90	0.23	62.10
13	2.25	4.0	14.90	0.25	62.75
13	2.20	4.5	14.90	0.26	59.40
13	2.30	4.5	14.90	0.23	62.10
13	2.15	4.0	14.90	0.27	58.05
13	2.20	4.5	14.90	0.26	59.40
13	2.30	4.0	14.90	0.23	62.10
13	2.25	4.0	14.90	0.25	60.75

Wincha métrica.



Fuente: Elaboración propia

Laptop para registrar datos.



Elaboracion: fuente propia

MATRIZ DE CONSISTENCIA

“Aplicación de la Iniciación Electrónica para Mejorar el Sistema de Gestión de Seguridad y Productividad en el Proceso de Voladura de la U.E.A. Heraldos Negros”

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Método	Población y muestra
General ¿Sera posible mejorar la gestión de seguridad y productividad en el proceso de voladura al aplicar el sistema de iniciación electrónica remota ubicada en superficie para labores subterráneas en el proceso de voladura de la U.E.A. Heraldos Negros? Problemas específicos a) ¿Sera factible minimizar el índice de accidentes incapacitantes o fatales con la aplicación del sistema de iniciación electrónica en el proceso de voladura de la U.E.A. Heraldos Negros? b) ¿La aplicación del sistema de voladura remota electrónica hará posible en contribuir los beneficios de la productividad en el proceso de voladura de la U.E.A. Heraldos Negros? c) ¿Con la aplicación del sistema de voladura remota será posible comprobar el correcto funcionamiento la red de comunicación empleada en interior mina, analizando los KPI's de iniciación electrónica en el proceso de voladura de la U.E.A. Heraldos Negros?	General Aplicar el sistema de iniciación electrónica remota ubicada en superficie de labores subterráneas para mejorar la gestión de seguridad y productividad en el proceso de voladura de la U.E.A. Heraldos Negros. Objetivos específicos a) Aplicar el sistema de iniciación electrónica para minimizar el índice de accidentes incapacitantes o fatales en el proceso de voladura de la U.E.A. Heraldos Negros. b) Aplicar el sistema de voladura remota electrónica para contribuir los beneficios de la productividad en el proceso de voladura de la U.E.A. Heraldos Negros. c) Comprobar el correcto funcionamiento la red de comunicación empleada en interior mina, analizando los KPI's de iniciación electrónica con la aplicación del sistema de voladura remota en el proceso de voladura de la U.E.A. Heraldos Negros	Hipótesis general Con la aplicación del sistema iniciación electrónica remota ubicada en superficie se mejora la gestión de seguridad y productividad de las labores subterráneas en el proceso de voladura de la U.E.A. Heraldos Negros. Hipótesis específicas a) Con la aplicación del sistema de iniciación electrónica se minimiza el índice de accidentes incapacitantes o fatales en el proceso de voladura. b) Con la aplicación del sistema de voladura remota electrónica se contribuye en los beneficios de la productividad en el proceso de voladura. c) Con la aplicación del sistema de voladura remota se logra comprobar el correcto funcionamiento de la red de comunicación empleada en interior mina, analizando los KPI's de iniciación electrónica en el proceso de voladura.	Variable independiente X: Aplicación del sistema de iniciación electrónica en la U.E.A. Heraldos Negros. Variable Dependiente Y: mejorar la gestión de seguridad y productividad en el proceso de voladura en la U.E.A. Heraldos Negros	Tipo de Investigación La investigación se procesa del tipo experimental - aplicativo que se determina por sus objetivos, Todo el trabajo del proyecto está centrado en lo descriptivo, relacional y explicativo. Método de Investigación En el desarrollo del proyecto se considera el método lógico por la presentación de la base de data, seguido del análisis, consecuentemente la deducción y las conclusiones, también se obtiene los resultados finales mediante la síntesis que relacionan al objetivo del estudio.	Población Conformado por los proyectos de ejecución de frentes de labores subterráneas de la U.E.A. Heraldos Negros. Muestra Voladura de 20 labores subterráneas del nivel 1300, 1350, 1500