

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**IMPLEMENTACIÓN DE VOLADURA CENTRALIZADA EN UNIDAD  
MINERA SUBTERRÁNEA PARA LA MEJORA DEL SISTEMA DE  
GESTIÓN DE SEGURIDAD EN EL PROCEDIMIENTO DE  
VOLADURA**

**Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas**

**AUTORES:**

Paulo Cesar Roa Pérez  
Ronald Cruz Girón Merino

**ASESOR:**

Luis Alberto Mendieta Britto

Lima, Setiembre, 2022

## RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo evaluar la implementación de un sistema de iniciación electrónica remota o “Voladura Centralizada” en las operaciones de una mina subterránea, la cual consiste en el uso de detonadores electrónicos para iniciar la malla pirotécnica de voladura desde una ubicación segura en superficie.

Para la implementación de la “Voladura Centralizada” se aprovecha la red de comunicación utilizada en interior mina (Red Leaky Feeder), estableciendo una comunicación bidireccional entre un equipo maestro ubicado en superficie, encargado de realizar el disparo, y los equipos remotos ubicados en las zonas de voladura, a los cuales se les extiende un cable de disparo en el cual se conectan los detonadores electrónicos, y reciben el comando de detonación desde superficie, activando el detonador electrónico, el cual se encargará de realizar el chispeo de la malla pirotécnica de voladura.

A partir de la metodología aplicada se realizaron alrededor de 9 ejercicios del procedimiento de voladura remota, con un consumo mayor de 200 detonadores electrónicos distribuidos en dos zonas de profundización en interior mina. Gracias a estos disparos se obtuvieron ciertos KPI's, los cuales midieron el rendimiento de los equipos y la mejora de los estándares de seguridad de la operación. Finalmente se obtuvo como resultado, el correcto funcionamiento de los equipos de iniciación electrónica mediante el uso de la red de comunicación en interior mina.

Se concluye que la implementación del sistema de iniciación electrónica remota mejora el sistema de gestión de seguridad y la operatividad de la operación minera, debido a que no se requiere vigías ni personal encargado del chispeo de las labores para el procedimiento de voladura.

ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
1.    CAPÍTULO I: Introducción General .....	1
1.1    Introducción.....	1
1.2    Objetivos.....	2
1.2.1    Objetivo general.....	2
1.2.2    Objetivos específicos. ....	2
1.3    Hipótesis .....	2
2.    CAPITULO II: Marco Teórico .....	3
2.1    Antecedentes de Estudio.....	3
2.2    Marco Teórico .....	6
2.2.1    Seguridad y Salud Ocupacional en Minería.....	6
2.2.1.1    Accidente de trabajo. ....	6
2.2.1.2    Incidente. ....	7
2.2.1.3    Enfermedad Ocupacional. ....	7
2.2.1.4    Peligro.....	7
2.2.1.5    Riesgo. ....	7
2.2.1.6    Estándar de Trabajo. ....	8
2.2.2    Accesorios de Voladura. ....	8
2.2.2.1    Mecha de Seguridad. ....	8
2.2.2.2    Fulminante. ....	8
2.2.2.3    Cordón Detonante.....	9
2.2.2.4    Mecha Armada. ....	9
2.2.3    Voladura en Subterránea.....	9
2.2.3.1    Malla de Perforación. ....	10
2.2.3.1.1    Diseño de malla de perforación. ....	10
2.2.4    Sistemas de Iniciación.....	12
2.2.4.1    Detonadores ordinarios o a mecha.....	13
2.2.4.2    Detonadores eléctricos.....	14
2.2.4.3    Detonadores no eléctricos.....	15
2.2.4.4    Detonadores electrónicos.....	16
2.2.4.4.1    Detonador electrónico DAVEYTRONIC EVOLUTION.....	17
2.2.5    Sistemas de comunicación en interior mina.....	20
2.2.5.1    Cable Antena o Leaky Feeder. ....	20
2.2.5.2    Sistema basado en nodos. ....	22

2.2.5.3	Identificación por Radiofrecuencia (RFID).....	23
2.2.5.4	Comunicación inalámbrica o Red Wi-Fi.....	24
2.2.6	Sistemas de iniciación electrónica.....	25
2.2.6.1	Equipos de Programación.....	26
2.2.6.2	Equipos de Disparo.....	26
2.2.6.3	Voladura centralizada para operaciones subterráneas.....	27
3.	CAPITULO III: Caso Aplicativo.....	29
3.1	Ubicación y Accesibilidad.....	29
3.2	Geología General.....	30
3.3	Planteamiento del Problema.....	31
3.3.1	Procedimiento estándar de voladura e impacto en la operación.....	31
3.4	Equipos y accesorios para el sistema de iniciación electrónica subterráneo.....	33
3.4.1	Unidad de Programación (PU).....	33
3.4.2	Remote Blaster (DRB2).....	34
3.4.3	Blast Driver (DBD).....	35
3.4.4	Radio Modem.....	36
3.4.5	Tarjeta RFID.....	37
3.4.6	Cable de conexión M35.....	38
3.4.7	Unidad maestra y esclava.....	38
3.5	Reconocimiento de la infraestructura en interior mina.....	40
3.5.1	Sectores con red de comunicaciones Leaky Feeder.....	40
3.5.1.1	Funcionamiento de la red de comunicaciones en interior mina.....	40
3.5.1.2	Distribución de las redes de comunicación en interior mina.....	41
3.5.1.2.1	Zona Salvadora.....	42
3.5.1.2.2	Zona Andaychagua – Veta Adriana.....	43
3.5.2	Sectores de pruebas de voladura.....	44
3.5.3	Sectores de pruebas de comunicación.....	45
3.6	Procedimiento de Pruebas.....	47
3.6.1	Instalación del cable M35.....	48
3.6.2	Pruebas de señal de comunicación.....	49
3.6.2.1	Sectores de ubicación de la unidad esclava.....	50
3.6.3	Prueba con detonadores inertes.....	52
3.6.3.1	Plan de Contingencia.....	52
3.6.4	Programación de los detonadores electrónicos.....	53
3.6.5	Conexión de detonadores electrónicos.....	54

3.6.6	Testeo de la línea M35 y detonadores electrónicos. ....	57
3.6.7	Procedimiento de voladura inalámbrica.....	59
3.6.7.1	Asociación o transferencia de datos desde la PU a la DBD. ....	59
3.6.7.2	Configuración de la DBD y la DRB2 para la comunicación inalámbrica..	60
3.6.7.3	Procedimiento operativo de iniciación electrónica.....	61
3.6.7.4	Zona de cuerpo Salvadora. ....	63
3.6.7.5	Zona de Veta Adriana y Profundización. ....	65
3.6.8	Reingreso Post – Voladura.....	66
3.7	Análisis de Resultados.....	67
3.7.1	Análisis del funcionamiento del sistema electrónico.....	67
3.7.1.1	Eventos de seguridad. ....	70
3.7.1.2	Frentes no iniciados por el sistema electrónico. ....	71
3.7.1.3	Retrasos por voladura. ....	73
3.7.1.4	Suspensión de voladura. ....	74
3.7.1.5	Numero de labores iniciadas por Voladura Centralizada. ....	75
3.7.1.6	Validación de la modalidad multi-disparo.....	77
3.7.2	Análisis en temas de seguridad. ....	79
3.7.3	Análisis en temas de productividad. ....	81
3.7.4	Análisis en temas de costos.....	84
4.	CAPÍTULO IV: Conclusiones y recomendaciones .....	90
4.1	Conclusiones.....	90
4.2	Recomendaciones .....	92
4.3	Bibliografía.....	93
4.4	Anexos .....	96
Anexo A	.....	96
Anexo B	.....	97
Anexo C	.....	98
Anexo D	.....	101

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Actividades del procedimiento estándar de chispeo</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 2 Equipos empleados en la unidad maestra</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 3 Equipos empleados en la unidad esclava</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 4 Sectores de prueba Zona Salvadora</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 5 Sectores de prueba Zona Andaychagua – Veta Adriana</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 6 Labores de disparo en Zona Cuerpo Salvadora</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 7 Labores de disparo en Zona de Veta Adriana y Profundización</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 8 Resumen de las voladuras ejecutadas</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 9 Criterio de evaluación de eventos de seguridad</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 10 Criterio de evaluación de frentes no iniciados por el sistema electrónico</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 11 Criterio de evaluación de retraso por voladura</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 12 Criterio de evaluación de suspensión de voladura</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 13 Total de labores simuladas por cada voladura realizada</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 14 Criterio de validación de la modalidad multi-disparo</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 15 Resumen de las voladuras iniciadas por el sistema Onetouch Multiblast</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 16 Procedimiento convencional de voladura</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 17 Procedimiento de voladura electrónica remota</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 18 Procedimiento de voladura electrónica remota Onetouch Multiblast</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 19 Cronograma de horario de trabajo</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 20 Ahorro total generado por la implementación de voladura centralizada</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 21 Ahorro mensual y anual en dólares americanos</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 22 Costos de implementación del cable de disparo permanente</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 23 Costo del cable de disparo permanente</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 24 Costo anual en la reposición de cable de disparo por voladura</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 25 Costo anual en el consumo de detonadores electrónicos</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 26 Costo anual del alquiler de los equipos de iniciación electrónica y personal encargado</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 27 Costos anuales asociados a la implementación total y en los años posteriores</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 28 Margen de ahorro con la implementación de una “Voladura Centralizada”</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 29 Resumen de las fechas de voladura con el número de detonadores por labor</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 30 Resumen de las fechas de voladura con el número de detonadores por labor</i>	<i>101</i>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de los taladros en una malla de voladura.....	12
Figura 2 Corte de un detonador ordinario .....	13
Figura 3. Características del detonador eléctrico. ....	14
Figura 4. Detonador no eléctrico. ....	16
Figura 5. Partes de un detonador electrónico.....	17
Figura 6. Diferencia del detonador electrónico ENAEX.....	18
Figura 7. Componentes del detonador electrónico EVOLUTION.....	19
Figura 8. Funcionamiento del Leaky Feeder. ....	21
Figura 9. Vista del cable radiante. ....	21
Figura 10. Funcionamiento del sistema basado en nodos. ....	22
Figura 11. Funcionamiento del RF SIGNAL.....	23
Figura 12. Funcionamiento del RFID. ....	24
Figura 13. Topología del sistema inalámbrico “Mesh”.....	25
Figura 14. Equipos de programación. ....	26
Figura 15. Equipos de disparo.....	27
Figura 16. Centro de disparo en superficie. ....	28
Figura 17. Equipo de iniciación electrónica en mina subterránea. ....	28
Figura 18. Accesibilidad hacia U.M. Andaychagua.....	29
Figura 19. Unidad de Programación (PU). ....	34
Figura 20. Remote Blaster (DRB2). ....	34
Figura 21. Funcionamiento del Blast Driver (DBD). ....	35
Figura 22. Radio Modem RipEX2. ....	36
Figura 23. Tarjeta RFID de seguridad. ....	37
Figura 24. Instalación del cable M35. ....	38
Figura 25. Distribución de la red de comunicación. ....	41
Figura 26. Recorrido de Cable Radiante por la Zona Salvadora. ....	42
Figura 27. Recorrido del Cable Radiante por la Zona Andaychagua – Veta Adriana.....	43
Figura 28. Ubicación de unidad remota Zona Salvadora.....	46
Figura 29. Ubicación de unidad remota Zona Andaychagua.....	47
Figura 30. Implementación de cable radiante. ....	48
Figura 31. Verificación de comunicación entre equipos. ....	50
Figura 32. Zona 1 de buena señal de comunicación. ....	50
Figura 33. Zona 2 de buena señal de comunicación. ....	51
Figura 34. Zona 3 de buena señal de comunicación. ....	51
Figura 35. Secuencia de programación de detonadores electrónicos. ....	54
Figura 36. Conexión de detonadores electrónicos a la línea M35. ....	55
Figura 37. Conexión de detonadores electrónicos en vacío a la línea M35. ....	55
Figura 38. Conexión de la cápsula de aluminio a la malla pirotécnica. ....	56
Figura 39. Verificación del amarre de la cápsula a la mecha de seguridad.....	57
Figura 40. Valores en la verificación de la línea M35. ....	58
Figura 41. Verificación de la línea M35. ....	59
Figura 42. Asociación de la PU a la DBD. ....	60
Figura 43. Presentación de la carga autorizada. ....	62
Figura 44. Realización del disparo desde superficie. ....	63
Figura 45. Funcionamiento del DBD al momento del procedimiento de disparo. ....	65
Figura 46. Instalación del equipo DBD en interior mina. ....	66
Figura 47. Diferencia de los diferentes tipos de iniciación.....	67
Figura 48. Resumen del consumo de detonadores electrónicos.....	70
Figura 49. Cuadro de eventos de seguridad. ....	71
Figura 50. Cuadro de frentes no iniciados. ....	72
Figura 51. Cuadro de retrasos por voladura. ....	74
Figura 52. Cuadro de suspensiones de voladuras. ....	75
Figura 53. Total de labores iniciadas y consumo de detonadores por labor. ....	77
Figura 54. Procedimiento de voladura con modo Onetouch Multiblast.....	82
Figura 55. Controles preventivos para el chispeo manual.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

Figura 56. Características del detonador Daveytronic en temas de seguridad. .... 96  
Figura 57. Topología de operación del sistema de iniciación remoto..... 97



# 1. CAPÍTULO I: Introducción General

## 1.1 Introducción

Hoy en día, la minería se encuentra en un proceso de humanización, en donde la vida debe ser un valor principal. Por lo tanto, la tecnología e innovación son piezas fundamentales para el desarrollo de procesos que mejoren el sistema de seguridad dentro de las operaciones mineras.

La presente investigación pretende seguir los avances tecnológicos que se vienen desarrollando con la finalidad de salvaguardar la vida de los colaboradores y así brindar una solución al convencional procedimiento de chispeo de la mecha lenta reemplazándolo con el uso de detonadores electrónicos. Se conoce que la unidad minera opera de manera subterránea, por ende, los peligros y riesgos son altos para los trabajadores, es por ello que la implementación de un sistema de voladuras centralizada con detonadores electrónicos permitirá accionar las detonaciones desde un centro seguro de control en superficie. Es así como este proyecto utilizará la red principal de comunicación con la que cuenta la mina para lograr una comunicación entre un equipo ubicado en superficie y encargado de realizar el disparo, con los equipos ubicados en las zonas de disparo y a los cuales van conectados los detonadores electrónicos por medio de un cable de disparo.

A partir de esta prueba se puede llegar a la conclusión de que esta tecnología de iniciación por medio de detonadores electrónicos reemplazaría al convencional chispeo de la mecha lenta y de esta manera poder generar una mejora en el sistema de gestión de seguridad del procedimiento de voladura, al no necesitar personal dentro de mina para realizar esta actividad del chispeo, así como en temas operacionales y de productividad.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo general.

- Implementar el sistema de iniciación electrónica remoto o “Voladura Centralizada” con el uso de detonadores electrónicos para la iniciación de la malla pirotécnica, en labores subterráneas desde un centro de disparo seguro ubicado en superficie.

### 1.2.2 Objetivos específicos.

- Demostrar que el proceso de iniciación electrónica desarrollado por el sistema de voladura remota contribuye con una gran mejora en el sistema de gestión de seguridad del procedimiento de voladura, con la finalidad de obtener un índice de cero fatalidades y/o accidentes incapacitantes.
- Demostrar los beneficios de la implementación de un sistema de voladura remota con el uso de detonadores electrónicos en cuanto a la productividad de la operación y la disminución de los costos asociados a esta.
- Comprobar el correcto funcionamiento de los equipos utilizados en la voladura remota con la red de comunicación empleada en interior mina, analizando los KPI's de iniciación electrónica.

## 1.3 Hipótesis

La implementación del sistema de voladura centralizada utilizando detonadores electrónicos para la iniciación de la malla pirotécnica en voladuras de labores subterráneas como reemplazo del tradicional chispeo mediante la mecha lenta, generará grandes beneficios en cuanto a temas de seguridad, productividad y costos de la operación minera.

## 2. CAPITULO II: Marco Teórico

### 2.1 Antecedentes de Estudio

- Una de las aplicaciones de la iniciación remota con red Ethernet realizada en el exterior, se dio en la Minera Tizapa – Grupo Peñoles en México. La implementación se inició en el año 2019 con la instalación de la infraestructura necesaria a lo largo de la mina al igual que las configuraciones de la red y finalmente con la capacitación. Para inicios del año 2022 ya superaron las 6000 voladuras iniciadas desde un centro de operaciones seguras, ofreciendo mejoras en la seguridad del personal, al tener menos contacto con el material explosivo y exponerse mucho menos a riesgos tales como caída de roca, gaseamiento, entre otros.
- Una de las aplicaciones de la iniciación remota con red Leaky Feeder realizada en Perú, es el caso de Nexa Resources, en su unidad minera Cerro Lindo. Estas pruebas se realizaron con el objetivo de realizar una voladura de producción en tajos, tanto en voladura slot como frente mineralizado. Los mayores logros se dieron en temas de producción y ahorro en tiempo de disparos.
- En la mina Lac des Iles, en Canadá deseaban ampliar sus operaciones y aumentar el ritmo de producción de su operación subterránea y disminuir los gastos operativos, por lo que optaron a utilizar el sistema de iniciación electrónica DigiShot® Plus de Dyno Nobel. El método de minería es por perforación de barrenos largos, con perforaciones que llegan a una profundidad de 50 metros. En la operación se requería de un detonador electrónico con un cable subterráneo de alta resistencia a la tracción y retardos precisos.

El sistema de iniciación electrónica DigiShot de Dyno Nobel utiliza un cable subterráneo con doble aislamiento, además de conectores herméticos, que ofrece una comunicación

bidireccional por medio de un chip electrónico que permite la comunicación de manera remota. Este sistema permite iniciar hasta 7200 detonadores, con un tiempo de retardo máximo de 20 segundos. El sistema tiene la capacidad de iniciarse remotamente desde superficie, debido a su capacidad de comunicación mediante cable radiante. En la mina se pudo lograr los objetivos de su ampliación por el uso de detonadores electrónicos, aumentando la producción y reduciendo los gastos. Los beneficios fueron:

- Voladuras masivas, reduciendo la necesidad de múltiples voladuras, lo que permite realizar una economía de escala, disminuyendo los gastos en un 10% en voladura de producción.
  - Facilidad del sistema, realizando una conexión simple, lo que disminuye el tiempo de preparación del tajeo en un 5%.
  - Mejora en la fragmentación, reducción de los quiebres, así como la mejora en la eficiencia de carga.
- 
- Durante los meses de agosto 2010 hasta enero del 2011 se llevaron a cabo el desarrollo de pruebas con un sistema de iniciación electrónica eDev, las cuales fueron realizadas en la Unidad Minera Pallancata del Grupo Hochschild, teniendo como objetivo realizar voladuras en frente de desarrollo horizontales utilizando un sistema de iniciación mixto, 70% de detonadores electrónicos y un 30% de detonadores no eléctricos, y frente completo, 100% detonadores electrónicos, demostrando la seguridad, flexibilidad operativa y mejora de resultados con el uso de detonadores electrónicos eDev (Sistema EBS). Los indicadores evaluados fueron: Sobre rotura, el avance efectivo por disparo y los costos asociados en el procedimiento de perforación y voladura, así como el mineral removido por disparo.

Según la revista Seguridad Minera N°95 Mayo 2012 (pág. 48-56), las ventajas técnicas encontradas en la utilización de este mix de productos fueron las siguientes:

a) Frente Completo

- Aumento en el número de medias cañas, que incrementó en 60% el mineral y 100% el desmonte.
- Aumento en el avance efectivo con incrementos de 50% mineral y 40% desmonte
- Reducción en fragmentación, lográndose reducciones en el P80 en 35% mineral y 43% desmonte.
- Aumento de velocidad de minado en 23% mineral y un 8% desmonte.

b) Frente Mixto

- Aumento de 18% en el avance efectivo por voladura, pasando de 2.33 m en promedio a 2.85 m en las pruebas con el mix de productos incrementando en 0.52 m por voladura.
- Disminución de un 22% en el sobrequebre demostrado en el resultado de las áreas en el ByPass 1400.
- Aumento de 166% en el número de medias cañas, obteniéndose en promedio 2.75 medias cañas en las pruebas de mix en comparación a las 9.75 medias cañas analizadas en 4 voladuras tradicionales.
- Disminución de la fragmentación en un 58% pasando de un P80 DE 12 cm, a un P80 eDev de 7 cm.

En conclusión, para el costo global se utilizaron indicadores de perforación, voladura y extracción del mineral, en donde en un mes de pruebas, y en 4 sectores, se logró una disminución de voladuras pasando de 88 voladuras mensuales a 72, equivalente a un 18% menos de voladuras. Finalmente, el costo global disminuye a 11,046 USD equivalente a un 8% para un total de 206 metros de túneles, representando una mejora

en el proceso minero de Mina Pallancata aproximado de 45 metros mensuales, lo que equivale a un aumento de producción alrededor del 21.8%.

## 2.2 Marco Teórico

### 2.2.1 Seguridad y Salud Ocupacional en Minería.

La SSO tiene como principal objetivo velar por la salud y seguridad de los trabajadores antes, durante y después de sus actividades mineras previniendo la ocurrencia de incidentes, accidentes y enfermedades ocupacionales desarrollando una cultura de prevención y seguridad en dichas actividades.

#### 2.2.1.1 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.

- 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.

#### ***2.2.1.2 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).

#### ***2.2.1.3 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).

#### ***2.2.1.4 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.

#### ***2.2.1.5 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. 1. 6 Estándar de Trabajo.**

Son los modelos, pautas y patrones que contienen los parámetros establecidos por el titular de actividad minera y los requisitos mínimos aceptables de medida, cantidad, calidad, valor, peso y extensión establecidos por estudios experimentales, investigación, legislación vigente y/o resultado del avance tecnológico, con los cuales es posible comparar las actividades de trabajo, desempeño y comportamiento industrial. Es un parámetro que indica la forma correcta y segura de hacer las cosas. El estándar satisface las siguientes preguntas: ¿Qué hacer?, ¿Quién lo hará?, ¿Cuándo se hará? y ¿Quién es el responsable de que el trabajo sea seguro? (D.S. 023-2017-EM 2017:36).

#### **2. 2. 2 Accesorios de Voladura.**

Son elementos diseñados específicamente para el transporte de una señal u onda de choque para la activación de una carga explosiva de manera efectiva y segura.

##### **2. 2. 2. 1 Mecha de Seguridad.**

Accesorio que transmite la energía (fuego) a una carga explosiva mayor con una velocidad continua y uniforme. Consiste en un cordón flexible compuesto por pólvora negra encerrado en una cubierta con textiles, con un revestimiento impermeabilizante. Estos materiales textiles protegen al núcleo de pólvora y le dan cierta resistencia ante la abrasión y presencia de agua. La velocidad de propagación es de 120 segundos por metro lineal.

##### **2. 2. 2. 2 Fulminante.**

“Es una cápsula cilíndrica de aluminio cerrada en un extremo, en cuyo interior lleva una determinada cantidad de explosivo primario muy sensible a la

chispa de la mecha de seguridad y otro, secundario, de alto poder explosivo” (D.S. 023-2017-EM 2017:37). Es utilizada para la detonación de dinamita y altos explosivos. Conformada por tres cargas, la primera es una mezcla de ignición que se encarga de captar la llama proveniente de la mecha de seguridad, la segunda es una carga que convierte la combustión en una detonación que finalmente inicia la tercera carga base de PETN. Se pueden encontrar diferentes números de fulminantes, y corresponde a los gramos de asido de plomo que tengan en su interior (6, 8 o 12).

#### **2. 2. 2. 3 *Cordón Detonante.***

“Es un cordón flexible que contiene un alma sólida de alto poder explosivo y resistencia a la tensión” (D.S N.º 023-2017-EM 2017:32). Contiene en su interior un núcleo de pentrita (PETN) y envuelto por una serie de fibras sintéticas. Utilizado en minería subterránea para realizar “pre-corte” para obtener un contorno uniforme en la voladura.

#### **2. 2. 2. 4 *Mecha Armada.***

“Es un sistema seguro de iniciación convencional de explosivos, integrado por accesorios tradicionales que son el fulminante corriente, la mecha de seguridad y un conector, ensamblado con máquinas neumáticas de alta precisión” (D.S N.º 023-2017-EM 2017:47).

#### **2. 2. 3 *Voladura en Subterránea.***

“La diferencia principal entre la tronadura de túnel y la de un banco, es que la primera se efectúa hacia una cara libre mientras que en banco se hace hacia dos o más caras libres. Así está más restringida en el caso de la tunelería y se debe crear una

segunda cara libre hacia donde la roca se puede quebrar y desplazar lejos de la superficie” (Manual de Tronadura Enaex S.A. 2010:219).

### ***2. 2. 3. 1 Malla de Perforación.***

Una malla de perforación se define como la distribución de los taladros en un frente de perforación, en donde se tiene en consideración la relación del burden, espaciamento, la dirección y profundidad de dichos taladros.

- a) Burden: Se define como la distancia perpendicular del taladro hacia la cara libre o taladro de alivio.
- b) Espaciamento: Se define como la distancia entre taladros.

#### ***2. 2. 3. 1. 1 Diseño de malla de perforación.***

Es un esquema que define la distribución de los taladros dentro de la malla de perforación con el detalle de burden y espaciamento, la cantidad de carga explosiva por taladro y el secuenciamiento de iniciación de la malla. Cada tipo de roca existente tiene su diseño de malla estandarizado con el cual se obtendrá los máximos beneficios en cuanto a tonelaje removido. Para el diseño de una malla de perforación se tiene definido diferentes tipos de taladros, los cuales serán colocados en todo el frente de minado: Arranque, Corte (Ayuda de arranque), Destroza (Producción), Contorno (Corona y Hastiales) y Zapateras o Arrastres.

- Arranque: Son los taladros del centro de la malla, los cuales son disparados primeros para generar la cavidad inicial en el frente o la cara libre.

Normalmente, se cargan con una cantidad mayor de explosivos que el resto de los taladros.

- Ayuda de arranque: Son los taladros que se encuentran alrededor de los taladros de arranque y forman la salida hacia la cavidad inicial. Pueden variar según la distribución y no tienen barrenos o taladros vacíos.
- Producción: Es la voladura principal dentro de la malla en cuanto al número de taladros y es la que genera la mayor cantidad de material a fragmentar.
- Hastiales: Son los taladros laterales de la malla de perforación.
- Corona: Son los que forman el techo del frente y le dan la forma al túnel. Los taladros de contorno son los delimitan la forma final del frente, y en su mayoría se cargan con una menor cantidad de explosivos para obtener una dilución y sobre excavación mínima del macizo rocoso.
- Arrastre: Son los taladros realizados en el piso de la malla de voladura. Por lo general se disparan al último de todos.

Las voladuras realizadas en minería subterránea se caracterizan por no tener, al inicio, ninguna cara libre, por lo que el principio de una voladura subterránea es la generación de una cara libre con los taladros de arranque y corte hacia los cuales rompen las cargas restantes de los taladros. En cuanto a la posición del arranque, en su mayoría, se perfora en la posición centrada superior para optimizar la distribución de los taladros en la malla de perforación.

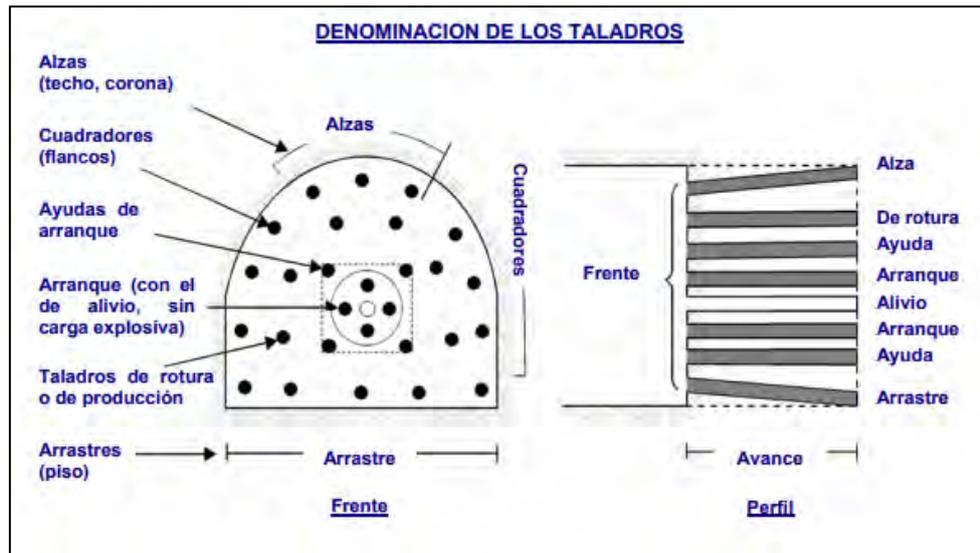


Figura 1. Distribución de los taladros en una malla de voladura.

Tomado de "Manual práctico de voladura" por EXSA.

En cuanto a la cantidad de carga explosiva por taladro, se encuentra en función de la sección del frente (dimensiones) y la dureza de la roca. Mientras que para la evaluación de un disparo en frentes se tienen los siguientes indicadores: Fragmentación de la roca, volumen removido, avance real, factor de carga, sobre perforación y costos.

#### 2. 2. 4 Sistemas de Iniciación.

El sistema de iniciación, también conocidos como detonadores, son empleados para voladuras, tanto en tajo abierto como subterráneo. Se emplean con la finalidad de iniciar los explosivos colocados dentro del taladro como pueden ser el cartucho cebo o el booster. Para la selección de cada uno de los diferentes tipos de sistemas de iniciación será necesario tener en cuenta las características del terreno, la facilidad para realizar la conexión de los detonadores, entre otros factores.

La diferencia entre los diferentes tipos de detonadores es el modo de iniciación de la carga. Estos constan de una cápsula, que puede ser de cobre o aluminio, en donde

se encuentra alojado el explosivo que es capaz de iniciar la voladura, llamado carga de base (formado por PETN) y una carga de iniciación. Esta carga de iniciación es activada por medio de una pildora inflamable, la cual se encuentra dentro de la cápsula, que se encuentra tanto en los detonadores no eléctricos y eléctricos o bien de forma directa.

#### 2.2.4.1 Detonadores ordinarios o a mecha.

“Son aquellos que se inician mediante mecha lenta. La mecha lenta se introduce en el extremo abierto de una cápsula de aluminio que aloja la carga explosiva del detonador y se engarza mediante unas tenazas especiales, de modo que se evite que la mecha se salga durante su manipulación. Se usa, por lo tanto, únicamente en voladuras de roca ornamental” (Bernaola, Castilla, Herrera, 2013). Debido a que solo es un detonar ensamblado con una mecha lenta no posee ningún tipo de retardo por lo que se activara al llegar la llama de iniciación a la carga del detonador.

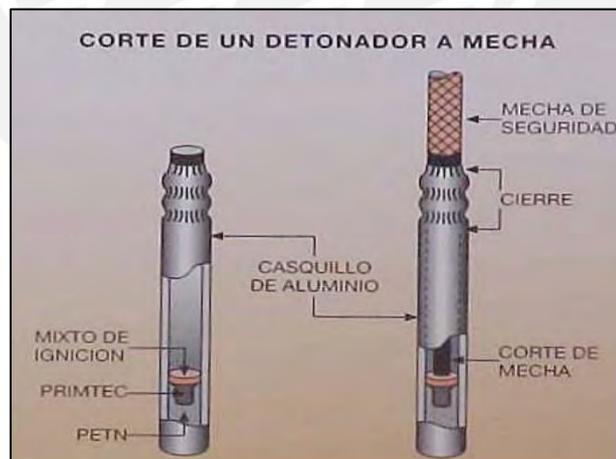


Figura 2 Corte de un detonador ordinario

Tomado de "Manual de tronadura ENAEX" por ENAEX CHILE.

#### 2.2.4.2 Detonadores eléctricos.

“El detonador eléctrico emplea la energía eléctrica para su iniciación. El detonador eléctrico posee un inflamador pirotécnico (denominado comúnmente “cerilla”), a través del cual circula la corriente eléctrica, que provoca la iniciación de la carga explosiva. El inflamador o cerilla es una pequeña resistencia recubierta de pasta explosiva. Esta resistencia llamada también puente de incandescencia, va conectada a los hilos de conexión y, a través de ellos, recibe la corriente eléctrica. Si la intensidad es lo suficientemente grande el puente se calienta, hasta alcanzar una temperatura, que produce la inflamación de la pasta explosiva de la cerilla” (Bernaola et al., 2013).

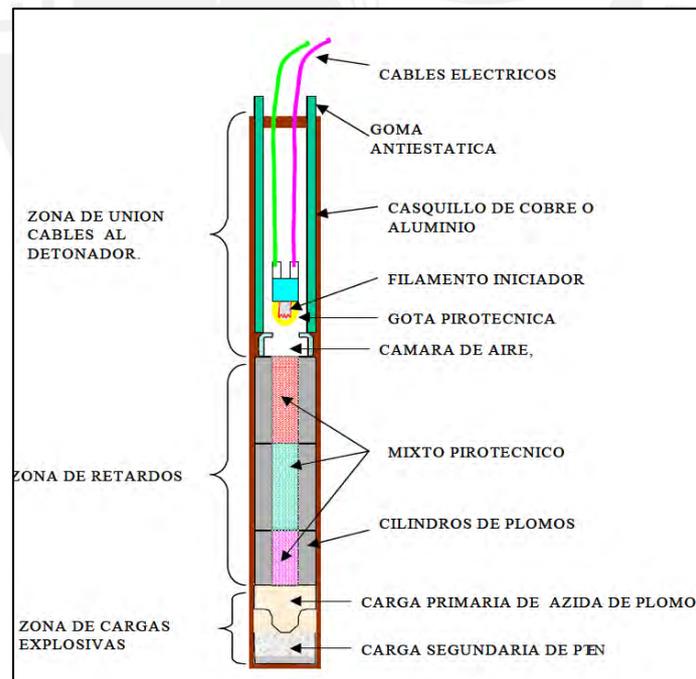


Figura 3. Características del detonador eléctrico.

Tomado de “Manual de tronadura ENAEX” por ENAEX CHILE.

Entre las características eléctricas se pueden definir las siguientes:

- **Intensidad de corriente recomendada:** Es la intensidad mínima de corriente para asegurar que los detonadores reciban la energía suficiente para su iniciación.
- **Corriente de seguridad:** Es el impulso de encendido o sensibilidad eléctrica de los detonadores, siendo la energía eléctrica por cada unidad de resistencia necesaria para provocar la inflamación de la cerilla.
- **Resistencia del puente:** Es la resistencia que posee el puente o cerilla y se mide en ohmios.

#### **2.2.4.3 Detonadores no eléctricos.**

“Los detonadores no eléctricos se caracterizan porque no interviene ningún tipo de corriente eléctrica en su iniciación. La parte explosiva es común a los detonadores eléctricos, pero en lugar de un inflamador pirotécnico la carga portarretardo se inicia por medio de una onda de choque de baja energía que se transmite a través de un tubo de transmisión” (Bernaola et al., 2013). Este tubo de transmisión es un plástico que contiene en su interior una cantidad mínima de material explosivo. El tubo de choque está conectado en el detonador, lo cual permite que la onda de baja energía transmitida inicie la carga de retardo.

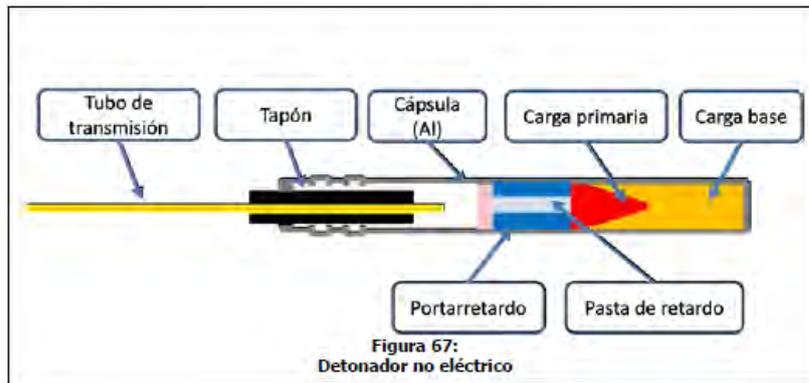


Figura 4. Detonador no eléctrico.

Tomado de "Perforación y Voladura de rocas en minería" por Bernaola et al. 2013.

#### 2.2.4.4 Detonadores electrónicos.

Los detonadores electrónicos son el último avance tecnológico en cuanto a sistemas de iniciación para voladuras.

“La diferencia fundamental entre el detonador electrónica y cualquier otro, bien sea eléctrico o no eléctrico, es que la pasta pirotécnica que determina el tiempo de retardo ha sido sustituida por un circuito electrónico, en el cual, un microchip es el encargado de realizar la descarga de un condensador en el instante deseado. En los demás tipos de detonadores, el retardo viene fijado por el tiempo que tarda en consumirse una pasta pirotécnica” (Bernaola et al., 2013).

En cuanto a la precisión, el tiempo de retardo de los detonadores electrónicos es de aproximadamente el 0.02%, siendo mucho mayor a la de los demás sistemas de iniciación.

“Tanto los detonadores eléctricos como los no eléctricos tienen un casquillo metálico que aloja una sustancia pirotécnica que se consume a una determinada velocidad. Sin embargo, la precisión de estos sistemas es limitada. Se pueden encontrar sistemas diseñados para ser iniciados en el mismo tiempo de retardo,

pero realmente, el tiempo de disparo no es el mismo. Esto significa que los detonadores diseñados para ser iniciados a 20 ms pueden iniciarse a 19,7 ms o a 20,3. Este efecto se conoce como *Dispersión*” (Bernaola et al., 2013).

Dentro de los componentes de un detonador electrónico se pueden distinguir un microchip, un condensador para almacenar la energía y un circuito de seguridad. La otra parte está conformada por una gota inflamatoria, para la iniciación de la carga primaria.

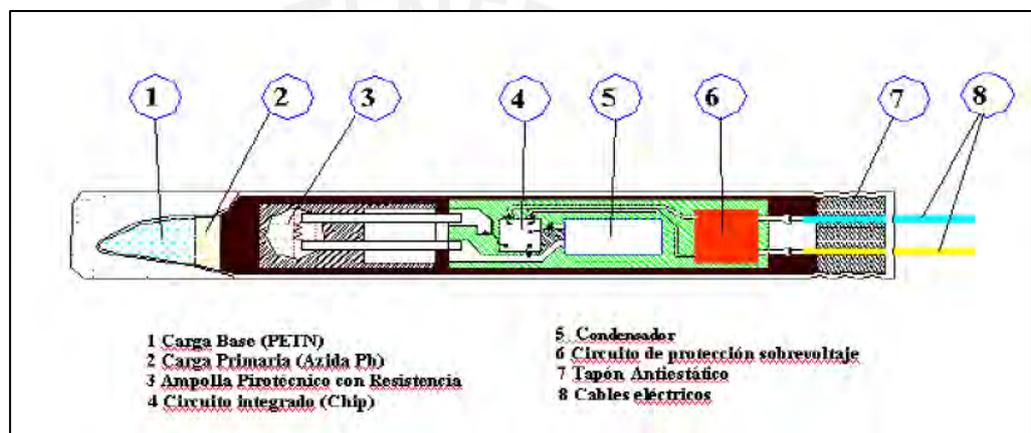


Figura 5. Partes de un detonador electrónico.

Tomado de “Manual de tronadura ENAEX” por ENAEX CHILE.

#### 2.2.4.4.1 Detonador electrónico DAVEYTRONIC EVOLUTION.

El detonador DAVEYTRONIC EVOLUTION es un detonador electrónico desarrollado por la empresa transnacional ENAEX.

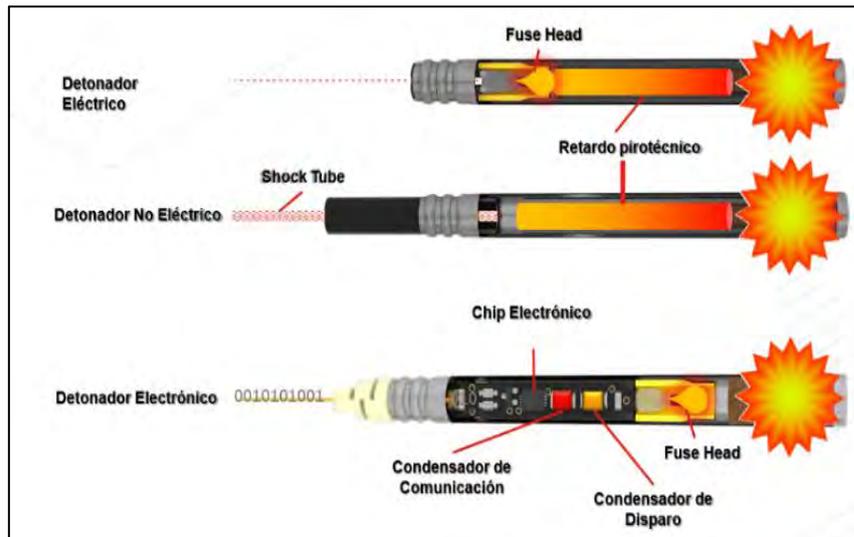


Figura 6. Diferencia del detonador electrónico ENAEX.

Tomado de "Manual de Voladura ENAEX" por ENAEX PERÚ.

El detonador electrónico está compuesto por las siguientes piezas, las cuales lo hacen único dentro del mercado de los detonadores electrónicos.

- Conductor de poder
- Conector ondulado de HDEP
- Procesador ASIC
- Condensador de comunicación
- Condensador de fuego
- Inflamador eléctrico integrado

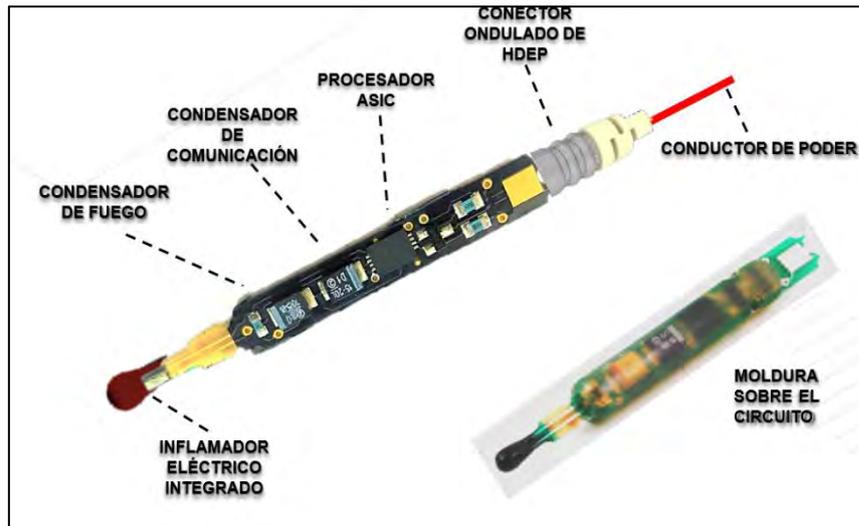


Figura 7. Componentes del detonador electrónico EVOLUTION.

Tomado de "Manual de Voladura ENAEX" por ENAEX PERÚ.

Cuenta con una carga base de PETN 800 mg (Fuerza #10) y una carga de iniciación de Azida de plomo 200 mg, siendo el material de la cápsula de aluminio, cobro o cobre-níquel. El rango de retardo que puede ser asignado es de 0 ms a 14000 ms, con una programación cada 1 ms. Además de estas características mencionadas anteriormente, cuenta con cualidades únicas respecto a los detonadores electrónicos de la industria (VER ANEXO A).

- Diseño de **Fuse Head integrada** completamente en el módulo electrónico. Además, la Fuse Head está aislada eléctricamente del circuito de iniciación (tecnología patentada **Smart Shunt**) hasta que la orden de iniciación sea proporcionada.
- Diseño del módulo electrónico de **doble condensador** esto permite que la energía para programación/testeo e iniciación del detonador sean almacenadas separadamente de la de iniciación.

- Sistema de monitoreo continuo durante todo el proceso de iniciación de los detonadores; conocido como **LINE CUT MONITORING**.
- Cuenta con **DOS VÍAS DE COMUNICACIÓN** que permite la programación de un retardo diferente para cada detonador, así como un control de energía de cada detonador hasta el último momento del disparo.

### **2. 2. 5 Sistemas de comunicación en interior mina.**

Durante los últimos años se han desarrollado sistemas de comunicación para ser utilizados en interior mina. Estos sistemas se emplearon principalmente para la comunicación entre los trabajadores, pasando a ser utilizados para el control de equipos y últimamente desarrollados para la mejora de ciertas actividades como el procedimiento de voladura.

#### ***2. 2. 5. 1 Cable Antena o Leaky Feeder.***

El sistema consiste en un cable coaxial o radiante el cual emite y recibe las ondas de comunicación y las filtra en todas las áreas donde se tiene colocado este cable. Este cable radiante opera como una extensión de antena que aumenta la señal que recibe y la expande por toda la operación.

El término “Leaky” hace referencia a cierta característica del cable, el cual cuenta con agujeros o huecos en su conductor externo, esto permite que la señal de radio que viaja a través del cable pueda entrar o salir en cualquier parte del recorrido de manera uniforme, de tal forma que estas señales puedan ser recibidas por los equipos de comunicación que se encuentran cerca de la red, permitiendo una comunicación de forma bidireccional. Esta forma de comunicación también es conocida como radiación o fuga de señal. Para este tipo de comunicación se puede

colocar amplificadores de señal que permite aumentar la señal que viaja a través del cable coaxial y esta poder ser recibida por los equipos de comunicación.

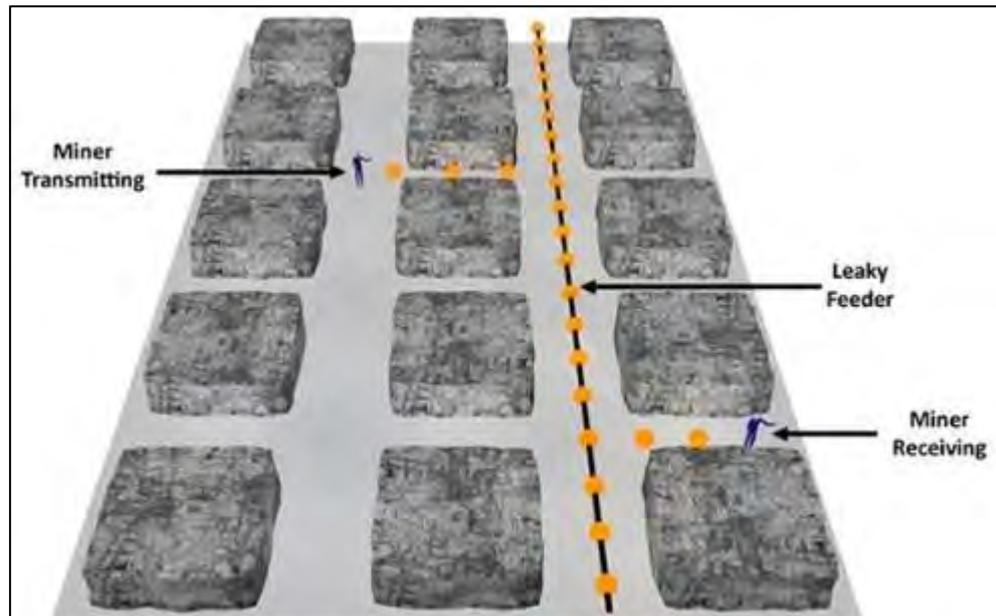


Figura 8. Funcionamiento del Leaky Feeder.

Tomado de "Congreso Iberoamericano de Minería Sustentable" por Guillermo E. Badillo.

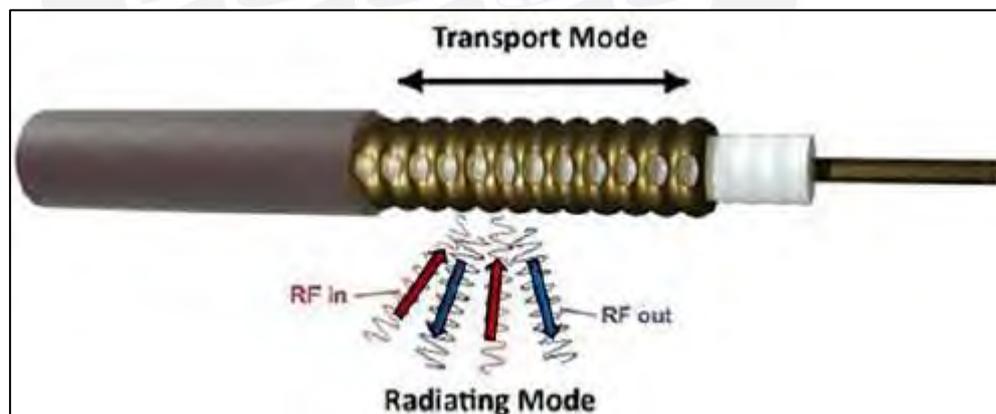


Figura 9. Vista del cable radiante.

Tomado de "Congreso Iberoamericano de Minería Sustentable" por Guillermo E. Badillo.

### 2. 2. 5. 2 Sistema basado en nodos.

Según Guillermo E. Badillo, en un sistema basado en nodos se emplean ciertas antenas las cuales se encuentran conectadas a transceptores o bien llamados “nodos”. Los nodos tienen en su interior pequeños microprocesadores que cumplen una variedad de funciones. Estas antenas funcionan captando la señal de cualquier medio de comunicación que se encuentra dentro del rango proporcionado, brindando una conexión automática a la red (2013).

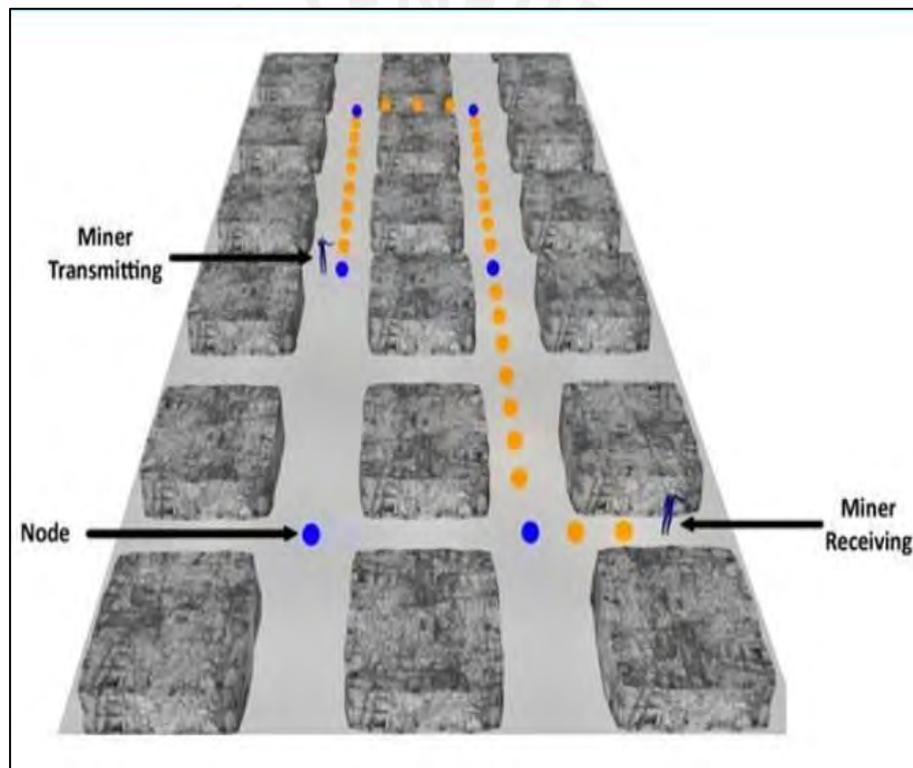


Figura 10. Funcionamiento del sistema basado en nodos.

Tomado de "Congreso Iberoamericano de Minería Sustentable" por Guillermo E. Badillo.

La señal de comunicación es por medio de radiofrecuencia (RF), las cuales son frecuencias del espectro electromagnético que se emplean en las radiocomunicaciones.

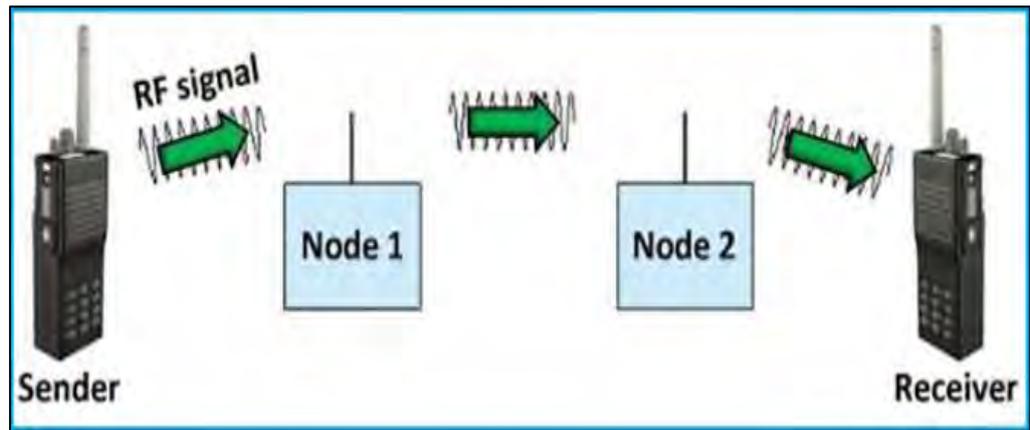


Figura 11. Funcionamiento del RF SIGNAL.

Tomado de "Congreso Iberoamericano de Minería Sustentable" por Guillermo E. Badillo.

### 2. 2. 5. 3 Identificación por Radiofrecuencia (RFID).

Según Guillermo E. Badillo, es también conocido como sistema de seguimiento o tracking, utilizado mayormente en almacenes para darle seguimiento a los productos. En minería subterránea se utiliza un sistema de RFID más avanzado el cual permite notificar la ubicación del personal mediante esta tarjeta RFID. Este rastreo se logra utilizando un tag activo que permite ampliar el alcance de la etiqueta de lectura. La etiqueta es parte de la radio de comunicación que cumple la función de recibir y transmitir mensajes con un código único, por lo que cada vez que la persona portadora de este tag se encuentra dentro de la zona de comunicación RF de un lector de tag, se comunicaran y este lector envía una señal a una central de comunicación a través de cables o incluso de forma inalámbrica indicando a que distancia se encuentra ubicado el portador de la tarjeta RFID (2013).

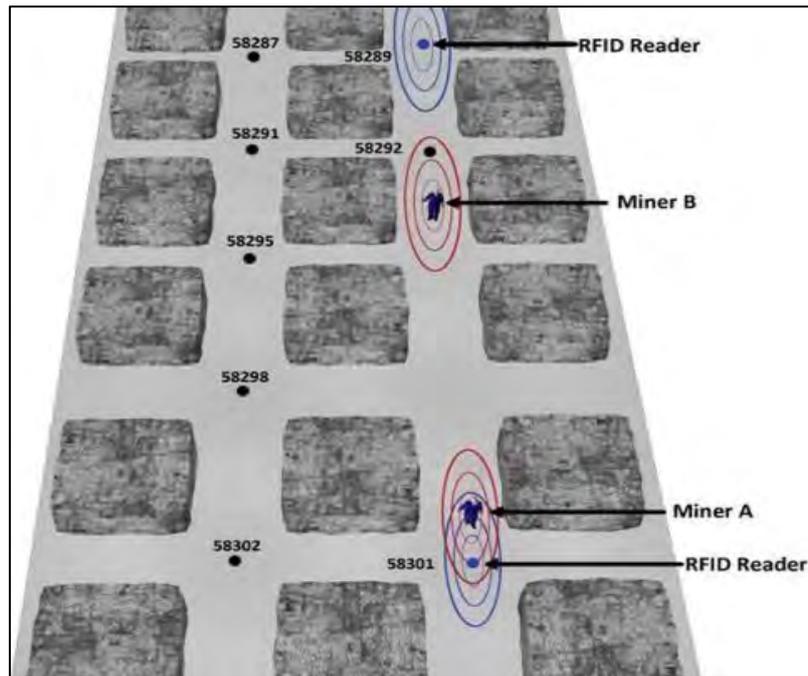


Figura 12. Funcionamiento del RFID.

Tomado de "Congreso Iberoamericano de Minería Sustentable" por Guillermo E. Badillo.

#### 2. 2. 5. 4 Comunicación inalámbrica o Red Wi-Fi

La aplicación de una red Wi-Fi en interior mina utiliza el sistema conocido como “mesh networking” con múltiples nodos inalámbricos. Según a Cisco Systems inc., las redes inalámbricas “mesh”, pueden crear una conexión redundante por intermedio de múltiples nodos conectados y si algún enlace falla, la información aún puede fluir a través de otro enlace hacia el destino final. Esto genera una mayor ventaja contra los sistemas de comunicación cableados (2002).

Este sistema puede proporcionar seguimiento en tiempo real del personal y equipos (mediante etiquetas RFID), así como una comunicación bidireccional con cada minero. También puede ser utilizada como una red para recibir y enviar datos. Las ondas de radio se mueven en línea de visión de un nodo a otro nodo con una

distancia aproximada de 450 a 900 metros. Debido a que el sistema es completamente inalámbrico, es sencillo de instalar y ampliar a medida que avanza la operación.

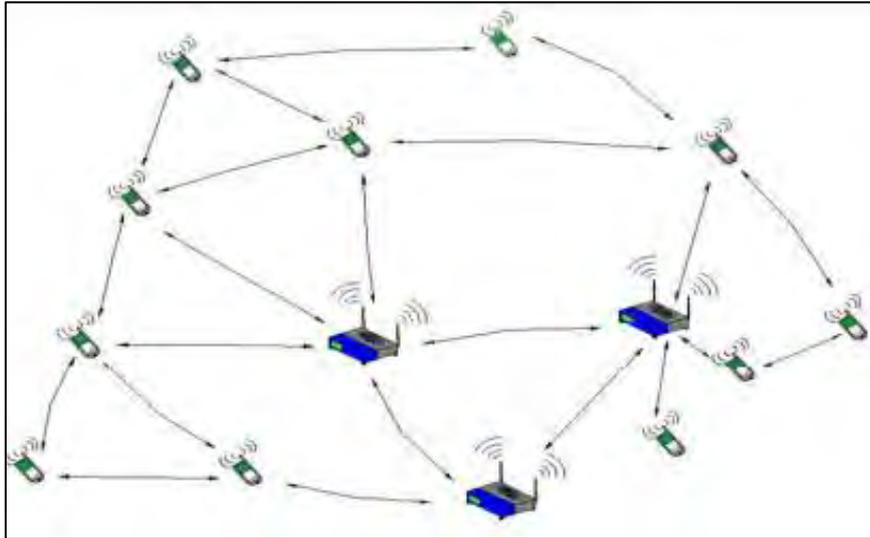


Figura 13. Topología del sistema inalámbrico "Mesh".

Tomado de "DESIGNING AND MODELING WIRELESS MESH COMMUNICATIONS IN UNDERGROUND COAL MINES" por K.R. Griffin.

## 2. 2. 6 Sistemas de iniciación electrónica

Los sistemas de iniciación electrónica son el último desarrollo en avances tecnológicos para voladura en cielo abierto e innovación en voladura subterránea y muchas empresas de explosivos han desarrollado sus propios sistemas, teniendo cada una su propio sistema de voladura y sus accesorios diseñados especialmente diferenciándose por la facilidad de operación y robustez del detonador electrónico.

Los sistemas electrónicos ofrecen una seguridad de detonación, verificación de líneas de fuego, así como los detonadores faltantes y adicionales. Otra diferencia es que brinda un mapeo continuo del plan de voladura en los equipos de disparo y el comportamiento de cada detonador antes del disparo. Así mismo, los detonadores pueden ser programados de forma individual o todo el plan de voladura puede ser programada utilizando una tarjeta de datos (RFID).

Los equipos empleados en el sistema de iniciación electrónica no podrán ser activado a menos que se les de autorización, desbloqueando la unidad mediante una llave de acceso, código o tarjeta. Mientras que los detonadores electrónicos no son compatibles con otro sistema de voladura que no sea la electrónica.

### **2. 2. 6. 1 Equipos de Programación.**

Según el Institute of Makers of Explosives (IME), es también llamado “logger” o “tagger” que proporciona al usuario test de pruebas del circuito del detonador para asegurar su comunicación, además de facilitar la programación de los tiempos de retardo y secuencia. La metodología, secuencia y tipo de comunicación varía entre cada tecnología. El uso de equipos de programación proporciona un nivel mucho más alto de información y comunicación que los sistemas de iniciación eléctricos o no eléctricos.



*Figura 14.* Equipos de programación.

*Tomado de "Electronic Blast Initiation Systems (EBIS) Guideline" por IME.*

### **2. 2. 6. 2 Equipos de Disparo.**

El equipo de disparo es diseñado específicamente para realizar la voladura. Los equipos tienen características de diseño únicas y protocolos propios de comunicación que deben seguirse para garantizar la seguridad y confiabilidad del

procedimiento de voladura, como las pruebas del sistema, programación final, carga y disparo, brindando la energía necesaria para realizar esta carga de los detonadores del circuito y enviar un comando de fuego. Es la capacidad de carga del equipo de disparo lo que distingue de los demás equipos de campo. Estos equipos tienen las mismas características y capacidad para monitorear cada detonado electrónico como lo realizan los equipos de programación.



Figura 15. Equipos de disparo

Tomado de "Electronic Blast Initiation Systems (EBIS) Guideline" por IME.

### 2. 2. 6. 3 Voladura centralizada para operaciones subterráneas.

Según el Institute of Makers of Explosives (IME), para realizar las voladuras subterráneas con los equipos de iniciación electrónica se debe tener una vía de doble comunicación entre los equipos colocados en superficie e interior mina, además de un centro de disparo. Varios métodos han sido desarrollados para el disparo remoto. Estos incluyen: Leaky Feeder, Wi-Fi, líneas de fibra óptica, RS-485, entre otros. Del mismo modo, se pueden configurar sistemas sofisticados de red TI en superficie, lo

que le permite al operador almacenar la información de las voladuras, así como monitorear y administrar múltiples voladuras en forma independiente o simultánea en diferentes niveles de la mina, todo esto desde una sola estación de disparo. Todos estos beneficios se ven reflejados en el aumento de seguridad al momento del procedimiento de voladura, así como el aumento de la productividad y operatividad de la mina.



*Figura 16. Centro de disparo en superficie.*

*Tomado de "Presentación CDS Mina Peñoles" por ENAEX MÉXICO.*



*Figura 17. Equipo de iniciación electrónica en mina subterránea.*

*Tomado de "Presentación CDS Mina Peñoles" por ENAEX MÉXICO.*

### 3. CAPITULO III: Caso Aplicativo

#### 3.1 Ubicación y Accesibilidad

La Mina Andaychagua se encuentra ubicada políticamente en el Anexo San José de Andaychagua, Distrito de Huayhuay, Provincia de Yauli, Departamento de Junín. Se encuentra en el flanco Este de la Cordillera Occidental de los Andes Centrales del Perú, determinada por las coordenadas geográficas: 76°05' de longitud Oeste y 11°43' de latitud Sur.

La Unidad de Producción Andaychagua, es de fácil acceso utilizando la carretera Central, cerca de la localidad de Pachachaca parte un ramal de 45.160 Kms.; de Huari parte otro ramal de 33 Kms. Andaychagua se encuentra a 8 Kms. de Toldorrumi y a 33 Km. de Mahr Túnel.

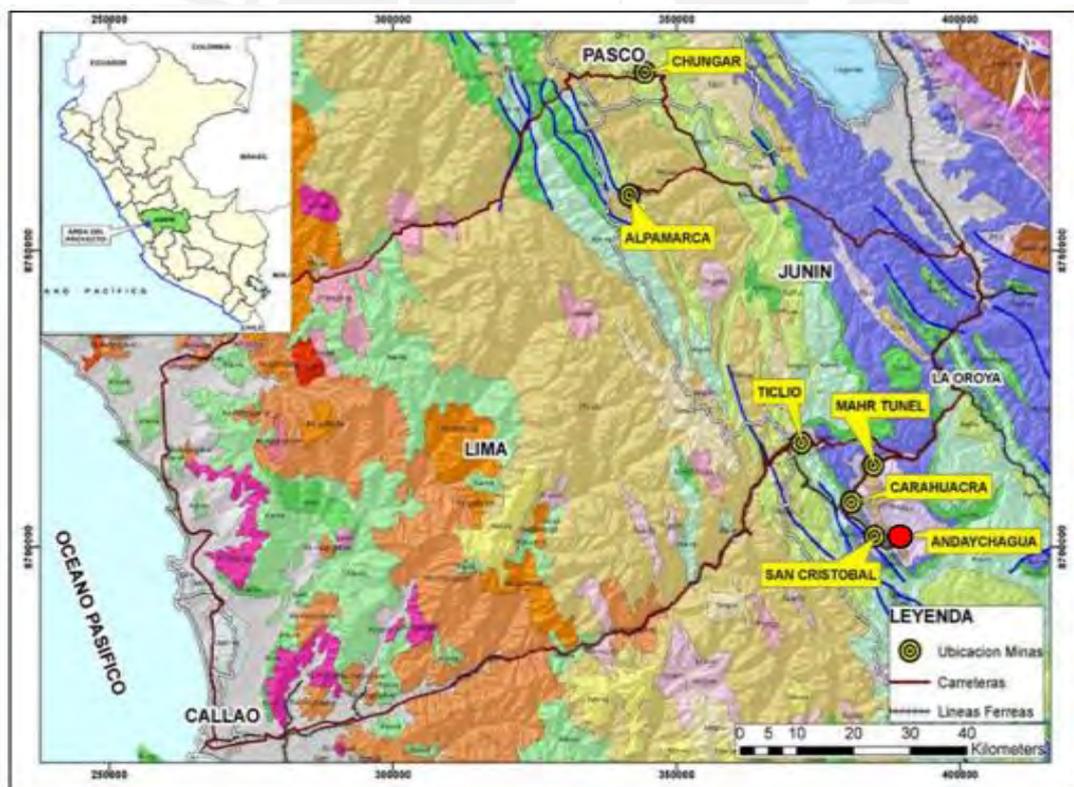


Figura 18. Accesibilidad hacia U.M. Andaychagua.

Tomado de Área de Geología Andaychagua.

Los primeros trabajos de exploración fueron realizados por la Cerro de Pasco Corporation durante los años 1928 a 1930, estos trabajos exploratorios fueron realizados en concesiones arrendadas. La mina Andaychagua posteriormente forma parte de la Unidad San Cristóbal hasta ser una Unidad de producción independiente a partir del año 1987 y a partir de 1996 forma parte de la Empresa Minera Mahr Túnel S.A., cambiando de Razón Social el 01 de febrero de 1998 por Volcán Compañía Minera S.A.A.

### **3.2 Geología General**

La veta tiene un rumbo promedio de N 30° E y buzamiento 75°-90° NO, en algunos tramos presenta buzamientos al SE; la potencia varía de 1,8 a 7,5 metros en sus extremos y llega hasta 18,0 metros en su parte central (unión con la veta Prosperidad). Forma un ángulo de 80° con el plano axial del Anticlinal de Chumpe. La veta es definida en andesitas y en el gabro; se bifurca cuando llega a las filitas.

En la parte central de la veta Andaychagua, donde alcanza las mayores potencias, la mineralización de alta ley se presenta cerca de las cajas; otras veces, se alejan de éstas, pero casi siempre son paralelas. Los tramos mineralizados no presentan persistencia horizontal ni vertical, donde terminan unos, comienzan otros. Dentro de la estructura aparecen cajas falsas (fallas longitudinales) que, en muchos casos, limitan la mineralización económica; en otros sigue la mineralización económica a uno y otro lado. Los tramos pobremente mineralizados de la veta, no son persistentes, muchas veces desaparecen de un piso a otro.

### **3.3 Planteamiento del Problema**

La implementación de la “Voladura Centralizada” surge como una necesidad de mejorar los estándares de seguridad en el procedimiento de chispeo y voladura, eliminando el uso de la mecha de seguridad, la cual inicia la malla pirotécnica, y a su vez eliminando la presencia del personal dentro de mina al momento del procedimiento de disparo.

#### **3.3.1 Procedimiento estándar de voladura e impacto en la operación.**

El procedimiento estándar de voladura es una sucesión de eventos establecidos para llevar a cabo el proceso de chispeo y voladura en la operación minera. Este procedimiento se da de manera corporativa y es llevado a cabo por las siguientes personas:

- Jefe de Mina (Capitán de Mina y coordinador de chispeo y voladura).
- Jefe de guardia.
- Responsable de Chispeo y Voladura.

El procedimiento de voladura se divide en tres partes a lo largo del inicio de guardia hasta el final de esta, en las cuales participan el personal anteriormente mencionado. Estas tres partes son: Reunión de inicio de guardia, Reunión de Media Guardia y Procedimiento de Chispeo y Voladura, las cuales tienen un inicio a las 6:30 a.m. / 18:30 p.m., finalizando a las 19:15 p.m. / 7:15 a.m. con el reingreso de la siguiente guardia. A continuación, se elaboró una tabla en donde se describen a más detalle que actividades se realizan en cada parte del procedimiento, así como los horarios establecidos para cada una.

Tabla 1

*Actividades del procedimiento estándar 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 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 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 vigías y es validado por el 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 de Mina y Jefe de Guardia verificando que se tenga firmado el "PERMISO DE CHISPEO Y VOLADURA"
			El 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
			El 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 el ingreso para la siguiente guardia

Si bien el procedimiento corporativo de chispeo y voladura incluye ciertas pautas en su secuencia que hacen seguro la voladura, como es la comunicación radial continua entre el Jefe de Mina y los involucrados, los vigías y el sistema digital de contabilización de personal, sigue involucrando al personal a estar dentro de mina al momento del chispeo y la voladura, además que el chispeo es realizado de forma manual, de modo que dicha persona se encuentra en peligro constante ante algún desvío en el chispeo que pueda suceder o una iniciación intempestiva. Por lo que en la búsqueda de eliminar este factor de riesgo que puede generar un chispeo manual, se implementa la iniciación electrónica de forma remota con la finalidad de no involucrar

a ningún trabajador en interior mina, realizando los disparos desde un punto seguro en superficie.

### 3.4 Equipos y accesorios para el sistema de iniciación electrónica subterráneo

Para la implementación de un sistema de iniciación electrónica se emplean los siguientes equipos y accesorios de voladura.

#### 3.4.1 Unidad de Programación (PU).

La unidad de programación es un dispositivo que permite programar los detonadores, asignándole un tiempo de retardo entre un rango de 0 ms – 14000 ms. Cuenta con una tarjeta RFID en la parte posterior en donde se almacena el número único de ID del detonador, número de secuencia asociado y el retardo. Se debe tener en cuenta que la voladura puede considerar de 1 hasta un máximo de 6 unidades de programación y cada unidad de programación puede programar un máximo de 1000 detonadores electrónicos. Además, cuenta con múltiples funciones, las cuales permiten una mayor agilidad dentro de la programación de los detonadores. Entre la principal tenemos:

*Test:* Permite la realización de varias pruebas en un circuito de voladura para chequear su integridad y el control de la presencia del detonador.

- **Test de línea:** Realizado para identificar la presencia de alguna fuga o corte de línea, entregando valores de voltaje y amperaje.
- **Búsqueda de detonadores:** Realiza la búsqueda de los detonadores programados y que han sido conectados a la línea de disparo.
- **Conteo de detonadores:** Realiza un conteo de todos los detonadores que han sido conectados a la línea de disparo



Figura 19. Unidad de Programación (PU).

Tomado de "Manual User" por Davey Bickford.

### 3. 4. 2 Remote Blaster (DRB2).

El Remote Blaster o unidad de disparo es el equipo encargado de realizar el procedimiento de voladura, proporcionando las instrucciones de control por menú y energizando los detonadores a ser disparados. La operación del Remote Blaster debe ser desde un lugar seguro, con todas las normas de seguridad aplicables. La unidad de disparo puede manejar un máximo de 1500 detonadores en su propia red y cuenta con un modo operacional, en el cual se da el procedimiento de voladura, realizando los tests de verificación y carga de detonadores.

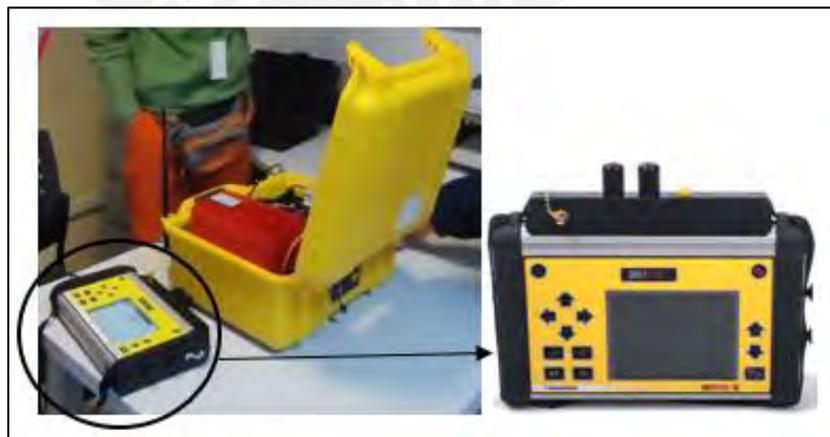


Figura 20. Remote Blaster (DRB2).

Tomado de Pruebas de Voladura Centralizada Andaychagua.

### 3. 4. 3 Blast Driver (DBD).

El Blast Driver es una parte del sistema de voladura, la cual está conectada a la línea de disparo cuando el disparo es iniciado en modo remoto. Se comunica con los detonadores, realiza testeos, carga los detonadores y envía el comando seguro para disparar, con una capacidad de iniciar hasta 1500 detonadores. El Blast Driver es controlado remotamente por la DRB2 y esta es conectada al circuito de disparo. Además, la DRB2 muestra el status del Blast Driver en todo momento, monitoreándolo ante cualquier anomalía que pueda surgir durante el disparo. El DBD se encontrará cerca de la zona de la voladura en la unidad minera.



*Figura 21. Funcionamiento del Blast Driver (DBD).*

*Tomado de Pruebas de Voladura Centralizada Andaychagua.*

### 3. 4. 4 Radio Modem.

El modem es una radio compacta altamente configurable, siendo más precisos se trata de un enrutador IP de radio. Es de fácil funcionamiento y solo se tiene que conectarlo a una antena y fuente de alimentación, y se configura mediante una PC y un navegador web. Para el caso de la voladura centralizada se utiliza un radio modem RipEX2, que son dispositivos IP nativos, definidos por un software con sistema operativo Linux.

El principal objetivo de la instalación de un radio modem al sistema de voladura centralizada es obtener una compatibilidad entre los equipos de iniciación electrónica y la red de comunicación Leaky Feeder, ya que este equipo transforma la frecuencia a la que trabajan normalmente los equipos de iniciación electrónica y los lleva a trabajar a la misma frecuencia de la red de comunicación en interior mina.

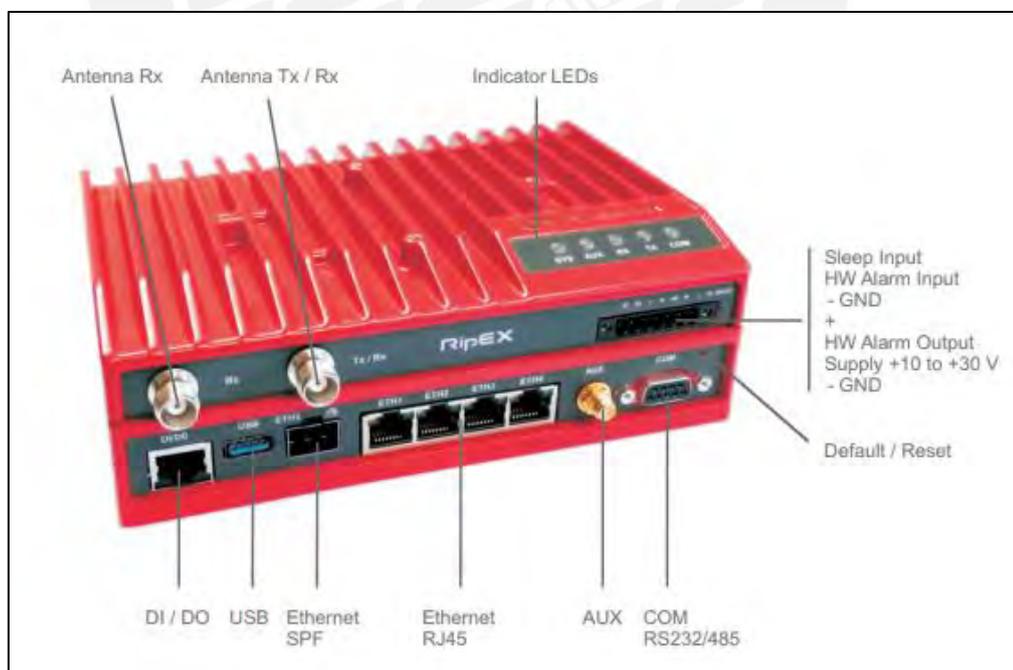


Figura 22. Radio Modem RipEX2.

Tomado de "Manual Usuario" por RACOM.

### 3. 4. 5 Tarjeta RFID.

La tarjeta RFID es un tag de seguridad del sistema. Sin la tarjeta RFID, el Remote Blaster no puede entrar al modo operacional (modo de voladura) y consecuentemente no se puede gestionar las voladuras. Para utilizar la tarjeta RFID, se desliza está por la parte posterior de la DRB donde se encuentra el símbolo de “RFID”.

La DRB2 es capaz de gestionar dos tipos de tarjetas RFID diferentes:

- Tarjeta de testeo RFID (blanca) requerido para continuar con los testeos después de transferir la información de los detonadores programados guardados en la PU hacia la DRB2.
- Tarjeta de disparo RFID (roja) para cargar los detonadores programados y posteriormente dispararlos.

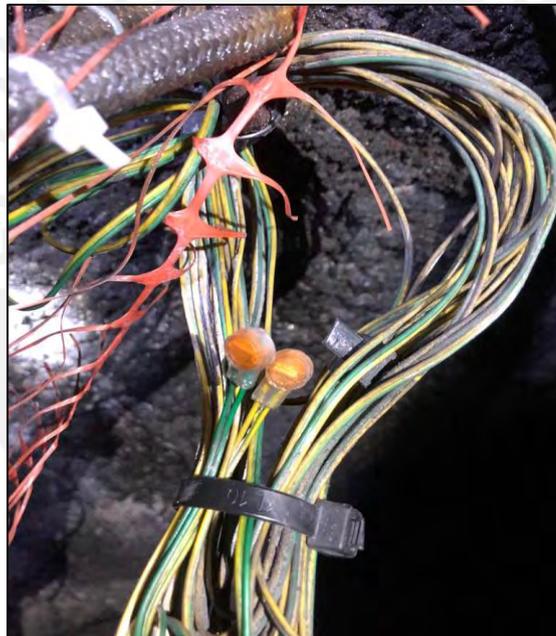


Figura 23. Tarjeta RFID de seguridad.

Tomado de “Manual User” por Davey Bickford.

### 3. 4. 6 Cable de conexión M35.

El cable M35 es usado para la conexión de los detonadores electrónicos por medio de su conector 3M, dándole la energía necesaria para su activación. Esta línea de disparo o cable M35 va conectado hacia los pines de conexión de los equipos de voladura (PU, DRB2, DBD) y recorre todas las instalaciones en las cuales se desea implementar el sistema de voladura. El cable M35 es un alambre paralelo de cobre recocido de Temple Blando recubierto con un material aislante exterior de polietileno y en su interior de PVC. Viene en presentación de dos colores: Amarillo y verde; y viene en presentación de rollos de 500 metros.



*Figura 24. Instalación del cable M35.*

*Tomado de Pruebas de Voladura Centralizada Andaychagua.*

### 3. 4. 7 Unidad maestra y esclava.

La unidad maestra es un equipo colocado en superficie mina, cuenta con una DRB2, la cual es la encargada de realizar el disparo y su radio modem. Se elaboró la siguiente tabla de los equipos utilizados por la unidad maestra.

Tabla 2

*Equipos empleados en la unidad maestra.*

Equipo	Cantidad
<p>Radio Modem</p> 	1
<p>DRB2</p> 	1

La unidad esclava es el equipo colocado en interior mina, cuenta con un DBD al cual se conecta la línea de disparo M35 y un radio modem, que es un modem interno capaz de convertir la señal de la red Leaky Feeder y comunicar los equipos.

Tabla 3

*Equipos empleados en la unidad esclava.*

Equipo	Cantidad
<p>Radio Modem</p> 	2
<p>DBD</p> 	2

### **3.5 Reconocimiento de la infraestructura en interior mina**

En el reconocimiento de las infraestructuras en interior mina se verifico, junto al personal de perforación y voladura: Sectores implementados con la red de comunicaciones Leaky Feeder, los sectores de comunicación en interior mina y los sectores en donde se van a realizar las pruebas de iniciación electrónica.

#### **3.5.1 Sectores con red de comunicaciones Leaky Feeder.**

Se da un recorrido a las zonas que cuentan con la instalación de la red de comunicaciones Leaky Feeder, verificando tanto el punto de inicio de la red hasta el punto de finalización.

##### ***3.5.1.1 Funcionamiento de la red de comunicaciones en interior mina.***

El sistema de comunicación para interior mina capta la señal digital emitida desde superficie, la cual es transformada en señal óptica por un equipo maestro (MU) y retransmitida por una señal de fibra óptica a los distintos equipos remotos en interior mina. Una vez captada esta señal, los equipos remotos transforman esta señal óptica en una señal digital, la cual da comunicación a la unidad esclava a través del cable radiante o Leaky Feeder a las zonas establecidas para realizar las pruebas de iniciación electrónica en interior mina.

Cada equipo remoto soporta un máximo de 2000 metros de cable radiante, mientras que el sistema de comunicación en interior mina se da con una frecuencia UHF en un rango de banda de 410 MHz – 430 MHz.

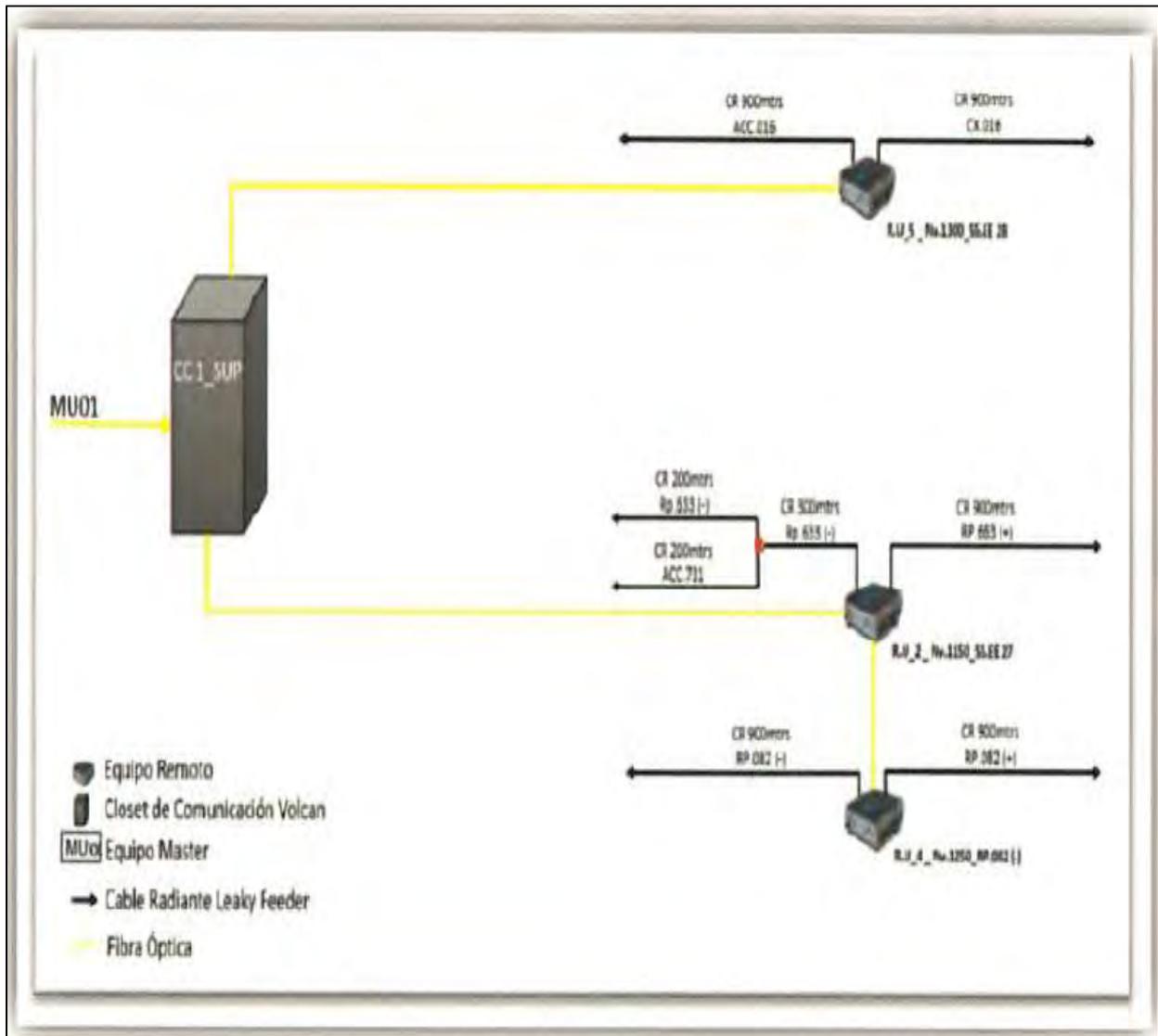


Figura 25. Distribución de la red de comunicación.

Tomado del Área de TI Andaychagua.

### 3. 5. 1. 2 Distribución de las redes de comunicación en interior mina.

La red de comunicación Leaky Feeder se distribuye en los dos sectores de prueba, cubriendo las zonas de disparo programadas por el área de perforación y voladura.

### 3. 5. 1. 2. 1 Zona Salvadora.

El inicio del cable radiante Leaky Feeder se da desde la entrada del ACCESO 330 continuando su recorrido por la Rampa 315 terminando en la profundización, siendo más específicos en la CA 639. Se elaboró la siguiente figura que muestra el recorrido del cable radiante Leaky Feeder, así como la ubicación de la unidad esclava.

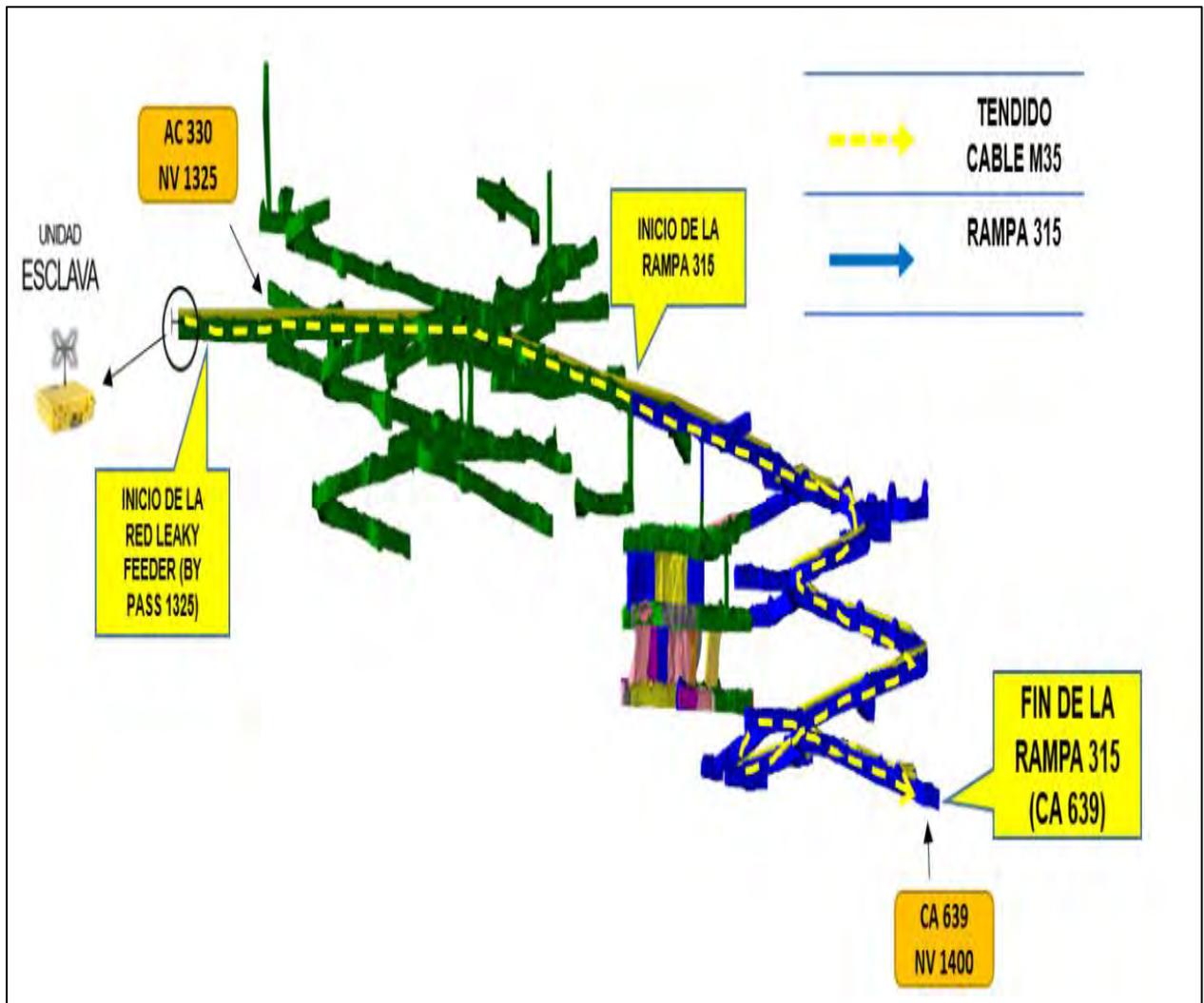


Figura 26. Recorrido de Cable Radiante por la Zona Salvadora.

### 3. 5. 1. 2. 2 Zona Andaychagua – Veta Adriana.

El inicio del cable radiante Leaky Feeder se da desde el BY PASS 1300 y es tendido en 3 direcciones: Hacia el SN 314, TJ 500 y la Rampa 4, finalizando en la CA 24. Se elaboró la siguiente figura que muestra el recorrido del cable radiante Leaky Feeder, así como la ubicación de la unidad esclava.

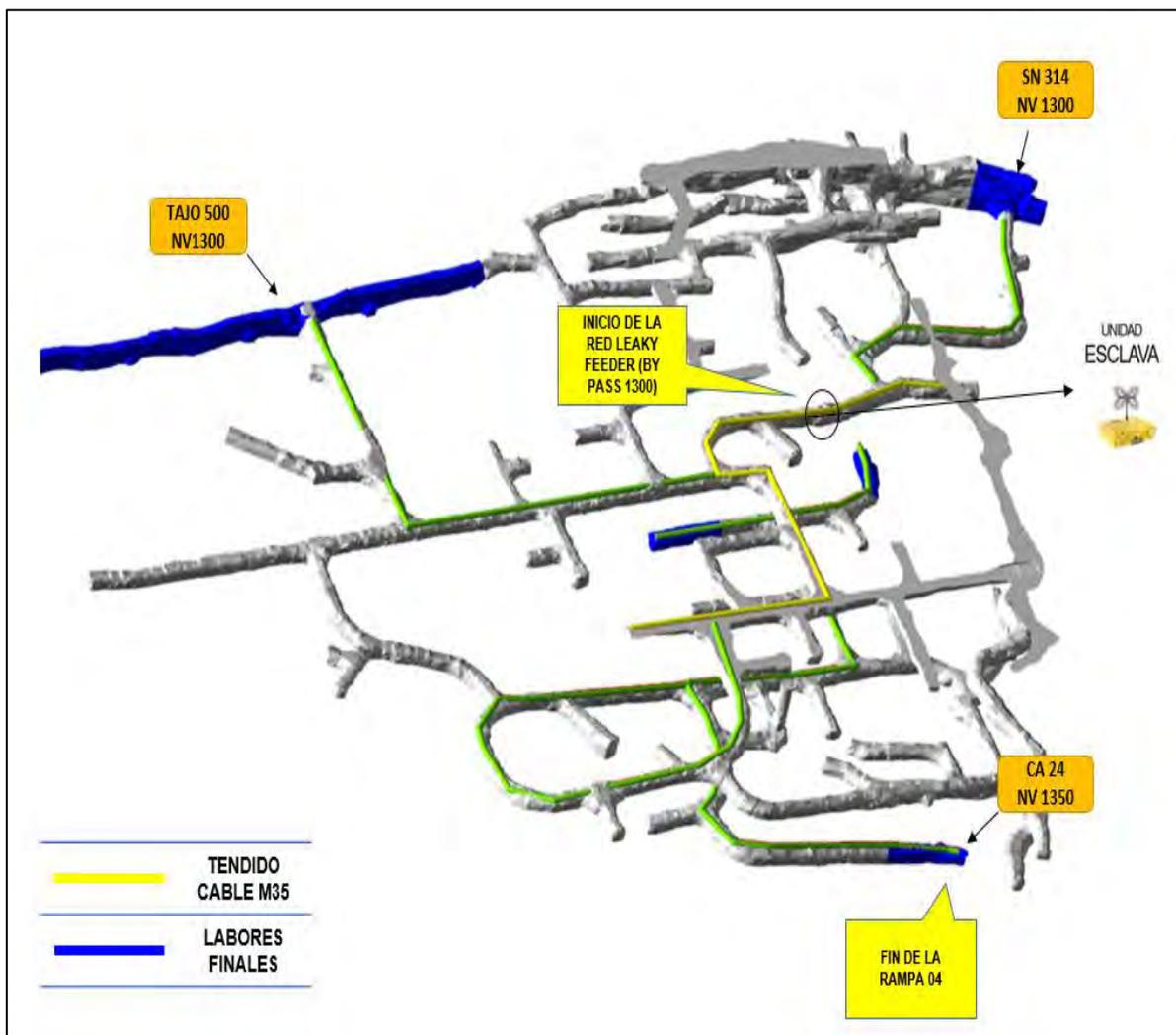


Figura 27. Recorrido del Cable Radiante por la Zona Andaychagua – Veta Adriana.

### 3. 5. 2 Sectores de pruebas de voladura.

Se identificaron dos sectores de pruebas para la Voladura Centralizada: Rampa 04 perteneciente a la Zona de Veta Adriana y profundización, y la Rampa 315 perteneciente a la Zona de cuerpo Salvadora, de las cuales, se realizó un listado de las labores en las cuales se programaron las pruebas de iniciación remota con detonadores electrónicos.

Tabla 4

Sectores de prueba Zona Salvadora.

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

		<i>CA B503</i>
1400	<b>CAMARA 639</b>	<i>CA V639</i>
1400	<b>CAMARA 636</b>	<i>CA V644</i>
1400	<b>RAMPA 1400</b>	<i>RP 315</i>
1400	<b>BY PASS 502</b>	<i>CA 24</i>

Tabla 5

*Sectores de prueba Zona Andaychagua – Veta Adriana.*

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

### 3. 5. 3 Sectores de pruebas de comunicación.

Los sectores de comunicación son puntos en interior mina en donde obtiene una comunicación estable entre el modem maestro y el modem esclavo, mayormente están ubicados donde se encuentren equipos remotos de comunicación. Estas pruebas de

comunicación tienen como finalidad asegurar la comunicación entre los equipos electrónicos y la red de comunicación Leaky Feeder y demostrar su compatibilidad. Durante las pruebas de comunicación se identificaron dos equipos remotos, los cuales reciben mediante fibra óptica la información tetra que ha convertido la Unidad Maestra (Head End), re-convirtiéndola nuevamente hacia señales de RF, mediante sus dos salidas, permitiendo irradiar a lo largo de los túneles de la mina mediante el cable Leaky Feeder especialmente diseñado para las bandas de operación.

La primera unidad remota se llama UR15 y se encuentra ubicada en el By Pass 1350 NV 1325 cerca de la CA V325. Es la encargada de transmitir la señal de comunicación Leaky Feeder de toda la zona SALVADORA, la cual inicia en la Rampa 315. Se elaboró la siguiente figura con la ubicación de la UR.

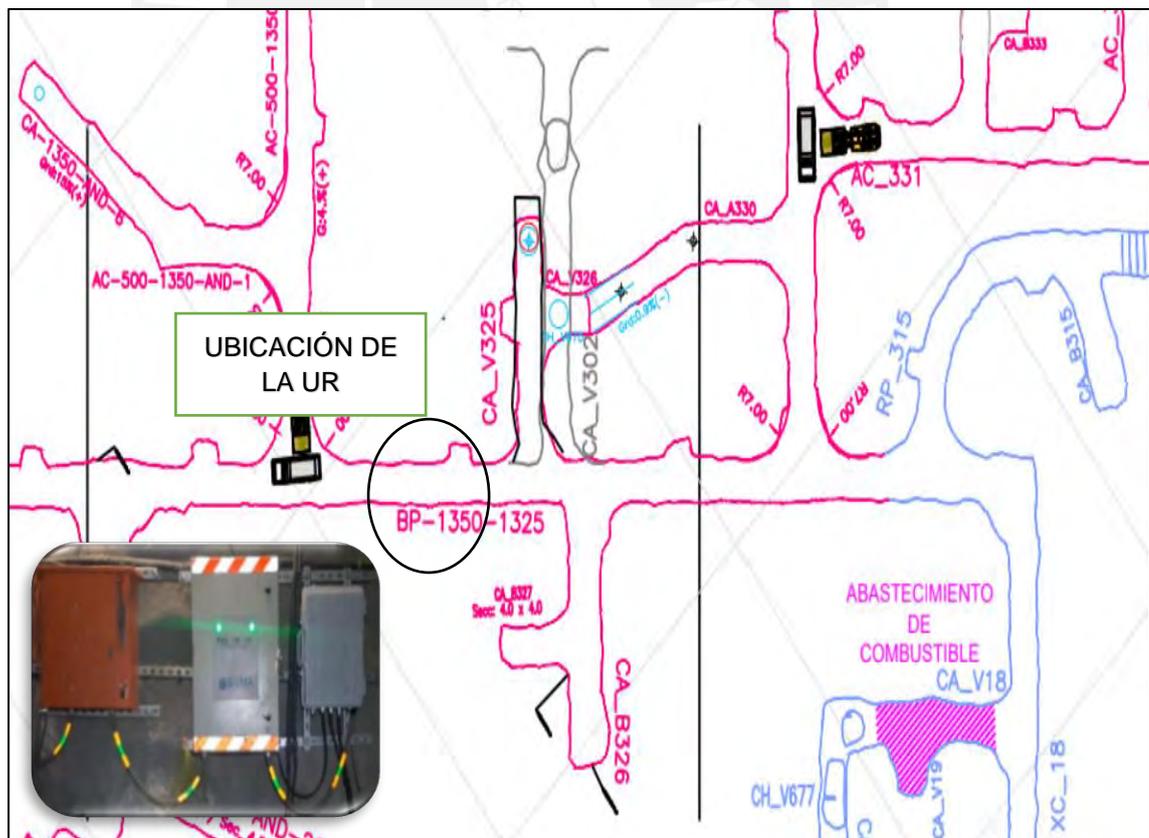


Figura 28. Ubicación de unidad remota Zona Salvadora.

La segunda unidad remota se llama UR5 y se encuentra en el BP1300 cerca del ACC 1351. Es la encargada de transmitir la señal de comunicación Leaky Feeder tanto de la zona Andaychagua como Veta Adriana – Rampa 04. Se elaboró la siguiente figura con la ubicación de la UR.



Figura 29. Ubicación de unidad remota Zona Andaychagua.

### 3.6 Procedimiento de Pruebas

El procedimiento de las pruebas de “Voladura Centralizada” consta de un número de actividades que hacen posible la iniciación remota desde superficie del detonador electrónico para iniciar la malla de voladura.

### 3. 6. 1 Instalación del cable M35.

Esta actividad consiste en el tendido de la línea M35 a lo largo de las zonas de voladura programadas. La implementación de este cable comienza desde un punto inicial llamado “inicio de la troncal” y continúa su recorrido por la rampa o galerías principales, hasta el final de la zona de voladura. Todo el recorrido principal es llamado “Línea Troncal” y es desde esta línea troncal saldrán bifurcaciones hacia las distintas labores de la zona asignada. Las bifurcaciones, las cuales llegarán hasta el punto de la voladura, serán conectadas mediante empalmes a la línea troncal y serán aisladas en su punto final del recorrido para evitar cualquier tipo de fuga o corto circuito. Se elaboró la siguiente figura de la instalación del cable radiante en la zona Andaychagua – Veta Adriana.

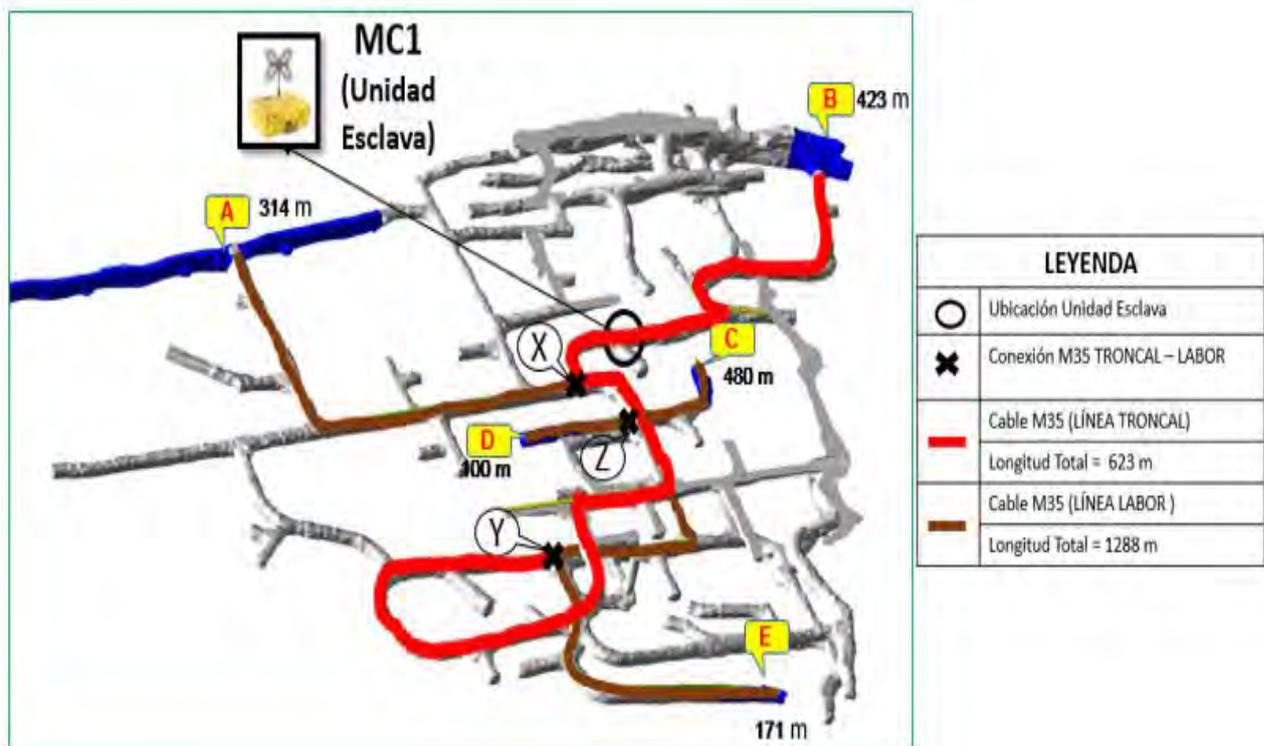


Figura 30. Implementación de cable radiante.

Tanto la línea troncal como sus bifurcaciones hacia las labores deben ser tendidas en zonas superiores de la mina, en las cuales no se vean afectadas por temas operacionales como tránsito de equipos, mangas de ventilación, entre otras. Para los empalmes de la línea troncal con las bifurcaciones, se deben empalmar tanto el alma de cobre de color verde de la línea troncal con el alma de cobre del mismo color de la bifurcación y del mismo modo el alma de cobre de color amarillo. Además, estos empalmes deben ser realizados al inicio de la intersección de la rampa principal, por donde está instalado la línea troncal, con los accesos de las labores a ser iniciadas. Se elaboró la siguiente figura en donde se presenta el recorrido de la línea troncal, así como sus bifurcaciones con las labores.

### **3. 6. 2 Pruebas de señal de comunicación.**

Las pruebas de señal de comunicación consisten en la verificación de la compatibilidad del sistema de comunicación de radiofrecuencia utilizado en interior mina con el sistema de comunicación de los equipos electrónicos mediante la red de comunicación Leaky Feeder. La comunicación se da de manera bidireccional entre la unidad maestra, ubicado en superficie, con las unidades esclavas, ubicados en las dos zonas de voladura (VER ANEXO B). Una vez que se tengan instalados los dos equipos se proceden a encender y mediante las antenas se realiza la comunicación, teniendo como medio el cable radiante. El principal factor a tener en cuenta para asignar un punto de inicio de línea troncal es la identificación de alguna unidad remota de señal cerca. Para verificar que existe compatibilidad en la comunicación, debe existir un intercambio continuo de información entre ambos equipos y ello se verifica en el indicador de calidad, el cual consiste en un tren de 5 barras, siendo cada barra una porción de información compartida y es mostrado en la pantalla de la unidad de disparo (DRB2).

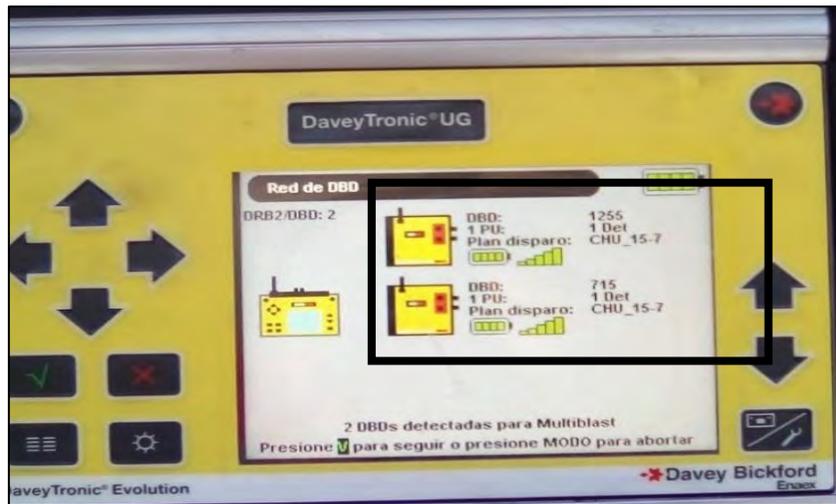


Figura 31. Verificación de comunicación entre equipos.

Tomado de Informe Final de Voladura Centraliza por ENAEX.

### 3. 6. 2. 1 Sectores de ubicación de la unidad esclava.

En la Zona Cuerpo Salvadora se identificaron dos puntos para la instalación del modem esclavo, en los cuales la señal de comunicación variaba entre 4 – 5 barras de intensidad. Se elaboró las siguientes figuras con las ubicaciones de los módems esclavos.

*BY PASS 1325, a la izquierda de la cámara 325 (CA\_V325).*



Figura 32. Zona 1 de buena señal de comunicación.

*RAMPA 315, cámara de bombeo 316 (CA\_B316)*

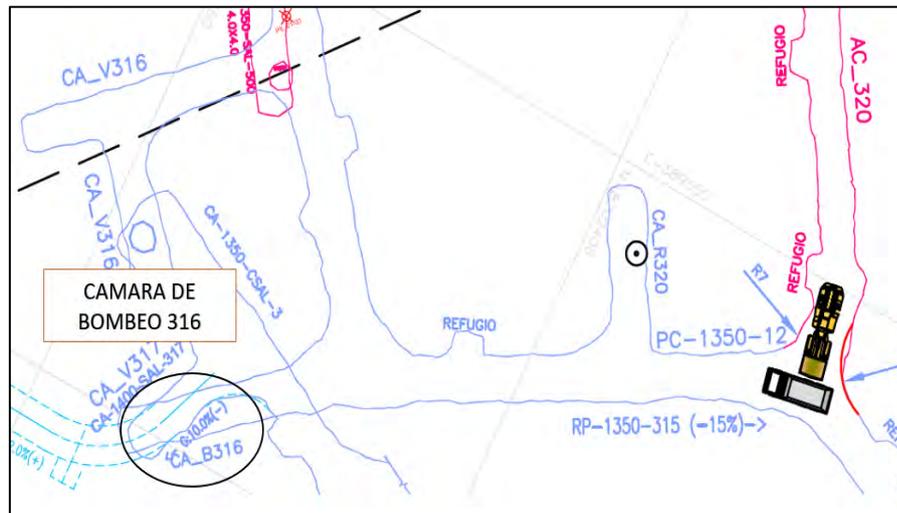


Figura 33. Zona 2 de buena señal de comunicación.

En la zona veta Adriana y profundización se identificó un punto para la instalación del modem esclavo, en el cual la señal de comunicación variaba entre 4 – 5 barras de intensidad. Se elaboró la siguiente figura con la ubicación del modem esclavo.

*BY PASS 1300, a la derecha del acceso 1351 (ACC 1351)*

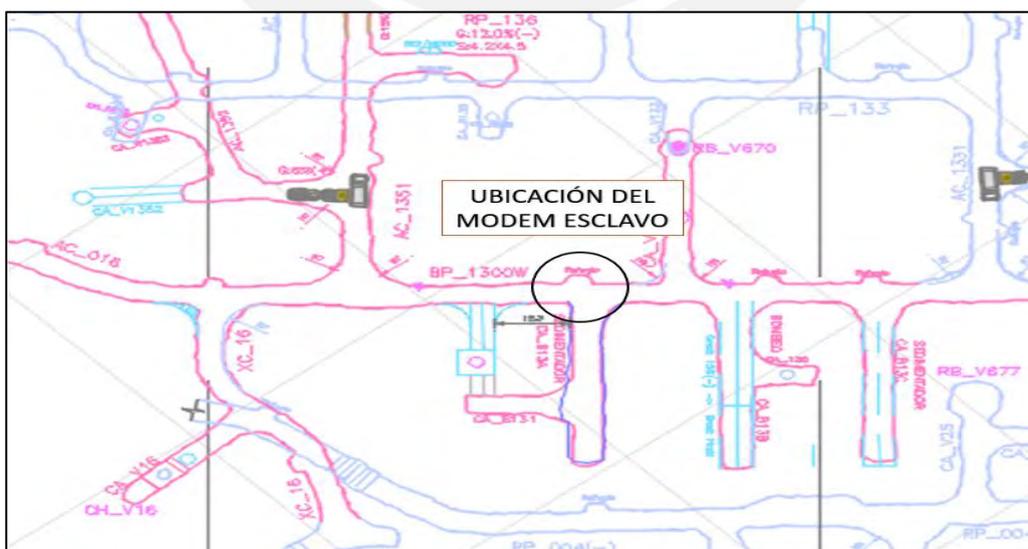


Figura 34. Zona 3 de buena señal de comunicación.

### **3. 6. 3 Prueba con detonadores inertes.**

Los detonadores inertes, no tienen en su interior ningún tipo de carga (base ni primaria) y son utilizados para realizar simulaciones de voladuras electrónicas. Estas pruebas de iniciación con detonadores inertes se realizan al iniciar la guardia y antes de cada voladura. Consiste en programar los detonadores y conectarlos en todas las labores asignadas para la voladura centraliza, simulando un disparo real, es decir con todos los procedimientos establecidos para el horario de voladura. Al realizar estas pruebas con detonadores inertes se desea verificar dos puntos importantes antes de cada voladura.

- Verificar que la línea M35 no presente algún daño antes de la voladura, es decir, que no exista fuga de corriente en todo el recorrido del cableado.
- Verificar una comunicación estable y continua entre los equipos de voladura centralizada (unidad maestra y unidad esclava).

#### **3. 6. 3. 1 Plan de Contingencia.**

Durante las pruebas de iniciación con detonadores inertes puede que se presenten estos dos problemas, para lo cual se tiene programado un plan de contingencia. En el caso de presenciar una fuga de corriente o daño en el cableado se procede de la siguiente manera:

1. Se desconectan todos los empalmes de la línea troncal y se realiza un corte a la mitad de dicha línea para poder delimitar el tramo de búsqueda.
2. Con la ayuda de la unidad de programación (PU), se realiza el TEST DE LINEA desde el comienzo de la primera línea troncal, en caso no se encuentre el corte o daño en la primera parte de la troncal, se procede a realizar el testeado en el segundo tramo.

3. Una vez que se haya definido en que tramo se encuentra el corte, se vuelve a cortar la línea dividiéndola en 2 tramos nuevamente, y se procede a verificar, con la unidad de programación, en cuál de los dos nuevos tramos se encuentra la fuga. Este procedimiento se conoce como búsqueda binaria y se utiliza para recortar los tramos de búsqueda hasta tener un tramo pequeño en donde se pueda visualizar el corte o daño de la línea.
4. Finalmente, al ubicar el punto de daño se procede a reparar, reemplazando el cable dañado por uno nuevo y volviendo a empalmar todos los cortes realizados anteriormente.

En el caso de que no exista comunicación entre los equipos de voladura remota se procede de la siguiente manera:

1. El no tener comunicación en un punto establecido, se determina otro punto cerca el cual cuente con otra unidad repetidora de comunicación Leaky Feeder. Al encontrarse con señal en el otro punto establecido se reporta al personal de TI el fallo de la primera unidad repetidora.
2. En el caso de no tener señal en ningún punto de comunicación de la mina, se reporta un fallo en la red de comunicación Leaky Feeder. Si se repara este fallo antes de media guardia se procede a realizar nuevamente la prueba con detonadores inertes desde el primer punto designado para colocar el modem esclavo. En caso no se logre solucionar el fallo de la red Leaky Feeder, se comunica al área de perforación y voladura.

#### **3. 6. 4 Programación de los detonadores electrónicos.**

Cada detonador es identificado por la unidad de programación (PU), el Remote Blaster (DRB2) y el Blast Driver (DBD) por su número único de identificación. Durante

la operación de programación, la PU asigna un número de secuencia al detonador y el operador escoge un tiempo de retardo en concordancia con el plan de secuencia de iniciación, con la posibilidad de programar varios detonadores con el mismo tiempo. Para las pruebas de voladura centralizada se dio un modo de programación con conexión uno a uno. En el modo de conexión uno a uno, el operador conecta cada detonador individualmente a la PU para programarlo: En el modo manual, se ingresa el retardo con las teclas numéricas y se conecta cada detonador a los terminales de conexión de la PU.

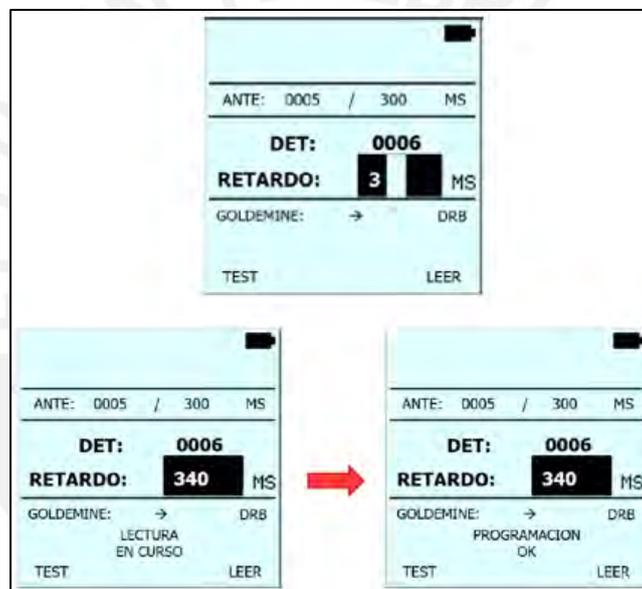


Figura 35. Secuencia de programación de detonadores electrónicos.

Tomado de "Manual de Voladura ENAEX" por ENAEX PERÚ.

### 3. 6. 5 Conexión de detonadores electrónicos.

En el procedimiento de voladura centralizada, los detonadores electrónicos cumplen la función de sustituir la mecha de seguridad. Una vez que los detonadores electrónicos han sido programados y repartidos a cada labor establecida previamente, se conectan a la línea M35, mediante sus conectores 3M, la cual ha sido tendida hasta un punto cercano a la labor asignada y son llevados hacia el frente a ser iniciado.



*Figura 36. Conexión de detonadores electrónicos a la línea M35.*

*Tomado de Informe de Voladura Centralizada ENAEX.*



*Figura 37. Conexión de detonadores electrónicos en vacío a la línea M35.*

*Tomado de Informe de Voladura Centralizada ENAEX.*

La conexión de los detonadores electrónicos a la mecha rápida se da la siguiente manera:

Se envuelve las dos puntas de la mecha rápida saliente de la malla de voladura alrededor de la capsula de cobre del detonador electrónico de tal forma que se forme una “U”, quedando las dos puntas de la mecha rápida apuntando hacia la malla de perforación. Una vez que se haya formado esa figura alrededor del detonador, se envuelve dicha conexión con cinta aislante de tal forma que ninguna parte del detonador quede expuesto. Esta figura formada solo debe envolver al detonador electrónico y asegurarse de que haya conexión entre la cabeza del detonador, en donde se encuentra la carga de iniciación, y la mecha rápida. Se debe evitar enrollar la mecha rápida a la cápsula de cobre del detonador formando un nudo, debido que al momento de la iniciación de dicho detonador puede expulsar esquirlas y esto puede generar un corte en la línea de disparo.



*Figura 38. Conexión de la cápsula de aluminio a la malla pirotécnica.*

*Tomado de Informe de Voladura Centralizada ENAEX.*



*Figura 39. Verificación del amarre de la cápsula a la mecha de seguridad.*

*Tomado de Informe de Voladura Centralizada ENAEX.*

### **3. 6. 6 Testeo de la línea M35 y detonadores electrónicos.**

Una vez que se han conectado y amarrado los detonadores electrónicos a las labores asignadas, se procede a testear las líneas de cableado M35, tanto de las troncales como del tendido realizado hacia las labores. El termino testear significa verificar que no exista ningún tipo de corte en la línea o abertura de la capa protectora del cable M35 que ponga en contacto el alma de cobre con el exterior, así como una mala conexión del detonador al cable M35. Esto se verifica para evitar que durante el procedimiento de voladura nos indiquen una fuga de corriente o corto circuito presente en el cableado.

El testeo del cable M35 consiste en una prueba llamada “Test de línea”, la cual es realizada con la unidad de programación (PU) y conectando el inicio del tendido de cable M35 en los pines de la PU. Dicha función permite detectar una fuga de corriente mediante la medición de consumo de corriente. El máximo valor para la carga de voltaje

depende del número de detonadores que van a ser conectados a la línea y es generalmente alrededor de 16V. La unidad de programación (PU) muestra el consumo de corriente en la línea en miliamperios y mide el voltaje en volts. El voltaje es alrededor de 12V. La barra de status en la segunda línea visualiza la medición de corriente, que van desde 0 a 20 miliamperios.

En el caso de las pruebas de voladura centralizada, se tenía un sistema de tendido de cable M35 libre de fugas y cortes cuando el test de línea mostraba resultados del voltaje en un rango de 12 – 12.2 voltios, mientras que en tema de amperaje un rango de 0 – 0.4 mA como se muestra a continuación:



Figura 40. Valores en la verificación de la línea M35.

Tomado de Informe Final de Voladura Centraliza – ENAEX.



*Figura 41. Verificación de la línea M35.*

*Tomado de Informe Final de Voladura Centraliza – ENAEX.*

### **3. 6. 7 Procedimiento de voladura inalámbrica.**

Para el procedimiento de voladura inalámbrica se realizan dos pasos previos al inicio del procedimiento operativo de la iniciación electrónica remota.

#### ***3. 6. 7. 1 Asociación o transferencia de datos desde la PU a la DBD.***

Antes de programar los detonadores electrónicos, se debe establecer las PU's que trabajaran en cada zona, ya que estas deben estar asociadas con cada DBD respectivamente. La PU contiene todos los datos de programación (nombre de la red, número único de ID del detonador, número de secuencia y retardo) almacenado en la etiqueta RFID. Esta transferencia se realiza tagueando la tarjeta RFID de la PU con la tarjeta RFID de la DBD como se muestra en la siguiente imagen.



Figura 42. Asociación de la PU a la DBD.

Tomado de “Manual de USUARIO ENAEX” por ENAEX PERÚ.

### **3. 6. 7. 2 Configuración de la DBD y la DRB2 para la comunicación inalámbrica.**

Ambos equipos deben estar configurados de tal forma que la DBD funcione como un equipo inalámbrico. Esta configuración se puede realizar mediante las funciones de la DRB2, pudiendo configurar el DBD como un tipo de módem interno (inalámbrico) o un módem externo (modo repetidor). Para el caso de la voladura subterránea, el equipo DBD será usado como un módem externo, ya que se tendrá otro modem conectado a la DBD con características específicas. La configuración se debe de dar de tal forma que exista una comunicación continua entre ambos equipos y son verificados en las “Pruebas de señal de comunicación” explicados con anterioridad. Esta comunicación está establecida por la calidad que se logra obtener.

- Indicador de calidad: Indicador que muestra la calidad de la señal (Q), este gráfico muestra 5 barras, que da una indicación de la calidad de señal mostrando los tramos correctos de datos recibidos de los últimos 5 datos transmitidos.

### ***3. 6. 7. 3 Procedimiento operativo de iniciación electrónica.***

1. El primer paso para el procedimiento operativo de la voladura centralizada es transferir la información de los detonadores programados, almacenados en la PU, hacia la DRB2 (equipo de disparo), que al igual que la DBD tiene en su parte posterior una tarjeta RFID, en donde se guarda la información a ser transferida.
2. Después que todos los chequeos han sido completados con los PU (s), los datos del plan de disparo han sido transferidos desde los PU (s) a la DRB2, el lugar es seguro y la línea de disparo puede ser conectada a la DRB2, se ejecuta el procedimiento de disparo y los testeos asociados deslizando previamente la tarjeta RFID de tests en la tarjeta RFID de la DRB2. Antes de realizar los testeos, por seguridad, se pasa la tarjeta RFID para continuar el procedimiento de voladura en la venta de disparo. Los test realizados en esta etapa son tres:
  - Test de línea: Se verifica el estado del cable M35 o línea de disparo, es decir, si este presenta alguna fuga o corte de línea.
  - Test de detonadores extra: Se verifica si existen detonadores no programados conectados en la línea de disparo.
  - Auto test de detonadores: Verifica el estado de todos los detonadores que están conectados a la línea de disparo.

- Una vez que se realiza el testeo de los detonadores, se pasa a la ventana de carga, en donde el disparador primero necesita habilitar el botón de carga tagueando la tarjeta RFID de disparo. Una vez activado, este botón es habilitado por aproximadamente 10 segundos. El tiempo de carga de los detonadores es de aproximadamente 20 segundos. El progreso de carga es indicado por una barra en la pantalla y se muestra en porcentaje (%). Una vez que la carga está completa, se autoriza el disparo y un mensaje de voz “LISTO PARA DETONAR” es anunciado.



Figura 43. Presentación de la carga autorizada.

Tomado de “Manual de USUARIO ENAEX” por ENAEX PERÚ.

- El disparo debe tener lugar dentro del final de la cuenta regresiva después de la autorización de disparo. Una vez cargado los detonadores, se iluminará el botón de disparo, y el operador deberá presionar este botón mientras aún mantiene presionado el botón de carga. Una línea en la parte inferior de la pantalla mostrará el progreso de la voladura. Una vez que haya finalizado el disparo, aparecerá “disparo realizado” en la pantalla. Si el botón no es presionado antes de que

finalice la cuenta regresiva única, el sistema retorna al modo seguro y los condensadores serán descargados. Tener en cuenta que cargar y disparar solo es posible después de taguear la DRB2 con la tarjeta de disparo RFID.



*Figura 44. Realización del disparo desde superficie.*

*Tomado de Informe Final de Voladura Centraliza – ENAEX.*

#### **3. 6. 7. 4 Zona de cuerpo Salvadora.**

En la zona de cuerpo SALVADORA se identificaron un total de 12 labores, las cuales fueron programadas para la iniciación remota con detonador electrónico. Se realizaron un total de 81 disparos con un consumo de 173 detonadores en total (VER ANEXO C). Se elaboró la siguiente tabla de las labores disparadas.

Tabla 6

Labores de disparo en Zona Cuerpo Salvadora.

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



*Figura 45. Funcionamiento del DBD al momento del procedimiento de disparo.*

*Tomado de Informe Final de Voladura Centraliza – ENAEX.*

### **3. 6. 7. 5 Zona de Veta Adriana y Profundización.**

En la zona de veta Adriana y profundización se identificaron un total de 7 labores, las cuales fueron programadas para la iniciación remota con detonador electrónico. Se realizaron un total de 13 disparos con un consumo de 43 detonadores en total (VER ANEXO D). Se elaboró la siguiente tabla de las labores disparadas.

*Tabla 7*

*Labores de disparo en Zona de Veta Adriana y Profundización.*

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



*Figura 46. Instalación del equipo DBD en interior mina.*

*Tomado de Informe Final de Voladura Centraliza – ENAEX.*

### **3. 6. 8 Reingreso Post – Voladura.**

La última actividad realizada luego del disparo es el reingreso a las labores voladas (tanto reales como en vacío) para verificar la correcta detonación de los detonadores electrónicos puesto en vacío, así como los detonadores electrónicos conectados a la malla pirotécnica. Por ser un tema de pruebas se realizaba esta actividad, ya que se debía asegurar la correcta iniciación de los detonadores electrónicos.

Para evitar el reingreso al post – voladura, el sistema de iniciación electrónica DaveyTronic cuenta con una función propia llamada “Line Cut Monitoring”, el cual se encarga de realizar un monitoreo continuo del funcionamiento de los detonadores electrónicos programados para la voladura. Este monitoreo se realiza desde que empieza el procedimiento de voladura hasta cuando el disparador presiona el botón de “FUEGO” de la DRB2.

### 3.7 Análisis de Resultados

Los resultados obtenidos en las pruebas de “Voladura Centralizada” serán analizados según ciertos indicadores que evaluarán el correcto funcionamiento del sistema de iniciación electrónica durante las pruebas, así como los beneficios de una implementación en temas de seguridad, productividad y costos.

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

Figura 47. Diferencia de los diferentes tipos de iniciación.

Tomado de Informe de Voladura Centralizada ENAEX.

#### 3.7.1 Análisis del funcionamiento del sistema electrónico.

En este periodo de pruebas se trata de comprobar el correcto funcionamiento del sistema electrónico Daveytronic Evolution y los beneficios que ofrece este sistema al procedimiento de voladura. Mediante una cantidad de disparos se busca demostrar las cualidades, beneficios y desempeño del sistema electrónico y el detonador en las operaciones de voladuras. La viabilidad y el desempeño del sistema y detonador han sido evaluados tomando en cuenta como base los criterios más relevantes para la operación, como son los siguientes:

- Eventos de seguridad.
- Frentes no iniciados por el sistema DAVEYTRONIC.
- Retrasos por voladura.
- Suspensión de voladura.
- Número de labores iniciadas .
- Validación de modalidad “multi-disparo”.

Durante el desarrollo de las pruebas de Voladura Centralizada se realizó un total de once voladuras exitosas mediante el sistema de voladura, de las cuales nueve se dieron inicio de manera remota mientras que dos fueron iniciadas de manera alámbrico.

La razón del disparo por el método alámbrico fue debido a una falla generada en el cableado de la red Leaky Feeder, así como en la unidad repetidora cercana al inicio de la línea troncal. A pesar de estos problemas que surgieron, se demostró la robustez de los equipos de iniciación electrónica permitiendo realizar los disparos de manera alámbrica, es decir conectado el equipo remoto de disparo a la línea troncal desde una ubicación seguro del disparador en interior mina. A continuación, se elaboró un cuadro resumen de voladuras y el consumo total de detonadores por cada voladura.

Tabla 8

Resumen de las voladuras ejecutadas.

Nº VOLADURA	FECHA	TIPO DE VOLADURA	ZONAS DE VOLADURA	Labores Reales	Labores Simuladas	Total de Labores Iniciadas	Consumo total de Detonadores
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 Y PROF. / SALVADORA	2	4	6	10
Nº 10	1/09/2021	ONETOUCH	ADRIANA Y PROF. / SALVADORA	5	5	10	30
Nº 11	2/09/2021	ONETOUCH	ADRIANA Y PROF. / SALVADORA	6	9	15	46

Cuando nos referimos a “labores simuladas”, son aquellas en las que se inició detonadores en vacío. Esta simulación se realizó con el fin de demostrar la robustez del sistema electrónico para poder iniciar todas las labores de la mina. Cabe resaltar que los disparos realizados el día 28 y 29 de agosto del 2021 (número 6 y 7) fueron realizados de manera alámbrica debido a un corte en la red Leaky Feeder, ocasionada por el dinamismo y operatividad de la mina, por lo que se optó por realizar las voladuras de este modo. A continuación, se muestra el cuadro resumen de estas dos voladuras. A continuación, se muestra un cuadro resumen del consumo total de detonadores, en donde se muestran todos los disparos realizados, tanto en modo remoto como alámbrico.

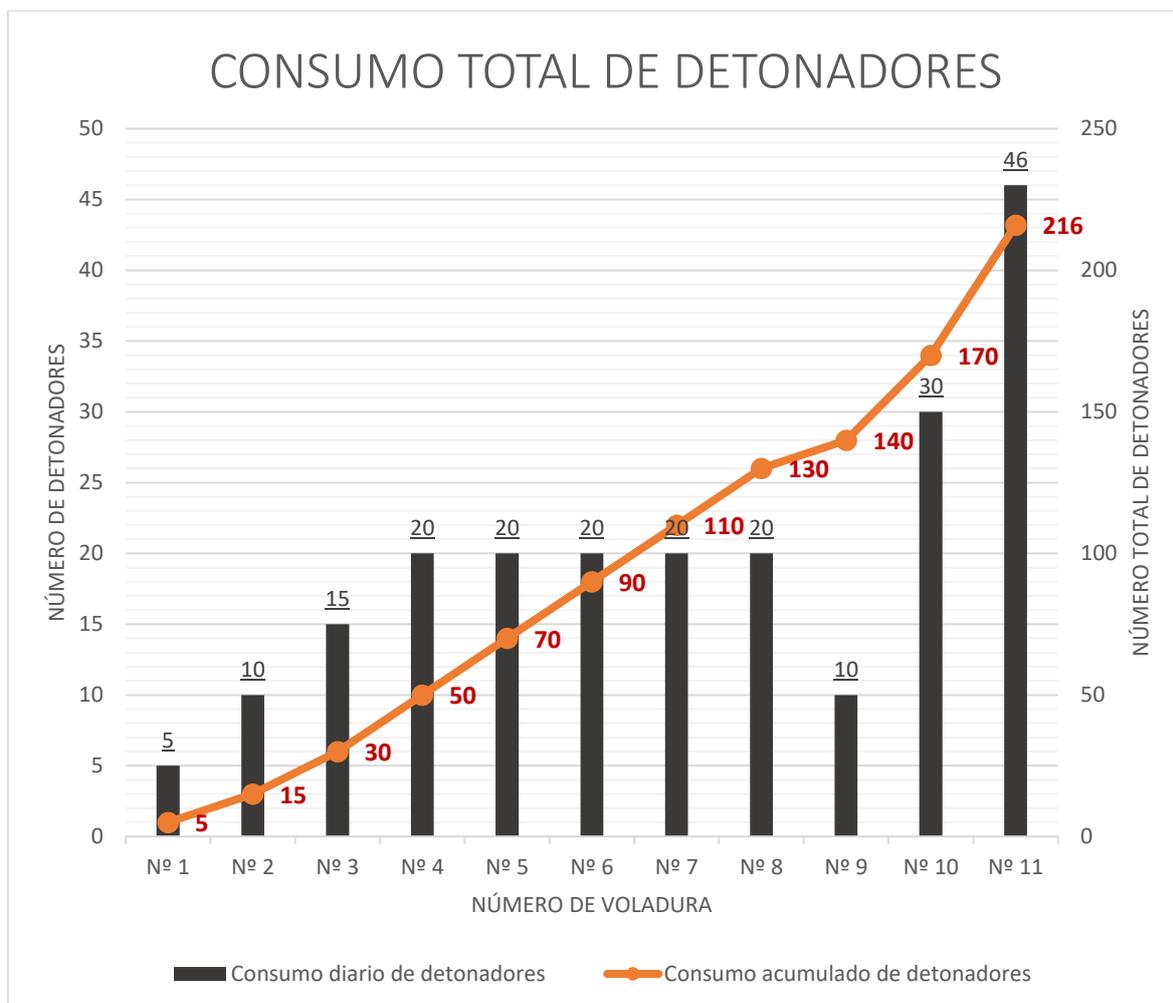


Figura 48. Resumen del consumo de detonadores electrónicos.

Asimismo, durante el levantamiento de resultados de cada voladura realizada se evaluaron los siguientes indicadores claves para la medición de los beneficios y rendimiento de los equipos electrónicos:

#### 3. 7. 1. 1 *Eventos de seguridad.*

Para la industria minera son pilares sus trabajadores, por lo cual al término de la jornada laboral todos deben retornar a casa sanos. Por eso, contar con cero eventos de seguridad durante el periodo de pruebas de voladura centralizada garantiza el cumplimiento de unos de los principales beneficios del sistema electrónico. El criterio de evaluación de este KPI se rige según a Tabla 9.

Tabla 9

Criterio de evaluación de Eventos de seguridad.

CRITERIO	EVALUACIÓN
Cero (0)	Excelente
1 o más	Inaceptable

Durante las 9 voladuras centralizadas realizadas se obtuvieron un total de cero eventos de seguridad, por lo que la evaluación de este KPI es “Excelente”. Demostrando el gran beneficio que se puede obtener en cuanto a temas de gestión de seguridad. Se elaboró el siguiente gráfico de los eventos de seguridad ocurridos durante el proyecto.

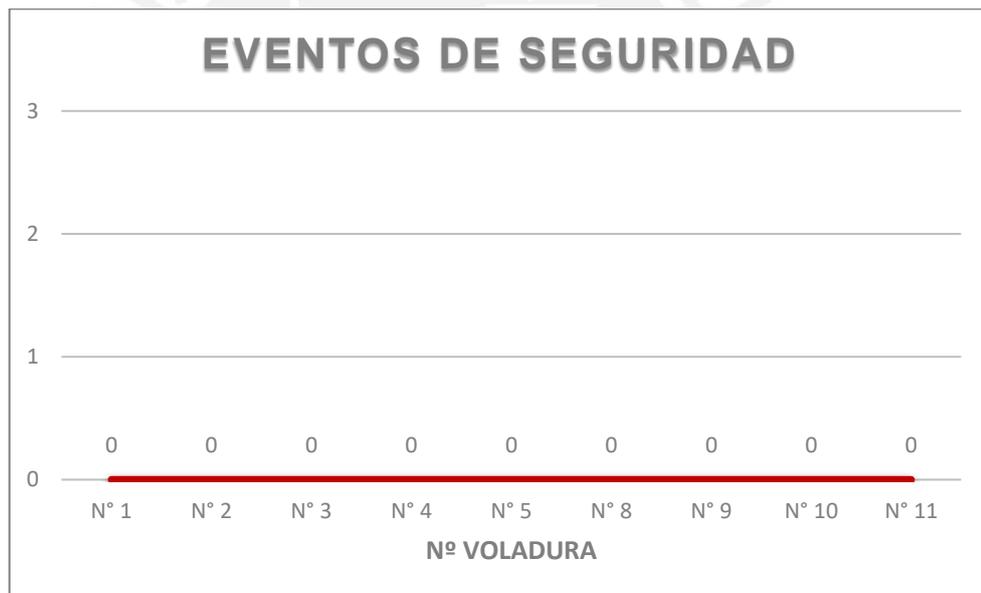


Figura 49. Cuadro de eventos de seguridad.

### 3. 7. 1. 2 Frentes no iniciados por el sistema electrónico.

Se entiende como frente no iniciado por el sistema electrónico a las labores en las cuales se instaló un detonador electrónico para dar inicio la malla de voladura y por problemas relacionados a los equipos de iniciación electrónica o del mismo detonador electrónico, no fueron correctamente iniciados, provocando que de esta

forma dicha malla no se inicie según lo planificado por la operación minera. Es una consecuencia no deseada con un alto riesgo, por lo cual en las operaciones mineras se trabaja para evitar tener este tipo eventos. El criterio de evaluación de dicho KPI se rige bajo la tabla 10.

Tabla 10

Criterio de evaluación de Frentes no iniciados por el sistema electrónico.

CRITERIO	EVALUACIÓN
Cero (0)	Excelente
1 o más	Inaceptable

Durante las nueve voladuras centralizadas realizadas se obtuvieron un total de cero frentes no iniciados por el sistema electrónico, por lo que la evaluación de este KPI es “Excelente”. Se elaboró el siguiente gráfico.

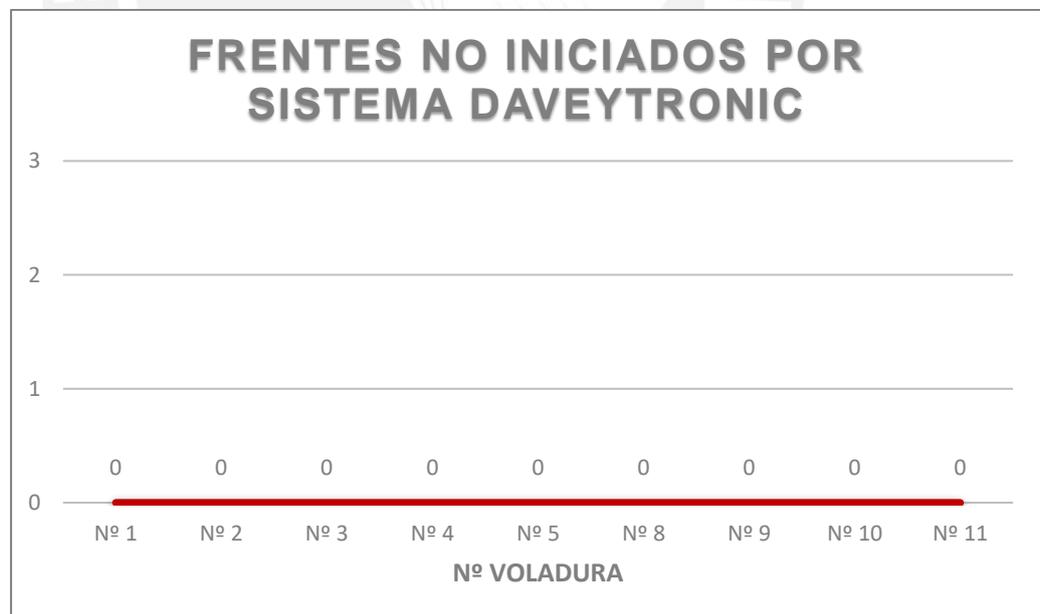


Figura 50. Cuadro de frentes no iniciados.

### 3. 7. 1. 3 Retrasos por voladura.

Se entiende como retraso por voladura al número de veces que se presenta un contratiempo o retraso al momento del disparo programado por operaciones mina. Por lo anterior, se establece como meta durante la etapa de pruebas tener cero retrasos por voladura, siendo estos retrasos ocasionados por una falla presentada en la iniciación de la voladura mediante el sistema electrónico o en el detonador electrónico. El criterio de evaluación de dicho KPI se rige bajo la tabla 11.

Tabla 11

Criterio de evaluación de Retraso por voladura.

CRITERIO	EVALUACIÓN
Cero (0)	Excelente
1 o más	Inaceptable

Se obtuvieron un total de cero retrasos por voladura, por lo que la evaluación de este KPI es “Excelente”. Demostrando el fácil manejo y entendimiento del sistema al momento de programar y realizar el procedimiento de voladura, generando un ahorro significativo de tiempo debido al no tener retrasos al momento de la voladura. Se elaboró la siguiente gráfica de retrasos

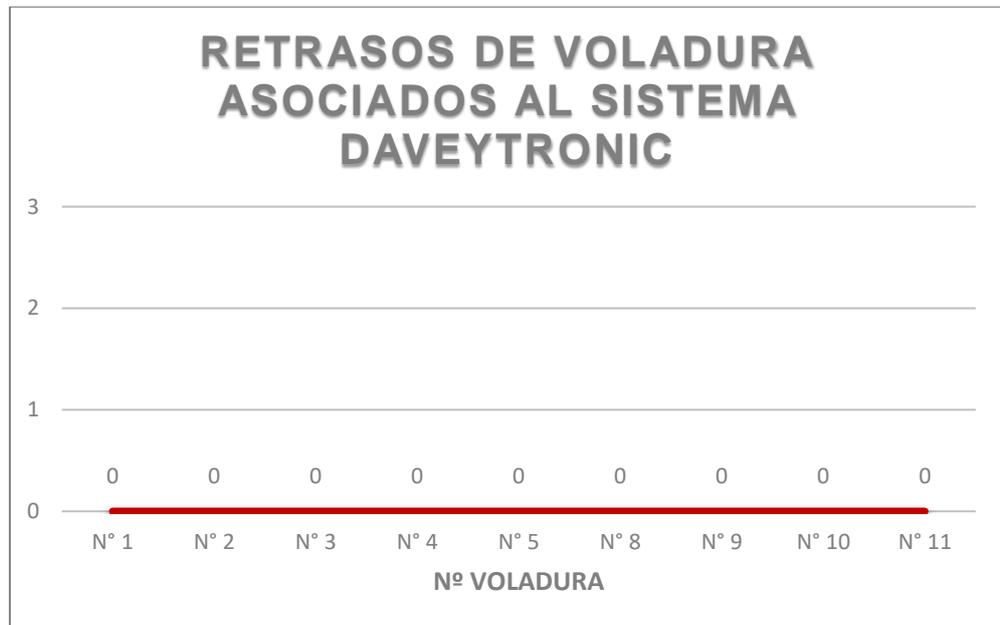


Figura 51. Cuadro de retrasos por voladura.

### 3. 7. 1. 4 Suspensión de voladura.

Se entiende como suspensión de voladura a la cancelación de un disparo programado causada por una falla del sistema de iniciación electrónico o del detonador electrónico. Por lo anterior, se establece como meta durante la etapa de demostración tener cero suspensiones de voladura ocasionadas por una falla en la iniciación de la voladura. El criterio de evaluación de dicho KPI se rige bajo la tabla 12.

Tabla 12

Criterio de evaluación de Suspensión de voladura.

CRITERIO	EVALUACIÓN
Cero (0)	Excelente
1 o más	Inaceptable

Durante las 9 voladuras centralizadas realizadas se obtuvieron un total de cero suspensiones por voladura, por lo que la evaluación de este KPI es “Excelente”. Demostrando la alta confiabilidad que ofrece el sistema electrónico en cuanto a su funcionamiento. Se elaboró la siguiente gráfica de suspensiones por voladura durante el proyecto piloto.

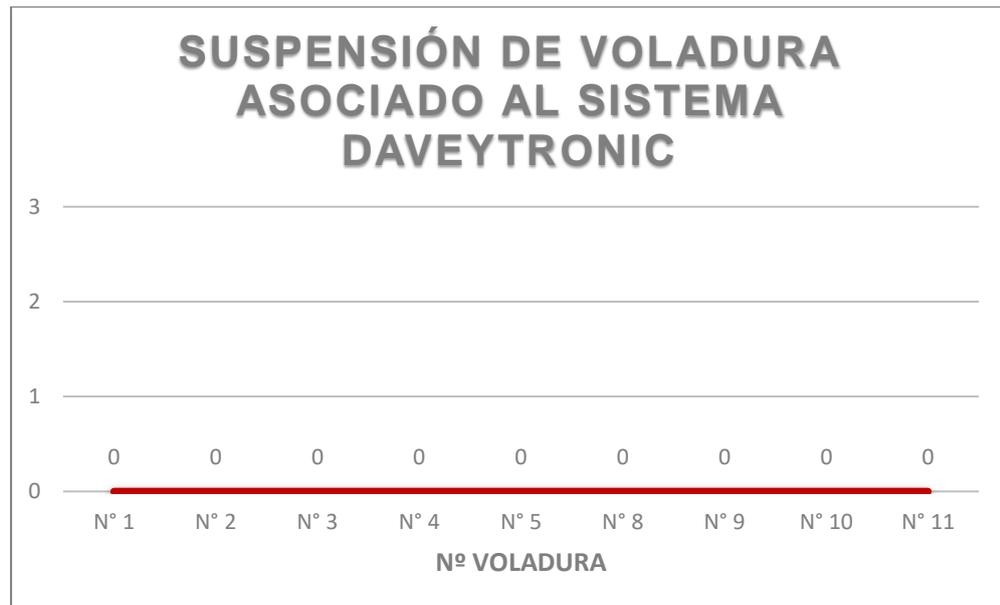


Figura 52. Cuadro de suspensiones de voladuras.

### 3. 7. 1. 5 *Numero de labores iniciadas por Voladura Centralizada.*

Para la medición de este KPI se consideraría tanto el número de labores iniciadas como el consumo de detonadores iniciados en total por el sistema de iniciación electrónica, cabe resaltar que durante el desarrollo de las pruebas la disponibilidad de labores a iniciar dependía de la coordinación y planificación con los representantes de las zonas de pruebas, por lo cual tanto el número de labores y detonadores fue incrementándose en cada voladura llegando a consumir hasta 46 detonadores en la última voladura.

El criterio de evaluación definido para este KPI es demostrar que la cantidad de detonadores a iniciar sea mayor que el total de voladuras por guardia que realiza normalmente la operación. Este total se encuentra alrededor de las 20 voladuras; sin embargo, la disposición de detonadores fue incrementando a medida que se tenía más disponibilidad de zonas de frentes de pruebas, por lo que el número de detonadores fue incrementando llegando a disparar en ambas zonas de prueba.

*Tabla 13*

*Total de labores simuladas por cada voladura realizada.*

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

Se elaboró la siguiente gráfica del total de labores iniciadas por cada día de disparo, así como la cantidad de detonadores utilizados.

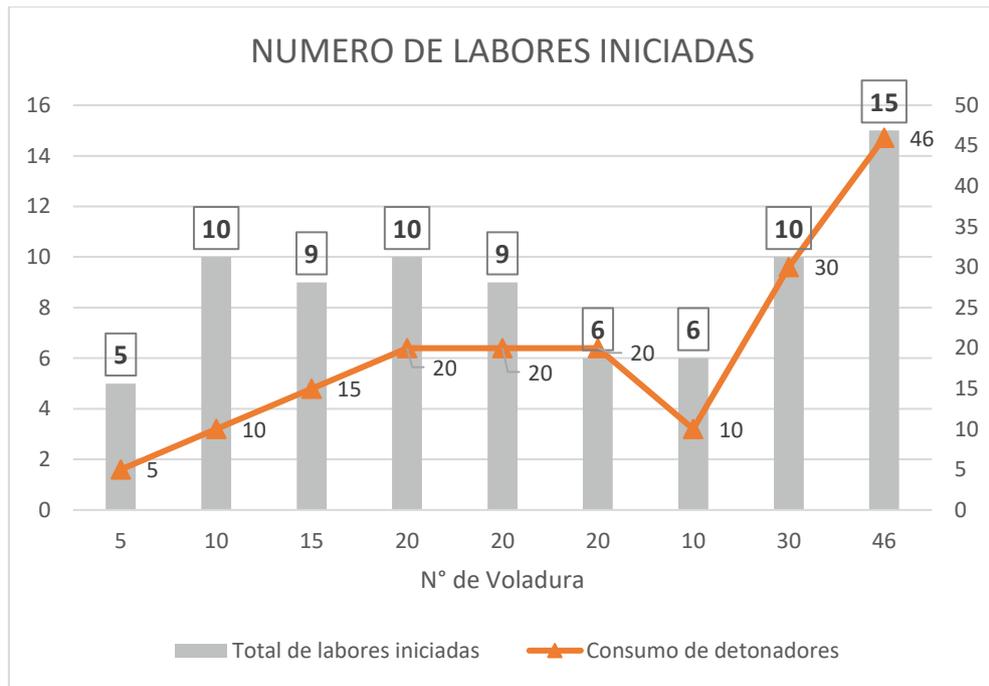


Figura 53. Total de labores iniciadas y consumo de detonadores por labor.

### 3. 7. 1. 6 Validación de la modalidad multi-disparo.

Se entiende como modalidad multi-disparo a la condición de realizar una voladura remota en ambas zonas de pruebas, usando los dos módems cases esclavos al mismo tiempo. Dicha funcionalidad se validaría considerando el desarrollo de una voladura exitosa en ambas zonas y el criterio de evaluación sería el siguiente:

Tabla 14

Criterio de Validación de la modalidad multi-disparo.

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

Durante el desarrollo de las pruebas de voladura centralizada ase realizaron tres voladuras en forma remota multi-disparo, las cuales se detallan a continuación:

*Tabla 15*

*Resumen de las voladuras iniciadas por el sistema Onetouch Multiblast.*

N° VOLADURA	FECHA	TIPO DE VOLADURA	ZONAS DE VOLADURA	LABORES INICIADAS	LABORES SIMULADAS	TOTAL DE LABORES INICIADAS	CONSUMO TOTAL DE DETONADORES
N° 9	31/08/2021	ONETOUCH	PROSPERIDAD SALVADORA	2	4	6	10
N° 10	01/09/2021	ONETOUCH	PROSPERIDAD SALVADORA	5	5	10	30
N° 11	02/09/2021	ONETOUCH	PROSPERIDAD SALVADORA	6	9	15	46

En los tres disparos ejecutados no se tuvo complicación y el desarrollo de estos fue dentro del horario de voladura programada por la unidad minera. El tipo de voladura realizado fue Onetouch Multiblast, es decir que con un solo presionar una vez el botón de CARGA y DISPARO se iniciaron los detonadores colocados en ambas zonas y al mismo tiempo. Teniendo en cuenta dichos resultados y el criterio de evaluación señalado, se considera que el resultado de este KPI para ambas voladuras multi-disparo es de excelencia.

### 3. 7. 2 Análisis en temas de seguridad.

En el marco de los Protocolos de Peligros Mortales – Explosivos y Voladuras (PPM 10), se tiene identificado como un principal control crítico preventivo la implementación de detonadores electrónicos para la iniciación de la malla pirotécnica utilizando una voladura remota, esto debido a la necesidad de reforzar dos controles existentes como lo son el formato físico de secuenciamiento de Chispeo y Voladura y el control a tiempo real del personal que ingresa a interior mina o. Las causas de una exposición a una detonación no controlada de explosivos son dos: Desvío en el secuenciamiento de chispeo en labores cercanas y exposición del personal necesario para el chispeo, ambas involucran la presencia de personal al interior mina y una fuente de comunicación continua.

Con la implementación de detonadores electrónicos para voladura remota, se busca eliminar la posibilidad de detonación prematura con personal expuesto en interior mina, cualquier evento que ocasione desvíos en el secuenciamiento de chispeo y la exposición del personal necesario para el chispeo. Al implementar una iniciación remota desde superficie se tendría un mejor control a tiempo real del personal al momento de la voladura ya que el procedimiento de voladura electrónica inicia cuando se tiene a todo el personal fuera del radio de influencia de los disparos (eliminación de los vigías en los puntos de voladura). Otro punto importante son las características que brinda un detonador electrónico, como por ejemplo la robustez de su cápsula de cobre y protección (resina) del módulo electrónico ante presiones dinámicas de taladros colindantes, sistema de monitoreo continuo durante todo el proceso de iniciación de los detonadores lo que permite reportar cualquier anomalía que sufra el detonador, el diseño del módulo electrónico de doble condensador esto permite que la energía para programación e iniciación sean almacenadas en separado, inmunidad a EMI

(Electromagnetic Interference) o RFI (Radio Frequency Interference), entre otros. Además de la seguridad que brindan los equipos de operación (DRB2 y DBD) como son las tarjetas RFID que son las únicas que permiten ejecutar el procedimiento de voladura (tests y disparos). Todo ello permite eliminar cualquier iniciación intempestiva del detonador y por consecuencia la malla de voladura, con ello la probabilidad de que ocurra un evento de categoría 5 (catastrófico) es de 0%.

En la siguiente tabla se observa un BOW TIE del procedimiento de voladura modificado por el uso de detonadores electrónicos para la iniciación de la malla pirotécnica como solución a la EXPOSICION A UNA DETONACION NO CONTROLADA DE EXPLOSIVOS.

CAUSA			CONTROL PREVENTIVO			CONTROL CRÍTICO PREVENTIVO			EVENTO TOP		
Desvíos en el secuenciamiento de chispeo de labores cercanas			Formato de secuenciamiento de Chispeo y Voladura			Implementación de detonadores electrónicos para voladura remota			PMC - Potential Maximum Consequence		
Exposición de personal necesario para el chispeo			Control de personal en interior mina a tiempo real - TESEO						Categoría 5		
									Salud y Seguridad		
									CRL - Current Risk Level		
									Importante D - Improbable 14 (M)		
									Salud y Seguridad		
									EXPOSICIÓN A UNA DETONACIÓN NO CONTROLADA DE EXPLOSIVOS		
									Labores en conexión, labores cercanas, tajeos, labores en desarrollo y producción, chimeneas, voladura secundaria		

Figura 54. Controles preventivos para el chispeo manual.

Tomado del Área de Seguridad Andaychagua

### 3. 7. 3 Análisis en temas de productividad.

En temas de producción se genera un ahorro considerable en el tiempo de reingreso del personal después de efectuado el disparo, debido a que la iniciación se realizada de manera remota, sin la necesidad de estar en el frente para la iniciación, eliminándose todo tipo de personal en interior mina, como es el caso de los vigías y las personas que chispean el frente. A continuación, se explicará los tiempos requeridos para realizar una voladura convencional en comparación a una voladura iniciada de manera remota desde superficie resaltando el tiempo ahorrado como un beneficio en horas/hombre que se generaría. Se elaboró una tabla del procedimiento convencional de voladura, utilizando el chispeo manual y una tabla del procedimiento de una voladura electrónica remota.

*Tabla 16*

*Procedimiento convencional de voladura.*

<b>HORARIO</b>	<b>ACTIVIDAD</b>
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

Tabla 17

Procedimiento de voladura electrónica remota.

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

Como se observa, implementando una “Voladura Centralizada” se disminuye el tiempo de reingreso del personal de la guardia entrante hasta un máximo de 25 minutos. Al realizar la voladura en modo Multiblast, el procedimiento de carga y fuego se repiten para cargar los detonadores de cada zona independientemente.

Para el caso de las pruebas, cuando se necesitaba iniciar dos zonas de maneras simultaneas, se empleó el sistema de iniciación inalámbrica en modo Onetouch. Este modo basa su valor en la simplicidad, el cual le permitía realizar el procedimiento de voladura de todas sus zonas mediante un solo comando de carga y fuego.

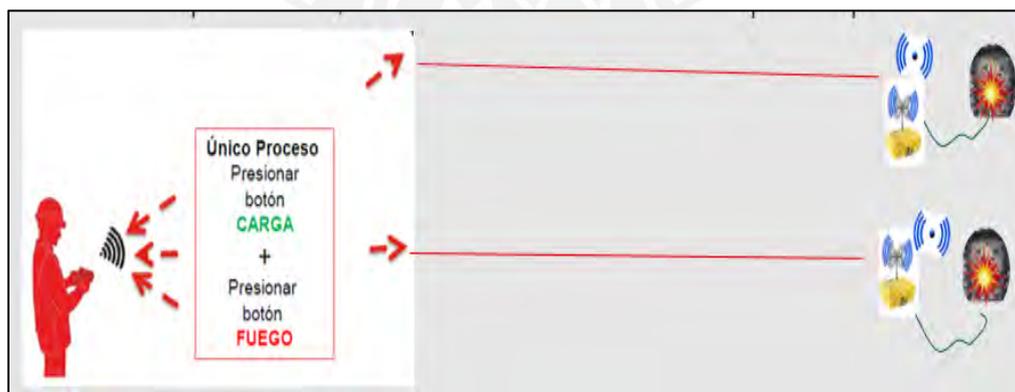


Figura 55. Procedimiento de voladura con modo Onetouch Multiblast.

Tomado de Informe de Voladura Centralizada ENAEX.

Además de la simplicidad en su uso, este modo de disparo inalámbrico genera un mayor ahorro en tiempo de reingreso del personal. Se genera un ahorro de dos a cinco minutos por cada zona iniciada, debido a que el modo Onetouch permite cargar los detonadores y el disparo presionando solamente un botón de “CARGA” y “FUEGO”. Se elaboró la siguiente tabla del procedimiento de voladura electrónica Multiblast Onetouch.

*Tabla 18*

*Procedimiento de voladura electrónica remota Multiblast Onetouch.*

<b>HORARIO</b>	<b>ACTIVIDAD</b>
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

En conclusión, se obtiene un ahorro máximo de 25 minutos, en modo Multiblast, empleando detonadores electrónicos iniciados desde superficie. Adicional, se puede obtener un ahorro de 2 a 5 minutos por zona iniciada de manera simultánea utilizando el modo Onetouch, teniendo un total máximo de 30 minutos. Este ahorro en tiempo se puede ver reflejado en el aumento de horas – hombre y horas – máquina para las actividades de carguío y acarreo, así como la disposición de personal para realizar otras actividades secundarias.

### 3. 7. 4 Análisis en temas de costos.

Para realizar el análisis en temas de costos se comparó el margen de cuánto costaría implementar una voladura centralizada, así como el costo anual, comparándolo con el ahorro en cuanto a temas de producción, analizados con anterioridad, por la ampliación de horas laborables al día. A continuación, se muestra el cronograma de horario de trabajo con el procedimiento estándar de chispeo y voladura; y la voladura centralizada.

Tabla 19

Cronograma de horario de trabajo.

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

Como se observa en el análisis realizado para una guardia (guardia día), se tiene un ahorro, en temas de horario laborable, de 1 hora y 15 minutos aproximadamente, en donde se obtendría 45 minutos generados por la eliminación de la movilización de vigías, permitiendo culminar las labores a las 5:00 a.m. / p.m., y 30 minutos generados propiamente del procedimiento de voladura con detonadores electrónicos. Este ahorro en tiempos se ve reflejado en los costos de dólares por hora (\$/hr) de los equipos involucrados en las principales actividades (perforación, carguío y acarreo) de las zonas

establecidas para el procedimiento de voladura centralizada, ya que se da un aumento en la disponibilidad mecánica de los equipos. En la siguiente tabla se observa los equipos, disponibilidad mecánica, total de horas y los costos.

Tabla 20

Ahorro total generado por la implementación de voladura centralizada.

Equipos	DispMec (%)	Utiliz (%)	Días programados	Horas adicionales por mes (+1.25h/ guardia)	PU \$/h.mes	Total US\$/mes
<b>EQR-EMPERNADOR</b>	80.3%	18.9%	<b>120</b>	<b>49.85</b>		<b>2,501</b>
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
<b>EQR-JUMBO</b>	84.2%	13.5%	<b>150</b>	<b>43.09</b>		<b>2,018</b>
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
<b>EQR-SIMBA</b>	85.1%	25.8%	<b>120</b>	<b>68.61</b>		<b>3,831</b>
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
<b>EQR-CABLE BOLTING</b>	87.3%	8.0%	<b>90</b>	<b>90.00</b>		<b>311</b>
JUM-0500-YA	87.3%	8.0%	30	5.25	59	311
<b>EQR-SCOOP</b>	93.5%	38.9%	<b>180</b>	<b>163.58</b>		<b>11,969</b>
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
<b>EQR-DESATADOR</b>	95.0%	12.7%	<b>120</b>	<b>35.63</b>		<b>1,360</b>
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
<b>EQR-UTILITARIO</b>	94.6%	20.0%	<b>60</b>	<b>28.39</b>		<b>696</b>
PLA-0014-YA	94.0%	25.0%	30	17.62	25	432
PLA-0015-YA	95.3%	15.1%	30	10.77	25	264
<b>Total</b>	<b>88.8%</b>	<b>23.3%</b>	<b>840</b>	<b>479</b>		<b>22,684</b>

En la tabla 20 se observa los equipos utilizados en la operación, así como la disponibilidad mecánica de cada equipo y el porcentaje de utilización. Teniendo estos datos y la hora y media extra por el uso de la iniciación electrónica, los costos por hora y los días al mes, se obtiene el ahorro total del mes por cada equipo en dólares con un total 22,684 \$/mes.

*Tabla 21*

*Ahorro mensual y anual en dólares americanos.*

<b>Ahorro Mensual (\$)</b>	<b>22,684</b>
<b>Ahorro Anual (\$)</b>	<b>272,213</b>

Una vez que se tiene analizado los ahorros que generaría la implementación de la voladura centralizada, se realiza un análisis del costo, tanto de implementación del cable M35 en las labores principales, como de consumo por disparo de dicho cable, detonadores electrónicos mensuales, así como el alquiler de los equipos electrónicos de iniciación remota. En la implementación solo se tendría en cuenta el uso del cable M35 para la instalación por las rampas principales y laboreos de las zonas a implementarse. A continuación, se muestra un resumen del cable de disparo permanente a utilizarse en una implementación y los costos asociados.

Tabla 22

Costos de implementación del cable de disparo permanente.

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	
3	1350 1400	Salvadora	H	1324,4
			I	
			J	
4	1250	Prosperidad I	K	225,5
			L	
5	1300 1350	Prosperidad Techo	M	1863,4
			N	
			O	
			P	
7	1250	Prosperidad Techo-Vanesa	Q	595,1
			R	
			S	
8	900	Prosperidad Este	T	572
			U	
			V	
			W	
<b>TOTAL</b>			<b>23</b>	<b>6233,7</b>

Tabla 23

Costo del cable de disparo permanente.

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

En la Tabla 23 se observa el consumo del cable de disparo permanente, el precio unitario por metro de cable y el costo anual de implementación.

El costo anual se da en la reposición de cable de disparo por cada voladura (15 metros por disparo), el alquiler de los equipos de voladura centralizada, los detonadores electrónicos y el personal encargado para realizar la voladura.

*Tabla 24*

*Costo anual en la reposición de cable de disparo por voladura.*

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

*Tabla 25*

*Costo anual en el 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

Para el tema de los equipos, se tendrían 8 modems esclavos y 1 modem maestro, los cuales cumplirían con la demanda de las 8 zonas de voladura, mientras que para el personal se contaría con 2 personas encargadas de realizar todo el procedimiento de voladura.

*Tabla 26*

*Costo anual del alquiler de los equipos de iniciación electrónica y personal encargado.*

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

Según los cálculos realizados se tendrían un costo anual de \$ 238,476, sin embargo, el primer año sería de \$ 239,785 al incluirse el tema de la implementación, lo cual se resumen en la Tabla 27.

Tabla 27

Costos anuales asociados a la implementación total y en los años posteriores.

Descripción	Año de implementación	Años siguientes
Cabla de disparo permanente	\$1,309	0
Cable de disparo reposicion	\$15,876	\$15,876
Detonador electronico	\$88,200	\$88,200
Alquiler de equipos	\$86,400	\$86,400
Personal	\$48,000	\$48,000
<b>Total</b>	<b>\$239,785</b>	<b>\$238,476</b>

Finalmente, al implementar una “Voladura Centralizada” se generaría un ahorro anual (\$) de 32,428 en el primer año de implementación, mientras que en los siguientes años el monto ahorrado (\$) sería de 33,737.

Tabla 28

Margen de ahorro con la implementación de una “Voladura Centralizada”.

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

## 4. CAPÍTULO IV: Conclusiones y recomendaciones

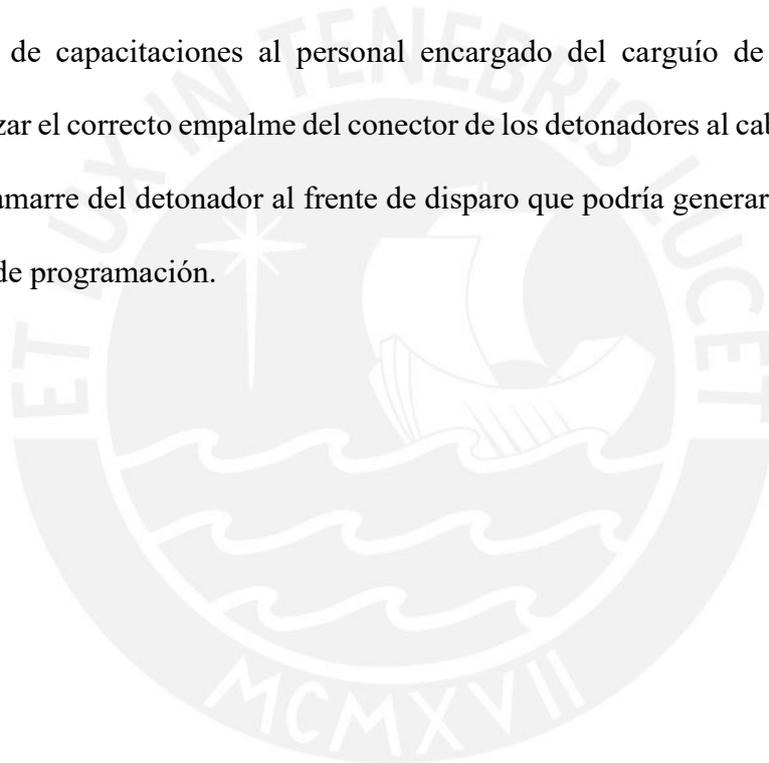
### 4.1 Conclusiones

- Se mejoró el sistema de gestión de seguridad de la minera; eliminando la presencia de los trabajadores en interior mina en el inicio al procedimiento de voladura, lo que engloba no requerir de vigías y personal en cada labor para la iniciación de la mecha pirotécnica de seguridad.
- Se demostró la confiabilidad y seguridad del sistema de iniciación electrónica y del detonador electrónico. Para el sistema de iniciación 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, mientras que el detonador electrónico cuenta con dos condensadores separados, alta resistencia a la presión dinámica y EMP, entre otros.
- Se demostró la gran capacidad del sistema de iniciación electrónica, realizando disparos en dos zonas de voladura de manera simultánea, tanto en tajos como en frentes, con un total de más de 45 detonadores iniciados de forma remota, abarcando el número de labores máximas a ser iniciadas en una guardia (20 disparos por guardia).
- Se demostró el rápido funcionamiento del sistema de iniciación electrónica, así como su fácil manejo, generando en el operador una rápida adaptabilidad a los equipos de programación y de disparo, así como la fácil conexión de los detonadores electrónicos a la línea de disparo, eliminando los retrasos de voladura por temas operativos con este sistema.

- Se analizaron los beneficios que conlleva la implementación de un sistema de voladura remota, brindando un incremento en las horas de trabajo de los equipos involucrados en la perforación, carguío y acarreo, lo que conlleva al incremento de la disponibilidad mecánica, eliminando el tiempo dedicado a la distribución de vigías y personal de chispeo, así como la reducción propiamente del procedimiento de voladura. Estos valores de ahorros fueron llevados a \$/año y se compararon con los costos de implementación, generando un ahorro de aproximadamente \$ 33,000 al año.
- Se demostró que el sistema de iniciación electrónico es compatible con el sistema de comunicación en interior mina, Leaky Feeder, funcionando de manera correcta la comunicación bidireccional entre las unidades esclavas (interior mina) y la unidad maestra (superficie), realizando las voladuras remotas desde un lugar seguro en superficie.
- Se demostró la robustez del sistema de iniciación electrónica, cumpliendo con excelentes resultados los KPI's establecidos al inicio como, por ejemplo, cero retrasos de voladura, cero suspensiones de voladura, entre otros, estos con la finalidad de medir el rendimiento de los equipos.
- Se demostró que, ante cualquier pérdida de señal de comunicación, producto de algún corte o mal funcionamiento de la red Leaky Feeder, se pueden efectuar los disparos de manera alámbrica (un solo operador en interior mina, disparando desde un lugar seguro), sin generar algún retraso de la voladura o suspensión de esta.

## 4.2 Recomendaciones

- Se recomienda la implementación de un cable más reforzado para la instalación de las líneas troncales, esto debido al dinamismo operacional generado por el tránsito de equipos pesado y lanzamiento de shotcrete, que afectan directamente a la condición del cable, instalación de tuberías, entre otros. Este cable más robusto reduciría considerablemente las fugas o cortes que se podrían ocasionar por los casos anteriormente mencionados.
- Realización de capacitaciones al personal encargado del carguío de frentes para que puedan realizar el correcto empalme del conector de los detonadores al cable M35, así como un correcto amarre del detonador al frente de disparo que podría generar una reducción en los tiempos de programación.



### 4.3 Bibliografía

- 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 7.
- Badillo, G. (2013). *Las telecomunicaciones y sus desafíos en la minería subterránea*. Material del congreso Iberoamericano de Minería Sustentable. Santiago - Chile: Universidad Andrés Bello.
- Berrosipi, V. (2019). Optimización de la perforación y voladura para mejorar la zona de profundización en mina Andaychagua de la Cía. minera Volcan S.A.A. Tesis para optar por el título profesional de Ingeniero de minas. Cerro de Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion, Escuela de formación profesional de Ingeniería de Minas.
- Chen, M. & Zhang J. (2021). *The Application of WiFi 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.
- Cisco Systems Inc. (2002). *Cisco Networking Academy Program: First-Year Companion Guide Second Edition*. Indianapolis: Cisco Press.
- 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 electronicos para elevar los índices de producción [Informe].
- ENAEEX. (2015). *Manual de Tronadura ENAEEX S.A.* Santiago de Chile.
- ENAEEX. (2018). *Manual User - Davey Bickford* .
- ENAEEX. (2021). *Pruebas de Voladura Centralizada Unidad MInera Andaychagua*. Lima.
- Errazuris, E. (2022). Sistemas Redundantes SIGMA Telecom [Material de Exposicion]. SIGMA Telecom.
- EXSA S.A. (2021). *Manual practico 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.oitcenterfor.org/sites/default/files/salud\\_seg\\_mineria.pdf](https://www.oitcenterfor.org/sites/default/files/salud_seg_mineria.pdf)
- Fundamentos sobre explosivos (s.f.). Disponible 10 de junio de 2022, de <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.
- Hummel, D., & Reinders, P. (2004). *A New Digital Centralized Blasting System*. International Society of Explosives Engineers .
- Institute of Makers of Explosives (IME). (2017). *Electronic Blast Initiation Systems (EBIS) Guideline*.

Instituto de Seguridad Minera (2012). *Aplicación del sistema electrónico eDevTM en voladuras subterráneas*. SEGURIDAD MINERA. Lima, 2012, número 95, pp. 48 – 52.

Ivanov, A. & Molochkova, V. (2011). *The future of the detonator*. ISKRA Novosibirsk Mechanical Plant, JSC. Russia.

Konya, C., & Albarrán, E. (1990). *Manual Konya*. Madrid.

Ministerio de Energía y Minas (MINEM) (2017). Decreto Supremo N.º 023 – 2017 - EM.  
Lima, 18 de agosto.

Pernia J., Ortiz F. López C., López E. (2003). *Manual de Perforación y Voladura de Rocas*. Madrid:  
Instituto Geológico y Minero de España

Ramirez, 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.

*Sistemas de comunicación para minería subterránea*. Consulta: 24 de abril de 2022.

[https://es.wikibooks.org/wiki/Sistemas\\_de\\_comunicaci%C3%B3n\\_para\\_miner%C3%ADa\\_subter%C3%A1nea](https://es.wikibooks.org/wiki/Sistemas_de_comunicaci%C3%B3n_para_miner%C3%ADa_subter%C3%A1nea)

VOLCAN COMPAÑÍA MINERA S.A.A. (2021). *Ampliación de cobertura de radio Tetra 17 KM - Andaychagua - Sin redundancia*. Lima.

#### 4.4 Anexos

##### Anexo A

El detonador electrónico DAVEYTRONIC EVOLUTION se diferencia en el mercado por poseer ciertas características que lo hacen más seguro al momento del procedimiento de voladura.

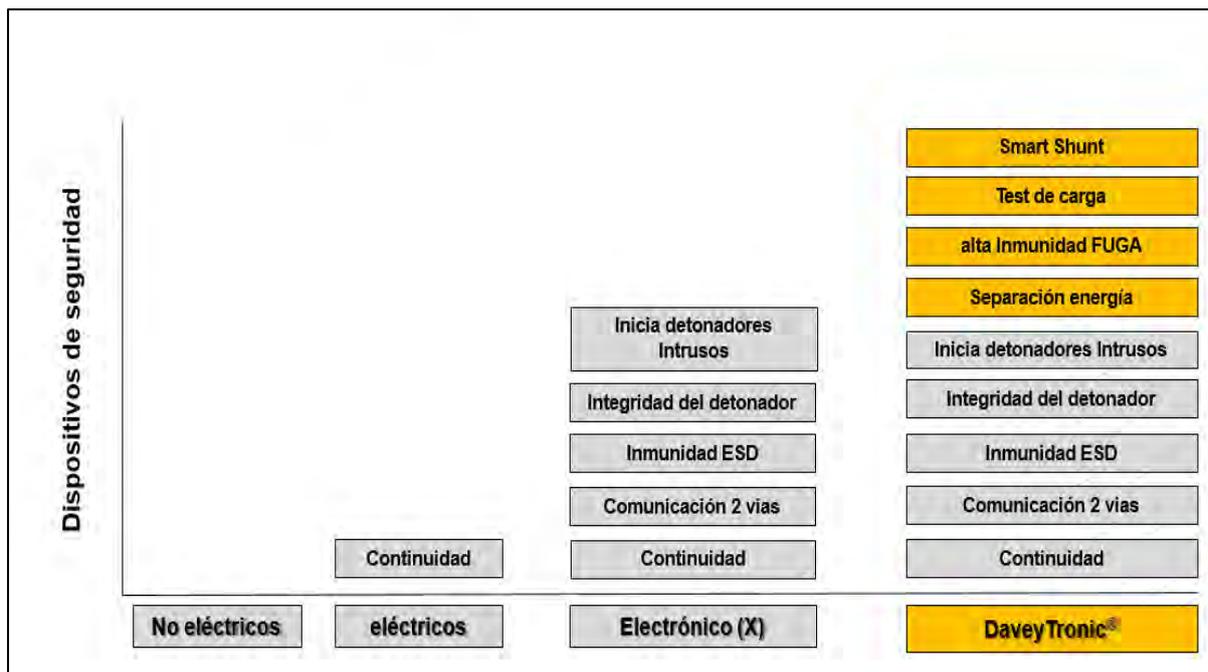


Figura 56. Características del detonador Daveytronic en temas de seguridad.

Tomado del Manual de Voladura ENAEX PERÚ

## Anexo B

A continuación se muestra un diagrama general de trabajo y como se vería la tipología de operación de iniciación electrónica.

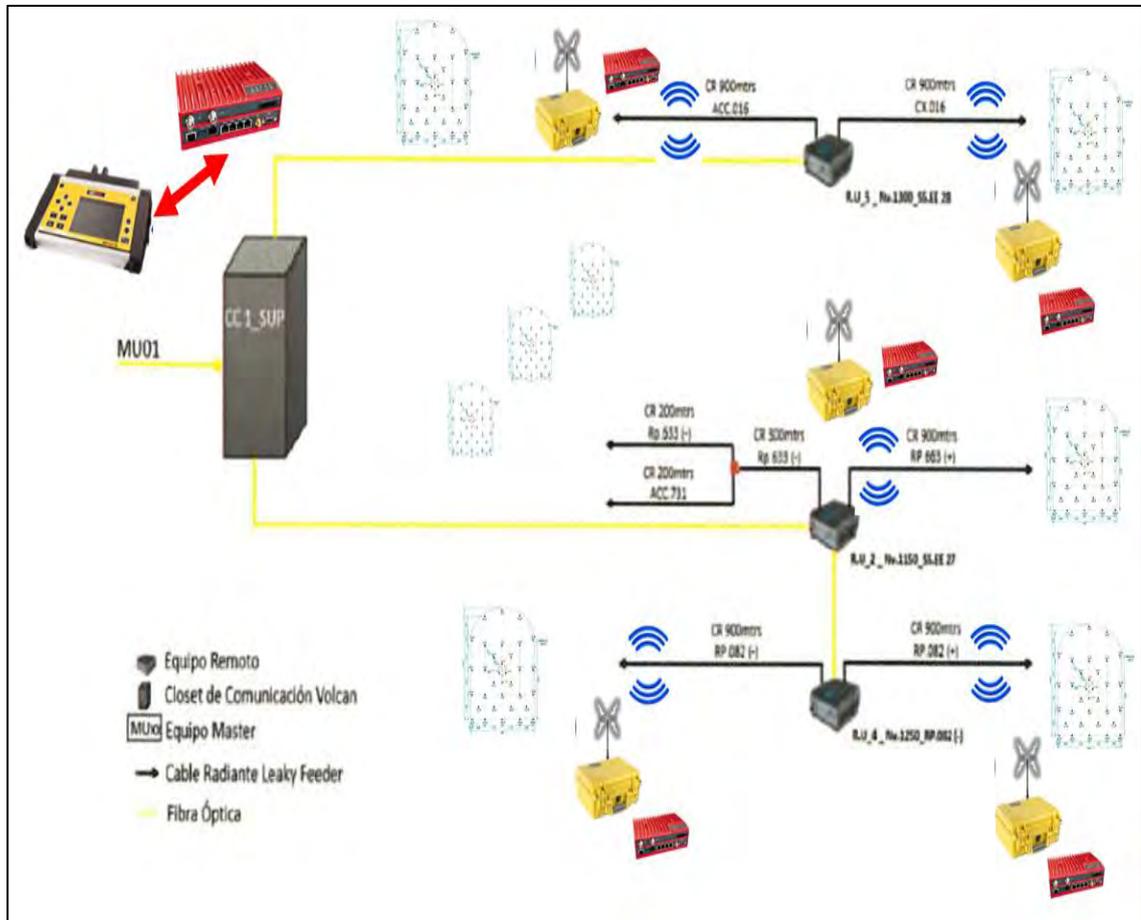


Figura 57. Topología de operación del sistema de iniciación remoto.

Tomado del Informe de Voladura Centralizada ENAEX

## Anexo C

La siguiente tabla muestra un resumen de las fechas de voladura, las labores en donde se llevaron a cabo y el número de detonadores empleados en la zona SALVADORA.

*Tabla 29*

*Resumen de las fechas de voladura con el número de detonadores por labor.*

FECHA	TURNO	ZONA	NIVEL	LABOR	Nº DETONADORES
23/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	BP 503 S	1
23/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	BP 503 N	1
23/08/2021	DÍA	SALVADORA	1350	CA 54	1
23/08/2021	DÍA	SALVADORA	1350	CA 56	1
23/08/2021	DÍA	SALVADORA	1350	CA 8	1
24/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	BP 503 S	1
24/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	BP 503 N	1
24/08/2021	DÍA	SALVADORA	1350	CA 54	1
24/08/2021	DÍA	SALVADORA	1350	CA 56	1
24/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 8	2
24/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	XC 1400	2
24/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CAV 639	2
25/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	RP 315	2
25/08/2021	DÍA	SALVADORA	1350	CA 22	3
25/08/2021	DÍA	SALVADORA	1350	CA 4	1
25/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 6	1
25/08/2021	DÍA	SALVADORA	1350	CA 54	1
25/08/2021	DÍA	SALVADORA	1350	CA 56	4
25/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	BP 503 S	1
25/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	BP 503 N	1
25/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	XC 1400	1
26/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	BP 503 N	1
26/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	BP 503 S	1
26/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CAV 639	1
26/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	RP 315	1
26/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	XC 1400	1
26/08/2021	DÍA	SALVADORA	1350	CA 56	3
26/08/2021	DÍA	SALVADORA	1350	CA 6	4
26/08/2021	DÍA	SALVADORA	1350	CA 4	4

26/08/2021	DÍA	SALVADORA	1325	BP 1325	3
26/08/2021	DÍA	SALVADORA	1350	CAV 317	1
27/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	RP 315	1
27/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 56	1
27/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 54	3
27/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CAV 317	1
27/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 5	3
27/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 6	3
27/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 639	3
27/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	XC 1400	3
27/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 22	2
28/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 644	1
28/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 22	1
28/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 54	3
28/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 56	3
28/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	RP 315	2
28/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 639	1
28/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 5	3
28/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 6	3
28/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 9	3
29/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CAV 317	1
29/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	RP 315	1
29/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 56	1
29/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 5	4
29/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 6	4
29/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	XC 1400	3
29/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	BP 503 S	3
29/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA B503	3
30/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 56	1
30/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 5	4
30/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 6	4
30/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	XC 1400	4
30/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	BP 503 S	4
30/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CAB 503	3
31/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 24	1
31/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 54	2
31/08/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 6	2

9/01/2021	DÍA	SALVADORA	1400	RP 315	3
9/01/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 54	3
9/01/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 644	3
9/01/2021	DÍA	SALVADORA	1400	XC 1400	2
9/01/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 22	2
9/01/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 6	2
9/02/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 644	3
9/02/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 54	3
9/02/2021	DÍA	SALVADORA	1325	CA 131	3
9/02/2021	DÍA	SALVADORA	1400	RP 315	3
9/02/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CAV 639	3
9/02/2021	DÍA	SALVADORA	1400	XC 1400	2
9/02/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 22	2
9/02/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 6	2
9/02/2021	DÍA	SALVADORA	1400	CA 8	2



## Anexo D

La siguiente tabla muestra un resumen de las fechas de voladura, las labores en donde se llevaron a cabo y el número de detonadores empleados en la zona ANDAYCHAGUA – VETA ADRIANA.

Tabla 30

Resumen de las fechas de voladura con el número de detonadores por labor.

FECHA	TURNO	ZONA	NIVEL	LABOR	Nº DETONADORES
31/08/2021	DÍA	ANDAYCHAGUA	1400	BP 1400	1
31/08/2021	DÍA	ANDAYCHAGUA	1300	BR 079	2
31/08/2021	DÍA	ANDAYCHAGUA	1300	TJ 500	2
9/01/2021	DÍA	ANDAYCHAGUA	1400	CA 24	4
9/01/2021	DÍA	ANDAYCHAGUA	1300	SN 314	4
9/01/2021	DÍA	ANDAYCHAGUA	1300	BR 079	4
9/01/2021	DÍA	ANDAYCHAGUA	1300	TJ 500	3
9/02/2021	DÍA	ANDAYCHAGUA	1400	CA 24	4
9/02/2021	DÍA	ANDAYCHAGUA	1350	ACC 380	4
9/02/2021	DÍA	ANDAYCHAGUA	1300	SN 314	4
9/02/2021	DÍA	ANDAYCHAGUA	1300	BR 079	4
9/02/2021	DÍA	ANDAYCHAGUA	1300	TJ 500	4
9/02/2021	DÍA	ANDAYCHAGUA	1350	ACC 382	3