

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™  
Control para reducir el costo de avance en una rampa  
subterránea**

Juan Samuel Condori Paquiyauri

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2024

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

**A** : Decano de la Facultad de Ingeniería  
**DE** : Benjamín Manuel Ramos Aranda  
Asesor de trabajo de investigación  
**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación  
**FECHA** : 6 de agosto de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

**Título:**

USO DEL EXPLOSIVO SUBTEK™ CHARGE Y SUBTEK™ CONTROL PARA REDUCIR EL COSTO DE AVANCE EN UNA RAMPA SUBTERRÁNEA

**Autores:**

1. Juan Samuel Condori Paquiyauri – EAP. Ingeniería de Minas

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 16 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores SI  NO   
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): 15
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajosconducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,



Asesor de trabajo de investigación

## **ASESOR**

Ing. Benjamín Manuel Ramos Aranda

## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento a los ingenieros de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Continental, por haberme brindado su apoyo y enseñanza incondicional y ser competitivo en el área de la actividad minera. Así mismo estoy muy agradecido a los ingenieros de la unidad Andaychagua- volcán y la contrata IESA. por haberme brindado la información y apoyo del presente trabajo y llegar a su término de manera satisfactoria.

## **DEDICATORIA**

A mis queridos padres y docentes, por su apoyo y comprensión durante la trayectoria para ser un gran profesional de bien.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

ASESOR .....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
DEDICATORIA .....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	x
LISTA DE TABLAS .....	xii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT .....	xv
INTRODUCCIÓN.....	xvi
CAPÍTULO I.....	17
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO .....	17
1.1 Planteamiento y formulación del problema .....	17
1.1.1 Planteamiento del problema .....	17
1.1.2 Formulación del problema .....	18
1.1.2.1 Problema general .....	18
1.1.2.2 Problemas específicos.....	18
1.2 Objetivos .....	18
1.2.1 Objetivo general .....	18
1.2.2 Objetivos específicos .....	18
1.3 Justificación e importancia.....	19
1.3.1 Justificación práctica.....	19
1.4 Hipótesis .....	19
1.4.1 Hipótesis general .....	19
1.4.2 Hipótesis específicas.....	19
1.5 Identificación de la variables.....	19
1.5.1 Variable independiente.....	19
1.5.2 Variable dependiente.....	19
1.5.3 Matriz de operacionalización de variables .....	20
CAPÍTULO II.....	21
MARCO TEÓRICO.....	21
2.1. Antecedentes del problema .....	21
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	21
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	21

2.1.3.	Antecedente local .....	22
2.2.	Bases teóricas .....	22
2.2.1.	Construcción de rampas .....	22
2.2.2.	Diseño de la perforación y voladura de una rampa principal .....	24
2.2.3.	Parámetros de perforación y voladura .....	26
2.2.4.	Costos de la perforación y voladura en una rampa .....	29
2.2.5.	Definición de términos.....	32
CAPÍTULO III .....		33
MÉTODO DE DESARROLLO DEL PROYECTO .....		33
3.1.	Método y alcances de la investigación.....	33
3.2.	Diseño de la investigación .....	34
3.3.	Población y muestra.....	34
3.3.1.	Población.....	34
3.3.2.	Muestra .....	34
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	34
3.4.1.	Técnicas utilizadas en la recolección de datos. ....	34
3.4.2.	Instrumentos utilizados en la recolección de datos.....	34
CAPÍTULO IV .....		35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		35
4.1.	Optimizar el uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control para reducir el costo de avance en una rampa subterránea.....	35
4.1.1.	Caracterización del macizo rocoso para el uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control en una rampa subterránea .....	35
4.1.2.	Uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control para mejorar la fragmentación en una rampa subterránea .....	37
4.1.3.	Uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control para la reducción del costo de perforación y voladura en una rampa subterránea.....	73
CONCLUSIONES .....		78
RECOMENDACIONES .....		79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		80
ANEXOS.....		82
Anexo 1.	Matriz de consistencia.....	83
Anexo 2.	Perforación de una rampa de sección de 4.5 x 4.5 metros .....	84
Anexo 3.	Pintado de la cuadrícula de la malla de perforación y voladura de una rampa de sección de 4.5 x 4.5 metros .....	85



Anexo 4. Carguío de explosivos del malla de perforación y voladura de una rampa de sección de 4.5 x 4.5 metros .....	86
Anexo 5. Explosivo Subtek™ Charge .....	87
Anexo 6. Explosivo Subtek™ Control.....	88
Anexo 7. Trazo de la cuadrícula para la perforación y voladura de una rampa principal ...	89
Anexo 8. Carguío con el explosivo Subtek™ Control y explosivo Subtek™ Charge de una rampa subterránea .....	90
Anexo 9. Colocación de los accesorios de voladura - explosivo Subtek™ Control y explosivo Subtek™ Charge de una rampa subterránea .....	91

## LISTA DE FIGURAS

Figura N. 1: Rampa principal sección de 4.5 m x 4.5 m .....	24
Figura N. 2: Escenario anterior - diseño de malla de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con emulnor encartuchado .....	38
Figura N. 3: Escenario anterior - Pintado de malla de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado .....	40
Figura N. 4: Escenario anterior - Perforación del diseño de malla de perforación y voladura de una Rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado	41
Figura N. 5: Escenario anterior – carguío de la malla de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado .....	42
Figura N. 6: Escenario anterior – Amarre y chispeo para la voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado.....	43
Figura N. 7: Escenario anterior – Primer disparo resultado del primer disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado .....	45
Figura N. 8: Escenario anterior – resultado del segundo disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado.....	48
Figura N. 9: Escenario anterior – Tercer disparo resultado del primer disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado .....	51
Figura N. 10: Escenario anterior – cuarto disparo resultado del primer disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado .....	53
Figura N. 11: Escenario actual - Pintado de malla de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ control .....	59
Figura N. 12: Escenario actual - Perforación del diseño de malla de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control .....	60
Figura N. 13: Escenario actual – carguío de la malla de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ control .....	61
Figura N. 14: Escenario actual – Amarre y chispeo para la voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ control	62
Figura N. 15: Escenario actual – Primer disparo resultado del primer disparo de una Rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ control .....	64

Figura N. 16: Escenario actual – resultado del segundo disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ control	66
Figura N. 17: Escenario actual – resultado del tercer disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control	68
Figura N. 18: Escenario actual – cuarto disparo resultado del primer disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ control	70
Figura N. 19: Comparación de la valorización de los costos por disparo en una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m, con explosivo Emulnor encartuchado y emulsión a granel o bombeable	76

## LISTA DE TABLAS

Tabla N. 1: Matriz de operacionalización de variables .....	20
Tabla N. 2: Parámetros de diseño de una rampa.....	23
Tabla N. 3: Zonificación geomecánica en una rampa.....	35
Tabla N. 4: Zonificación geomecánica en una rampa en zonas de contacto .....	36
Tabla N. 5: Primer disparo - factores de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado.....	44
Tabla N. 6: Resultado del primer disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado.....	46
Tabla N. 7: Segundo disparo - factores de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado.....	47
Tabla N. 8: Resultado del segundo disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado.....	49
Tabla N. 9: Tercer disparo - factores de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado.....	50
Tabla N. 10: Resultado del tercer disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado.....	51
Tabla N. 11: Cuarto disparo - factores de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado.....	52
Tabla N. 12: Resultado del cuarto disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado.....	54
Tabla N. 13: Resumen de las 4 pruebas de los disparos realizados en una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado.....	55
Tabla N. 14: Primer disparo - factores de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control ...	63
Tabla N. 15: Resultado del primer disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ control .....	64
Tabla N. 16: Segundo disparo - factores de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ control ....	65
Tabla N. 17: Resultado del segundo disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control.....	66
Tabla N. 18: Tercer disparo - factores de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ control ....	67

Tabla N. 19: Resultado del Tercer disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control .....	68
Tabla N. 20: Cuarto disparo - factores de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ control ....	69
Tabla N. 21: Resultado del cuarto disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ control .....	70
Tabla N. 22: Resumen de las 4 pruebas de los disparos realizados en una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ control ....	71
Tabla N. 23: Resumen comparativo de los disparos realizados con Emulnor encartuchado en relación a la emulsión a granel con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ control .....	72
Tabla N. 24: Valorización de una rampa con explosivo Emulnor encartuchado escenario anterior .....	74
Tabla N. 25: Valorización de una rampa con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ control escenario actual .....	75
Tabla N. 26: Valorización de los costos por disparo en una rampa con explosivo Emulnor encartuchado y emulsión a granel o bombeable .....	76

## RESUMEN

Las empresas dedicadas al desarrollo y preparación de labores como son: sub niveles, cámaras, accesos, cruceros, by pass y rampas de profundización.

Tienen deficiencias en gran parte en el desarrollo de rampas en su mayoría con sección de 4.5 x 4.5 m, que tras los disparos se generan sobre rotura, mala fragmentación y menor avance efectivo, elevando los costos de avance lineal ya que esto generaba trabajos de voladura secundaria que incrementan los metros perforados y el consumo de explosivos y accesorios con la finalidad de fragmentar los bancos generados tras la deficiencia en el disparo realizado. Con el objetivo de mejorar los disparos y reducir el costo de metro lineal de avance, se planteó el uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ control como carga explosiva del taladro y como cebo el uso del Emulnor 3000, con ello también se busca bajar el precio unitario por metro lineal de avance.

La interpretación geomecánica por zonificación es factible ya que se realiza el análisis por tramos en toda la extensión de la rampa eso ayuda a tener un panorama amplio del tipo de roca presente en el frente y el tipo de sostenimiento a utilizar, por lo general en el desarrollo de una rampa en la zona centro del Perú, el tipo de roca es Mala A – Mala B (IVA – IVB) con RMR de 15 a 40, es por ello que se debe utilizar como mínimo pernos sistemático de 7 pies, con espaciamiento de 1 metro más malla metálica y shotcrete de 2 a 3 pulgadas.

Escenario anterior se realizó 4 disparos en una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m, con Emulnor encartuchado, en el primer disparo, se obtuvo sobre excavación de la corona de la labor del 25% y en la fragmentación se ha obtenido 2.1 pulgadas siendo muy fina, en el segundo disparo, se obtuvo un avance deficiente de 3 metros, menor ancho de la sección ya que se obtuvo un 90% de salida, siendo 10 cm faltante en función a los 4.5 metros y en la fragmentación se ha obtenido 3.5 pulgadas siendo muy fina, en el tercer disparo, se obtuvo sobre excavación del ancho de labor del 20% y en el cuarto disparo, se obtuvo en una fragmentación inadecuada de 19 pulgadas con bancos medianos.

Escenario actual se realizó 4 disparos en una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m, con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ control, en los 4 disparos realizados se no obtuvieron sobre excavación de la labor dentro del estándar que viene hacer 2 cm en cada hastial y la fragmentación fue adecuada, ya que en el primer disparo fue de 6.8 pulgadas, en el segundo disparo fue de 5.9 pulgadas, en el tercer disparo fue de 6.9 pulgadas y en el cuarto disparo fue de 6.4 pulgadas.

**Palabras Clave:** Uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control.

## ABSTRACT

Companies dedicated to the development and preparation of works such as: sub levels, chambers, accesses, crossings, by pass and deepening ramps.

Most of them have deficiencies in the development of ramps with a section of 4.5 x 4.5 m, which after the perforations generate over breakage, bad fragmentation and less effective advance, raising the costs of linear advance since this generated secondary blasting works that increase the drilled meters and the consumption of explosives and accessories with the purpose of fragmenting the banks generated after the deficiency in the perforation made. With the objective of improving the shots and reducing the cost per linear meter of advance, the use of Subtek™ Charge and Subtek™ Control explosive was proposed as explosive charge of the drill and as bait the use of Emulnor 3000, with this also seeks to lower the unit price per linear meter of advance.

Geomechanical interpretation by zoning is feasible since the analysis is done by sections along the entire length of the ramp, which helps to have a broad overview of the type of rock present at the front and the type of support to be used, Generally in the development of a ramp in the central zone of Peru, the type of rock is Bad A - Bad B (IVA - IVB) with RMR of 15 to 40, that is why it should be used as a minimum systematic bolts of 7 feet, with spacing of 1 meter plus wire mesh and shotcrete of 2 to 3 inches.

Previous scenario was carried out 4 shots in a main ramp of 4.5 m x 4.5 m section, with emulnor encartuchado, in the first shot, was obtained over excavation of the crown of the work of 25% and in the fragmentation has been obtained 2.1 inches being very fine, in the second shot, was obtained a deficient advance of 3 meters, smaller width of the section since it was obtained a 90% of exit, being 10 cm missing in function to the 4.5 meters and in the fragmentation, 3.5 inches was obtained being very fine, in the third shot, an over excavation of the working width of 20% was obtained and in the fourth shot, an inadequate fragmentation of 19 inches was obtained with medium benches.

Current scenario 4 shots were fired in a main ramp of 4.5 m x 4.5 m section, with Subtek™ Charge and Subtek™ Control explosive, in the 4 shots were not obtained over excavation of the work within the standard that comes to make 2 cm in each gable and the fragmentation was adequate since in the first shot was 6.8 inches, in the second shot was 5.9 inches, in the third shot was 6.9 inches and in the fourth shot was 6.4 inches.

**Key words:** Use of Subtek™ Charge and Subtek™ Control explosive.

## INTRODUCCIÓN

Las empresas dedicadas al desarrollo y preparación de labores como son: sub niveles, cámaras, accesos, cruceros, by pass y rampas de profundización, tienen deficiencias en gran parte en el desarrollo de rampas en su mayoría con sección de 4.5 x 4.5 m, que tras los disparos se generan sobre rotura, mala fragmentación y menor avance efectivo, elevando los costos de avance lineal ya que esto generaba trabajos de voladura secundaria que incrementan los metros perforados y el consumo de explosivos e accesorios con la finalidad de fragmentados los bancos generados tras la deficiencia en el disparo realizado.

La interpretación geomecánica por zonificación es factible ya que se realiza el análisis por tramos en toda la extensión de la rampa eso ayuda a tener un panorama amplio del tipo de roca presente en el frente y el tipo de sostenimiento a utilizar, por lo general en el desarrollo de una rampa en la zona centro del Perú, el tipo de roca es mala A – mala B (IVA – IVB) con RMR de 15 a 40, es por ello que se debe utilizar como mínimo pernos sistemático de 7 pies, con espaciamiento de 1 metro más malla metálica y shotcrete de 2 a 3 pulgadas.

El escenario anterior se realizó 4 disparos en una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m, con Emulnor encartuchado, en el primer disparo, se obtuvo sobre excavación de la corona de la labor del 25% y en la fragmentación se ha obtenido 2.1 pulgadas siendo muy fina, en el segundo disparo, se obtuvo un avance deficiente de 3 metros, menor ancho de la sección ya que se obtuvo un 90% de salida, siendo 10 cm faltante en función a los 4.5 metros y en la fragmentación se ha obtenido 3.5 pulgadas siendo muy fina, en el tercer disparo, se obtuvo sobre excavación del ancho de labor del 20% y en el cuarto disparo, se obtuvo en una fragmentación inadecuada de 19 pulgadas con bancos medianos.

Escenario actual se realizó 4 disparos en una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m, con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ control, en los 4 disparos realizados se no obtuvieron sobre excavación de la labor dentro del estándar que viene hacer 2 cm en cada hastial y la fragmentación fue adecuada ya que en el primer disparo fue de 6.8 pulgadas, en el segundo disparo fue de 5.9 pulgadas, en el tercer disparo fue de 6.9 pulgadas y en el cuarto disparo fue de 6.4 pulgadas.

Tras el cambio de explosivo en una rampa de explosivo Emulnor encartuchado a emulsión a granel o bombeable se ha reducido el costo total por frente en \$ 70.09 y el costo total por metro en 25.74 \$/m siendo factible y viable el cambio de explosivo realizado. Lográndose optimizar un costo total valorizado en los 4 disparos en el desarrollo de la rampa de \$ 225.54, con el explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ control.



## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

#### **1.1 Planteamiento y formulación del problema**

##### **1.1.1 Planteamiento del problema**

En todas las empresas mineras subterráneas a nivel mundial tanto como convencionales y mecanizados a menudo buscan mejorar los trabajos de desarrollo y preparación en las actividades de perforación y voladura de los frentes de avance como: rampas, cruceros, galerías y subniveles etc., por medio de replanteos en el diseño de malla de perforación y voladura, cambio de los parámetros de perforación y voladura entre otros, con la finalidad de optimizar los costos de avance lineal.

En el Perú existen varias compañías mineras convencionales y mecanizados, en la actualidad buscan optimizar en la eficiencia del avance efectivo, en la eficiencia de la cantidad de consumo de aceros de perforación como de explosivos y accesorios de los explosivos y en la reducción del costo por metro lineal por medio que ayudarán a futuro la factibilidad y viabilidad del proyecto minero.

Las empresas dedicadas al desarrollo y preparación de labores como son: sub niveles, cámaras, accesos, cruceros, by pass y rampas de profundización, tienen deficiencias en gran parte en el desarrollo de rampas en su mayoría con sección de 4.5 x 4.5 m, que tras los disparos se generan sobre rotura, mala fragmentación y menor avance efectivo, elevando los costos de avance lineal ya que esto generaba trabajos de voladura secundaria que incrementan los metros perforados y el consumo de explosivos e accesorios con la finalidad de fragmentados los bancos

generados tras la deficiencia en el disparo realizado. Con el objetivo de mejorar los disparos y reducir el costo de metro lineal de avance, se planteó el uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control como carga explosiva del taladro y como cebo el uso del Emulnor 3000, con ello también se busca bajar el precio unitario por metro lineal de avance.

## **1.1.2 Formulación del problema**

### **1.1.2.1 Problema general**

¿Cómo influye el uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control para reducir el costo de avance en una rampa subterránea?

### **1.1.2.2 Problemas específicos**

- ¿Cómo influye la caracterización del macizo rocoso para el uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control en una rampa subterránea?
- ¿Cómo influye el uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control para mejorar la fragmentación en una rampa subterránea?
- ¿Cómo influye el uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control en la reducción del costo de perforación y voladura en una rampa subterránea?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Desarrollar el uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control para reducir el costo de avance en una rampa subterránea

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Realizar la caracterización del macizo rocoso para el uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control en una rampa subterránea
- Desarrollar el uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control para mejorar la fragmentación en una rampa subterránea
- Desarrollar el uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control en la reducción del costo de perforación y voladura en una rampa subterránea

### **1.3 Justificación e importancia**

#### **1.3.1 Justificación práctica**

Las empresas dedicadas al desarrollo y preparación de labores, en la actualidad se encuentran realizando trabajos de rampas con sección de 4.5 x 4.5 m, en el cual tiene deficiencias en los disparos el cual ha generado sobre rotura, mala fragmentación y menor avance efectivo, elevando los costos de avance lineal ya que esto generaba trabajos de voladura secundaria que incrementan los metros perforados y el consumo de explosivos e accesorios con la finalidad de fragmentados los bancos generados tras la deficiencia en el disparo realizado. Esta investigación les ayudará a mejorar dichas deficiencias ya que el objetivo de mejorar los disparos y reducir el costo de metro lineal de avance, se planteó el uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control como carga explosiva del taladro y como cebo el uso del Emulnor 3000, con ello también se busca bajar el precio unitario por metro lineal de avance.

### **1.4 Hipótesis**

#### **1.4.1 Hipótesis general**

El uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control será factible y viable para reducir el costo de avance en una rampa subterránea

#### **1.4.2 Hipótesis específicas**

- La caracterización del macizo rocoso influye positivamente para el uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control en una rampa subterránea
- El uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control influye positivamente para mejorar la fragmentación en una rampa subterránea
- El uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control será factible y viable en la reducción del costo de perforación y voladura en una rampa subterránea

### **1.5 Identificación de las variables**

#### **1.5.1 Variable independiente**

Uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control

#### **1.5.2 Variable dependiente**

Reducir el costo de avance

### 1.5.3 Matriz de operacionalización de variables

Tabla N. 1: Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores
V.I: Uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™	Son explosivos de emulsión a granel resistente al agua sensible a la imprimación y diseñado para el desarrollo de la minería subterránea voladura, la masa de carga por metro de barreno se puede variar para adaptarse a las condiciones del terreno o al diseño de malla de perforación y voladura. El carguío también se puede retraer con manguera para una carga reducida y controlada especialmente en la corona.	Caracterización geomecánica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índices RMR,</li> <li>• RQD</li> <li>• GSI</li> </ul>
		Análisis de la fragmentación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avance efectivo de perforación (m)</li> <li>• Eficiencia de perforación (%)</li> <li>• Eficiencia de voladura (%)</li> <li>• Factor de carga (kg explosivos/m<sup>3</sup> de mineral)</li> <li>• Fragmentación – P80 (%)</li> </ul>
V.D: Reducir el costo de avance	Es la optimización en función a la mejora de las actividades que engloba los costos de perforación, voladura, mano de obra, limpieza entre otros con la finalidad de obtener la reducción del costo unitario por metro lineal de avance del frente de avance.	Análisis del costo de perforación y voladura por metro lineal de avance	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costos de mano de obra (\$/m)</li> <li>• Costos de perforación (\$/m)</li> <li>• Costos de voladura (\$/m)</li> <li>• Costos de limpieza (\$/m)</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes del problema**

##### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

CARHUAPOMA y PUMACAHUA, en su Tesis, titulada “Cambio de explosivo de dinamita convencional a Emulnor para evaluar su rendimiento de voladura en la Unidad Operativa Horizonte – La Libertad”, el objetivo era evaluar cómo el cambio de explosivo de dinamita convencional a Emulnor mejora el rendimiento de voladura. Como muestra se tuvo los frentes de avances. Los resultados mostraron que el Emulnor cuenta con una baja emisión de monóxido de carbono y gas nitroso por tonelada de explosivo. El costo de usar Emulnor es ligeramente superior al de la dinamita, pero reduce las emisiones de gases y mejora la eficiencia de voladura (1).

##### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

GONZALES, en su Tesis, titulada “Reducción de costos operativos en labor Carmen Nv. 3040 mediante la optimización de estándares de perforación y voladura, CIA. Minera Poderosa S.A -2018.”, Con la elección del nuevo diseño de malla de perforación se pudo reducir en 33,33% el costo operativo de avance, ya que la malla anterior tenía 52 taladros y la malla optimizada tiene 39 taladros, del mismo modo, el avance lineal del crucero aumentó significativamente de 81,50 metros a 115,50 metros por mes (2).

### **2.1.3. Antecedente local**

ROMANI, en su Tesis, titulada “Diseño de mallas de perforación y voladura para optimizar avances y sobre rotura Nv. 1225 - Mina Andaychagua - VCM S.A.A.” el objetivo es desarrollar un diseño de malla de perforación y voladura para mejorar la sobre rotura y el avance del nivel 1225. Asimismo, su metodología de investigación es experimental. La muestra ha tomado en cuenta el nivel de avance 1225, se logró alcanzar una eficiencia del 95% con un disparo promedio de 3,02 metros. Este porcentaje se propone por la SVEDEFO, gracias al desarrollo del modelo matemático de Roger Holmberg (3).

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Construcción de rampas**

#### **1 Definición de la rampa en minería subterránea**

Son planos inclinados, de forma ascendente o descendente que comunica dos niveles con la finalidad de que los equipos mineros se movilen (4).

Son labores horizontales de acceso con la finalidad de:

- Ayuda al ingreso del personal al frente de extracción de mineral (4).
- Permiten el ingreso de equipos de transporte para su circulación y transporte desmonte y mineral (4).
- Ayuda a la instalación de los servicios auxiliares de servicios eléctricos, aire, agua y relleno entre otros (4).
- Ayuda a la circulación de aire para la ventilación en general de la unidad minera (4).
- Secciones de 5 a 25 m<sup>2</sup> con pendientes menor a 20 % en equipos neumáticos (4).

## 2 Parámetros del desarrollo de una rampa en minería subterránea

En la siguiente tabla se muestra los parámetros de diseño de una rampa

Tabla N. 2: Parámetros de diseño de una rampa

Parámetros de diseño de una rampa	
Límite de la inclinación	Menos a 12°
Límite de profundidad	Menos de 250 m
Tipo de roca	Estéril
Propósito	Como acceso al yacimiento de superficie para el desarrollo y producción de la extracción de mineral.
Velocidad de tránsito	Rápida
Costos de construcción	Altos

Fuente: Introducción a la Minería subterránea Volumen II: Construcción de infraestructura de mina interior 2019 (4).

## 3 Diseño de las rampas

- Verificación de la gradiente en pendiente si es positiva o negativa menor a 12 % (5).
- Verificación de la gradiente en curva si es positiva o negativa menor a 8 % (5).
- El radio de curvatura de la labor es promedio de 25 m, con un ancho de 4.50 m
- En promedio el peralte es de 5% (5).
- La altura de los equipos mineros debe evaluarse según las dimensiones de la labor (5).
- A lo largo de la labor en el lado izquierdo cada 50 m, se ubica los refugios de dimensiones de ancho de 1.50m, alto de 1.80 m y de largo de 1.50 m. en curvas cada 50 m (5).
- Las cámaras de carguío de realizan cada 200 m, en cada lado de la labor con sección de 4 m de ancho, 4 m de alto y 12 m de longitud. En curvas a 8 m, con realce de la labor (5).

- Desarrollo de la cámara de sub estación de electricidad a cada 200 m en promedio, en el lado izquierdo de la labor, con dimensiones de 3m de ancho, 3 m de alto y 6 m de largo. El espaciado de la cámara de carguío es de 50 metros en promedio (5).

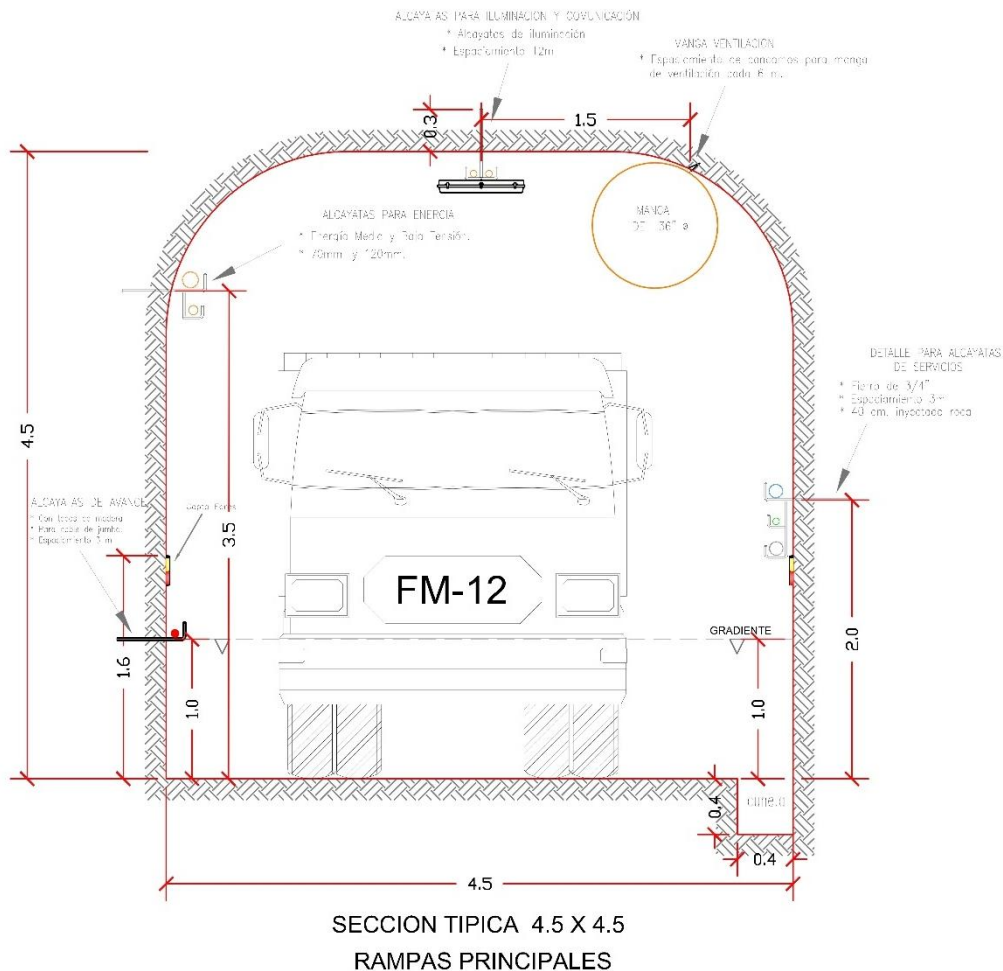


Figura N. 1: Rampa principal sección de 4.5 m x 4.5 m

Fuente: Área de operaciones de la Minera Aurífera Retamas S.A. (5).

### 2.2.2. Diseño de la perforación y voladura de una rampa principal

El diseño de la perforación y voladura de una rampa principal en minería subterránea es una tarea crítica que implica una planificación cuidadosa para garantizar la seguridad de los trabajadores, la eficiencia en la fragmentación de la roca y la estabilidad de la excavación. Aquí hay algunos aspectos clave que deben considerarse en el diseño de la perforación y voladura de una rampa principal (6)



## **1 Estudios geotécnicos**

Antes de diseñar la perforación y voladura, es esencial realizar estudios geotécnicos para comprender la naturaleza de la roca circundante. Estos estudios ayudarán a determinar la resistencia de la roca, posibles fallas geológicas y otras características importantes (6).

## **2 Diseño de la rampa**

El diseño de la rampa, incluyendo la inclinación, el ancho y la altura, influirá en la estrategia de perforación y voladura. La geometría de la rampa afectará la distribución de la carga explosiva y la fragmentación resultante (6).

## **3 Perforación**

- **Distribución de taladros:** Planificar la disposición de los taladros de manera uniforme y eficiente a lo largo de la rampa (6).
- **Diámetro y longitud de los taladros:** Seleccionar el diámetro y la longitud de los taladros según la geología de la roca y los requisitos de voladura (6).
- **Ángulo de perforación:** Determinar el ángulo de perforación para optimizar la fragmentación y minimizar la sobrecarga (6).
- **Patrones de perforación:** Elegir patrones de perforación adecuados, como patrones en abanico, paralelos o en cuadrícula, dependiendo de la forma de la rampa y los objetivos de la voladura (6).

## **4 Carga de explosivos:**

- **Tipo de explosivos:** Seleccionar el tipo de explosivo adecuado según la geología y los requisitos de fragmentación (6).
- **Cantidad y distribución de explosivos:** Calcular la cantidad de explosivo necesaria y distribuirla de manera uniforme a lo largo de la rampa para lograr una fragmentación controlada (6).

## **5 Secuencia de detonación:**

- Temporización: Planificar la secuencia de detonación para controlar la vibración y asegurar una fragmentación óptima (6).
- Secuencia de Iniciación: Determinar la secuencia de iniciación de los taladros para minimizar los efectos no deseados, como vibraciones y sobrecarga (6).

## **6 Control de vibraciones y seguridad**

Implementar medidas para controlar las vibraciones generadas por la voladura y garantizar la seguridad de los trabajadores y la infraestructura circundante (6).

## **7 Monitoreo post-voladura**

Realizar un seguimiento y análisis post - voladura para evaluar la calidad de la fragmentación, identificar posibles problemas y ajustar el diseño según sea necesario (6).

## **8 Consideraciones ambientales**

Tomar en cuenta consideraciones ambientales e implementar prácticas que minimicen el impacto ambiental de la perforación y voladura (6).

## **9 Capacitación y certificación del personal**

Asegurarse de que el personal involucrado esté debidamente capacitado y certificado para llevar a cabo operaciones de perforación y voladura de manera segura y eficiente (6).

Este diseño debe realizarse con la orientación de profesionales experimentados en perforación y voladura en minería subterránea, y siempre se deben seguir las regulaciones y normativas locales. La seguridad es una prioridad fundamental en todas las fases del diseño y ejecución (6).

### **2.2.3. Parámetros de perforación y voladura**

#### **1 Los parámetros de perforación**

Los parámetros de perforación son factores clave que se tienen en cuenta al perforar agujeros en rocas o suelos para diversas aplicaciones, como la minería, la construcción, la exploración geotécnica o la perforación de pozos (7). A continuación, se presentan algunos parámetros importantes:

#### **A. Velocidad de perforación**

La velocidad a la que se perfora el agujero, medida en metros o pies por hora, depende de la potencia de la perforadora y del tipo de formación geológica (7).

#### **B. Presión de perforación**

La fuerza aplicada a la broca para perforar el material. Demasiada presión puede desgastar la broca prematuramente (7).

#### **C. Flujo de fluido de perforación**

En perforación rotativa, se utiliza un fluido (generalmente lodo) para enfriar y lubricar la broca, así como para transportar los recortes de roca a la superficie (7).

#### **D. Profundidad del agujero**

La longitud total del agujero perforado, que varía según los requisitos específicos de la aplicación (7).

#### **E. Ángulo de inclinación**

Es el que se perfora el agujero con respecto a la vertical

#### **F. Tipo y tamaño de la sarta de perforación**

La sarta es la tubería o conjunto de varillas utilizado para extender la broca a medida que se profundiza el agujero (7).

## G. Tipo de energía

Dependiendo del tipo de perforadora, la energía puede provenir de electricidad, aire comprimido, fluidos de perforación, etc. (7).

## H. Control de vibraciones

En aplicaciones urbanas o cerca de estructuras sensibles, es crucial controlar las vibraciones generadas durante la perforación.

Estos parámetros se seleccionan y ajustan según las condiciones específicas del sitio y los requisitos del proyecto para garantizar una perforación segura y eficiente (8).

## 2 Los parámetros de voladura

La voladura se refiere al proceso de fragmentar rocas u otros materiales sólidos mediante el uso de explosivos. Los parámetros de voladura son factores clave que deben considerarse para lograr resultados efectivos y seguros (9). Algunos de los parámetros más importantes incluyen:

- **Tipo de explosivo:** El tipo de explosivo utilizado afectará la velocidad y la intensidad de la explosión. Algunos explosivos son más adecuados para ciertos tipos de rocas o condiciones específicas (9).
- **Cantidad de explosivo (Carga):** La cantidad de explosivo utilizada determina la energía liberada durante la explosión. Una carga adecuada debe ser calculada para fragmentar la roca de manera eficiente sin causar daños innecesarios (9).
- **Densidad de la carga explosiva:** Se refiere a la cantidad de explosivo por unidad de longitud de un taladro. Una carga densa puede mejorar la eficiencia de la voladura (9).
- **Distribución de la carga explosiva:** La distribución adecuada de la carga en el taladro es esencial. Puede ser uniforme o variar según el diseño de voladura (9).
- **Diámetro y longitud de los taladros:** El tamaño y la longitud de los taladros influyen en la eficiencia de la voladura. El diámetro afecta la

carga explosiva que puede contener, mientras que la longitud influye en la fragmentación de la roca (9).

- **Espaciamiento y ángulo de los taladros:** La disposición espacial y el ángulo de los taladros también son críticos. Un diseño bien planificado puede mejorar la fragmentación y la distribución de la roca (9).
- **Secuencia de detonación:** La secuencia en la que se detonan los explosivos en los taladros afecta la distribución de la energía y la eficiencia de la voladura.
- **Geología del sitio:** Las propiedades geológicas del sitio, como la dureza y la estructura de la roca, afectan la forma en que la roca responde a la explosión.
- **Confinamiento:** La forma en que se confina la carga explosiva en el taladro influye en la eficacia de la voladura.
- **Control de vibraciones y ondas de choque:** Es importante controlar las vibraciones y las ondas de choque generadas durante la voladura para evitar daños no deseados en las estructuras circundantes.

Estos parámetros deben ser evaluados cuidadosamente por expertos en voladuras para garantizar resultados seguros y eficientes, minimizando impactos ambientales y riesgos para la salud y la seguridad (10).

#### 2.2.4. Costos de la perforación y voladura en una rampa

##### A. Costos de perforación de una rampa en minería subterránea

Los costos asociados con la perforación de una rampa en minería subterránea pueden ser significativos y dependerán de varios factores específicos del proyecto (11). Aquí hay algunos elementos que podrían contribuir a los costos de perforación de una rampa en minería subterránea:

- **Estudios geotécnicos y diseño de la rampa:** Costos relacionados con la realización de estudios geotécnicos para evaluar la estabilidad del terreno y el diseño adecuado de la rampa (11).
- **Permisos y licencias:** Costos asociados con la obtención de los permisos y licencias necesarios para llevar a cabo la perforación de la rampa en el entorno minero subterráneo (11).

- **Preparación del frente de perforación:** Gastos para preparar el frente de perforación, incluyendo la excavación inicial para permitir la perforación de la rampa (11).
- **Maquinaria de perforación:** Costos asociados con el alquiler o la compra de la maquinaria de perforación necesaria, que puede incluir perforadoras jumbo o equipos de perforación de túneles (11).
- **Personal:** Salarios y beneficios para el personal involucrado en la operación de la maquinaria de perforación, así como ingenieros, geólogos y otros profesionales (11).
- **Consumibles:** Gastos relacionados con los consumibles, como brocas, herramientas de perforación y explosivos si se utilizan para la excavación (11).
- **Ventilación y sistemas de seguridad:** Costos asociados con la implementación de sistemas de ventilación y medidas de seguridad necesarios para mantener un entorno de trabajo seguro (11).
- **Transporte subterráneo:** Costos relacionados con el transporte de maquinaria y suministros en el entorno subterráneo (11).
- **Control ambiental y residuos:** Gastos para implementar medidas de control ambiental durante la perforación y para gestionar los residuos generados (11).
- **Monitoreo y pruebas:** Costos de monitoreo durante el proceso de perforación y pruebas posteriores para evaluar la calidad de la rampa perforada (11).
- **Iluminación y energía:** Costos asociados con la iluminación y el suministro de energía para el frente de perforación (11).
- **Tiempo de perforación:** Gastos asociados con el tiempo requerido para completar la perforación de la rampa, incluyendo los salarios del personal y el alquiler del equipo (11).
- **Contingencias:** Un margen adicional para posibles contingencias o cambios no planificados durante la perforación en un entorno minero subterráneo (11).

Es crucial realizar un análisis detallado y una planificación cuidadosa para estimar y gestionar eficientemente los costos de perforación de una rampa en minería subterránea, dada la complejidad y los desafíos únicos de este entorno (12).

## B. Costos de voladura de una rampa en minería subterránea

Los costos de voladura de una rampa en minería subterránea pueden variar según varios factores específicos del proyecto y del sitio (13). Aquí hay algunos elementos que podrían contribuir a los costos de voladura de una rampa en minería subterránea:

- **Diseño de voladura:** Costos relacionados con la planificación y diseño de la voladura, que incluyen la determinación de la secuencia de detonación, el tipo de explosivos a utilizar y otros parámetros de voladura (13).
- **Selección de explosivos:** Gastos asociados con la compra de los explosivos necesarios para la voladura, teniendo en cuenta la cantidad y el tipo de explosivos requeridos (13).
- **Iniciadores y accesorios:** Costos de los iniciadores y accesorios necesarios para la detonación controlada de los explosivos (13).
- **Perforación de taladros:** Gastos relacionados con la perforación de los taladros para la colocación de los explosivos (13).
- **Carga y empaque de explosivos:** Costos asociados con la carga y el empaque de los explosivos en los taladros (13).
- **Control de fragmentación:** Gastos para implementar medidas de control de vibraciones y monitoreo de la fragmentación resultante de la voladura (13).
- **Personal especializado:** Salarios y beneficios para el personal especializado en voladuras, como los técnicos de voladuras (13).
- **Equipamiento de Seguridad:** Costos de equipos de seguridad para los trabajadores involucrados en la voladura (13).
- **Disposición de residuos:** Costos asociados con la gestión y disposición adecuada de los residuos generados por la voladura (13).
- **Análisis post-voladura:** Costos de análisis y evaluación de los resultados de la voladura para ajustar futuros diseños y optimizar la eficiencia (13).

Es fundamental realizar un análisis detallado y una planificación cuidadosa para estimar y gestionar eficientemente los costos de voladura de una rampa en minería subterránea, dado que la seguridad y la eficiencia son prioridades clave en este tipo de operaciones (12).

### 2.2.5. Definición de términos

- A. Fragmentación de rocas:** El propósito principal del uso de explosivos es fragmentar la roca en el frente de trabajo. Esto facilita la extracción de minerales y la creación de espacios necesarios para las operaciones mineras (14)
- B. Voladura controlada:** Las voladuras en minería subterránea se llevan a cabo de manera controlada y precisa. Se planifican cuidadosamente, considerando la geología del terreno, la seguridad de los trabajadores y la eficiencia en la fragmentación de la roca (10).
- C. Selección de explosivos:** La elección del tipo de explosivo depende de varios factores, como la dureza de la roca, la geología del área, la profundidad de la perforación y los requisitos de fragmentación. Algunos explosivos comunes incluyen dinamita, emulsiones y explosivos a base de nitrato amónico (10).
- D. Perforación de taladros:** Antes de la voladura, se perforan taladros en la roca. La disposición de estos taladros y su distribución son aspectos cruciales que afectan la eficacia de la voladura (10).
- E. Carga de explosivos:** Después de la perforación, se cargan los taladros con los explosivos. La cantidad y disposición de la carga explosiva se ajustan según el diseño de la voladura y las características de la roca (10).
- F. Secuencia de detonación:** La secuencia en que se detonan los explosivos es crítica. Una secuencia adecuada puede influir en la distribución de la fragmentación y minimizar los efectos no deseados, como las vibraciones y la sobrecarga (10).
- G. Sostenimiento y estabilidad:** Después de la voladura, se llevan a cabo actividades de sostenimiento para garantizar la estabilidad de las áreas recién excavadas (10).
- H. Estudios geotécnicos:** El costo de realizar estudios geotécnicos para comprender la composición del terreno y tomar decisiones informadas sobre el diseño y la construcción de la rampa (10).
- I. Técnica de perforación:** El tipo de perforadora utilizada y la eficiencia de la perforación influirán en los costos asociados con la fase de preparación de la rampa (10).
- J. Costos de mano de obra:** Los salarios y beneficios del personal involucrado en la excavación, incluyendo perforadores, operadores de maquinaria y personal de apoyo, son un componente importante (10).



## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO DE DESARROLLO DEL PROYECTO**

#### **3.1. Método y alcances de la investigación**

##### **3.1.1 Método de la investigación**

###### **A. Método general o teórico de la investigación**

Esta investigación se utiliza el método científico, ya que el uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control por medio de mejoras operacionales en la perforación y voladura ayudará a reducir el costo de avance en una rampa subterránea

###### **B. Método específico de la investigación**

El método específico a emplear es el método experimental deductivo, porque al desarrollar el explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control se podrá reducir el costo de avance en una rampa subterránea

##### **3.1.2 Alcance de la investigación**

###### **A) Tipo de investigación**

Es aplicada, porque el objetivo de la investigación es desarrollar el uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control a fin de reducir el costo de avance en una rampa subterránea

## B) Nivel de investigación

Es descriptivo, porque para desarrollar el uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control se podrá reducir el costo de avance en una rampa subterránea, por medio de mejoras operativas de perforación y voladura.

### 3.2. Diseño de la investigación

Es experimental

### 3.3. Población y muestra

#### 3.3.1. Población

Serán todas las rampas de diferentes secciones

#### 3.3.2. Muestra

El desarrollo de una rampa con sección de 4.5 x 4.5 m.

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 3.4.1. Técnicas utilizadas en la recolección de datos.

**Observación:** la recolección de datos se llevó a cabo en el campo insitu y se utilizó la técnica observacional y el procesamiento de datos de perforación y voladura actuales, que se muestra en la rampa 04. Se utilizó como herramienta de campo para la investigación, herramientas de gestión, cuaderno de notas, planos, vernier, flexómetro y herramientas de oficina.

**Recopilación:** se recopiló datos de perforaciones, factores y parámetros. Se controló el uso y el consumo utilizando Microsoft Excel y tesis, libros y computadoras portátiles para procesar los datos.

#### 3.4.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos

Los instrumentos utilizados en el trabajo de investigación son los informes, publicaciones, tesis, planos, fichas, libros, internet y PC.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Optimizar el uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control para reducir el costo de avance en una rampa subterránea

##### 4.1.1. Caracterización del macizo rocoso para el uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control en una rampa

Mayormente en la preparación de las rampas, se realiza la zonificación geomecánica, a fin de interpretar el tipo de roca a lo largo del tramo de la rampa a realizarse, por lo general el tipo de roca en la zonificación geomecánica se tiene las siguientes calidades de masa rocosa como se muestra en las siguientes tablas.

Tabla N. 3: Zonificación geomecánica en una rampa

Tipo de roca	RMR	Calidad de RMR – dominio estructural
Dacita	35 - 45	(IVA – IVB)
Conglomerado	35 - 45	(IVA – IVB)
Vulcano clasto	35 - 45	(IVA – IVB)
Caliza	35 - 45	(IVA – IVB)

Fuente: Propia

Tabla N. 4: Zonificación geomecánica en una rampa en zonas de contacto

Tipo de roca	RMR	Calidad de RMR – dominio estructural
Dacita - Vulcano clasto	20 - 40	(IVA – IVB)
Conglomerado - Caliza	20 - 40	(IVA – IVB)
Vulcano clasto – Conglomerado	20 - 40	(IVA – IVB)
Caliza - Vulcano clasto	15 - 30	(V – IVB)

Fuente: Propia

### 1 Evaluación del sostenimiento de la rampa

El sostenimiento de las rampas, por lo general como son labores permanentes y según la interpretación geomecánica en secciones de 4.50 x 4.50 metros realizada anteriormente, se tiene 3 tipos de roca como son los siguientes:

- El tipo de roca en zonas de contacto como la dacita - vulcano clasto, conglomerado – caliza y vulcano clasto – conglomerado cuentan con un RMR de 20 – 40, mala A – Mala B (IVA – IVB).

El sostenimiento con roca Mala A (IVA), se utiliza pernos sistemáticos de 7 pies, con espaciamento de 1 metro más malla metálica y shotcrete de 2 a 3 pulgadas.

El sostenimiento con roca Mala B (IVB), se utiliza pernos sistemáticos de 10 pies en la corona y 7 pies en los hastiales con espaciamento de 0.75 a 1 metro más malla metálica con shotcrete de 3 a 4 pulgadas intercaladas con cimbras tipo 4W13 o con cerchas espaciadas de 1 a 1.5 metros.

- El tipo de roca en zonas de contacto como la caliza - vulcano clasto cuentan con un RMR de 15 – 30, muy mala – mala B (V – IVB).

El sostenimiento con roca muy mala (V), se utiliza cimbras de tipo 6W20 con espaciamento de 1 a 1.5 metros, más malla metálica con shotcrete de 3 pulgadas de espesor como prevención, el avance del frente es con Spilling bar de fierro corrugado de 1 pulgadas de diámetro de ser necesario usar marchavantes de riel.

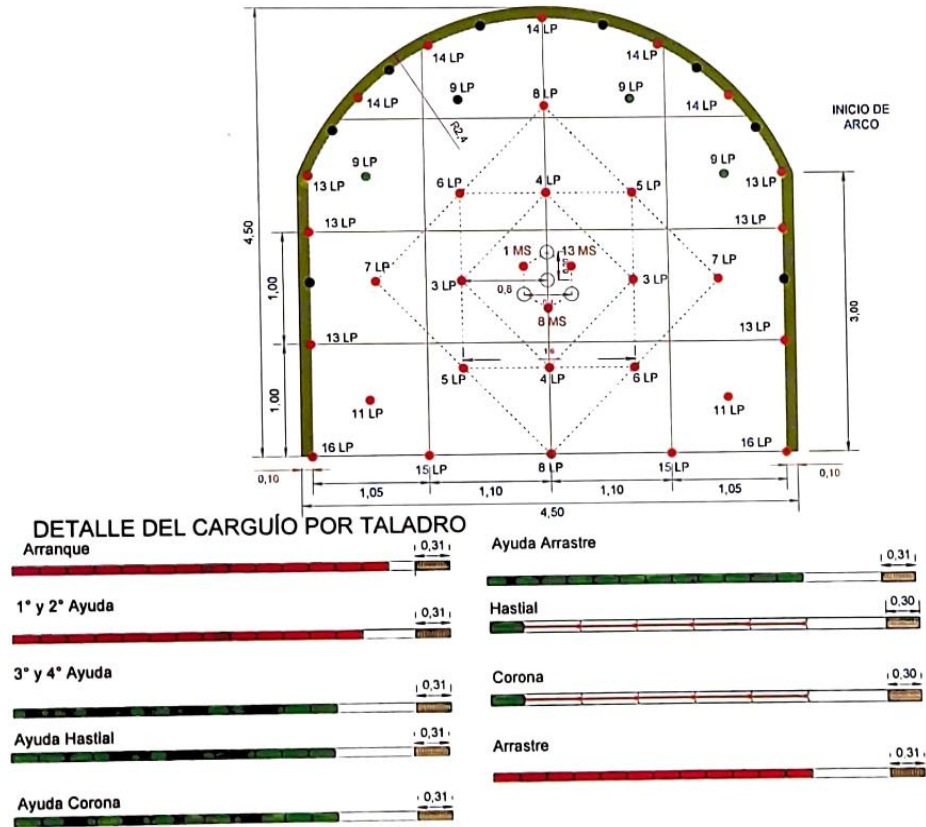
#### **4.1.2. Uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control para mejorar la fragmentación en una rampa subterránea**

A continuación, se muestra el comparativo del diseño de malla de perforación y voladura con Emulnor encartuchado en relación a la emulsión a granel con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control.

##### **1 Escenario anterior diseño de malla de perforación y voladura con Emulnor encartuchado**

En la siguiente figura se muestra el diseño de malla de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado

MALLA DE P&V - BARRA 14 PIES  
 SECCIÓN: 4.5m x 4.5m  
 ROCA SUAVE: RMR (30-40)



Distribución de carga explosiva por taladro				
Tipo	Cantidad taladros	Emulnor 3000 1 1/4 x 12	Emulnor 1000 1 1/4 x 12	Famecorte (E)
Taladros de alivio contorno	8			
Alivio	4			
Arranque	3	15		
1 y 2 ayuda	8	14		
3 ayuda	4		13	
Ayuda hastial	2		13	
Ayuda corona	2		12	
Ayuda arrastre	2		12	
Hastial	6		1	5
Corona	5		1	5
Arrastre	4	13		
<b>Total</b>	<b>48</b>	<b>209</b>	<b>137</b>	<b>55</b>

Fanel MP		Fanel LP	
Retardo	Cantidad	Numero	Cantidad
1	2	1	
2		2	
3		3	2
4		4	2
5		5	2
6		6	2
7		7	2
8	2	8	2
9		9	4
10		10	
11		11	2
12		12	
13	2	13	6
14		14	5
15		15	2
16		16	2
17			
18			
19			
20			

Perforación	Unidad	14 pies
Longitud de perforación	metros	3.7
Taladros cargados	unid.	36
Taladros rimados	unid.	4
Taladros alivio contorno	unid.	8
Diametro de broca	mm	48
Diametro de rimado	mm	102

Voladura	Unidad	14 pies
Emulnor 3000 1 1/4 x 12	cart.	209
Emulnor 1000 1 1/4 x 12	cart.	137
Famecorte (E)	cart.	55
Total explosiva	kg	102.41
cordón detonante 5p	mts.	35
Mecha rápida	mts.	0.2
Carmex 7 pies	Pzas	2
Fanel LP	Pzas	33
Fanel MP	Pzas	6

Resultados	Unidad	14 pies
Avance efectivo	mts	3.1
eficiencia de disparo	%	85.0
Densidad del mineral	tn/m3	2.7
Factor de avance	kg/m	32.56
Factor de carga	kg/m3	0.16
Factor de potencia	kg/tn	0.60

Figura N. 2: Escenario anterior - diseño de malla de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado

Fuente: Departamento de perforación y voladura de Famesa Explosivos S.A.C – Unidad Minera Andaychagua (15)

Una vez estandarizada el diseño de malla de perforación y voladura se procedió a realizar las pruebas del disparo con Emulnor encartuchada.

#### **A. Realización de pruebas con Emulnor encartuchado**

- **Pintado de malla**

El pintado de la malla de perforación y voladura se realiza con pintura en spray, de la siguiente manera:

- ✓ El pintado de gradiente, en relación al piso de la labor.
- ✓ El pintado de punto dirección, es realizado por el área de topografía en el techo de la labor a fin de dirección la labor.
- ✓ El pintado de cuadrículas, se realiza la división en cuadrículas de todo el frente de la labor a fin de que sirva de ayuda para el pintado de la malla de perforación correspondiente.
- ✓ El pintado de malla de perforación, una vez pintado la cuadrícula se procede a pintar el burden y espaciamiento de manera proporcionada en el frente de la labor.

En la siguiente figura se muestra el pintado de malla de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 metros con Emulnor encartuchado.

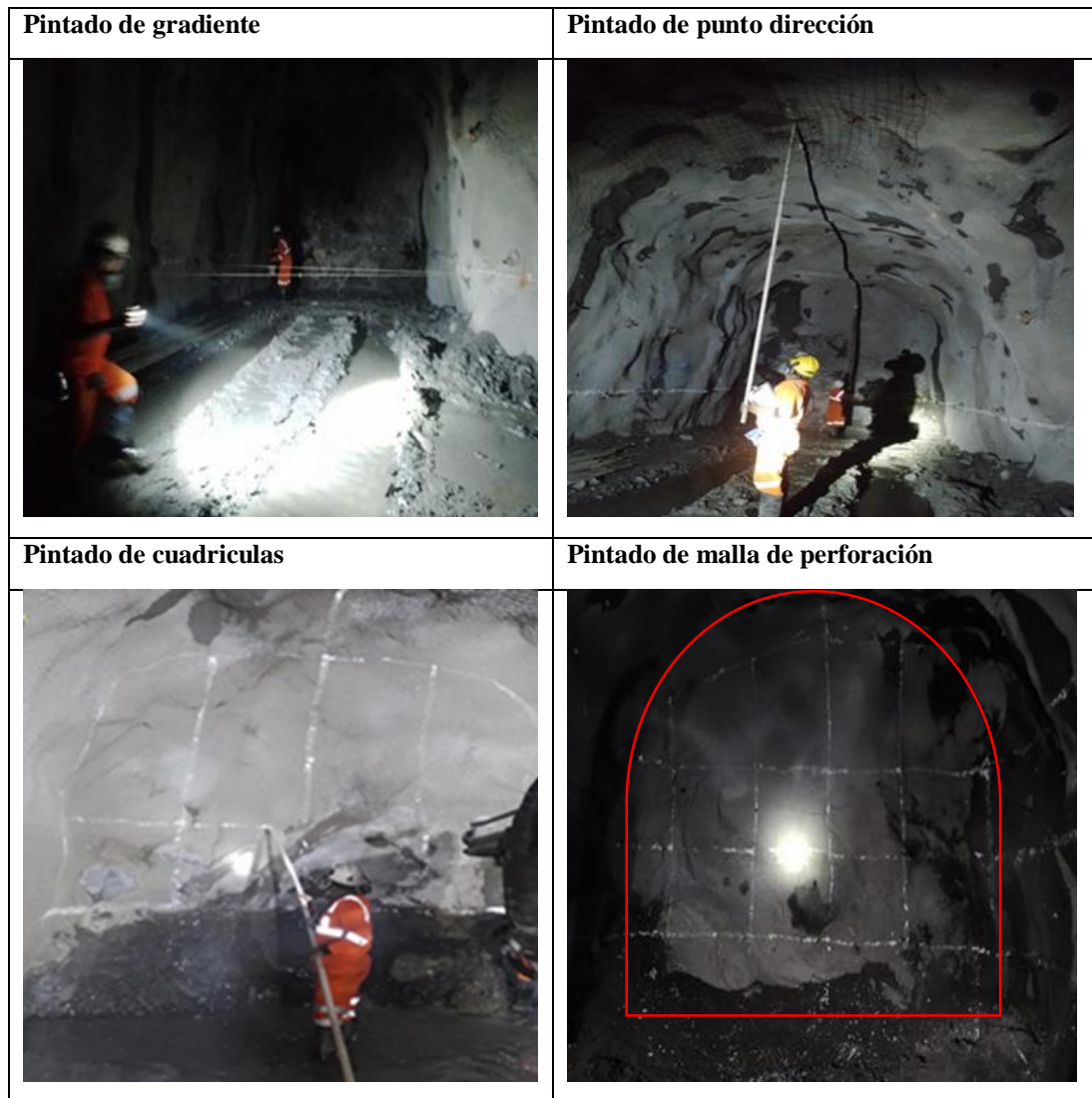


Figura N. 3: Escenario anterior - Pintado de malla de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado

Fuente: propia

- **Perforación**

Se realizó el pintado de arranque y se procedió a realizar la perforación de frente y entubado de los taladros perforados.

En la siguiente figura se muestra la perforación del diseño de malla de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado



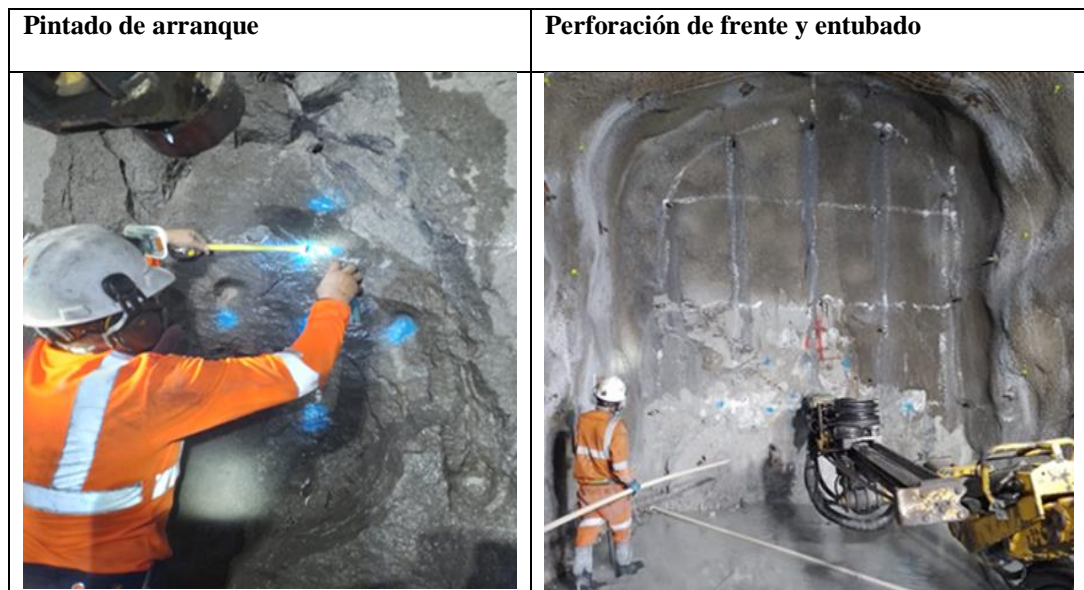


Figura N. 4: Escenario anterior - Perforación del diseño de malla de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado

Fuente: propia

- **Carguío**

Se realizó la distribución de faneles y carguío del frente con el explosivo Emulnor 3000 y 1000.

En la siguiente figura se muestra el carguío de la malla de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado

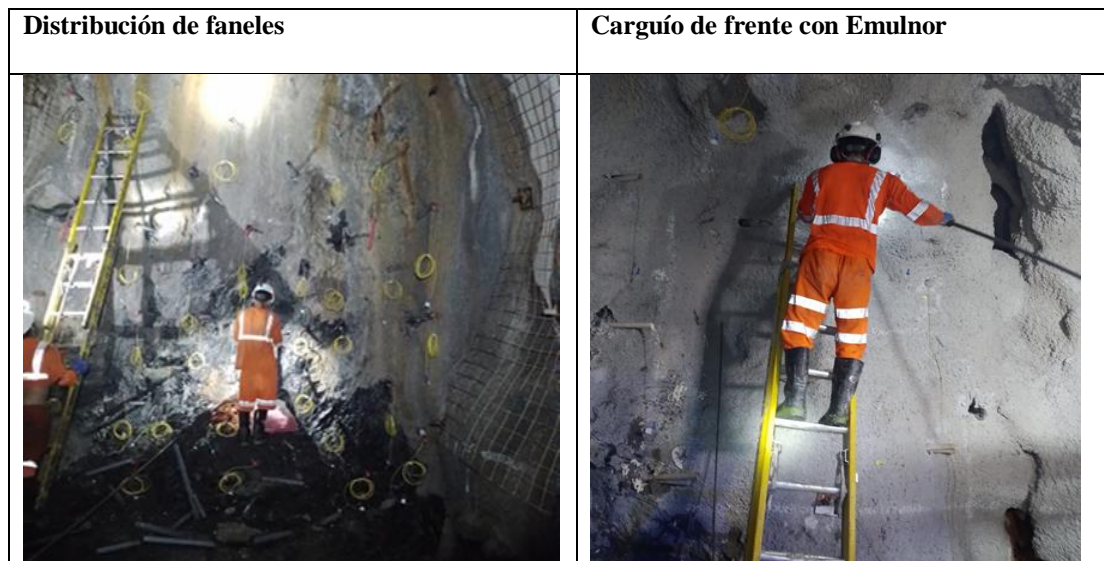


Figura N. 5: Escenario anterior – carguío de la malla de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado

Fuente: propia

- **Voladuras**

Para realizar el disparo se procedió a realizar el amarre y chispeo para la voladura de la rampa.

En la siguiente figura se muestra el amarre y chispeo para la voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado



Figura N. 6: Escenario anterior – Amarre y chispeo para la voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado

Fuente: propia

## **B. Pruebas de disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado**

- **Primer disparo**

En la siguiente tabla se muestra los factores de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m.

Tabla N. 5: Primer disparo - factores de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado

<b>PERFORACIÓN</b>	<b>Unid.</b>	<b>datos</b>	<b>VOLADURA</b>	<b>Unid.</b>	<b>cantidad</b>	<b>Datos</b>
Longitud de perforación	pies	<b>13</b>	Emulnor de 3000x1/4x12	kg	10 bolsas	<b>125</b>
N° taladros cargados	uni	<b>36</b>	Emulnor de 1000x1/4x12	Kg	2 bolsas	<b>25</b>
N° taladros de alivio arranque	uni	<b>4</b>	Famecorte	Kg		
N° taladros de alivio en la corona	uni	<b>8</b>	<b>Total, de explosivos</b>	kg	12 bolsas	<b>150</b>
Diámetro de broca	mm	<b>48</b>	Cordón detonante	m		<b>30</b>
Diámetro de rimado	mm	<b>102</b>	Mecha .Rápida	m		<b>0.2</b>
			Fanel Ms y Lp	uni		<b>56</b>
Tiempo de carguío	hora	<b>1hora y 12 min</b>	Carmex	uni		<b>02</b>

Fuente: propia

En la siguiente figura se muestra el resultado del primer disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado



Antes del disparo	Después del disparo
	
<b>Rampa principal</b>	<b>Labor con sobre excavación en alto</b>

Figura N. 7: Escenario anterior – primer disparo resultado del primer disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado

Fuente: propia

En la siguiente tabla se muestra los resultados del primer disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado

Tabla N. 6: Resultado del primer disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado

<b>Descripción</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Resultados</b>	<b>Descripción</b>
Avance	m	<b>3.6</b>	
Ancho real	m	<b>4.6</b>	
Alto real	m	<b>5.1</b>	<b>Sobre excavación</b>
Fragmentación	Pulg	<b>2.1 &gt;</b>	<b>Muy fino</b>
Sobre rotura	%	<b>25 %</b>	<b>En alto por terreno y perforación</b>
Factor de carga por metro lineal	Kg/m	<b>41.7</b>	

Fuente: propia

- **Segundo disparo**

En la siguiente tabla se muestra los factores de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m.

Tabla N. 7: Segundo disparo - factores de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado

<b>PERFORACIÓN</b>	<b>uni</b>	<b>datos</b>	<b>VOLADURA</b>	<b>uni</b>	<b>cantidad</b>	<b>Datos</b>
Longitud de perforación	pies	<b>13</b>	Emulnor de 3000x1/4x12	kg	9 bolsas	<b>112.5</b>
N° taladros cargados	uni	<b>36</b>	Emulnor de 1000x1/4x12	kg	2 bolsas	<b>25</b>
N° taladros de alivio arranque	uni	<b>4</b>	Famecorte	kg		
N° taladros de alivio en la corona	uni	<b>8</b>	Total, de explosivos	kg	11 bolsas	<b>137.5</b>
Diámetro de broca	mm	<b>48</b>	Cordón detonante	m		<b>30</b>
Diámetro de rimado	mm	<b>102</b>	Mecha rápida	m		<b>0.2</b>
			Fanel Ms y Lp	uni		<b>56</b>
Tiempo de carguío	hora	<b>59 min</b>	Carmex	uni		<b>02</b>

Fuente: propia

En la siguiente figura se muestra el resultado del segundo disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado





Antes del disparo	Después del disparo
	
<b>Rampa principal</b>	<b>Falta sección</b>

Figura N. 8: Escenario anterior – resultado del segundo disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado

Fuente: propia

En la siguiente tabla se muestra los resultados del segundo disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado



Tabla N. 8: Resultado del segundo disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado

<b>Descripción</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Resultados</b>	<b>Descripción</b>
Avance	m	<b>3.00</b>	<b>Avance deficiente</b>
Ancho real	M	<b>4.4</b>	<b>Falta ancho 10 cm</b>
Alto real	M	<b>4.6</b>	
Fragmentación	Pulg	<b>3.5&lt;</b>	<b>Muy fino</b>
Sobre rotura	%	<b>12 %</b>	
Factor de carga por metro lineal	Kg/m	<b>46</b>	

Fuente: propia

- **Tercer disparo**

En la siguiente tabla se muestra los factores de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m.

Tabla N. 9: Tercer disparo - factores de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado

<b>PERFORACIÓN</b>	<b>uni</b>	<b>datos</b>	<b>VOLADURA</b>	<b>uni</b>	<b>cantidad</b>	<b>Datos</b>
Longitud de perforación	pies	<b>13</b>	Emulnor de 3000x1/4x12	kg	9 bolsas	<b>112.5</b>
N° taladros cargados	Uni	<b>36</b>	Emulnor de 1000x1/4x12	Kg	2 bolsas	<b>25</b>
N° taladros de alivio arranque	Uni	<b>4</b>	Famecorte	Kg		
N° taladros de alivio en la corona	Uni	<b>8</b>	<b>Total, de explosivos</b>	Kg	11 bolsas	<b>137.5</b>
Diámetro de broca	Mm	<b>48</b>	Cordón detonante	M		<b>30</b>
Diámetro de rimado	Mm	<b>102</b>	Mecha rápida	M		<b>0.2</b>
			Fanel Ms y Lp	uni		<b>56</b>
Tiempo de carguío	hora	<b>60 min</b>	Carmex	uni		<b>02</b>

Fuente: propia

En la siguiente figura se muestra el resultado del tercer disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado

Antes del disparo	Después del disparo
	
<b>Rampa principal</b>	<b>labor con sobre excavación en ancho</b>

Figura N. 9: Escenario anterior – Tercer disparo resultado del primer disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado

Fuente: propia

En la siguiente tabla se muestra los resultados del tercer disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado

Tabla N. 10: Resultado del tercer disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado

Descripción	Unidad de medida	Resultados	Descripción
Avance	m	3.4	
Ancho real	m	4.9	Sobre excavación en ancho
Alto real	m	4.8	
Fragmentación	Pulg	10<	
Sobre rotura	%	20%	
Factor de carga por metro lineal	Kg/m	40.6	

Fuente: propia

- **Cuarto disparo**

En la siguiente tabla se muestra los factores de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m.

Tabla N. 11: Cuarto disparo - factores de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado

<b>PERFORACIÓN</b>	<b>uni</b>	<b>datos</b>	<b>VOLADURA</b>	<b>uni</b>	<b>cantidad</b>	<b>Datos</b>
Longitud de perforación	pies	<b>13</b>	Emulnor de 3000x1/4x12	kg	10 bolsas	<b>125</b>
N° taladros cargados	Uni	<b>36</b>	Emulnor de 1000x1/4x12	Kg	2 bolsas	<b>25</b>
N° taladros de alivio arranque	Uni	<b>4</b>	Famecorte	Kg		
N° taladros de alivio en la corona	Uni	<b>8</b>	Total, de explosivos	Kg	12 bolsas	<b>150</b>
Diámetro de broca	mm	<b>48</b>	Cordón detonante	m		<b>30</b>
Diámetro de rimado	mm	<b>102</b>	Mecha .Rápida	m		<b>0.2</b>
			Fanel Ms y Lp	uni		<b>56</b>
Tiempo de carguío	hora	<b>58 min</b>	Carmex	uni		<b>02</b>

Fuente: propia

En la siguiente figura se muestra el resultado del cuarto disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado



Antes del disparo	Después del disparo
	
<b>Rp-04 arranque de 5 rimados</b>	<b>Granulometría incorrecto</b>

Figura N. 10: Escenario anterior – cuarto disparo resultado del primer disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado

Fuente: propia

En la siguiente tabla se muestra los resultados del cuarto disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado

Tabla N. 12: Resultado del cuarto disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado

<b>Descripción</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Resultados</b>	<b>Descripción</b>
Avance	m	<b>3.00</b>	
Ancho real	M	<b>4.5</b>	
Alto real	M	<b>4.7</b>	
Fragmentación	Pulg	<b>19</b>	<b>Granulometría incorrecto</b>
Sobre rotura	%	<b>11%</b>	
Factor de carga por metro lineal	Kg/m	<b>50</b>	

Fuente: propia

Tabla N. 13: Resumen de las 4 pruebas de los disparos realizados en una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con Emulnor encartuchado

Labor	Kg de explosivo total	Alto (m)	Ancho (m)	Volumen (m3)	Toneladas (tn)	FC (Kg/m3)	FP (Kg/ton)	FA (Kg/m)	Sobre rotura
1er disparo	150	4.6	5.1	72.9	218.7	2.1	0.7	41.7	25%
2do disparo	137.5	4.4	4.6	60.8	182.3	2.3	0.8	46.0	12%
3er disparo	137.5	4.7	4.8	68.9	206.6	2.0	0.7	40.6	20%
4to disparo	150	4.5	4.7	60.8	182.3	2.5	0.8	50.0	11%

Fuente: propia

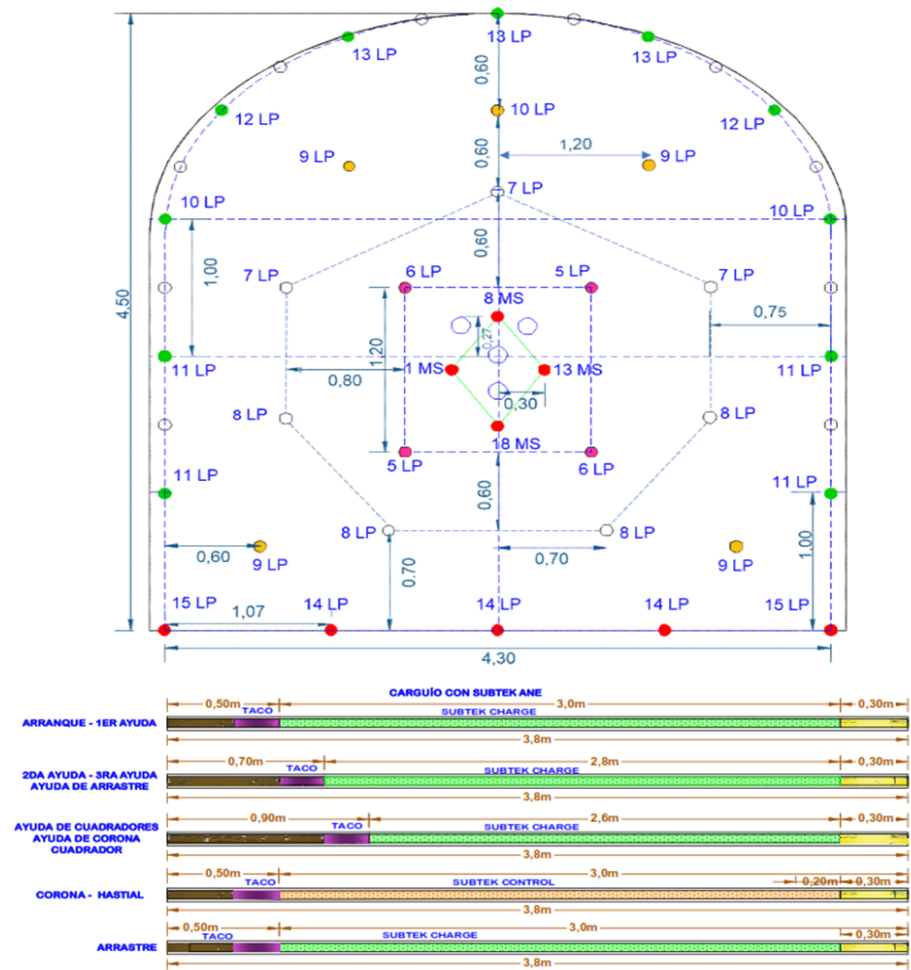
**Interpretación:** en resumen, de las 4 pruebas de los disparos realizados en una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m, con Emulnor encartuchado se obtuvo lo siguiente:

- En el primer disparo, se obtuvo sobre excavación de la corona de la labor del 25% y en la fragmentación se ha obtenido 2.1 pulgadas siendo muy fina
- En el segundo disparo, se obtuvo un avance deficiente de 3 metros, en la salida del ancho de la sección fue incompleta ya que se obtuvo un 90%, siendo 10 cm faltante para una sección completa de 4.5 metros y en la fragmentación se ha obtenido 3.5 pulgadas siendo muy fina
- En el tercer disparo, se obtuvo sobre excavación del ancho de labor del 20%.
- En el cuarto disparo, se obtuvo en una fragmentación inadecuada de 19 pulgadas con bancos medianos

## **2 Escenario actual diseño de malla de perforación y voladura con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control**

En la siguiente figura se muestra el diseño de malla de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m, con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control





CARGUÍO TALADROS SIN ENTUBAR										
Denominación	Cargados	Vacíos	COLUMNA	CARTUCHOS	SUBTEK Kg/Tal		TOTAL		LONGITUD DE CARGA	TACO
			SUBTEK	Emulsion	Charge	Control	ENCART.	SUBTEK		
			φ = 45mm	1 1/4x12	1.51 Kg/m	1.35 Kg/m	kg	kg	m	m
1 Arranque	4	4	3.30	1	4.99		1.1	19.9	3.60	0.30
2 1ra. Ayuda	4	0	3.10	1	4.68		1.1	18.7	3.40	0.50
3 2da. Ayuda	3	0	3.10	1	4.68		0.8	14.1	3.40	0.50
4 3ra. Ayuda	4	0	3.10	1	4.68		1.1	18.7	3.40	0.50
5 Ay Cuadrador	0	0	3.10	1	4.68		0.0	0.0	3.40	0.50
6 Ay Arrastre	2	0	3.10	1	4.68		0.5	9.4	3.40	0.50
7 AyCorona	3	0	3.10	1	4.68		0.8	14.1	3.40	0.50
8 Cuadrador	0	0	3.10	1	4.68		0.0	0.0	3.40	0.50
9 Hastial	6	4	3.00	1		4.06	1.6	24.3	3.30	0.60
10 Corona	5	6	3.00	1		4.06	1.3	20.3	3.30	0.60
11 Arrastre	5	0	3.30	1	4.99		1.3	24.9	3.60	0.30
<b>TOTAL</b>	<b>36</b>	<b>14</b>		<b>36</b>	<b>120</b>	<b>45</b>	<b>9.6</b>	<b>164</b>		<b>174.00</b>
<b>PEDIDO A REALIZAR AL POLVORIN</b>				<b>36 Cartuchos</b>	<b>119.82 Kg</b>	<b>44.61 Kg</b>	<b>9.57 Kg</b>	<b>164.43 Kg</b>		

CARGUÍO TALADROS ENTUBADOS										
Denominación	Cargados	Vacíos	COLUMNA	CARTUCHOS	SUBTEK Kg/Tal		TOTAL		LONGITUD DE CARGA	TACO
			SUBTEK	EMULEX 80	Charge	Control	EMULEX	SUBTEK		
			φ = 39mm	1 1/4x12	1.13 Kg/m	1.02 Kg/m	kg	kg	m	m
1 Arranque	4	4	3.30	1	3.75		1.1	15.0	3.60	0.30
2 1ra. Ayuda	4	0	3.30	1	3.75		1.1	15.0	3.60	0.30
3 2da. Ayuda	3	0	3.10	1	3.52		0.8	10.6	3.40	0.50
4 3ra. Ayuda	4	0	3.10	1	3.52		1.1	14.1	3.40	0.50
5 Ay Cuadrador	0	0	3.10	1	3.52		0.0	0.0	3.40	0.50
6 Ay Arrastre	2	0	3.10	1	3.52		0.5	7.0	3.40	0.50
7 AyCorona	3	0	3.10	1	3.52		0.8	10.6	3.40	0.50
8 Cuadrador	0	0	3.10	1	3.52		0.0	0.0	3.40	0.50
9 Hastial	6	4	3.20	1		3.25	1.6	19.5	3.50	0.40
10 Corona	5	6	3.20	1		3.25	1.3	16.2	3.50	0.40
11 Arrastre	5	0	3.30	1	3.75		1.3	18.7	3.60	0.30
<b>TOTAL</b>	<b>36</b>	<b>14</b>		<b>36</b>	<b>91</b>	<b>36</b>	<b>9.6</b>	<b>127</b>		<b>136.22</b>
<b>PEDIDO A REALIZAR AL POLVORIN</b>				<b>36 Cartuchos</b>	<b>90.90 Kg</b>	<b>35.74 Kg</b>	<b>9.57 Kg</b>	<b>126.64 Kg</b>		

PARAMETROS TECNICOS					
Sección	m <sup>2</sup>	4.5 X 4.5	Taladros Rimados	und.	4
Densidad de Roca	t / m <sup>3</sup>	2.70	Taladros Alivio	und.	8
Diámetro de Rimadora	mm	102.00	Taladros Perforados	und.	48
Long. Prom. De Taladros	m	3.90	Taladros Cargados	und.	36
Avance Teórico	m	3.70	Faneles	und.	36
Volumen	m <sup>3</sup>	73.42	Camex	und.	2
Toneladas	Ton	198.23	Cordon detonante	m	30
			Mecha rapida	m	0.20

Kilos de explosivo Total			
	SE	E	
	174.00	136.22	
Factor de carga	kg/m <sup>3</sup>	2.37	1.86
Factor de potencia	Kg/ton	0.88	0.69
Factor de Avance	Kg/m	47.03	36.82

Nota: Densidad: Charge 0.95 g/cc  
Control 0.85 g/cc

Figura N. 4: Escenario actual - diseño de malla de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control

Fuente: Departamento de perforación y voladura de Orica Mining Services Peru S.A. – Unidad Minera Andaychagua (16)

**A. Una vez estandarizada el diseño de malla de perforación y voladura se procedió a realizar las pruebas del disparo con Emulnor encartuchada.**

Realización de pruebas con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control

- **Pintado de malla**

El pintado de la malla de perforación y voladura se realiza con pintura en spray, de la siguiente manera:

- ✓ El pintado de gradiente, en relación al piso de la labor.
- ✓ El pintado de punto dirección, es realizado por el área de topografía en el techo de la labor, a fin de direccionar la labor.
- ✓ El pintado de cuadrículas, se realiza la división en cuadrículas de todo el frente de la labor a fin de que sirva de ayuda para el pintado de la malla de perforación correspondiente.
- ✓ El pintado de malla de perforación, una vez pintado la cuadrícula se procede a pintar el burden y espaciamiento de manera proporcionada en el frente de la labor.

En la siguiente figura se muestra el pintado de malla de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 metros con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control

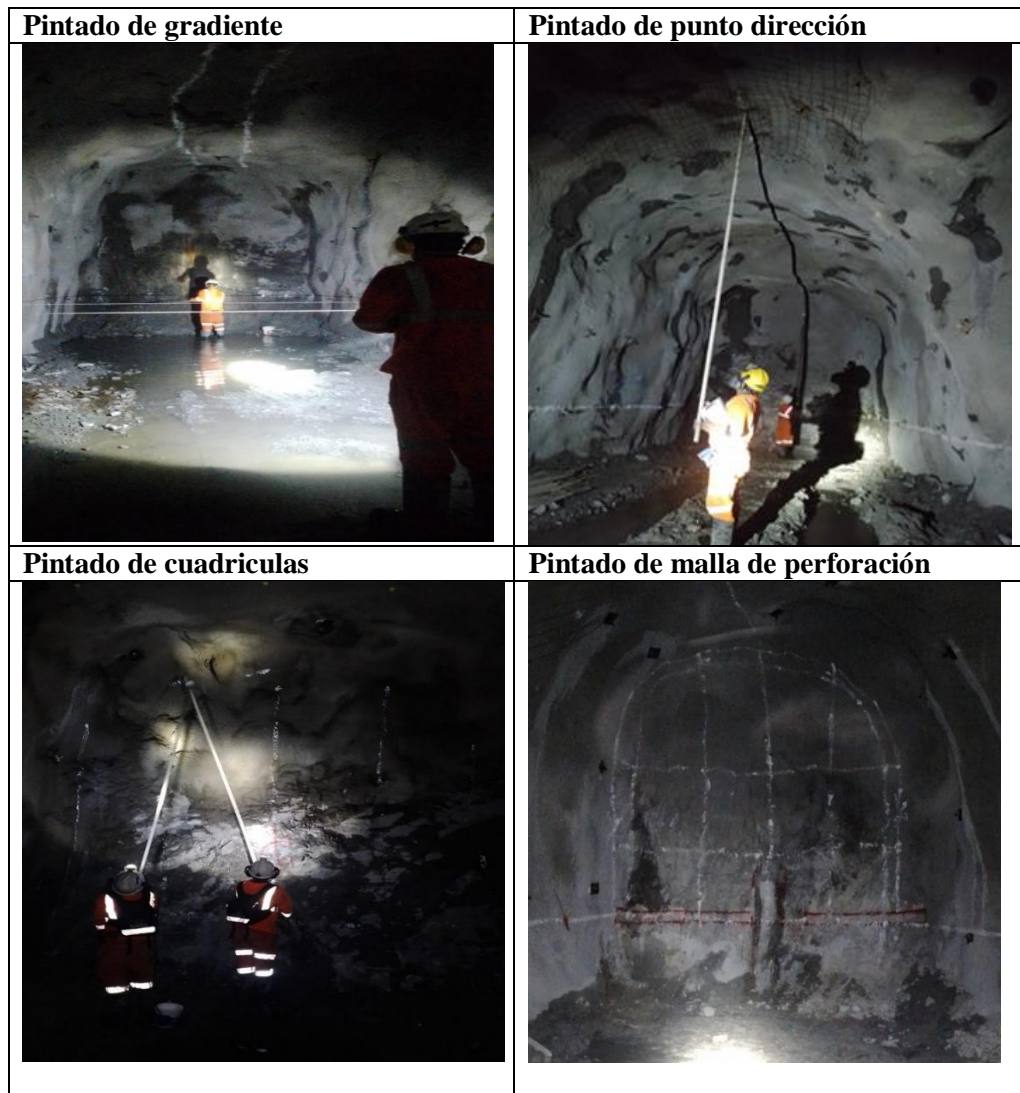


Figura N. 11: Escenario actual - Pintado de malla de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control

Fuente: propia

- **Perforación**

Se realizó el pintado de arranque y se procede a realizar la perforación de frente y entubado de los taladros perforados en terrenos suaves y duros por lo general no se utiliza los tubos de PVC.

En la siguiente figura se muestra la perforación del diseño de malla de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control

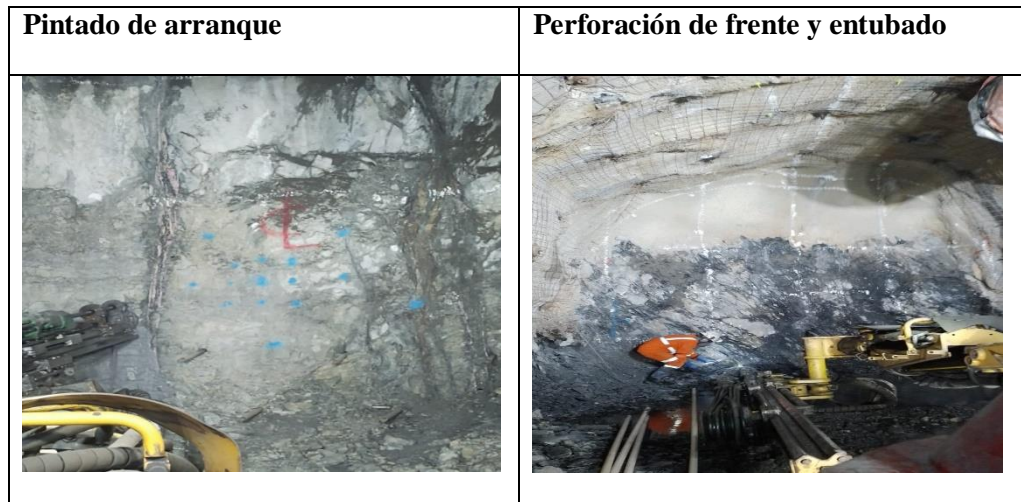


Figura N. 12: Escenario actual - Perforación del diseño de malla de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control

Fuente: propia

- **Carguío**

Se realizó la distribución de faneles y carguío de frente con emulsión a granel explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control.

En la siguiente figura se muestra el carguío de la malla de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control



Figura N. 13: Escenario actual – carguío de la malla de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control

Fuente: propia

- **Voladuras**

Para realizar el disparo se procedió a realizar el amarre y chispeo para la voladura de la rampa.

En la siguiente figura se muestra el amarre y chispeo para la voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control





Figura N. 14: Escenario actual – Amarre y chispeo para la voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control

Fuente: propia

### **B. Pruebas de disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control**

- **Primer disparo**

En la siguiente tabla se muestra los factores de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m.

Tabla N. 14: Primer disparo - factores de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control

<b>PERFORACIÓN</b>	<b>Unidad</b>	<b>datos</b>	<b>VOLADURA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Datos</b>
Longitud de perforación	M	13 pies	SUBTEK CHARGE	kg	100
N° taladros cargados	Uni	36	SUBTEK CONTROL más cebo	Kg	60
N° taladros de alivio arranque	Uni	4	<b>Total, de explosivos</b>	Kg	185
N° taladros de alivio en la corona y hastiales	Uni	10	Cordón detonante	m	30
Diámetro de broca	Mm	48	Mecha rápida	M	0.2
Diámetro de rimado	mm	102	Fanel Ms y Lp	uni	43
Tiempo de carguío	min	25 min	Carmex	uni	02

Fuente: propia

En la siguiente figura se muestra el resultado del primer disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control



Figura N. 15: Escenario actual – Primer disparo resultado del primer disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control

Fuente: propia

En la siguiente tabla se muestra los resultados del primer disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control

Tabla N. 15: Resultado del primer disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control

Descripción	Unidad de medida	Resultados	Descripción
Avance	M	3.80	
Ancho real	M	4.6	
Alto real	M	4.7	
Fragmentación	Pulg	6.8	Adecuado
Sobre rotura	%	9%	
Factor de carga por metro lineal	Kg/m	42.1	

Fuente: propia

- **Segundo disparo**

En la siguiente tabla se muestra los factores de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m.



Tabla N. 16: Segundo disparo - factores de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control

PERFORACIÓN	Unidad	datos	VOLADURA	Unidad	Datos
Longitud de perforación	m	<b>13 pies</b>	SUBTEK CHARGE	kg	<b>140</b>
N° taladros cargados	Uni	<b>39</b>	SUBTEK CONTROL más cebo	Kg	<b>25</b>
N° taladros de alivio arranque	Uni	<b>4</b>	<b>Total, de explosivos</b>	Kg	<b>165</b>
N° taladros de alivio en la corona y hastiales	Uni	10	Cordón detonante	m	<b>30</b>
Diámetro de broca	mm	48	Mecha Rápida	m	<b>0.2</b>
Diámetro de rimado	mm	102	Fanel Ms y Lp	uni	<b>43</b>
Tiempo de carguío	hora	<b>25 min</b>	Carmex	uni	<b>02</b>

Fuente: propia

En la siguiente figura se muestra el resultado del segundo disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control

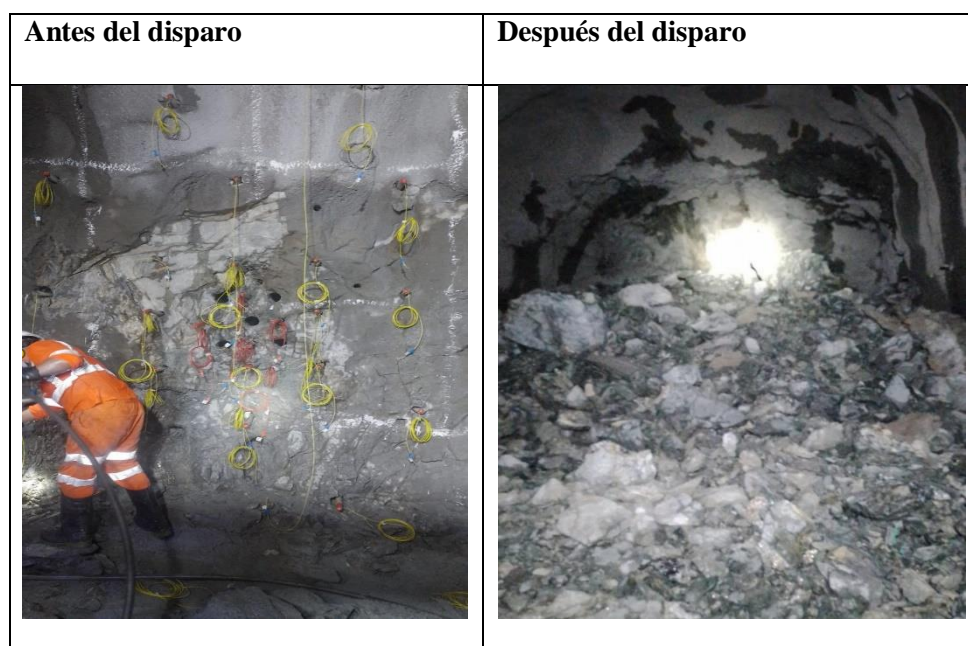


Figura N. 16: Escenario actual – resultado del segundo disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control

Fuente: propia

En la siguiente tabla se muestra los resultados del segundo disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control

Tabla N. 17: Resultado del segundo disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control

Descripción	U. medida	Resultados	Descripción
Avance	m	3.60	
Ancho real	m	4.6	
Alto real	m	4.5	
Fragmentación	Pulg	5.9	
Sobre rotura	%	7 %	
Factor de carga por metro lineal	Kg/m	45.8	

Fuente: propia

- **Tercer disparo**

En la siguiente tabla se muestra los factores de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m.

Tabla N. 18: Tercer disparo - factores de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control

PERFORACIÓN	Unidad	datos	VOLADURA	Unidad	Datos
Longitud de perforación	m	<b>13 pies</b>	SUBTEK CHARGE	kg	<b>161</b>
N° taladros cargados	Uni	<b>39</b>	SUBTEK CONTROL más cebo	Kg	<b>25</b>
N° taladros rimados	Uni	<b>6</b>	<b>Total, de explosivos</b>	Kg	<b>186</b>
N° taladros de alivio en la corona y hastiales	Uni	10	Cordón detonante	m	<b>30</b>
Diámetro de broca	mm	48	Mecha .Rápida	m	<b>0.2</b>
Diámetro de rimado	mm	102	Fanel Ms y Lp	uni	<b>43</b>
Tiempo de carguío	hora	<b>27 min</b>	Carmex	uni	<b>02</b>

Fuente: propia

En la siguiente figura se muestra el resultado del tercer disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control

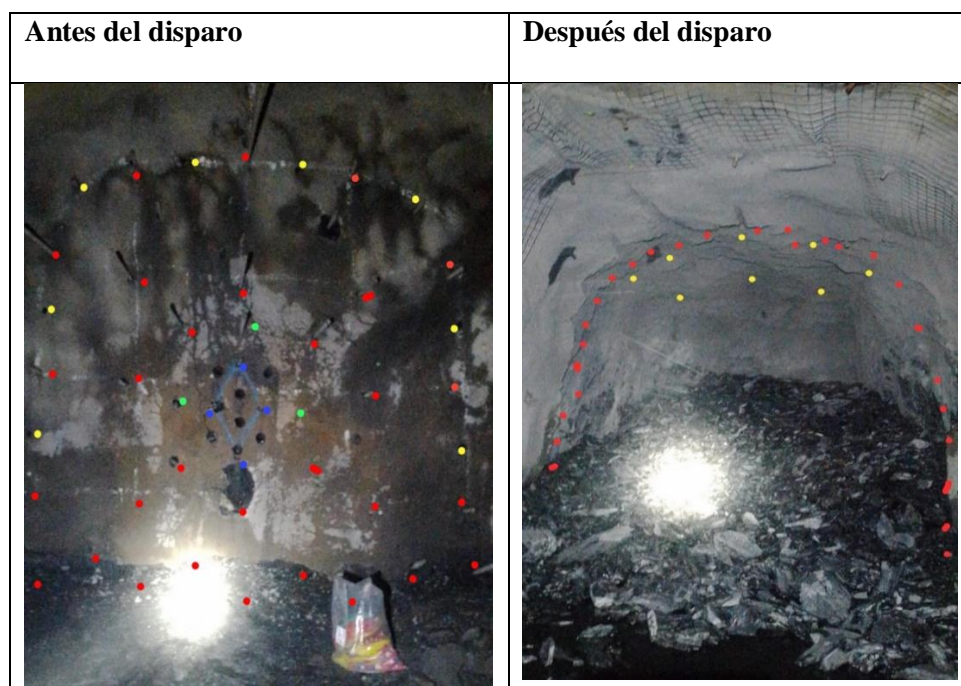


Figura N. 17: Escenario actual –resultado del Tercer disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control

Fuente: propia

En la siguiente tabla se muestra los resultados del Tercer disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control

Tabla N. 19: Resultado del Tercer disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control

Descripción	U. medida	Resultados	Descripción
Avance	m	3.90	
Ancho real	m	4.6	
Alto real	m	4.7	
Fragmentación	Pulg	6.9	
Sobre rotura	%	12 %	
Factor de carga por metro lineal	Kg/m	47.7	

Fuente: propia

- **Cuarto disparo**

En la siguiente tabla se muestra los factores de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m.

Tabla N. 20: Cuarto disparo - factores de perforación y voladura de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control

<b>PERFORACIÓN</b>	<b>Unidad</b>	<b>datos</b>	<b>VOLADURA</b>	<b>Unidad</b>	<b>Datos</b>
Longitud de perforación	m	13 pies	SUBTEK CHARGE	kg	142
Nº taladros cargados	Uni	36	SUBTEK CONTROL	Kg	25
Nº taladros rimados	Uni	6	Total, de explosivos	Kg	167
Nº taladros de alivio en la corona y hastiales	Uni	10	Cordón detonante	m	30
Diámetro de broca	mm	48	Mecha rápida	m	0.2
Diámetro de rimado	mm	102	Fanel Ms y Lp	uni	43
Tiempo de carguío	hora	30 min	Carmex	uni	02

Fuente: propia

En la siguiente figura se muestra el resultado del cuarto disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control

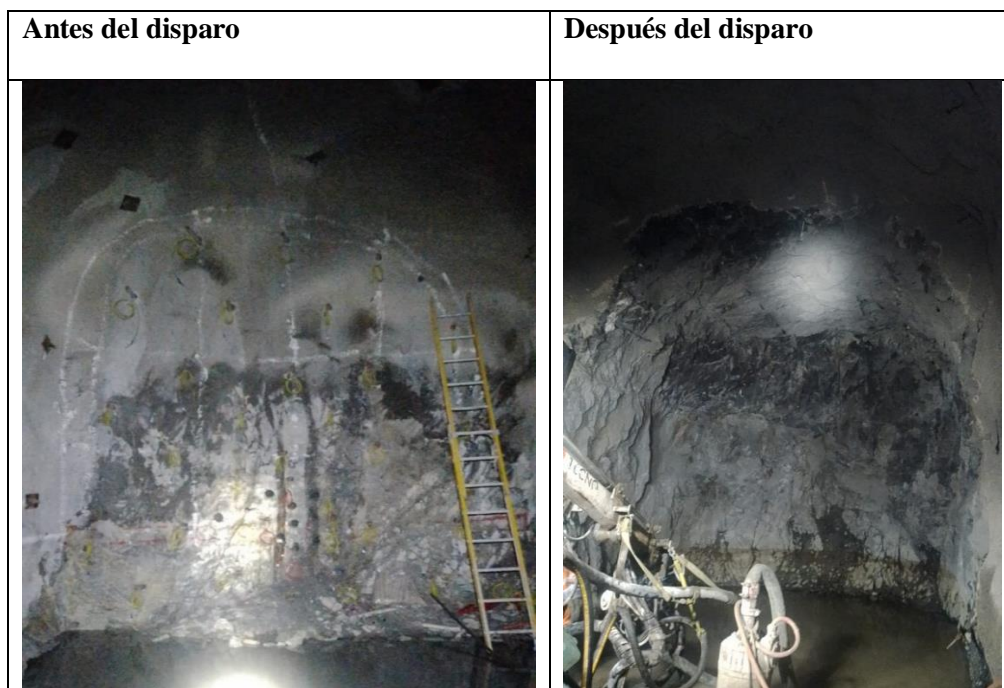


Figura N. 18: Escenario actual – cuarto disparo resultado del primer disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control

Fuente: propia

En la siguiente tabla se muestra los resultados del cuarto disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control

Tabla N. 21: Resultado del cuarto disparo de una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control

Descripción	Unidad de medida	Resultados	Descripción
Avance	m	4.00	
Ancho real	m	4.5	
Alto real	m	4.6	
Fragmentación	Pulg	6.4	
Sobre rotura	%	7 %	
Factor de carga por metro lineal	Kg/m	41.8	

Fuente: propia

Tabla N. 22: Resumen de las 4 pruebas de los disparos realizados en una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control

Labor	Kg de explosivo total	Alto (m)	Ancho (m)	Volumen (m3)	Toneladas (tn)	FC (Kg/m3)	FP (Kg/ton)	FA (Kg/m)	Sobre rotura
1er disparo	160	4.6	4.7	77.0	230.9	2.1	0.7	42.1	9 %
2do disparo	165	4.6	4.5	72.0	218.7	2.3	0.8	45.8	7 %
3er disparo	186	4.6	4.7	79.0	236.9	2.4	0.8	47.7	12 %
4to disparo	167	4.5	4.6	81.0	243.0	2.1	0.7	41.8	7 %

Fuente: propia

**Interpretación:** en resumen, de las 4 pruebas de los disparos realizados en una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m, con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control se obtuvo lo siguiente:

- En el primer disparo, se obtuvo un disparo sin sobre excavación de la labor dentro del estándar que viene hacer 2 cm en cada hastial y una fragmentación adecuada de 6.8 pulgadas.
- En el segundo disparo, se obtuvo un disparo sin sobre excavación de la labor dentro del estándar que viene hacer 2 cm en cada hastial y una fragmentación adecuada de 5.9 pulgadas.
- En el tercer disparo, se obtuvo un disparo sin sobre excavación de la labor dentro del estándar que viene hacer 2 cm en cada hastial y una fragmentación adecuada de 6.9 pulgadas.
- En el cuarto disparo, se obtuvo un disparo sin sobre excavación de la labor dentro del estándar que viene hacer 2 cm en cada hastial y una fragmentación adecuada de 6.4 pulgadas.

A continuación, se muestra el resumen comparativo de los disparos realizados con Emulnor encartuchado en relación a la emulsión a granel con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control.

Tabla N. 23: Resumen comparativo de los disparos realizados con Emulnor encartuchado en relación a la emulsión a granel con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control

Parámetros	Famesa (Emulnor)	Orica ( Subtek Charge y Subtek Control)
Avance en promedio (m)	3.60 m	3.90 m
Eficiencia de avance en promedio (%)	85 %	90 %
Factor de avance en promedio (kg/m)	45.13	42.35
Sobre rotura en promedio (%)	15 %	8 %
Nº. de taladros	48	50
Nº de taladros cargados	36	36
Nº taladros de alivio arranque	4	4
Nº taladros de alivio en la corona y hastiales	8	10
Fragmentación en promedio (pulg)	8.2	6.2
Tipo de carguío en promedio (min)	50 min	20 min
VOD de Emulnor 3000 y subtek charge	4400 m/s	3.5 a 5.7 km/s
VOD de Emulnor 1000 y subtek control	4500 m/s	3.5 a 5.7 km/s

Fuente: propia

**Interpretación:** en resumen, de los disparos realizados con Emulnor encartuchado en relación a la emulsión a granel con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control se obtuvo lo siguiente:



- En el avance, en promedio con Emulnor encartuchado se obtuvo 3.65 m alcanzando una eficiencia del 85% y en relación al explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control se obtuvo 3.96 m con una eficiencia del 90%
- El factor de avance en promedio con Emulnor encartuchado es de 45.13 kg/m y con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control es de 42.35, el cual es rentable para el proyecto.
- La sobre rotura en promedio con Emulnor encartuchado es de 15 % y con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control es de 8 % el cual es factible.
- La fragmentación en promedio con Emulnor encartuchado es de 8.2 pulgadas, en su mayoría demasiada fina como también demasiada gruesa la granulometría resultante por la deficiencia en el disparo y con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control, es de 6.2 pulg, en los tres disparos en promedio siendo estable la granulometría resultante en el disparo.
- El tipo de carguío en promedio con Emulnor encartuchado es de 50 min y con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control es de 20 min, ya que el carguío es con equipo bombeable reduciendo significativamente el tiempo de carguío.
- La VOD de Emulnor 3000 es de 4400 m/s y la VOD del subtek charge es de 3.5 a 5.7 km/s
- La VOD de Emulnor 1000 es de 4500 m/s y la VOD del subtek control es de 3.5 a 5.7 km/s

#### **4.1.3. Uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control para la reducción del costo de perforación y voladura en una rampa**

Una vez realizado el análisis de la utilización del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control para la reducción del costo de perforación y voladura en una rampa, se procedió a analizar económicamente el Emulnor encartuchado en relación a la emulsión a granel o bombeable

##### **1. Valorización de una rampa con explosivo Emulnor encartuchado escenario anterior**

La valorización se realizará netamente en los precios unitarios de voladura y las cantidades utilizadas correspondientemente. En la siguiente tabla se muestra la valorización de una rampa con explosivo Emulnor encartuchado escenario anterior

Tabla N. 24: Valorización de una rampa con explosivo Emulnor encartuchado escenario anterior

Descripción	Precio unitario		Cantidad unidades		Costo total (\$/unid)
Emulnor 3000 1-1/4*12	2.043	\$/kg	55	kg	113
Emulnor 1000 1-1/4*12	1.851	\$/kg	39	kg	71
Famecorte	7.37	\$/kg	8	kg	62
Tubería	1.47	\$/unid	48	unid	70.56
Detonador (Fanel LP-MP)	0.86	\$/pzs	39	pzs	33.54
Cordón detonante (P5)	0.186	\$/m	35	m	6.51
Taco arcilla	0.14	\$/unid	36	unid	5.04
Mecha rápida	0.23	\$/m	0.2	m	0.046
Carmex 7 pies	0.57	\$/pzs	2	pzs	1.14
<b>Costo total por frente (\$)</b>					<b>363.41</b>
<b>Costo total por metro (\$/m)</b>					<b>100.95</b>

Fuente: propia

**Interpretación:** en tabla se muestra los costos de voladura para una rampa de sección de 4.5 x 4.5 metros con un avance de 3.60 metros, el costo total por frente es de \$ 363.41 y el costo total por metro es de 100.95 \$/m. este costo es un estándar operativo en el desarrollo de una rampa.

## 2. Valorización de una rampa con explosivo emulsión a granel o bombeable escenario actual

La valorización se realizará netamente en los precios unitarios de voladura y las cantidades utilizadas correspondientemente. En la siguiente tabla se muestra la valorización de una rampa con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control, que es en el escenario actual

Tabla N. 25: Valorización de una rampa con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control, que es en el escenario actual

Descripción	Precio unitario		Cantidad unidades		Costos total (\$/unidad)
Emulnor 3000 1-1/4*12	2.043	\$/kg	9.57	kg	19.55
Emulsión a granel	1.379	\$/kg	126.64	kg	174.64
Tubería	1.47	\$/unidad	36	unidad	52.92
Detonador (Fanel)	0.86	\$/pzs	40	pzs	34.40
Cordón detonante (P5)	0.186	\$/m	30	m	5.58
Taco arcilla	0.14	\$/unidad	36	unidad	5.04
Mecha rápida	0.23	\$/m	0.2	m	0.05
Carmex 7 pies	0.57	\$/pzs	2	pzs	1.14
<b>Costo total por frente (\$)</b>					<b>293.31</b>
<b>Costo total por metro (\$/m)</b>					<b>75.21</b>

Fuente: propia

**Interpretación:** en tabla se muestra los costos de voladura para una rampa de sección de 4.5 x 4.5 metros con un avance de 3.90 metros, el costo total por frente es de \$ 293.31 y el costo total por metro es de 75.21 \$/m. este costo es un estándar operativo en el desarrollo de una rampa.

Tras el cambio de explosivo se ha reducido el costo total por frente en \$ 70.09 y el costo total por metro en 25.74 \$/m siendo factible y viable el cambio de explosivo realizado

### 3. Comparación de los costos de los disparos realizados en una rampa con explosivo Emulnor encartuchado y emulsión a granel o bombeable

Los costos del disparo en campo representan el real de los precios unitarios y la cantidad de cada explosivo o accesorio utilizado es por ello en la siguiente tabla se muestra la valorización de los costos por disparo en una rampa con explosivo Emulnor encartuchado y emulsión a granel o bombeable

Tabla N. 26: Valorización de los costos por disparo en una rampa con explosivo Emulnor encartuchado y emulsión a granel o bombeable

Disparos	Emulnor encartuchado 3000 y 1000	Subtek™ Charge y Subtek™ Control	Diferencia de costo (\$)
	Costo anterior (\$)	Costo actual (\$)	
Primer disparo	431.48	348.72	82.76
Segundo disparo	404.94	355.62	49.32
Tercer disparo	404.94	384.58	20.36
Cuarto disparo	431.48	358.38	73.1

Fuente: propia

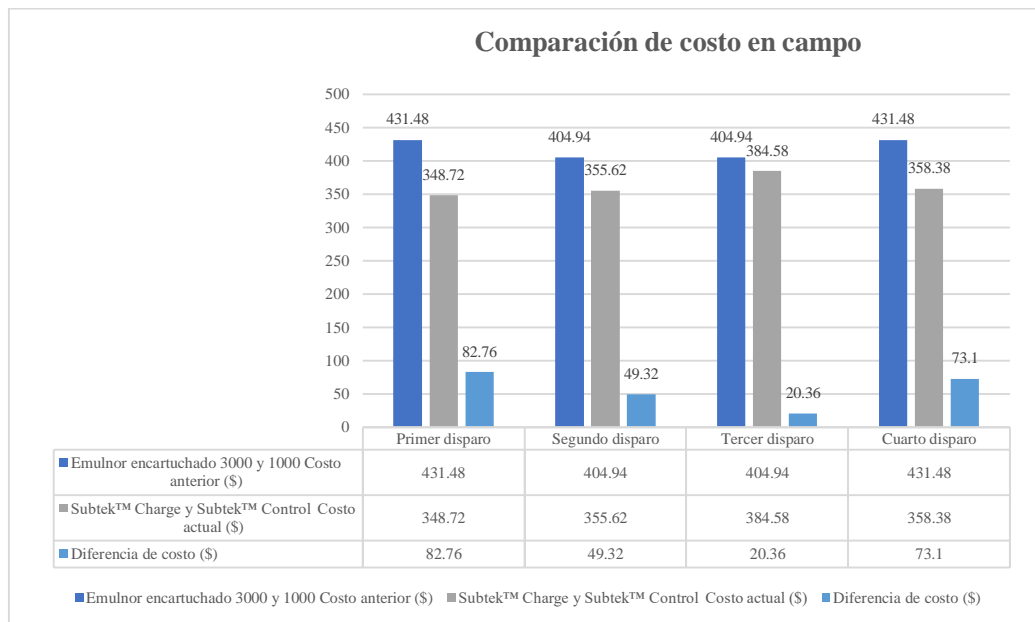


Figura N. 19: Comparación de la valorización de los costos por disparo en una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m, con explosivo Emulnor encartuchado y emulsión a granel o bombeable

Fuente: propia

**Interpretación:** en tabla se muestra los costos por disparos para una rampa de sección de 4.5 x 4.5 metros como se muestra a continuación:

- En el primer disparo con Emulnor encartuchado 3000 y 1000 se obtuvo un costo de \$ 431.48, y con Subtek™ Charge y Subtek™ Control se obtuvo un costo de \$348.72, y se logró reducir el costo total por disparo en \$ 82.76.

- En el segundo disparo con Emulnor encartuchado 3000 y 1000 se obtuvo un costo de \$ 404.94, y con Subtek™ Charge y Subtek™ Control se obtuvo un costo de \$ 355.62, lográndose reducir el costo total por disparo en \$ 49.32.
- En el tercer disparo con Emulnor encartuchado 3000 y 1000 se obtuvo un costo de \$ 404.94, y con Subtek™ Charge y Subtek™ Control se obtuvo un costo de \$ 384.58, lográndose reducir el costo total por disparo en \$ 20.36.
- En el cuarto disparo con Emulnor encartuchado 3000 y 1000 se obtuvo un costo de \$ 431.48, y con Subtek™ Charge y Subtek™ Control se obtuvo un costo de \$ 358.38, lográndose reducir el costo total por disparo en \$ 73.1.

Se logró optimizar un costo total valorizado en los 4 disparos en el desarrollo de la rampa de \$ 225.54, con el explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control.

## CONCLUSIONES

- 1 La interpretación geomecánica por zonificación es factible ya que se realiza el análisis por tramos en toda la extensión de la rampa, eso ayuda a tener un panorama amplio del tipo de roca presente en el frente y el tipo de sostenimiento a utilizar, por lo general en el desarrollo de una rampa en la zona centro del Perú, el tipo de roca es mala A – mala B (IVA – IVB) con RMR de 15 a 40, es por ello que se debe utilizar como mínimo pernos sistemático de 7 pies, con espaciamiento de 1 metro más malla metálica y shotcrete de 2 a 3 pulgadas.
- 2 En el escenario anterior se realizó 4 disparos en una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m, con Emulnor encartuchado, en el primer disparo, se obtuvo sobre excavación de la corona de la labor del 25% y en la fragmentación se ha obtenido 2.1 pulgadas siendo muy fina, en el segundo disparo, se obtuvo un avance deficiente de 3 metros, menor ancho de la sección ya que se obtuvo un 90% de salida, siendo 10 cm faltante en función a los 4.5 metros y en la fragmentación se ha obtenido 3.5 pulgadas siendo muy fina, en el tercer disparo, se obtuvo sobre excavación del ancho de labor del 20% y en el cuarto disparo, se obtuvo en una fragmentación inadecuada de 19 pulgadas con bancos medianos.  
En el escenario actual se realizó 4 disparos en una rampa principal de sección de 4.5 m x 4.5 m, con explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control, en los 4 disparos realizados se obtuvieron sobre excavación de la labor dentro del estándar que viene hacer 2 cm en cada hastial y la fragmentación fue adecuada ya que en el primer disparo fue de 6.8 pulgadas, en el segundo disparo fue de 5.9 pulgadas, en el tercer disparo fue de 6.9 pulgadas y en el cuarto disparo fue de 6.4 pulgadas
- 3 Tras el cambio de explosivo en una rampa de explosivo Emulnor encartuchado a emulsión a granel o bombeable se ha reducido el costo total por frente en \$ 70.09 y el costo total por metro en 25.74 \$/m siendo factible y viable el cambio de explosivo realizado. Lográndose optimizar un costo total valorizado en los 4 disparos en el desarrollo de la rampa de \$ 225.54, con el explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar el mapeo geo mecánico para la zonificación de todo el tramo de la rampa, a fin de determinar el tipo de roca y establecer el tipo de sostenimiento ya que el comportamiento a lo largo del tramo de la rampa tiende a variar por la estructura de la roca presente.
2. Realizar ante un cambio de explosivo en el diseño de malla de perforación y voladura desarrollar pruebas de disparo por lo mínimo 4 pruebas a fin de comparar resultados de mejora que ayudarán a determinar si el cambio realizado es factible en términos de controlar la sobre rotura, la fragmentación entre otros, como también si es viable en la reducción de costos de voladura tras cada disparo realizado.
3. Realizar el análisis de costos evaluando los precios unitarios de los explosivos y accesorios y la cantidad de cada uno de ellos que se utilizaran en el diseño de malla de perforación y voladura, asociado a esto se recomienda evaluar también la eficiencia de la voladura ya que este será el indicador para reducir el costo por metro lineal de avance.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **CARHUAPOMA MEZA , Elmer y PUMACAHUA RAMOS, Roosevelt .** *Cambio de explosivo de dinamita convencional a Emulnor para evaluar su rendimiento de voladura en la Unidad Operativa Horizonte – La Libertad.* Tesis para optar el título de ingeniero de minas. Huancavelica : Universidad Nacional de Huancavelica, 2022.
2. **GONZALES HILARES, judyt Vereni.** *Reducción de costos operativos en labor Carmen Nv. 3040 mediante la optimización de estándares de perforación y voladura, CIA. Minera Poderosa S.A -2018.* Tesis para optar el título de ingeniero de minas. Abancay : Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurimac, 2019.
3. **ROMANI CARHUAMACA, Ronal.** *Diseño de mallas de perforación y voladura para optimizar avances y sobre rotura Nv. 1225 - Mina Andaychagua - VCM S.A.A.* Tesis para optar el título de ingeniero de minas. Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2018.
4. **LABORATORIO DE INNOVACIÓN EN TECNOLOGÍA MINERAS.** *Introducción a la Minería subterránea Volumen II: Construcción de infraestructura de mina interior.* Tesis para optar el título de ingeniero de minas. Madrid : Universidad Politécnica de Madrid, 2019.
5. **DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN.** *PETS - Rampa principal.* Pataz - Peru : Minera Aurífera Retamas S.A, 2023.
6. **BELTRAN VELASQUEZ , Saraias .** *Diseño de malla de perforación y voladura para optimizar la productividad en una mina subterránea en Pataz La Libertad 2020.* Tesis para optar el título de ingeniero de minas. Trujillo : Universidad Privada del Norte, 2020.
7. **EPIROC S.A.** *Factores y paramtros de perforacion de rocas.* Tesis para optar el título de ingeniero de minas . Lima : Rock Drilling Tools, 2021.
8. **PORTILLA R, Helmuth, y otros.** *Optimización de parámetros de perforación con MSE E impacto en la construcción de un pozo en el campo Yariguí – Cantagallo.* Bogota : Ingeniero de Petróleos. Instituto Colombiano del petróleo (ICP), Ecopetrol S.A, 2014.
9. **MINISTERIOS DE MINAS Y ENERGÍA.** *Guía Adquisición de Explosivos y Accesorios de Voladura.* Bogota : Ministerio de la protección social, 2001.
10. **GOBIERNO DE ESPAÑA.** *Guía de buenas prácticas en el diseño y ejecución de voladuras en banco.* Madrid : Ministerio para la transmisión ecológica y el reto democrático, 2012.



11. **MORAN FIESTAS, Luis Noel.** Minería subterránea. [En línea] Scribd, 06 de 11 de 2019. [Citado el: 12 de 12 de 2025.] <https://es.scribd.com/document/433722060/Costos-Rampa>.
12. **GOMEZ MENDOZA, Saul Alvaro .** *Diseño y construcción de la rampa Yumpag para la Optimización de las operaciones Mineras, Compañía de Minas Buenaventura, Región de Pasco.* Cusco : Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, 2021.
13. **OBREGON GABRIEL, Alfonzo y UNTIVEROS ARROYO, Junior .** *Análisis de las variables de perforación y voladura en la rampa 8524 Nuevo Century - NV 734 para la mejora de la productividad en la Unidad Minera San Juan de Chorunga - Arequipa, 2021.* Huancayo : Universidad Continental, 2021.
14. **Abel Naranjo A. y Carlos M. Soto J.** *Efecto de los parámetros geomecánicos en el fracturamiento hidráulico de yacimientos de hidrocarburos sensibles a esfuerzo.* 11 : 11, 2017. 0120 3630.
15. **FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C .** *Departamento de perforación y voladura.* Yauli : Unidad Minera Andaychagua , 2023.
16. **ORICA MINING SERVICES PERU S.A.** *Departamento de perforación y voladura .* Yauli : Unidad Minera Andaychagua, 2023.

## **ANEXOS**

**Anexo 1. Matriz de Consistencia**

<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPÓTESIS GENERAL</b>
¿Cómo influye el uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control para reducir el costo de avance en la Rampa 04 en una Rampa ?	Desarrollar el uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control para reducir el costo de avance en una Rampa	El uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control será factible y viable para reducir el costo de avance en una Rampa
<b>PROBLEMAS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>HIPÓTESIS ESPECÍFICA</b>
A. ¿Cómo influye la caracterización del macizo rocoso para el uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control en una Rampa ?	A. Realizar la caracterización del macizo rocoso para el uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control en una Rampa	A. La caracterización del macizo rocoso influye positivamente para el uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control en una Rampa
B. ¿Cómo influye el uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control para mejorar la fragmentación en una Rampa?	B. Desarrollar el uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control para mejorar la fragmentación en una Rampa	B. El uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control influye positivamente para mejorar la fragmentación en una Rampa
C. ¿Cómo influye el uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control en la reducción del costo de perforación y voladura en una Rampa ?	C. Desarrollar el uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control en la reducción del costo de perforación y voladura en una Rampa	C. El uso del explosivo Subtek™ Charge y Subtek™ Control será factible y viable en la reducción del costo de perforación y voladura en una Rampa

Fuente: Elaboración propia.

**Anexo 2. Perforación de una Rampa de sección de 4.5 x 4.5 metros**



Fuente: propia

**Anexo 3. Pintado de la cuadrícula de la malla de perforación y voladura de una Rampa de sección de 4.5 x 4.5 metros**



Fuente: propia



**Anexo 4. Carguío de explosivos del malla de perforación y voladura de una Rampa de sección de 4.5 x 4.5 metros**



Fuente: propia

## Anexo 5. Explosivo Subtek™ Charge



### DESCRIPCIÓN

La emulsión explosiva a granel Subtek™ Charge es un explosivo bombeable sensible a un iniciador, que tiene la apariencia de un fluido opaco, con viscosidad similar a la grasa liviana o aceite pesado. Subtek™ Charge tiene excelente resistencia al agua como característica propia de las emulsiones explosivas.

### BENEFICIOS CLAVE

- Subtek™ Charge es fabricado en la frente de carguío en base a una emulsión no explosiva, lo que elimina el riesgo de transporte y almacenamiento de productos explosivos y reduce la cantidad de explosivo en el sitio de construcción.
- La densidad final del producto Subtek™ Charge puede ser modificada para ajustarse a los requerimientos deseados del producto.
- La emulsión bombeable Subtek™ Charge reduce el derrame, y junto a la excelente resistencia al agua, minimiza el percolamiento de nitrato y el resultante impacto medio ambiental.
- Subtek™ Charge proporciona una carga explosiva totalmente acoplada para maximizar los resultados de las voladuras.
- La alta velocidad de carga y los reducidos gases post voladura al usar Subtek™ Charge, mejoran dramáticamente el tiempo de retorno.
- Subtek™ Charge reduce potenciales explosiones de polvo sulfatado.
- Se elimina la preocupación relacionada con la salud ocupacional por manipulación y almacenamiento de explosivos.

### PROPIEDADES TÉCNICAS

Producto	Subtek™ Charge
Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>	0.90 - 1.20
Diámetro mínimo barrenos (mm)	45
VOD típico (km/h) <sup>(2)</sup>	>3.0
Energía (Calor de Formación - MJ/kg)	2.64 - 2.73
Energía Efectiva (MJ/kg) <sup>(3)</sup>	1.83 - 2.28
Energía Efectiva Relativa (REE) <sup>(4)</sup> Fuerza relativa en peso Fuerza relativa en volumen	80 - 99 90 - 148
Volumen de gases (l/kg)	1014
Tiempo de espera	21 días
CO <sub>2</sub> (kg/t) <sup>(5)</sup>	205

### ALMACENAMIENTO Y MANIPULACIÓN

#### Clasificación del producto

Nombre autorizado:	Subtek™ Charge™
Nombre para transporte:	Explosivo, Voladura, Tipo E
Nº NU:	0332
Clasificación:	1.5D

Todas las regulaciones pertinentes a la manipulación y uso de tales explosivos son aplicables.

Fuente: Orica Mining Services Perú S.A.

## Anexo 6. Explosivo Subtek™ Control



### DESCRIPCIÓN

La emulsión explosiva a granel Subtek™ Control es una emulsión bombeada sensible a cebos, de apariencia opaca, similar en viscosidad a la grasa pesada. Subtek™ Control tiene una excelente resistencia al agua, como característica inherente de la estructura de la emulsión.

### BENEFICIOS CLAVE

- La densidad final de producto Subtek™ Control puede cambiar de acuerdo con criterios deseados de desarrollo del producto.
- Subtek™ Control emulsión bombeada reduce el derrame y con su excelente resistencia al agua, minimiza la lixiviación del nitrato y el impacto ambiental resultante.
- Subtek™ Control entrega reducción en la energía entregada en la voladura para el control de la geometría deseada.
- Mayor velocidad de carga y menos humos de voladuras, cuando se usa Subtek™ Control, se puede mejorar drásticamente el tiempo de ciclo.
- Se reduce manipulación manual y generación de residuos si se compara con cargar con explosivos encartuchados.

### PROPIEDADES TÉCNICAS

Producto	Subtek™ Control			
	60	70	80	90
Densidad (g/cc) <sup>(1)</sup>	0.8±0.05	0.7±0.05	0.8±0.05	0.9±0.05
VOD (km/s) <sup>(2)</sup>	>1.8	>2.8	>2.3	>2.5
Iniciador de pentolita (g)	Mini - Booster			
Calor desarrollado (kCal/kg)	611	616	621	631
Energía Efectiva Relativa (REE) <sup>(3)</sup>				
Fuerza relativa en peso	60	66	73	80
Fuerza relativa en volumen	45	58	73	90
Volumen de gases (V/kg)	1017			
Balace de oxígeno	-7			
CO <sub>2</sub> (kg/ton)	205			

### ALMACENAMIENTO Y MANIPULACIÓN

#### Clasificación del producto

Nombre autorizado: Subtek™ Control™  
 Nombre para transporte: Explosivo, Voladura, Tipo E  
 N° NU: 0332  
 Clasificación: 1.5D

Todas las regulaciones pertinentes a la manipulación y uso de tales explosivos son aplicables.

Fuente: Orica Mining Services Perú S.A.



**Anexo 7. Trazo de la cuadrícula para la perforación y voladura de una rampa principal**



Fuente: Propia

**Anexo 8. Carguío con el explosivo Subtek™ Control y explosivo Subtek™ Charge de una Rampa**



Fuente: Propia

**Anexo 9. Colocación de los accesorios de voladura - explosivo Subtek™ Control y explosivo Subtek™ Charge de una Rampa**



Fuente: Propia