

**Nilo Armando MAYTA VALLE**

Volcan Compañía Minera S.A.A. – Unidad Andaychagua, Yauli, Junín, (nmayta@volcan.com.pe)

---

## **RESUMEN**

En la mayoría de las minas subterráneas en el Perú, casi en su totalidad por no decir, las voladuras de sus labores son iniciados mediante métodos convencionales, fulminante – Mecha de Seguridad – Conector o conocidas como mechas armadas, lo cual genera un alto nivel de riesgo a la seguridad por exposición al personal durante el chispeo manual, pudiendo ser impactados por voladuras adyacentes, explosión no planificada, ondas de choque, vibraciones, caída de rocas, gaseamiento, etc.

Historialmente en la actividad minera es conocido que muchos de los accidentes mortales suscitados en el Perú y el mundo han sido relacionados directa e indirectamente con la actividad unitaria de voladura.

Para reducir estos riesgos, la Unidad Andaychagua, de Volcan Compañía Minera S.A.A., ha implementado procedimiento de seguridad como controles administrativos, que consisten en reuniones de coordinación donde se confirman los labores a disparar, registro del personal de voladura en su plataforma TESEO (sistema de control de ingreso y salida de personal de interior mina) y evacuación de todo el personal ajeno a la voladura antes del horario de disparo. Sin embargo, este control de seguridad no elimina el riesgo de exposición al personal de voladura, para ello se continuó en la búsqueda de mejorar la seguridad del personal de voladura.

Encontrando en la actualidad, voladuras iniciadas electrónicamente desde superficie, desarrolladas en muchas regiones del mundo, como por ejemplo en Norte América se viene utilizando por más de una década. En donde el sistema se conecta a la infraestructura comunicacional de la mina utilizando las tecnologías disponibles (hilo telefónico, redes LAN, WiFi, Leaky Feeder, LTE) posibilitando gestionar la detonación de todas las voladuras de interior mina desde una estación central ubicada en superficie de manera segura.

En el año 2020, Volcan inicia con este proyecto de voladura centralizada, iniciando primeramente con el mejoramiento de su infraestructura de comunicación en interior mina, para luego en el año 2021 se inician

las pruebas piloto de Voladura Electrónica Centralizada, iniciadas desde superficie. Logrando iniciar con éxito todas las voladuras de interior mina desde la oficina de Perforación y Voladura, demostrando la entrega de beneficios principalmente en materia de seguridad y productividad, las cuales se traducen en beneficios económicos.

## **1. Introducción**

Para entender el desarrollo de las mejoras en seguridad en la actividad unitaria de voladuras de rocas, tenemos que conocer los tipos de voladura en la actividad minera del Perú y conocer los peligros y riesgos que están expuesto los personales que trabajan de forma directa o indirectamente con esta actividad. Para ello es importante diferenciar en los dos métodos de explotación minera, tanto cielo abierto y subterránea.

El logro de esta mejora en seguridad está relacionado con la infraestructura de comunicación que se cuenta o se tiene que implementar en interior mina, para luego desarrollar la aplicación de la iniciación de la voladura electrónica centralizada desde superficie, teniendo como resultado la reducción del riesgo de alto a bajo al no exponer al personal en interior mina, cuando se inician los disparos.

## **2. Tipos de iniciación de voladuras en la actividad minera del Perú.**

### **2.1. Método de explotación a cielo abierto.**

En la minería a cielo abierto el uso de los tipos de iniciadores o detonadores se han ido desarrollando rápidamente a diferencia de la minería subterránea. Es así en los años 1995 al 2000 se desarrollaban el inicio de las pruebas del uso de detonadores electrónicos en las minas a cielo abierto del Perú (Yanacocha, Toquepala de Southern Perú Copper Corporation, Tajo Raúl Rojas en Cerro de Pasco, etc.). Este desarrollo trajo mejoras a la minería tanto en seguridad y producción, alcanzando grandes beneficios que a lo

largo de su desarrollo se han ido masificando en las minas a cielo abierto.

Actualmente en la minería a tajo abierto se utilizan los dos tipos de detonadores; no electrónicos (llamados pirotécnicos) y los detonadores electrónicos. Estos detonadores a su vez pueden ser utilizados independientemente (polígonos en mineral) o mixto (zonas de desmonte y mineral).

### **2.2. Método de explotación subterránea**

En la minería subterránea del Perú de los dos tipos de iniciadores; no electrónicos y electrónicos, la que predomina es el uso de los detonadores no electrónicos (llamados pirotécnicos), pocas minas realizaron las pruebas con detonadores electrónicos y en la actualidad son dos a tres minas que lo utilizan parcialmente, el hecho representa por el alto costo de estos detonadores y que no han sido aprovechados de los grandes beneficios que represente el uso de estos detonadores, empezando por la seguridad y el impacto en la producción.

Los beneficios más resaltantes que se obtienen en la actualidad con el uso de estos detonadores electrónicos es en método de explotación de taladros largos, por el gran volumen de material disparado que representa en la disminución de menor costos en explosivos y accesorios de voladura.

### **3. Peligros y riesgos en los tipos de iniciación de voladuras, según método de explotación en minería.**

Los peligros que representa al iniciar las voladuras se consideran un trabajo de alto riesgo, los accidentes con voladuras de rocas representan en su mayor parte como fatalidades, las frecuencias de caso son menores, sin embargo, su gravedad es mucho mayor, generalmente con consecuencias muy graves que se traducen en fatalidades que afecta al propio colaborador y las demás personas que los rodean.

#### **3.1. Peligros y riesgos en explotación subterránea.**

La iniciación de las voladuras en minería subterránea del Perú está dada casi en su totalidad por voladuras convencionales (mechas de seguridad) y con presencia de personales en interior mina, en algunas minas con presencia solo de personal involucrado en voladura (personal autorizado y con carné Sucamec) y en otras minas que la mayor parte con presencia de todo el personal que opera en la mina.

Estas condiciones presentan los siguientes riesgos potenciales:

- ✓ Personal con riesgo a ser impactado por caída de rocas generado por las vibraciones ocasionadas por la voladura.

- ✓ Personal con riesgo a ser impactado por la proyección de rocas durante la detonación.
- ✓ Personal con riesgo a ser alcanzado por la onda de choque que genera una voladura.
- ✓ Personal con riesgo a ser alcanzado por los gases generados post voladura.
- ✓ Personal con riesgo a la detonación prematura por las malas prácticas en el proceso de chispeo.
- ✓ Iniciación de voladura por una sola persona.
- ✓ Posibilidad de inicio de voladura fuera de horario.

#### **3.2. Peligros y riesgos en explotación a cielo abierto.**

La iniciación de las voladuras en minería a cielo abierto está dada por voladuras electrónicas y voladuras convencionales (pirotécnicas) desde un punto seguro (radio de influencia de 500m), sin embargo, no están asilados de los riesgos potenciales existente:

- ✓ Personal con riesgo a ser alcanzado por desprendimiento de bancos.
- ✓ Personal con riesgo a ser alcanzado por deslizamiento de taludes.
- ✓ Personal con riesgo de inestabilidad por vibraciones excesivas.
- ✓ Personal con riesgo a ser impactado por proyección de rocas volantes.

### **4. Mejoras en seguridad en la actividad unitaria de voladuras en minería.**

Las voladuras en la actividad minera del Perú se vienen desarrollo constante desde la innovación de nuevos productos hasta la mejora constante de una asistencia técnica especializada.

#### **4.1. Mejoras en seguridad en la explotación a cielo abierto.**

Las mejoras en seguridad en la actividad unitaria de voladuras de rocas en los tajos abiertos del Perú se han desarrollado más rápidamente que a diferencia de las minas subterráneas. Es así quedando por una década a más en retraso en las implementaciones de nuevas innovaciones en voladuras de rocas.

Si realizamos una secuencia en el desarrollo de las mejoras en seguridad en la iniciación de voladuras de rocas, podemos decir lo siguiente:

- ✓ Por los años 1920 a 1950 en promedio, las iniciaciones de las voladuras se realizaban taladro por taladro con mechas de seguridad. Exponiendo a peligros y riesgos potenciales que causaron grandes pérdidas humanas.
- ✓ Entre los años 1960 a 1980, ingresan al mercado los detonadores no eléctricos con diferentes tiempos de detonación y los iniciadores

ensamblados, dando mayor seguridad al personal, debido a la iniciación de la voladura desde un solo detonador ensamblado y que las demás quedaban amarradas por el cordón detonante.

- ✓ Luego llegan al mercado, las mechas rápidas que brindaban mayor seguridad en la iniciación, sin exponer al personal en el frente por mayor tiempo.
- ✓ Entre los años 1990 al 2000, empiezan salir al mercado los detonadores electrónicos que brindan mayor seguridad al personal en la iniciación de las voladuras, debido a la no exposición del personal a una distancia mayor a los 300 a 500 metros.
- ✓ Entre los años 2000 al 2010, las minas a tajo abierto empiezan a utilizar los sistemas de voladura electrónica para mejor la seguridad de su personal, asimismo, para mejorar la fragmentación de la roca y tener una buena recuperación de mineral, controlando los daños al macizo rocoso.

#### **4.2. Mejoras en seguridad en la explotación subterránea.**

El desarrollo de las mejoras en seguridad con respecto a la actividad unitaria de voladuras de rocas en minería subterránea, se han visto rezagado por más de una década con respecto a la minería a tajo abierto. Es así como a la fecha se continúa usando las voladuras convencionales, donde la iniciación de estas se realiza de forma manual.

Esta situación genera condiciones que según la estadística mundial traen alto nivel de fatalidad y están vinculadas directa o indirectamente a esta actividad, comprendiendo por orden de frecuencia a; caída de rocas, exposiciones directas y gaseamiento.

Para reducir esta estadística de fatalidades, se han visto acciones poco resaltantes que a la fecha no se ven reflejadas, sin embargo, existe en el mercado tecnologías que eliminan la exposición indirecta a esta actividad y que han sido desarrollados en otras minas del mundo, como por ejemplo en las minas de Norte América que se usan por más de una década.

Esta tecnología se basa en la iniciación de las voladuras de interior mina activadas desde superficie, para desarrollar esta tecnología se tiene que desarrollar la infraestructura de comunicación en interior mina.

#### **5. Importancia de la infraestructura de comunicación para mejorar la seguridad en la actividad unitaria de voladura en minería subterránea.**

Para mejor la seguridad en la actividad unitaria de voladura es importante que la mina tenga desarrollado en su infraestructura de interior mina, un sistema de comunicación que comprende en un servicio de:

- ✓ Control de acceso de personal.
- ✓ Comunicación de voz.
- ✓ Backbone de fibra óptica y cobertura WiFi para dar cobertura a través de cable radiante Leaky Feeder.

Características del sistema de comunicación implementada en las unidades de Volcan son:

- ✓ El sistema de comunicación de radio para interior mina capta la señal digital de radio TETRA de superficie la cual es transformada por un Equipo Maestro (Master Unit, MU) en señal óptica y transmitida por el backbone de Fibra Optica a los distintos Equipos Remotos (Remote Unit, RU).
- ✓ Los Equipos Remotos transforman la señal óptica, enviada por el Equipo Maestro, en señal digital, para dar cobertura de radio TETRA a través del cable radiante Leaky Feeder a las zonas requeridas. Cada Equipo Remoto soporta hasta un máximo de 2,000 metros de cable radiante (1,000 metros por cada lado), y están alimentados con una fuente de alimentación eléctrica con autonomía de por lo menos 8 horas. En los ramales de los túneles se pueden utilizar equipos derivadores, los cuales son equipos pasivos y no requieren alimentación eléctrica.
- ✓ El sistema de comunicación de radio TETRA funciona en la frecuencia UHF en la banda de 410 MHz-430 MHz (específicamente en la banda completa asignada por el MTC: UPLink: 417 MHz-420 MHz, DwLink 427 MHz-430 MHz).
- ✓ Todos los componentes del sistema de comunicación de radio TETRA en interior mina están configurados para comunicar la banda de frecuencia indicada anteriormente, por lo que la solución propuesta para el Sistema de Voladura Centralizada debe funcionar utilizando dichos intervalos de frecuencias del espectro electromagnético.
- ✓ El cable radiante Leaky Feeder es de 7/8 pulgadas, soporta frecuencias de 30 MHz a 1,000 MHz, y tiene una potencia de trabajo de 1W, 30 dBm.
- ✓ La marca y modelo del Equipo Maestro (HeadEnd) es SIGMA, modelo D-UPALNA-4.
- ✓ Debido a que la arquitectura es un Sistema de Distribución Radiante (DRS), el nivel de ruido del sistema Pasa-Banda por lo que el ruido será el mismo proveniente fuera del sistema UpLink

DowLink. Figura de ruido inferior a los 5 dB, retardo mejor a los 9us.

- ✓ El equipamiento, accesorios, materiales y herramientas necesarios para que el Sistema de Voladura Centralizada trabaje utilizando la infraestructura de comunicaciones de radio TETRA implementada en interior mina, debe ser proporcionada por el proveedor.
- ✓ El proveedor debe proporcionar la siguiente información del equipamiento de radio a instalarse para el funcionamiento del Sistema de Voladura Centralizada: datasheet de los equipos, potencia de transmisión, sensibilidad de recepción, ancho de banda utilizado, rango de frecuencias permisible, tipo de modulación, latencia / mínimo retardo permisible.
- ✓ Todo proveedor debe entregar la arquitectura de integración de comunicaciones del Sistema de Voladura Centralizada con el actual sistema de comunicaciones de radio TETRA en interior mina, para su evaluación y aprobación, previo a su implementación en campo.

Se debe considerar todas estas características, antes de iniciar una implementación de voladura electrónica centralizada disparada o iniciada desde superficie.

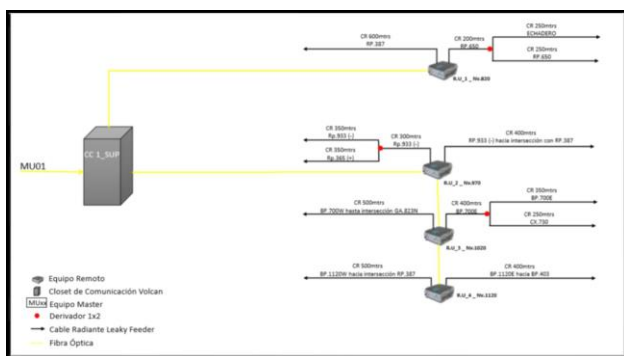


Figura 1: Esquema de infraestructura de comunicación.

## 6. Aplicación de la iniciación de la voladura electrónica centralizada desde superficie en Volcan, Unidad Andaychagua.

Dentro de los objetivos estratégicos de Volcan se encuentra la búsqueda permanente de mejorar la gestión de seguridad. Bajo este escenario surge la necesidad de implementar un sistema de voladura que les permite eliminar la exposición del personal en interior mina en el proceso de iniciación o detonación de labores.

### 6.1. Metodología de trabajo.

#### 6.1.1. Reconocimiento de la red de comunicación.

La unidad minera Andaychagua tiene implementado el sistema TETRA como infraestructura de comunicación radial en superficie e interior mina. En superficie la señal es distribuida a través de antena y en interior mina por cable radiante (Leaky Feeder) cubriendo el 90% de las labores subterráneas. Esta infraestructura nos permitió realizar la prueba piloto de detonación (iniciación) de voladura electrónica centralizada en superficie.

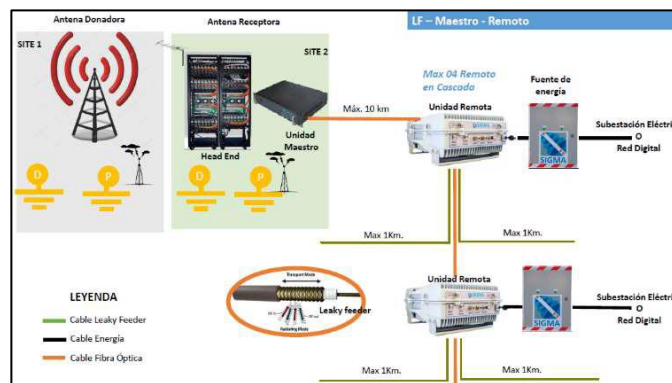


Figura 2: Infraestructura de comunicación radial en Mina Andaychagua.

#### 6.1.2. Reconocimiento de la mina para realizar la prueba piloto.

En esta etapa se estableció dos zonas de prueba piloto con mayores números de disparos (veta Andaychagua y Cuerpo Salvadora).

#### 6.1.3. Equipamiento que componen el sistema de voladura electrónica centralizada.

Todo sistema de voladura centralizada cuenta con el siguiente equipamiento:

- ✓ Infraestructura de comunicación mina (fibra óptica, leaky feeder) en toda la labor principal.
- ✓ Un equipo controlador de voladura en superficie (Unidad Maestra).
- ✓ Equipos remotos ubicados en interior (Unidad Esclavo), la cantidad depende del tamaño de la mina.
- ✓ Equipos de unidades de programación de los detonadores electrónicos.
- ✓ Cables de disparos que va conectado de los equipos remotos a las labores a disparar.
- ✓ Un detonador electrónico que va conectado al frente o labor de iniciación.

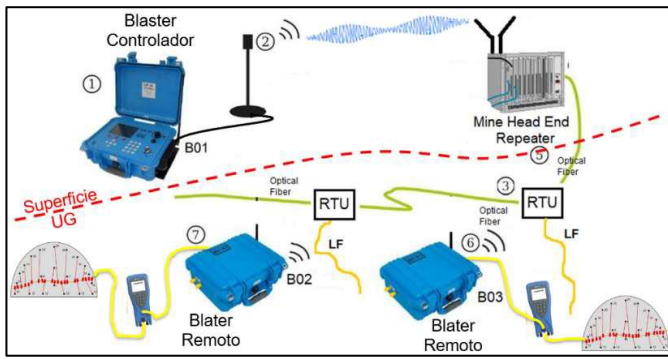


Figura 3: Esquema de voladura electrónica centralizadas e iniciadas desde superficie.

#### 6.1.4. Pruebas de comunicación entre superficie e interior mina.

Se realizaron las pruebas de comunicación con dos proveedores o fabricantes del sistema de voladura electrónica. Ambas configuraciones son compatibles con la infraestructura de comunicación que contamos en la unidad de Andaychagua.

#### 6.1.5. Pruebas de iniciación con detonadores inertes en condiciones reales.

En esta etapa se realizó una demostración del proceso de disparo a través de la red de comunicación de mina, utilizando de detonadores inertes (simuladores) en condiciones reales de disparo, obteniendo resultados al 100% exitosos.

#### 6.1.6. Demostración de la iniciación con los detonadores electrónicos reales.

En esta etapa se puso en prueba el funcionamiento del sistema de voladura electrónica centralizada, disparada desde superficie, se iniciaron desde superficie 3 labores reales y 2 labores simuladas, teniendo como resultado la detonación de todos de forma exitosa.

### 6.2. Implementación de la voladura electrónica centralizada.

Para realizar las pruebas de Voladura Centralizada se contaba con 2 zonas establecidas, estas eran: ZONA SALVADORA y ANDAYCHAGUA. Ambas ubicadas en la zona baja de la unidad minera, las cuales contaban con la instalación del cable de disparo y el sistema de Leaky Feeder y esta contaba con repetidores las cuales garantizaban que la señal pueda ser recibida por los equipos de comunicación en superficie.

La señal enviada por los repetidores que se encuentran al interior de la mina era recibida por el CLOSET de TI ubicado en superficie mina, el cual permitía la comunicación del equipo controlador de voladura en superficie con los equipos remotos ubicados en mina por medio de la red Leaky Feeder.

#### 6.2.1. Pruebas Piloto Cuerpo Salvadora.

Durante las pruebas de comunicación realizadas al inicio de guardia, se identificó el repetidor PROYECTO, ubicado en el BY PASS 1325, transmitiendo la señal emitida por la red Leaky Feeder hacia el CLOSET maestro, ubicado en superficie, lo cual permitía la comunicación de los equipos.

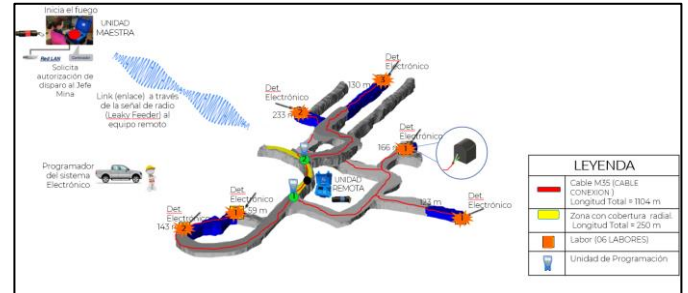


Figura 4: Esquema utilizado en la prueba piloto de voladuras activadas desde superficie, cuerpo salvadora.

#### 6.2.2. Pruebas Piloto Veta Andaychagua.

Durante las pruebas de comunicación realizadas al inicio de guardia, se identificó el repetidor 5, el cual se encontraba ubicado en el BY PASS 1300, el cual transmitía la señal, emitida por la red Leaky Feeder, hacia el CLOSET maestro, ubicado en superficie, lo cual permitía la comunicación de los equipos.

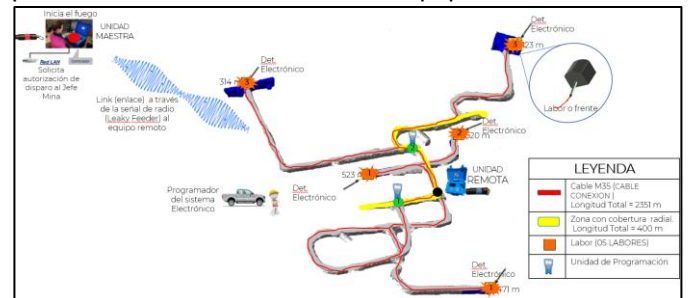


Figura 5: Esquema utilizado en la prueba piloto de voladuras activadas desde superficie, veta Andaychagua.

### 6.3. Resultados de las voladuras con iniciaciones desde superficie.

La prueba piloto se realizó con dos proveedores o fabricantes del sistema de voladura electrónica, teniendo los siguientes resultados:

#### 6.3.1. Primer Proveedor.

Durante el desarrollo de las pruebas realizaron 32 disparos exitosas con labores cargados y 184 labores simuladas con detonadores electrónicos activos.

A continuación, se muestra un cuadro resumen de dichas voladuras y el consumo de detonadores.

Nº VOLADURA	FECHA	TIPO DE VOLADURA	ZONAS DE VOLADURA	LABORES INICIADAS	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	7	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	ALÁMBRICO	SALVADORA	2	7	9	20
Nº 7	29/08/2021	ALÁMBRICO	SALVADORA	3	5	8	20
Nº 8	30/08/2021	MONOBLAST	SALVADORA	1	5	6	20
Nº 9	31/08/2021	ONETOUCH	PROSPERIDAD SALVADORA	2	4	6	10
Nº 10	9/01/2021	ONETOUCH	PROSPERIDAD SALVADORA	5	5	10	30
Nº 11	9/02/2021	ONETOUCH	PROSPERIDAD SALVADORA	6	9	15	46

Tabla 1: Número de voladuras desarrolladas con el primer proveedor.

Consumiendo un total de 216 detonadores, sin presentar problemas de iniciación en todas las pruebas realizadas.

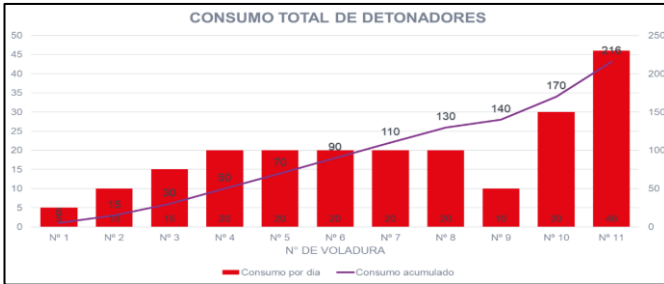


Figura 6: Consumo de detonadores electrónicos con el primer proveedor.

### 6.3.2. Segundo Proveedor.

Durante el desarrollo de las pruebas realizaron 36 disparos exitosas con labores cargados y 144 labores simuladas con detonadores electrónicos activos.

A continuación, se muestra un cuadro resumen de dichas voladuras y el consumo de detonadores.

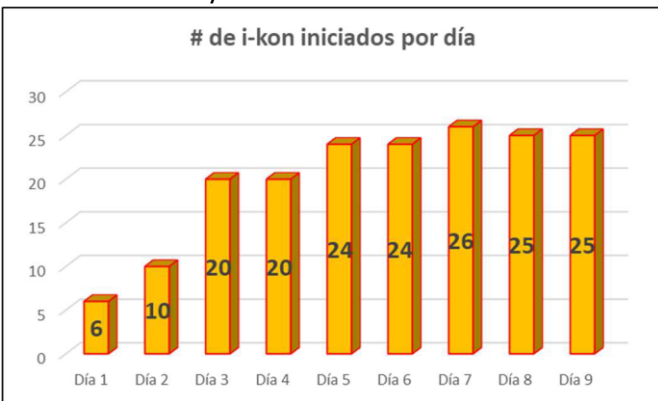


Figura 7: Consumo de detonadores electrónicos con el segundo proveedor.

### 6.3.3. Eventos de Seguridad durante el desarrollo de la prueba.

El criterio de evaluación de dicho KPI se rige bajo el siguiente lineamiento:

CRITERIO	EVALUACIÓN
Cero (0)	Excelente
1 o más	Inaceptable

Tabla 2: Criterio de evaluación.

Los resultados obtenidos durante el desarrollo de las pruebas piloto de voladuras centralizadas realizadas con ambos proveedores, los eventos de seguridad fueron los siguientes:

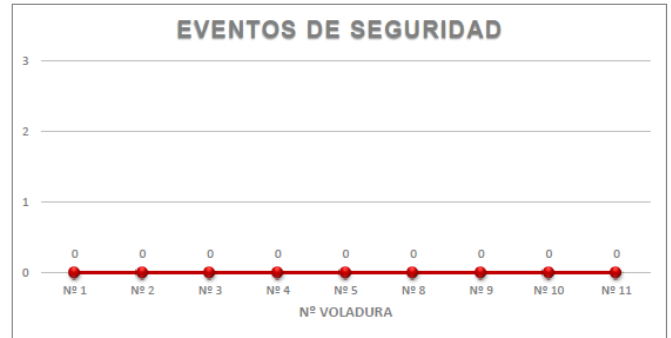


Figura 8: Eventos de seguridad.

### 6.3.4. Frentes no iniciados por ambos sistemas.

El criterio de evaluación de dicho KPI se rige bajo el siguiente lineamiento:

CRITERIO	EVALUACIÓN
Cero (0)	Excelente
1 o más	Inaceptable

Tabla 3: Criterio de evaluación.

Los resultados obtenidos con los dos proveedores fueron los siguientes:

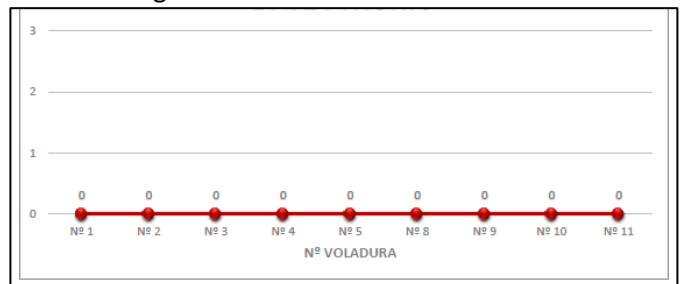


Figura 9: Frentes o labores no iniciadas por el sistema.

### 6.3.4. Retraso por voladura.

El criterio de evaluación de dicho KPI se rige bajo el siguiente lineamiento:

CRITERIO	EVALUACIÓN
Cero (0)	Excelente
1 o más	Inaceptable

Tabla 4: Criterio de evaluación.

Los resultados obtenidos con los dos proveedores fueron los siguientes:

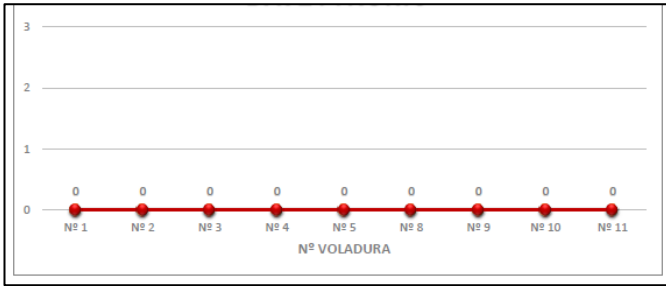


Figura 10: Retraso por voladura.

### 6.3.4. Suspensión de Voladura.

El criterio de evaluación de dicho KPI se rige bajo el siguiente lineamiento:

CRITERIO	EVALUACIÓN
Cero (0)	Excelente
1 o más	Inaceptable

Tabla 5: Criterio de evaluación.

Los resultados obtenidos con los dos proveedores fueron los siguientes:

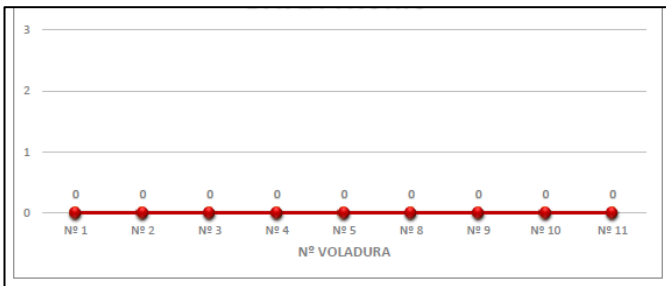


Figura 11: Suspensión de voladuras.

### 6.4. Mejoras en seguridad mediante la iniciación de labores en toda mina desde superficie.

Para diferenciar las mejoras en seguridad aplicando el proyecto de voladura centraliza activadas o iniciadas desde superficie, se consideró dos criterios:

#### 6.4.1. Riesgo actual en el proceso de voladura en interior mina.

Se cuenta con los siguientes riesgos:

- ✓ Personal con riesgo a ser impactado por caída de rocas generado por las vibraciones ocasionadas por la voladura.
- ✓ Personal con riesgo a ser impactado por la proyección de rocas durante la detonación.
- ✓ Personal con riesgo a ser alcanzado por la onda de choque que genera una voladura.
- ✓ Personal con riesgo a ser alcanzado por los gases generados post voladura.
- ✓ Personal con riesgo a la detonación prematura por las malas prácticas en el proceso de chispeo.
- ✓ Iniciación de voladura por una sola persona.
- ✓ Posibilidad de inicio de voladura fuera de horario.

Base de la Clasificación	E - Raro	D - Improbable	C - Posible	B - Probable	A - Casi Seguro
PORTADIA VIDA	Improbable que ocurra durante toda la vida 0	Podría ocurrir una vez durante toda la vida 0	Podría ocurrir más de una vez durante toda la vida 0	Puede ocurrir aproximadamente una vez al año 0	Puede ocurrir varias veces al año 0
POR EL PERÍODO DEL PROYECTO O PERÍODO DE PRUEBA O FUD	Muy improbable que ocurra 0	Es más probable que NO ocurra a que ocurra 0	Es tan probable que ocurra como que no ocurra 0	Es más probable que ocurra a que no ocurra 0	Se espera que ocurra 0
NEUO PROCESO / PLANTA / R/D	No se conocen ocurrencias en la industria mundial más amplia	Ha ocurrido por lo menos una vez en la industria mundial más amplia	Ha ocurrido por lo menos una vez en las industrias de mineral/comercialización de mercancías	Ha ocurrido por lo menos una vez dentro de Glencore	Ha ocurrido varias veces dentro de Glencore
Categoría 5 Catastrófico	15 (M)	19 (H)	22 (H)	24 (H)	25 (H)
Categoría 4 Importante	10 (M)	14 (M)	18 (H)	19 (H)	23 (H)
Categoría 3 Moderado	6 (L)	9 (M)	13 (M)	17 (H)	20 (H)
Categoría 2 Menor	3 (L)	5 (L)	8 (M)	12 (M)	16 (M)
Categoría 1 Insignificante	1 (L)	2 (L)	4 (L)	7 (M)	11 (M)

NIVEL DE RIESGO ACTUAL	
Catastrófico	B - Probable 24 (H)
Salud y Seguridad	
EXPOSICIÓN A UNA DETONACIÓN NO CONTROLADA POR VOLADURA	
Labores en conexión, labores cercanas, labores en preparación desarrollo y explotación. (Chimeneas, Sub level stopes, breasting, voladura secundaria, etc.)	

Figura 12: Riesgo actual en el proceso de voladura en interior mina.

#### 6.4.2. Riesgo residual con la implementación de voladura centralizada iniciadas desde superficie.

Se cuenta con los siguientes riesgos:

Controles Administrativos:

- ✓ Personal capacitado y entrenado
- ✓ Procedimiento escrito de trabajo seguro (PETS).
- ✓ Alinearse al procedimiento de iniciación remota.

Control de Ingeniería:

- ✓ Instalación de equipos remotos para inicio de voladura centralizada.
- ✓ Secuenciamiento de las voladuras realizadas en interior mina.
- ✓ Proceso de iniciación de voladura desde superficie.
- ✓ Control de acceso y ubicación del personal. Evacuación del 100% del personal de mina.
- ✓ Los equipos cuentan con protocolos de seguridad para su uso.
- ✓ Equipos cuentan con candados de acceso físicos y virtuales para evitar el uso inadecuado.

Base de la Clasificación	E - Raro	D - Improbable	C - Posible	B - Probable	A - Casi Seguro
PORTADIA VIDA	Improbable que ocurra durante toda la vida 0	Podría ocurrir una vez durante toda la vida 0	Podría ocurrir más de una vez durante toda la vida 0	Puede ocurrir aproximadamente una vez al año 0	Puede ocurrir varias veces al año 0
POR EL PERÍODO DEL PROYECTO O PERÍODO DE PRUEBA O FUD	Muy improbable que ocurra 0	Es más probable que NO ocurra a que ocurra 0	Es tan probable que ocurra como que no ocurra 0	Es más probable que ocurra a que no ocurra 0	Se espera que ocurra 0
NEUO PROCESO / PLANTA / R/D	No se conocen ocurrencias en la industria mundial más amplia	Ha ocurrido por lo menos una vez en la industria mundial más amplia	Ha ocurrido por lo menos una vez en las industrias de mineral/comercialización de mercancías	Ha ocurrido por lo menos una vez dentro de Glencore	Ha ocurrido varias veces dentro de Glencore
Categoría 5 Catastrófico	15 (M)	19 (H)	22 (H)	24 (H)	25 (H)
Categoría 4 Importante	10 (M)	14 (M)	18 (H)	21 (H)	23 (H)
Categoría 3 Moderado	6 (L)	9 (M)	13 (M)	17 (H)	20 (H)
Categoría 2 Menor	3 (L)	5 (L)	8 (M)	12 (M)	16 (M)
Categoría 1 Insignificante	1 (L)	2 (L)	4 (L)	7 (M)	11 (M)

NIVEL DE RIESGO RESIDUAL	
Insignificante	E - Raro 1 (L)
Salud y Seguridad	
CONTROLES POR IMPLEMENTAR	
Voladura Centralizada: se elimina el 100% la interacción del personal con todo el proceso de voladura y post voladura, uso de detonadores electrónicos (proyección de rocas y ondas de choque, gases post voladura, caída de rocas por vibraciones)	

Figura 13: Riesgo residual con la implementación de voladura centralizada, iniciadas desde superficie.

## 7. Conclusiones

Con la iniciación de la voladura electrónica centralizada desde superficie sin contar con cero (0) personales en interior mina, se reduce la evaluación de riesgo de “**muy alto**” a “**bajo**”, debido a la eliminación de exposición del personal en interior mina.

## **8. Recomendaciones**

Para el funcionamiento correcto de la mejora en seguridad se requiere:

- ✓ Tener implementado un centro de control de evacuación de personal de interior mina.
- ✓ Asignar un canal de radio exclusivo para la comunicación de los equipos del sistema de voladuras.
- ✓ Disciplina operativa: cumplir con los procedimientos definidos para las voladuras.
- ✓ Aplicar barreras duras de control que aseguren la salida del personal antes de las voladuras.

## **Agradecimientos**

Se agradece a la familia Volcan por darme la oportunidad de desarrollar mis conocimientos aprendidos por más de 10 años en minería a cielo abierto con los sistemas de voladuras electrónicos y que este aprendizaje me ayudó a proponer a la compañía la aplicación de este sistema de voladura electrónica centralizada y activada desde superficie, usando un solo detonador (01) en cada frente para activar la voladura convencional aplicada en minería subterránea desde superficie, mejorando la seguridad de todo el personal que ingresa a mina.

## **Referencias**

Volcan Compañía Minera S.A.A. y sus diferentes áreas de soporte (2019-2022).

Sistema de voladuras electrónicas CEBS i-kon de Orica (2021).

Sistema de voladura electrónica de Enaex Stonger Bonds (2021).

## **Perfil profesional**

Peruano de 38 años, profesión Ingeniero de Minas, con maestría en Regulación, Gestión y Economía Minera por la PUCP, con una experiencia de 14 años en la gestión de perforación y voladura en los métodos de explotación a cielo abierto, subterránea e ingeniería y construcción civil, especialista y usuario en voladuras rocas de los sistemas pirotécnicos y electrónicos, con conocimientos en software de voladura, asistencia técnica en perforación y voladuras de rocas, etc.

Nombre del autor: Mayta Valle, Nilo Armando.

Cargo: Jefe de Mina.

Empresa: Volcan Compañía Minera S.A.A.

Correo electrónico: nmayta@volcan.com.pe

Teléfono / Celular: 943287062

Dirección: Huánuco – Perú.