

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Cambio de explosivo encartuchado a explosivo  
bombeable para reducir el costo por tonelada en el tajeo  
6432-1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua**

Franklin Alberto Chavez Huincho

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2025

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** : 10 de mayo de 2025

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

**Título:**

Cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable para reducir el costo por tonelada en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua

**Autores:**

1. Franklin Alberto Chavez Huincho – 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 17 % 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  
Nº de palabras excluidas (**en caso de elegir "SI"**): 20 SI  NO
- 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 Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

**La firma del asesor obra en el archivo original**  
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, mis agradecimientos a Dios.

A mis padres: Basilio y María.

Asimismo, mis agradecimientos al Ing. Benjamín Ramos, quien me brindó su apoyo y consejos para la elaboración del proyecto de investigación.

Por último, mis agradecimientos a los ingenieros de la unidad minera Uchucchacua del Área de Mina y Perforación y voladura, quienes me brindaron datos e informaciones para realizar el trabajo de investigación.

## **DEDICATORIA**

A mi persona, por el apoyo incondicional que me brindé en los momentos difíciles, gracias a ellos he logrado mis metas trazadas.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTO .....	iii
DEDICATORIA .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN .....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	xiv
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	15
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	15
1.1.1. Planteamiento del problema .....	15
1.1.2. Formulación del problema.....	16
1.1.2.1. Problema general.....	16
1.1.2.2. Problemas específicos.....	16
1.2. Objetivos .....	16
1.2.1. Objetivo general .....	16
1.2.2. Objetivos específicos.....	16
1.3. Justificación e importancia.....	17
1.3.1. Justificación practica .....	17
1.4. Hipótesis.....	17
1.4.1. Hipótesis general .....	17
1.4.2. Hipótesis específicas.....	17
1.5. Identificación de las variables.....	18
1.5.1. Variable independiente .....	18
1.5.2. Variable dependiente .....	18
1.5.3. Matriz de operacionalización de variables.....	18
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. Antecedentes del problema .....	19
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	19
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	19
2.1.3. Antecedente local .....	20
2.2. Generalidades de la unidad minera Uchucchacua.....	20
2.2.1. Ubicación y accesibilidad.....	20
2.3. Geología.....	21
2.3.1. Geología estructural.....	21

2.3.2. Geología económica .....	21
2.4. Mineralogía .....	21
2.4.1. Minerales de mena.....	22
2.4.2. Minerales de ganga.....	22
2.4.3. Procesos de mineralización.....	22
2.5. Bases teóricas .....	22
2.5.1. Descripción del método <i>bench and fill</i> .....	22
2.5.2. Ciclo de minado utilizando el método <i>bench and fill</i> .....	22
2.5.2.1. Planificación y diseño del tajo .....	23
2.5.2.2. Perforación.....	23
2.5.2.3. Voladura.....	24
2.5.2.4. Carga y transporte .....	26
2.5.2.5. Sostenimiento temporal.....	27
2.5.2.6. Relleno .....	27
2.5.2.7. Sostenimiento.....	28
2.5.2.8. Gestión y control del ciclo de minado.....	28
2.5.3. Reducir el costo por tonelada.....	29
2.6. Definición de términos .....	30
CAPÍTULO III: MÉTODO DE DESARROLLO DEL PROYECTO .....	31
3.1. Método y alcances de la investigación.....	31
3.1.1. Método de la investigación.....	31
3.1.2. Alcance de la investigación .....	31
3.2. Diseño de la investigación .....	31
3.3. Población y muestra .....	31
3.3.1. Población .....	31
3.3.2. Muestra .....	31
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	32
3.4.1. Técnicas utilizadas en la recolección de datos.....	32
3.4.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos.....	32
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	33
4.1. Cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable para reducir el costo por tonelada en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua.....	33
4.1.1. Caracterización del macizo rocoso para el cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua.....	33
4.1.2. Cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable para mejorar la fragmentación en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua.....	37

4.1.2.1. Análisis inicial del disparo en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua.....	38
4.1.2.1. Análisis de optimización del disparo en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua .....	45
4.1.2.2. Análisis de optimización de los 10 disparos de 6 filas por disparo del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua .....	51
4.1.2.3. Análisis de optimización de la fragmentación del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua .....	53
4.1.3. Cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable para reducir el costo de perforación y voladura en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua.....	54
4.1.3.1. Análisis inicial del costo de perforación y voladura en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua.....	56
4.1.3.2. Análisis de la optimización del costo de perforación y voladura en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua.....	58
4.1.3.3. Optimización del costo de perforación y voladura en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua.....	61
CONCLUSIONES .....	65
RECOMENDACIONES.....	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
ANEXOS .....	68

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables.....	18
Tabla 2. Vías de acceso a la unidad minera Uchucchacua.....	21
Tabla 3. Parámetros de perforación para el equipo Simba .....	24
Tabla 4. La comparativa entre el diseño de la carga explosiva de explosivo encartuchado y explosivo bombeable.....	24
Tabla 5. Análisis inicial de los 10 disparos de 6 filas del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua .....	42
Tabla 6. Dosificación del explosivo bombeable Subtek™ Charge™ para el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera uchucchacua .....	49
Tabla 7. Análisis de optimización de los 10 disparos de 6 filas por cada disparo del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua .....	52
Tabla 8. Análisis inicial de los parámetros de perforación y voladura en el tajeo 6432 – 1, Nivel 3990 .....	56
Tabla 9. Análisis de la optimización de los parámetros de perforación y voladura en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990.....	59
Tabla 10. Resumen de la optimización del costo de perforación y voladura en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua .....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación geográfica de la unidad minera Uchucchacua.....	20
Figura 2. Resumen de la caracterización del macizo rocoso del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 ...	34
Figura 3. Plano del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 .....	35
Figura 4. Factor de seguridad del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 .....	36
Figura 5. Vista de los desplazamientos del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 .....	36
Figura 6. Factor de seguridad de la etapa de relleno del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 .....	37
Figura 7. Análisis inicial – diseño de malla de perforación y voladura del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua.....	39
Figura 8. Análisis inicial de los parámetros de perforación y voladura del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua.....	40
Figura 9. Análisis inicial del descaje del disparo en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua .....	43
Figura 10. Análisis inicial de la fragmentación del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua .....	44
Figura 11. Análisis de optimización – diseño de malla de perforación y voladura del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua.....	46
Figura 12. Análisis de optimización, diseño de carguío de taladros en el piso y produccion del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua .....	47
Figura 13. Análisis de optimización, diseño de carguío de taladros en el techo del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua.....	48
Figura 14. Carguío con explosivo bombeable Subtek™ Charge™ en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua.....	51
Figura 15. Análisis de optimización sobre rotura del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua .....	53
Figura 16. Análisis de optimización de la fragmentación del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua.....	54
Figura 17. Análisis inicial del costo de perforación y voladura en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 .....	57
Figura 18. Análisis de la optimización del costo de perforación y voladura en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990.....	60
Figura 19. Optimización del costo de perforación del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua .....	62
Figura 20. Optimización del costo de voladura del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua .....	62

Figura 21. Optimización del costo de limpieza del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua .....	63
Figura 22. Optimización del costo de perforación del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua .....	64

## RESUMEN

La unidad minera Uchucchacua, en la actualidad, viene atravesando dificultades en el método de minado *bench and fill*, principalmente en las operaciones de perforación y voladura del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 de la veta Cachipampa. Tras los disparos, se tuvo como resultado la sobrerotura de las cajas, mala fragmentación del mineral, mayor dilución y menor recuperación de mineral. Ante esta problemática, los costos de perforación y voladura se incrementan ya que se tiene trabajos secundarios que realizar para facilitar el carguío de mineral roto. Esta investigación se llevó a cabo con el objetivo de realizar el cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable para reducir el costo por tonelada en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990. El enfoque general de la investigación es el método científico, mientras que el método específico es el experimental deductivo. Se trata de un estudio de tipo aplicado, con un nivel descriptivo y un diseño experimental. La población comprende todos los tajeos de la unidad minera Uchucchacua, tomando como muestra representativa el Tajeo 6432 – 1, Nivel 3990, de la veta Cachipampa en dicha unidad. La recolección de datos se llevará a cabo directamente en el sitio mediante técnicas de observación y el procesamiento de datos actuales relacionados con la perforación y voladura, representando así las condiciones del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 de la veta Cachipampa en la unidad minera Uchucchacua. El análisis inicial del tajeo 6432 – 1, nivel 3990, en la unidad minera Uchucchacua mostró un tonelaje promedio de 514 toneladas de mineral y 120 toneladas de desmonte, con leyes de 8.61 Oz Ag/TMS de plata, 4.51 %Pb de plomo, 4.00 %Zn de zinc y 1.39 %Mn de manganeso. La dilución fue del 18 %, lo que se consideró deficiente. La fragmentación fue irregular, con un P80 de 7.63 pulgadas, lo que afectó la eficiencia en limpieza y transporte. Tras las optimizaciones, el tonelaje promedio disminuyó a 417 toneladas, pero las leyes mejoraron significativamente (11.06 Oz Ag/TMS, 6.07 %Pb, 5.56 %Zn y 2.40 %Mn). La dilución se redujo a un 1 %, y el P80 mejoró a 4.96 pulgadas, logrando una fragmentación eficiente, con el 80% del material adecuado para las siguientes etapas. En cuanto al costo de perforación y voladura, el costo inicial fue de 47.88 \$/t, mientras que después de las optimizaciones, el costo se redujo a 40.08 \$/t, mejorando la eficiencia y rentabilidad del tajeo.

**Palabras clave:** cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable

## ABSTRACT

The Uchucchacua Mining Unit is currently experiencing difficulties in the Bench and Fill mining method, mainly in the drilling and blasting operations of the 6432-1 stope, level 3990 of the Cachipampa Vein. After the shots, the result was over-breakage of the boxes, poor fragmentation of the mineral, greater dilution and less mineral recovery. Given this problem, the drilling and blasting costs increase since there are secondary works to be carried out to facilitate the loading of broken mineral. This research was carried out with the objective of changing from cartridge explosive to pumpable explosive to reduce the cost per ton in the 6432-1 stope, level 3990. The general approach of the research is the scientific method, while the specific method is the deductive experimental method. It is an applied study, with a descriptive level and an experimental design. The population comprises all stopes in the Uchucchacua Mining Unit, taking as a representative sample Stope 6432-1, Level 3990, of the Cachipampa Vein in said unit. Data collection will be carried out directly on-site using observation techniques and the processing of current data related to drilling and blasting, thus representing the conditions of Stope 6432-1, Level 3990 of the Cachipampa Vein in the Uchucchacua Mining Unit. Initial analysis of Stope 6432-1, Level 3990, at the Uchucchacua Mining Unit showed an average tonnage of 514 tonnes of ore and 120 tonnes of waste rock, with grades of 8.61 Oz Ag/DMS silver, 4.51% Pb lead, 4.00% Zn zinc and 1.39% Mn manganese. Dilution was 18%, which was considered poor. Fragmentation was irregular, with a P80 of 7.63 inches, which affected cleaning and transport efficiency. After optimizations, average tonnage decreased to 417 tons, but grades improved significantly (11.06 Oz Ag/DMS, 6.07 %Pb, 5.56 %Zn and 2.40 %Mn). Dilution was reduced to 11%, and P80 improved to 4.96 inches, achieving efficient fragmentation, with 80% of the material suitable for the following stages. Regarding the cost of drilling and blasting, the initial cost was \$47.88/t, while after optimizations, the cost was reduced to \$40.08/t, improving stope efficiency and profitability.

**Keywords:** switching from cartridged explosive to pumpable explosive

## INTRODUCCIÓN

La unidad minera Uchucchacua, en la actualidad, viene atravesando dificultades en el método de minado *bench and fill*, principalmente en las operaciones de perforación y voladura del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 de la veta Cachipampa. Tras los disparos, se tuvo como resultado la sobrerotura de las cajas, mala fragmentación del mineral, mayor dilución y menor recuperación de mineral. Ante esta problemática, los costos de perforación y voladura se incrementan ya que se tiene trabajos secundarios que realizar para facilitar el carguío de mineral roto. A fin de optimizar y mejorar la voladura del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 de la veta Cachipampa, se plantea realizar el cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable con la finalidad de optimizar el costo por tonelada en el tajeo.

El tajeo 6432 – 1, nivel 3990, se encuentra en una roca intermedia tipo III B con una resistencia a la compresión media y un RMR variable entre 45 y 56, lo que requiere la implementación de sostenimiento tras la voladura debido al factor de seguridad inicial de 1. Tras aplicar relleno detrítico, el factor de seguridad mejoró a 1.15, lo que indica que la solución es adecuada dentro del plazo establecido. El análisis de los disparos iniciales mostró un tonelaje promedio de 514 toneladas de mineral y 120 toneladas de desmonte, con leyes de plata, plomo, zinc y manganeso relativamente bajas, y una dilución del 18 %. La fragmentación fue irregular, con un P80 de 7.63 pulgadas, afectando la eficiencia y aumentando los costos operativos.

Con la implementación de las optimizaciones, el tonelaje promedio fue de 417 toneladas y las leyes mejoraron significativamente. La dilución se redujo al 11 % y el P80 se redujo a 4.96 pulgadas, logrando una fragmentación más eficiente. Además, el costo de perforación y voladura se redujo de 47.88 \$/ton a 40.08 \$/t, generando una reducción de 7.80 \$/t. La reducción en los costos en perforación fue de 2.83 \$/t, la reducción en los costos en voladura fue de 3.22 \$/t y la reducción en los costos en limpieza fue de 0.29 \$/t, lo que mejoró la eficiencia operativa, redujo los costos y aumentó la rentabilidad del tajeo.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

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

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

Hoy en día, globalmente, las compañías mineras buscan obtener buenos disparos en las operaciones de desarrollo, preparación y producción, es por ello que buscan siempre mejorar los disparos por medio de controles de la perforación y voladura, utilizando metodologías, modelos matemáticos que ayuden a mejorar el diseño de malla de perforación y voladura, además de factores importantes como la utilización del tipo de herramientas de perforación óptima, así mismo la utilización del tipo de explosivo y accesorio a utilizar ya que ayudará a controlar la sobrerotura, dilución, fragmentación y recuperación en el caso de los trabajos en producción y en los trabajos en estéril como rampas, cruceros, refugios entre otros lograr una fragmentación adecuada para el transporte de material desbrozado.

En todo el Perú, las empresas mineras vienen aplicando dos métodos de explotación en mayor medida los cuales son: el corte y relleno y el *bench and fill*, en ambos se busca optimizar los trabajos de perforación y voladura, ya que viene hacer una de las operaciones unitarias más importante. La finalidad es mejorar los disparos mediante controles operacionales, utilizando metodologías, modelos matemáticos que ayuden a optimizar el diseño de mallas de perforación y voladura, por medio del cambio del tipo de herramientas de perforación o el cambio del tipo de explosivo y accesorio a utilizar para controlar la sobrerotura, dilución, fragmentación y recuperación de mineral.

La unidad minera Uchucchacua, en la actualidad, viene atravesando dificultades en el método de minado *bench and fill*, principalmente en las operaciones de perforación y voladura, del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 de la veta Cachipampa. Tras los disparos se tuvo como resultado

sobrerotura de las cajas, mala fragmentación del mineral, mayor dilución y menor recuperación de mineral. Ante esta problemática, los costos de perforación y voladura se incrementan ya que se tiene trabajos secundarios que realizar para facilitar el carguío de mineral roto. A fin de optimizar y mejorar la voladura del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 de la veta Cachipampa, se plantea realizar el cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable con la finalidad de optimizar el costo por tonelada en el tajeo.

### **1.1.2. Formulación del problema**

#### **1.1.2.1. Problema general**

¿Cómo influye el cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable para reducir el costo por tonelada en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua?

#### **1.1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo influye la caracterización del macizo rocoso para el cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua?
- ¿Cómo influye el cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable para mejorar la fragmentación en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua?
- ¿Cómo influye el cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable para reducir el costo de perforación y voladura en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua?

### **1.2. Objetivos**

#### **1.2.1. Objetivo general**

Realizar el cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable para reducir el costo por tonelada en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua.

#### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Realizar la caracterización del macizo rocoso para el cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua.
- Realizar el cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable para mejorar la fragmentación en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua.

- Realizar el cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable para reducir el costo de perforación y voladura en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua.

### **1.3. Justificación e importancia**

#### **1.3.1. Justificación practica**

Actualmente, la unidad minera Uchucchacua, viene teniendo problemas con el método de minado *bench and fill*, especialmente en las operaciones de perforación y voladura en el tajeo 6432 - 1, nivel 3990 de la veta Cachipampa. Con frecuencia, después de los disparos se tuvo como resultado descaje del tajeo, mala fragmentación, una mayor dilución y una menor recuperación del mineral. Debido a esta situación, los costos de perforación y voladura incrementaron.

Con la finalidad de mejorar los disparos se propone cambiar el explosivo encartuchado por explosivo bombeable para optimizar el costo por tonelada de los disparos en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 de la veta Cachipampa.

### **1.4. Hipótesis**

#### **1.4.1. Hipótesis general**

El cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable será factible y viable para reducir el costo por tonelada en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua.

#### **1.4.2. Hipótesis específicas**

- La caracterización del macizo rocoso influirá positivamente para el cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua.
- El cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable será factible para mejorar la fragmentación en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua.
- El cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable será factible y viable para reducir el costo de perforación y voladura en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua.

## 1.5. Identificación de las variables

### 1.5.1. Variable independiente

Cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable

### 1.5.2. Variable dependiente

Reducir el costo por tonelada

### 1.5.3. Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores
V.I: Cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable	El cambio de un explosivo encartuchado a un explosivo bombeable implica alterar la presentación del explosivo de sólido a líquido o pastoso. Esto tiene un impacto en el transporte, el manejo y la aplicación porque el bombeable puede ser transportado con mayor precaución, aplicado con mayor precisión mediante bombas y utilizado en condiciones que requieren distribución uniforme. Se deben tener en cuenta factores como la formulación, el control de calidad y la seguridad. Para garantizar la seguridad en el uso de explosivos, cualquier modificación debe cumplir estrictamente con las regulaciones locales.	Caracterización geomecánica	Índices RMR, RQD GSI
		Parámetros de perforación y voladura	Avance efectivo de perforación (m) Eficiencia de perforación (%) Eficiencia de voladura (%) Factor de carga (kg explosivos/m <sup>3</sup> de mineral) Longitud de perforación
		Análisis de la fragmentación	Fragmentación – P80 (%)
V.D: Reducir el costo por tonelada	Reducir el costo por tonelada implica utilizar estrategias efectivas para optimizar los procesos de producción y reducir los gastos asociados. Las mejoras en la gestión de recursos, la eficiencia operativa, la mejora de costos de perforación y voladura, la implementación de tecnologías más eficientes y los procesos más eficientes. El objetivo es aumentar la rentabilidad y la competitividad de la operación al maximizar la producción y los gastos.	Evaluación del costo por tonelada	Costos total de perforación y voladura (\$/m.p) Costos por tonelada de perforación y voladura (\$/m.p)

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

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

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

Vera, en su tesis titulada: «*Implementación de prácticas productivas en contratos de preparación minera*», tuvo el objetivo de diseñar y evaluar un sistema operativo industrial para dos contratos de preparación de minas, optimizando la eficiencia de los factores productivos. Se propone modificar el modelo y las prácticas actuales para adelantar la explotación del mineral. Con un enfoque aplicado, se implementa tecnología avanzada en equipos de desarrollo para mejorar el control de parámetros del terreno, optimizar el disparo y reforzar la disciplina operacional del operador del jumbo. En sectores como Esmeralda, el mejor control de perforación aumentó la eficiencia del disparo en un 10 %, y el cambio de ANFO a emulsión elevó el indicador en un 5 % (1).

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

Cahuata, en su tesis titulada: «*Optimización de la voladura con el uso de la emulsión bombeable en minería subterránea y tunelería*», tuvo el objetivo de evaluar la optimización de los KPI en voladura, analizando 10 cruceros y 6 rampas. El uso de emulsión bombeable Emulfrag, en lugar del explosivo Emulnor, redujo los gases tóxicos en un 55.3% (CO), 68.7 % (NO) y 71.7 % (NO<sub>2</sub>), además de eliminar emisiones adicionales al prescindir del plástico de las emulsiones encartuchadas (2).

Valer, en su tesis titulada: «*Propuesta de reemplazo de explosivo Anfo por emulsión para mejorar la voladura en la mina Parcoy CMH 2022.*», tuvo el objetivo de evaluar el impacto del reemplazo de ANFO por emulsión en voladuras mediante un diseño experimental con 40 pruebas en frentes de avance. El cambio redujo el costo unitario de voladura de 0,42 \$/TM a

0,34 \$/TM, principalmente por la menor longitud de carga, logrando una significativa disminución en los costos generales de minado (3)

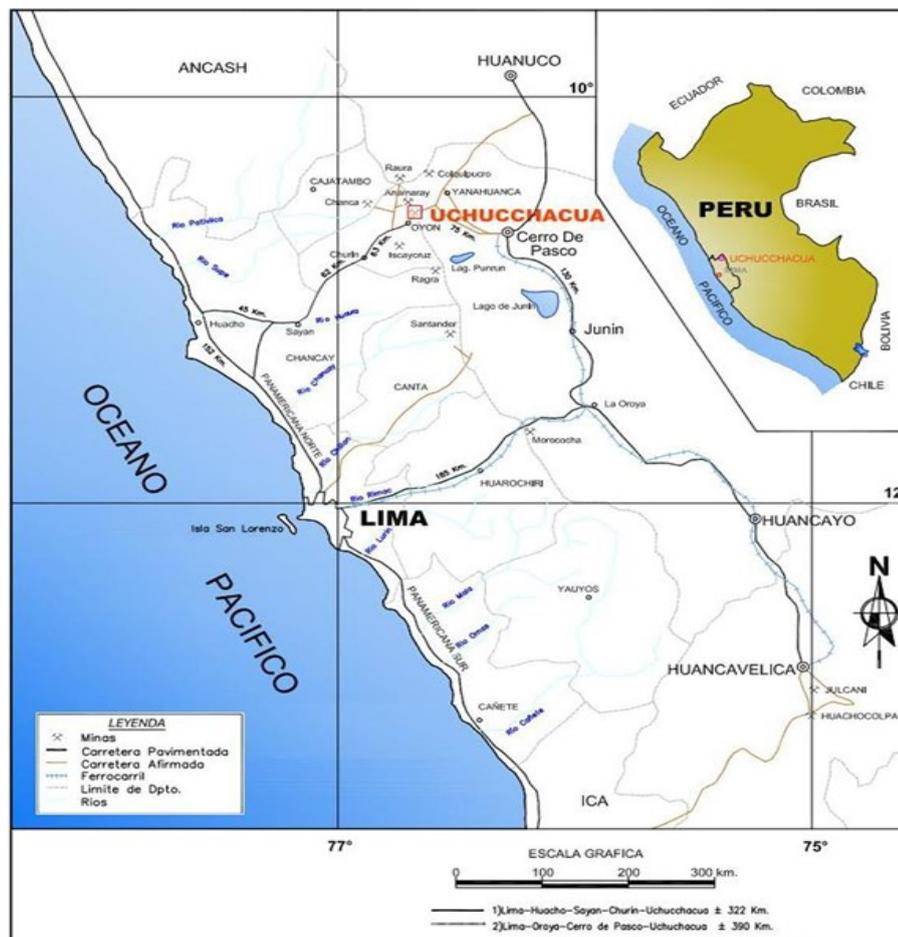
### 2.1.3. Antecedente local

Gonzales, en su tesis titulada: «Propuesta de implementación del cambio de explosivo Emulex (80,65 Y 45) a emulsión Quantex sub para la reducción de costos de la voladura en la rampa NV175 Nancy de la Unidad Minera Animón de Empresa Administradora Chungar S.A.C.», tuvo el objetivo de evaluar el cambio de explosivo de EMULEX a Quantex Sub en la rampa Nancy, Nivel 175. Con una eficiencia del 92 % y un factor de carga de 2.78 kg/m<sup>3</sup>, el cambio redujo en 6 unidades los explosivos por frente y generó un ahorro de 43.14 USD/m (4).

## 2.2. Generalidades de la unidad minera Uchucchacua

### 2.2.1. Ubicación y accesibilidad

La unidad minera Uchucchacua, se localiza a 180 km en línea recta de la ciudad de Lima, en el distrito minero de Oyón, provincia de Oyón, en el departamento de Lima (5).



**Figura 1. Mapa de ubicación geográfica de la unidad minera Uchucchacua Tomada del Área de Geología de la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. (5)**

La siguiente tabla presenta las rutas de acceso a la unidad minera Uchucchacua.

**Tabla 2. Vías de acceso a la unidad minera Uchucchacua**

Recorrido	Distancia (millas)	Tipo de vía	Tiempo aproximado (horas)
De Lima a Sayán	141	Vía asfaltada	2.5
De Sayán a Churín	62	Vía asfaltada	1
De Churín a Oyón	53	Vía asfaltada	0.40
De Oyón a Uchucchacua	10	Carretera	0.30
<b>TOTAL</b>	<b>322</b>		<b>5 horas</b>

*Tomada del Área de Geología de la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. (5)*

## 2.3. Geología

### 2.3.1. Geología estructural

El movimiento de la placa oceánica hacia el interior de la placa continental ha dado lugar a fases de compresión y distensión que resultaron en la formación de los Andes. Este fenómeno ha provocado la aparición de estructuras de diversas magnitudes que han afectado las rocas sedimentarias en la región de Uchucchacua, siendo este un aspecto geológico de gran relevancia.

### 2.3.2. Geología económica

El yacimiento de Uchucchacua, situado en rocas carbonatadas del Cretácico superior en los Andes centrales de Perú, es un destacado productor de plata, con una producción de 229 millones de onzas de plata fina desde 1975. Se caracteriza por sus bajos niveles de Pb-Zn y altos niveles de Ag-Mn, superando a otros yacimientos similares. En la mina Socorro se extrae principalmente plata, junto con zinc y plomo, y también se encuentran minerales raros como la alabandita y carbonatos. El tajo 6662 posee reservas de 258,755 TCS con una ley promedio de 19.3 oz Ag/TCS, 0.9% Pb y 1.1% Zn, y presenta características de tajeo de 1.3 metros de potencia en promedio, 200 metros de longitud y 60 metros de altura, siendo explotado mediante el método de subniveles.

## 2.4. Mineralogía

La mineralogía del yacimiento de Uchucchacua es extremadamente diversa debido a la complejidad de los procesos de mineralización. Los principales grupos minerales presentes incluyen óxidos, silicatos, carbonatos, sulfuros y sulfosales. Uchucchacua es reconocida por su abundancia de minerales raros, como uchucchacuita, benavidesita y alabandita cristalizada (5).

### **2.4.1. Minerales de mena**

Entre los minerales de mena destacan: galena, proustita, argentita, pirargirita, plata nativa, esfalerita, marmatita, jamesonita, boulangerita, chalcopirita, covelita, jalpaita, polibasita, estromeyerita y golfieldita (5).

### **2.4.2. Minerales de ganga**

Los minerales de ganga presentes incluyen pirita, alabandita, rodocrosita, calcita, pirrotita, fluorita, psilomelano, pirolusita, johansonita, bustamita, arsenopirita, marcasita, magnetita, estibina, cuarzo, oropimente, rejalgá, benavidesita, tefroita y yeso (5).

### **2.4.3. Procesos de mineralización**

El proceso de mineralización en Uchucchacua fue complejo y se desarrolló en siete etapas principales:

- ✓ Plegamiento regional y formación de la falla Uchucchacua.
- ✓ Fracturamiento en sistemas N-S y WNW-E.
- ✓ Desplazamiento de fallas y creación de fracturas tensionales.
- ✓ Mineralización en fracturas tensionales.
- ✓ Mineralización en brechas y fracturas.
- ✓ Reapertura de fracturas y deposición de minerales tardíos.
- ✓ Oxidación de minerales debido a la percolación de aguas.

## **2.5. Bases teóricas**

### **2.5.1. Descripción del método *bench and fill***

El método *bench and fill* en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 consiste en la extracción escalonada de mineral a través de bancos, seguida del relleno de los espacios vacíos con material estéril, garantizando la estabilidad geotécnica del tajeo. Este método mejora la seguridad al reducir el riesgo de colapsos, optimiza el control de la fragmentación y sobre rotura, y permite un avance eficiente sin interrupciones, ya que el relleno estabiliza el terreno mientras se continúa extrayendo en otros niveles. Además, reutiliza los desechos de material estéril de interior mina como relleno, reduciendo costos y el impacto ambiental (6).

### **2.5.2. Ciclo de minado utilizando el método *bench and fill***

El ciclo de minado utilizado es el método *bench and fill* aplicado al tajeo 6432 – 1 de la unidad minera Uchucchacua. Este desglose profundiza en cada etapa del proceso, abordando

aspectos técnicos, operativos y de gestión que son cruciales para la eficiencia y seguridad de las operaciones mineras.

### **2.5.2.1. Planificación y diseño del tajo**

- **Análisis geológico y geomecánico**

- Estudios geológicos: realización de mapeos detallados del macizo rocoso para identificar la distribución de minerales, estructuras geológicas y zonas de fracturación.
- Caracterización geomecánica: evaluación de la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, y otros parámetros mecánicos del macizo rocoso para determinar la estabilidad del tajo y los requerimientos de sostenimiento.

- **Diseño del tajo *bench and fill***

- Dimensiones del tajo: definición de la altura de los bancos, el espaciado entre ellos y la inclinación de las paredes para optimizar la extracción y el sostenimiento.
- Secuencia de minado: establecimiento de un plan secuencial que determina el orden en que se extraerán los diferentes bancos, asegurando una estabilidad continua del tajo.

### **2.5.2.2. Perforación**

- **Selección de equipos y herramientas**

La selección de equipos y herramientas para el Simba con un juego de 10 barras de 5 pies de longitud, broca de 64 mm y reformadora de 127 mm está orientada a operaciones de perforación de gran profundidad y precisión en minería subterránea. Las barras de perforación permiten alcanzar profundidades considerables manteniendo estabilidad, mientras que la broca de 64 mm es ideal para perforar barrenos de diámetros adecuados para explosivos convencionales, logrando buena fragmentación. La reformadora de 127 mm es clave para garantizar un diámetro de pozo uniforme, optimizando la carga de explosivos y asegurando voladuras eficientes en condiciones geomecánicas variables (6).

- **Parámetros de perforación**

Los parámetros de perforación para el equipo Simba deben ser seleccionados cuidadosamente para maximizar la eficiencia y precisión en minería subterránea. Los principales parámetros se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 3. Parámetros de perforación para el equipo Simba**

Parámetro	Valor / Recomendación
Diámetro de la broca	64 mm – 102 mm
Profundidad del barreno	1.5 m – 5 m por barra (hasta 40 m)
Velocidad de avance	2 cm/s – 5 cm/s
Rotación de la broca	100 RPM – 250 RPM
Presión de aire/agua	8 bares – 10 bares
Empuje (presión sobre la broca)	80 kN – 150 kN

- Monitoreo en tiempo real: implementación de sistemas de control que verifican la precisión de la perforación y ajustan parámetros según sea necesario.
- Inspección de barrenos: revisión periódica de la calidad de los barrenos para identificar y corregir desviaciones en el diseño.

### 2.5.2.3. Voladura

La comparativa entre el diseño de la carga explosiva de explosivo encartuchado y explosivo bombeable se basa en varios factores clave que influyen en la eficiencia, seguridad y costos operativos. A continuación, se presenta una descripción comparativa:

**Tabla 4. La comparativa entre el diseño de la carga explosiva de explosivo encartuchado y explosivo bombeable**

Criterio	Explosivo encartuchado	Explosivo bombeable
Forma de suministro	Viene en cartuchos de distintos tamaños y pesos.	Se bombea directamente dentro del barreno desde un camión cisterna o equipo especializado.
Homogeneidad en la carga	Puede tener inconsistencias en la distribución de la carga debido a espacios entre los cartuchos.	Ofrece una carga continua y homogénea dentro del barreno.
Facilidad de manipulación	Requiere más mano de obra para cargar barrenos uno por uno, lo que puede aumentar los tiempos y riesgos operacionales.	Automatizado y rápido, reduciendo el tiempo de carga y el riesgo de error humano.
Ajuste al barreno	Menos adaptable a barrenos irregulares o de diámetros variables, ya que depende del tamaño del cartucho.	Se adapta perfectamente a barrenos de distintos tamaños y formas, llenando todos los espacios.

Eficiencia de detonación	Puede generar espacios vacíos entre cartuchos, afectando la efectividad de la detonación.	Mayor eficiencia debido a una distribución continua, lo que mejora el rendimiento de la voladura.
Costos operativos	Generalmente más costoso en mano de obra y tiempo debido a la manipulación individual de los cartuchos.	Más económico en términos de mano de obra y tiempos, aunque el costo inicial del equipo de bombeo es mayor.
Flexibilidad de uso	Adecuado para operaciones de menor escala o cuando no se dispone de equipos especializados.	Ideal para operaciones de gran escala donde la velocidad y homogeneidad son cruciales.
Seguridad	Mayor exposición del personal durante el proceso de carga.	Menor exposición al riesgo, ya que la carga se realiza de forma automática y controlada a distancia.
Velocidad de carga	Relativamente lenta, ya que se carga manualmente cada barreno.	Muy rápida, lo que reduce significativamente el tiempo de ciclo.
Control sobre la densidad	Densidad predefinida según el cartucho.	Densidad ajustable durante el proceso de bombeo, permitiendo mayor flexibilidad según el macizo rocoso.

El explosivo bombeable es generalmente más eficiente en términos de velocidad, seguridad y homogeneidad de la carga, lo que lo hace ideal para operaciones de gran escala. Por otro lado, el explosivo encartuchado es más adecuado para operaciones más pequeñas o donde no se cuenta con equipo especializado, aunque requiere más mano de obra y es menos eficiente en la distribución del explosivo dentro del barreno.

- **Diseño de la carga explosiva**

Carga lineal: cálculo de la cantidad de explosivo por metro de barreno, optimizando para evitar la sobre rotura y maximizar la fragmentación.

Retardos y demoras: configuración precisa de los retardos para secuenciar las detonaciones, minimizando vibraciones y desplazamientos no deseados.

- **Técnicas de voladura controlada**

Voladura direccional: orientación de las cargas explosivas para dirigir la energía hacia áreas específicas, mejorando la fragmentación y reduciendo impactos en zonas sensibles.

Tecnologías de monitoreo: implementación de sensores y sistemas de monitoreo para evaluar el desempeño de la voladura en tiempo real.

- **Evaluación de la fragmentación**

- Análisis posvoladura: utilización de técnicas como el análisis de granulometría y la inspección visual para evaluar la distribución del tamaño de partículas.
- Modelado de fragmentación: empleo de software especializado para predecir y analizar la fragmentación resultante de las voladuras.
- Optimización de la fragmentación: modificación de parámetros de perforación y voladura basados en los resultados de la evaluación para mejorar la uniformidad de la fragmentación.

- **Evaluación de la fragmentación P80**

La evaluación de la fragmentación P80 consiste en analizar el tamaño de las rocas tras una voladura, determinando el tamaño de partícula a través del cual pasa el 80% del material fragmentado. Este indicador es clave para evaluar la efectividad de la voladura, ya que influye en los procesos de trituración y molienda. Mediante la toma de muestras y análisis granulométricos, se calcula el P80, permitiendo ajustar los parámetros de perforación y voladura para optimizar la fragmentación, reducir costos operativos y mejorar la eficiencia en el manejo y procesamiento del material extraído.

#### **2.5.2.4. Carga y transporte**

- **Equipos de carga**

- Cargadoras LHD (Load-Haul-Dump): utilización de equipos de bajo perfil diseñados para operar eficientemente en espacios confinados y con alta capacidad de carga.
- Mantenimiento Preventivo: programas regulares de mantenimiento para asegurar la operatividad y prolongar la vida útil de las cargadoras.

- **Optimización de rutas de transporte**
  - Diseño de rutas internas: planificación de rutas que minimicen tiempos de traslado y reduzcan el desgaste de los equipos.
  - Sistemas de gestión de flotas: implementación de tecnologías de seguimiento y gestión para coordinar el flujo de material y evitar congestiones.
- **Seguridad en el transporte**
  - Protocolos de operación: establecimiento de normas de seguridad para la operación de equipos de transporte, incluyendo la capacitación continua del personal.
  - Monitoreo de cargas: uso de sensores y cámaras para supervisar la carga y prevenir incidentes durante el transporte.

#### **2.5.2.5. Sostenimiento temporal**

- **Métodos de sostenimiento**
  - Anclajes y pernos de anclaje: instalación de sistemas de anclaje mecánico para reforzar las paredes del tajo y prevenir deslizamientos.
  - Shotcrete (concreto proyectado): aplicación de capas de shotcrete para estabilizar rápidamente las áreas afectadas por la voladura.
- **Evaluación y ajuste continuo**
  - Monitoreo geotécnico: uso de instrumentos de monitoreo para evaluar la deformación y el comportamiento del macizo rocoso, ajustando las medidas de sostenimiento según sea necesario.
  - Inspecciones regulares: realización de inspecciones periódicas para identificar y corregir cualquier señal de inestabilidad en el tajo.

#### **2.5.2.6. Relleno**

- **Selección de materiales de relleno**
  - Materiales detríticos: utilización de materiales como roca volcánica procedente de los disparos de las rampas, cruceros, etc.
- **Métodos de relleno**

- Colocación controlada: distribución uniforme del material de relleno para asegurar una cobertura adecuada y soporte estructural.
- Compactación: implementación de técnicas de compactación para aumentar la densidad del relleno y mejorar su capacidad de soporte.

#### **2.5.2.7. Sostenimiento**

El sostenimiento con relleno detrítico en el tajeo 6432 – 1 de la unidad minera Uchucchacua se utiliza para estabilizar el macizo rocoso después de la extracción de mineral, proporcionando un soporte eficaz y económico. El relleno detrítico, compuesto principalmente por material granular de desecho y fragmentos de roca, se deposita en los vacíos generados por la explotación, ayudando a controlar la deformación de los frentes minados y reduciendo el riesgo de colapso. Este tipo de sostenimiento es adecuado para mantener la estabilidad general de la estructura, minimizando la dilución y permitiendo la continuidad de las operaciones mineras de manera segura y eficiente.

#### **2.5.2.8. Gestión y control del ciclo de minado**

- **Programación detallada**

- Cronograma integrado: desarrollo de un cronograma que sincroniza todas las actividades del ciclo de minado, desde la perforación hasta el relleno, asegurando una operación continua.
- Gestión de prioridades: establecimiento de prioridades operativas para abordar de manera eficiente las tareas críticas y evitar cuellos de botella.

- **Optimización de recursos**

- Asignación eficiente: distribución óptima de equipos, personal y materiales para maximizar la productividad y minimizar los costos.
- Gestión de inventarios: implementación de sistemas de control de inventarios para asegurar la disponibilidad de materiales y equipos necesarios en cada etapa del ciclo.

- **Monitoreo de desempeño**

- Indicadores clave de desempeño (KPI): definición y seguimiento de KPI como el avance lineal, el consumo de explosivos, la eficiencia de la carga y el transporte, y la calidad de la fragmentación.

- Análisis de datos: utilización de herramientas de análisis de datos para identificar tendencias, evaluar el desempeño y proponer mejoras continuas.

El ciclo de minado del método *bench and fill* en el tajeo 6432 – 1 de la unidad minera Uchucchacua está diseñado para maximizar la eficiencia de la extracción de mineral mientras se garantiza la seguridad de las operaciones y se minimiza el impacto ambiental. La integración de tecnologías avanzadas, la planificación meticulosa, y una cultura de mejora continua son elementos clave para el éxito y la sostenibilidad de las operaciones mineras en este contexto específico.

### **2.5.3. Reducir el costo por tonelada**

Para reducir el costo por tonelada en el tajeo 6432 – 1 de la unidad minera Uchucchacua, es fundamental implementar una serie de estrategias que optimicen tanto la perforación como la voladura. Esto incluye el ajuste de los parámetros de voladura para lograr una fragmentación adecuada, minimizando así la sobre rotura y el desperdicio de explosivos. Además, se debe realizar un mantenimiento preventivo riguroso de los equipos para asegurar su eficiencia y disponibilidad, así como mejorar la capacitación del personal para aumentar la productividad y reducir errores operativos. También se recomienda optimizar las rutas de transporte y la logística para reducir costos de acarreo, junto con el uso de tecnologías predictivas que ayuden a ajustar dinámicamente los procesos de perforación y voladura. Todo esto, combinado con un monitoreo constante de los costos operativos, permitirá identificar áreas de mejora continua y, en consecuencia, disminuir el costo por tonelada de manera sostenible.

- **Evaluación del costo por tonelada**

La evaluación del costo por tonelada en el proceso de perforación y voladura es esencial para garantizar la eficiencia económica en las operaciones mineras. Para calcular el costo total de perforación y voladura en términos de dólares por tonelada (\$/ton), es necesario considerar todos los gastos involucrados en ambas actividades. Estos costos incluyen el alquiler o depreciación del equipo de perforación, los costos de mantenimiento, el personal y los suministros necesarios para la perforación. Adicionalmente, se suman los gastos relacionados con los explosivos utilizados, los accesorios de voladura y el personal que realiza estas operaciones. Al sumar todos estos elementos, se obtiene un costo total que representa la inversión necesaria para realizar una operación de perforación y voladura efectiva por metro lineal.

Para calcular el costo por tonelada de perforación y voladura, se relacionan los costos totales de ambas actividades con la cantidad de material extraído. Este cálculo se realiza dividiendo el costo total de perforación y voladura por la cantidad de toneladas de mineral obtenidas. Este indicador permite a la empresa analizar la rentabilidad de las operaciones, ya que un costo por tonelada elevado puede afectar significativamente la viabilidad económica del proyecto. Al monitorear y optimizar estos costos, las empresas mineras pueden implementar mejoras que no solo reduzcan el costo por tonelada, sino que también aumenten la eficiencia en la gestión de recursos, lo que resulta en una operación más sostenible y competitiva.

## 2.6. Definición de términos

- **Avance efectivo de perforación (m):** es la distancia real perforada en un ciclo de trabajo, expresada en metros (m). Representa la cantidad de terreno excavado durante el proceso de perforación, y su valor depende de la eficiencia del equipo y de los parámetros de perforación empleados (6).
- **Eficiencia de perforación (%):** se refiere a la relación entre el avance efectivo y el avance planificado, expresada como un porcentaje. Indica cuán efectiva fue la operación de perforación en relación con lo programado, tomando en cuenta tiempos de inactividad, calidad de perforación y uso del equipo (6).
- **Eficiencia de voladura (%):** mide qué tan bien se ha ejecutado la voladura en comparación con el diseño planeado, evaluando parámetros como la fragmentación lograda, el control de la sobre rotura y el cumplimiento de las especificaciones de seguridad y eficiencia operativa (7).
- **Factor de carga (kg explosivos/m<sup>3</sup> de mineral):** es la cantidad de explosivo utilizada por metro cúbico de mineral extraído. Este valor se utiliza para planificar las voladuras, optimizar el uso de explosivos y controlar los costos asociados, asegurando una fragmentación eficiente sin sobrecargar el terreno (7).
- **Longitud de perforación:** es la distancia total perforada por cada barreno en un ciclo de perforación. Su longitud afecta la cantidad de explosivos requeridos y la fragmentación del terreno. Una longitud adecuada maximiza el rendimiento del proceso de perforación y voladura (7).

## **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 utiliza el método científico.
  
- b) Método específico de la investigación  
Es experimental deductivo.

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

- a) Tipo de investigación  
Es aplicativa
  
- b) Nivel de investigación  
Es descriptivo

#### **3.2. Diseño de la investigación**

Es experimental

#### **3.3. Población y muestra**

##### **3.3.1. Población**

Todos los tajeos de la unidad minera Uchucchacua

##### **3.3.2. Muestra**

El tajeo 6432 – 1 del nivel 3990 de la veta Cachipampa en la unidad minera Uchucchacua

### **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 realizará en campo mediante observación y análisis de información sobre perforación y voladura en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990, de la veta Cachipampa en la unidad minera Uchucchacua, utilizando instrumentos como cuaderno de notas, planos, flexómetro y herramientas de gestión operacional minera.

**Recopilación:** se registrará los parámetros y factores clave de la perforación, así como el consumo de explosivos y accesorios. La información será procesada con Excel y complementada con fuentes bibliográficas como tesis y libros, utilizando una laptop para su análisis.

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

Los recursos empleados en la investigación incluyen informes, publicaciones, tesis, planos, fichas técnicas, libros, internet y una computadora.

## **CAPÍTULO IV**

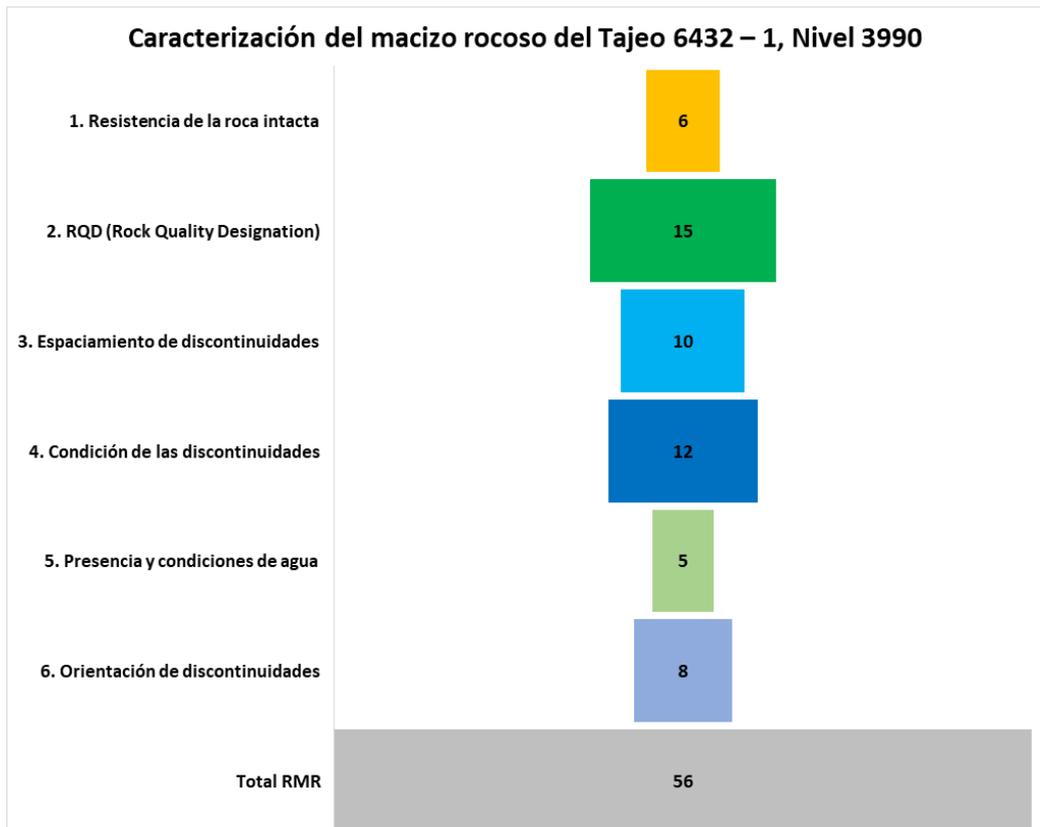
### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable para reducir el costo por tonelada en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua**

##### **4.1.1. Caracterización del macizo rocoso para el cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua**

A continuación, se detalla la evaluación de la caracterización del macizo rocoso del tajeo 6432 – 1, nivel 3990.

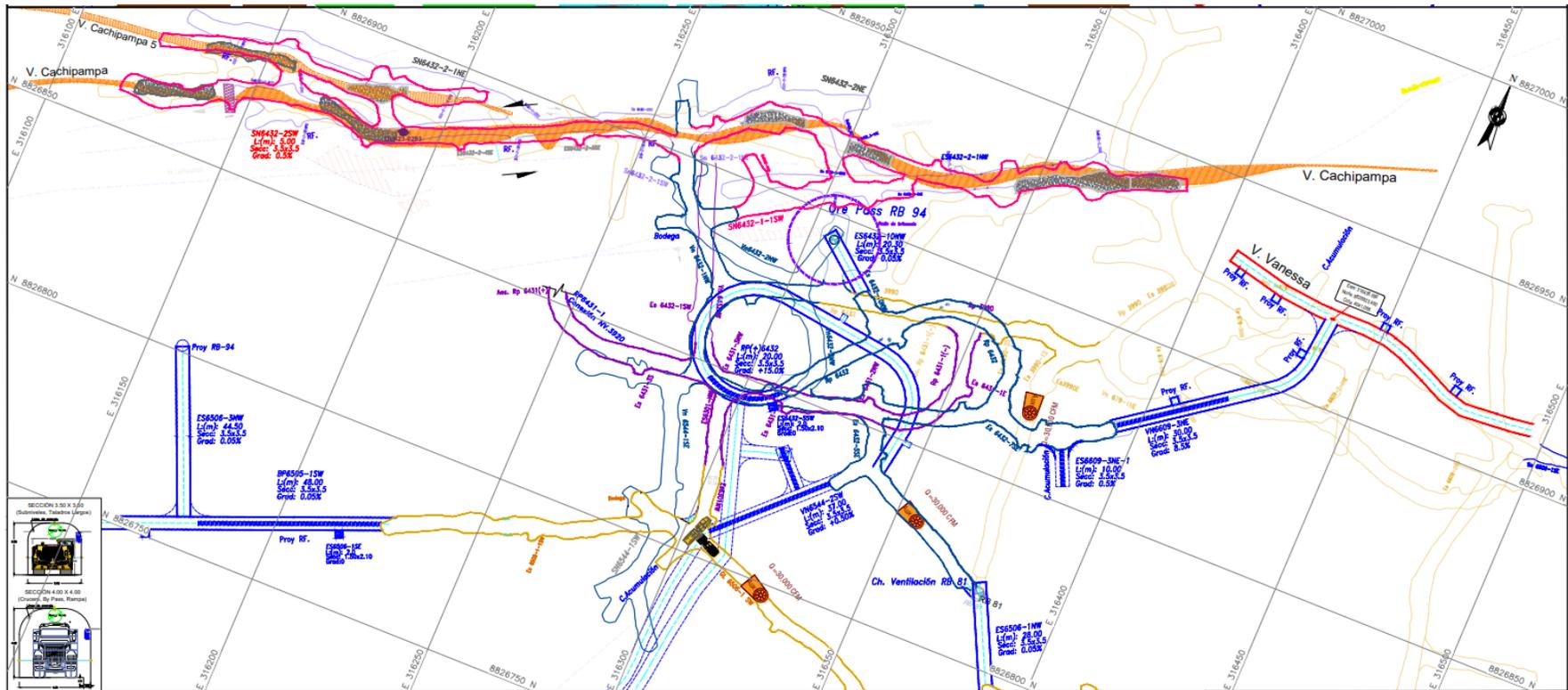
En el anexo 2, se muestra la caracterización del macizo rocoso del tajeo 6432 – 1, nivel 3990.



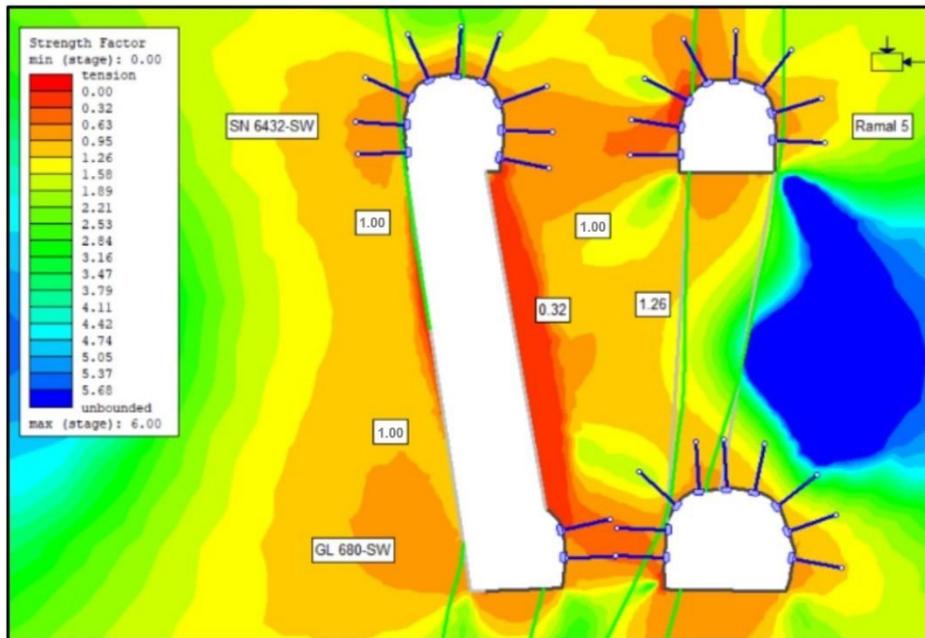
*Figura 2. Resumen de la caracterización del macizo rocoso del tajeo 6432 – 1, nivel 3990*

**Interpretación:**

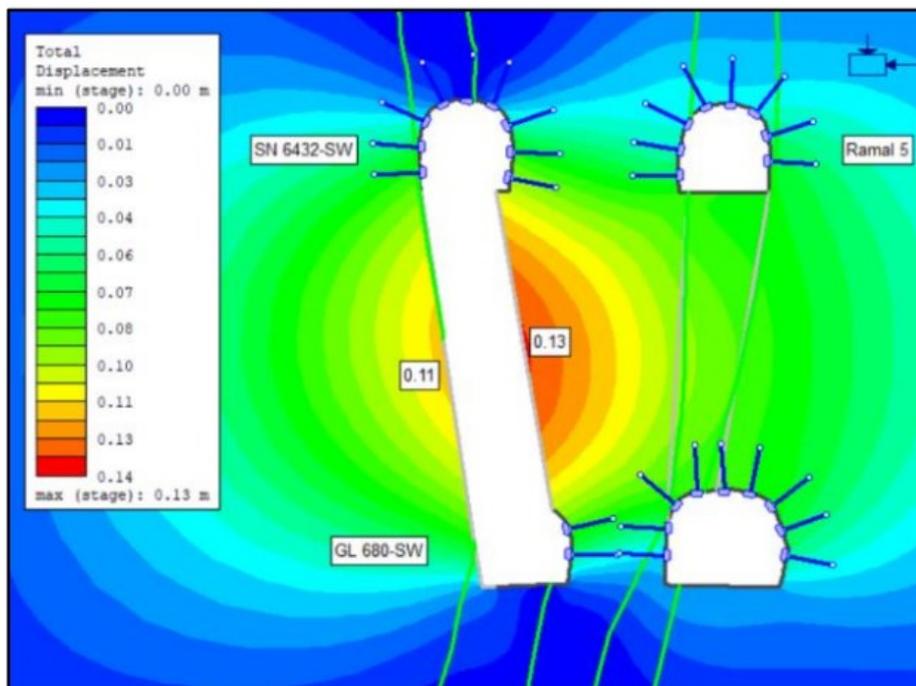
El tipo de roca promedio es una roca intermedia tipo III B, con un R.M.R. promedio en la caja piso el RMR es de 56, en la veta del mineral el RMR es de 45 y el RMR en la caja techo es de 55, siendo una roca intermedia tipo III A. Se observa una roca de mediana resistencia a la compresión de 80 a 85 Mpa, con sistemas de fallamientos y fracturamiento de relleno suave que acompaña el direccionamiento de la estructura mineralizada.



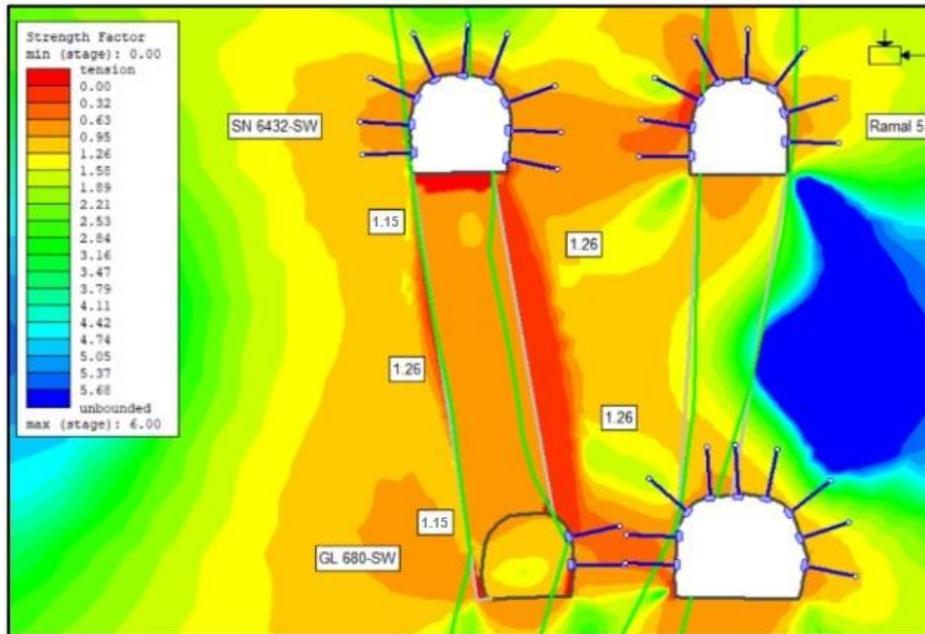
**Figura 3. Plano del tajeo 6432 – 1, nivel 3990  
Tomada del Area de Operaciones de la unidad minera Uchucchacua (8)**



**Figura 4. Factor de seguridad del tajeo 6432 – 1, nivel 3990  
Tomada del Área de Geomecanica de la unidad minera Uchucchacua (9)**



**Figura 5. Vista de los desplazamientos del tajeo 6432 – 1, nivel 3990  
Tomada del Área de Geomecanica de la unidad minera Uchucchacua (9)**



*Figura 6. Factor de seguridad de la etapa de relleno del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 Tomada del Área de Geomecánica de la unidad minera Uchucchacua (9)*

### **Interpretación**

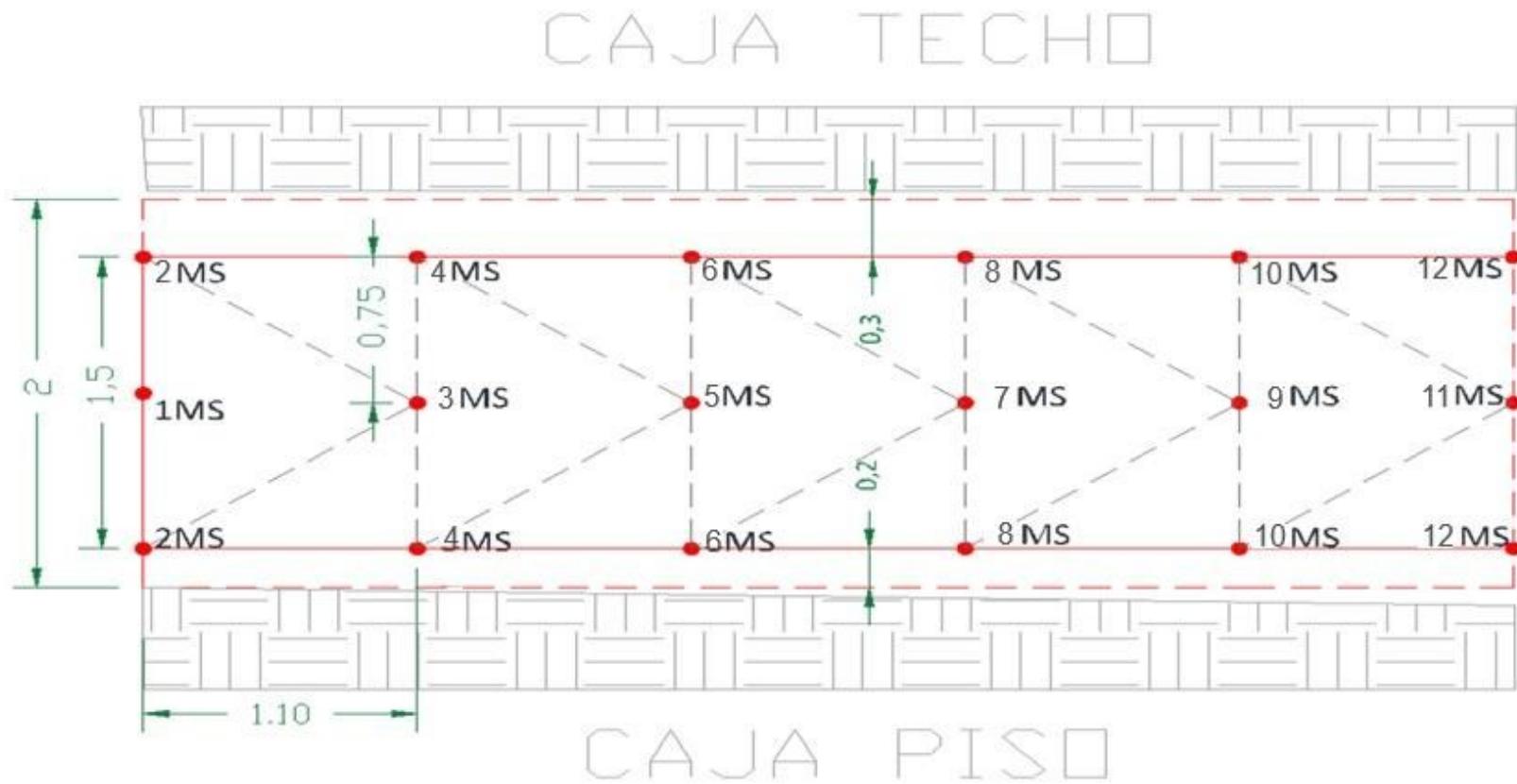
Después de realizar la voladura, el espacio vacío del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 cuenta con un factor de seguridad de 1, por lo que el sostenimiento debe realizarse en un tiempo menor a 24 horas. El desplazamiento del tajeo que experimenta es de 0.11cm en la caja piso y 0.13 cm en la caja techo. Una vez realizada el sostenimiento con el relleno detrítico el factor de seguridad alcanza el 1.15 siendo factible el uso de relleno detrítico dentro del plazo del tiempo establecido.

#### **4.1.2. Cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable para mejorar la fragmentación en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua**

El cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990, en la unidad minera Uchucchacua busca mejorar la fragmentación mediante la optimización de la distribución de energía en los barrenos. Al utilizar emulsiones bombeables, se consigue una mayor cobertura del volumen del barreno, permitiendo una fragmentación más uniforme y eficiente de la roca. Esto reduce los espacios vacíos y mejora el control de la voladura. Además, la flexibilidad de ajustar la densidad del explosivo bombeable en función de las características del macizo rocoso contribuye a minimizar la sobre rotura, optimizar los costos de sostenimiento y aumentar la productividad en las operaciones de extracción.

#### **4.1.2.1. Análisis inicial del disparo en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua**

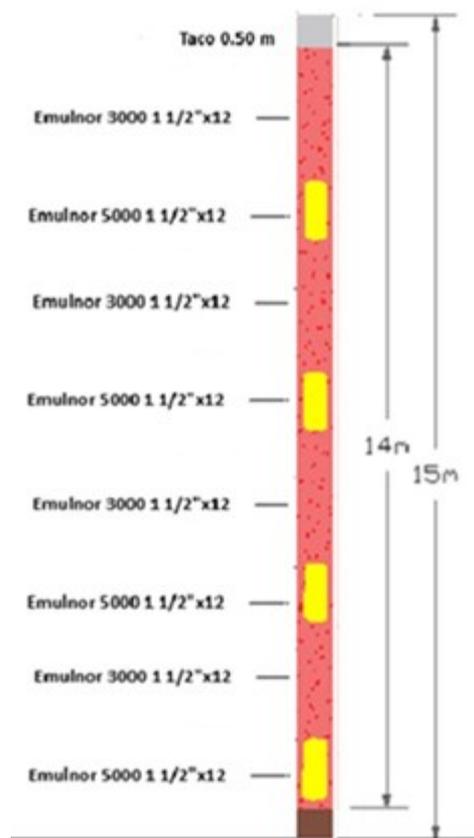
En la siguiente figura se muestra el análisis inicial del diseño de malla de perforación y voladura del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua, en el cual se muestra que cada tramo se disparan 6 filas de los taladros cargados



*Figura 7. Análisis inicial – diseño de malla de perforación y voladura del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua Tomada del Área de Operaciones de la unidad minera Uchucchacua (8)*

Tipo de ROCA III-B RMR 45-55					
PERFORACION			VOLADURA		
Longitud de Perforación	15	m	Longitud de carga	14	m
Diámetro de taladro	64	mm	Longitud de taco inicial	0.4	m
Burden	1.1	m	Longitud de taco final	0.5	m
Espaciamiento	0.75	m	Cant/Tal Emulnor 3000 1 1/2"x12	126	Pzas
Ancho de Veta	2.00	m	Cant/Tal Emulnor 5000 1 1/2"x12	12	Pzas
Ancho de minado	1.5	m	Carmex 7 pies	6	Pzas
Densidad de Mineral	3.1	g/cc	Total Explosivo	56.8	kg
Numero de Taladros/Fila	3.00	und	RENDIMIENTO		
Metros Perforados/Fila	45	m	Indice de Perforación	1.14	TN/mp
<b>Toneladas Rotas/Fila</b>	51	TN	Factor de Potencia	1.11	kg/TN

**DISEÑO DE CARGUÍO**



*Figura 8. Análisis inicial de los parámetros de perforación y voladura del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua Tomada del Área de Operaciones de la unidad minera Uchucchacua (8)*

**Comentario:**

- La perforación se realiza con un juego de 10 barras de 5 pies cada una siendo una longitud de 15 metros de perforación con una broca de 64 mm.

- La voladura se realiza con dos tipos de explosivo encartuchado el Emulnor 3000 con una cantidad 42 unidades como carga y el Emulnor 5000 con una cantidad de 4 unidades como cebo.
- El índice de perforación es de 1.14 t/mp
- El factor de potencia es de 1.11 kg/t

Los resultados mostrados son a consecuencia de la deficiencia de la secuencia de salida en el diseño de malla de perforación y voladura del 6432-1, Nivel 3990.

- **Análisis inicial de los 10 disparos realizados en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua**

En el disparo tajeo 6432 – 1, nivel 3990 se llevó a cabo un análisis situacional de la fragmentación con el objetivo de evaluar el descaje resultante de la voladura, dado que se está utilizando explosivo encartuchado.

Cada disparo está compuesto por 6 filas de taladros disparados. En el anexo 2 se presenta el plano del estado inicial basado en los 10 disparos correspondientes a las 6 filas del tajeo 6432 – 1, nivel 3990, en la unidad minera Uchucchacua.

A continuación, se detalla en la tabla el análisis inicial de los 10 disparos de 6 filas del tajeo 6432 – 1, nivel 3990, en la unidad minera Uchucchacua.

**Tabla 5. Análisis inicial de los 10 disparos de 6 filas del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua**

Tipo de mineral	Veta	Nivel	Método de minado B&F	Labor	Disparos	Filas	Mineral (TMS)	Desmonte (t)	Dilución (%)	OzAg / TMS	%Pb / TMS	%Zn / TMS	%Mn / TMS
Polimetálico	Cachipampa	3990	<i>bech and fill</i>	Tajeo 6432 – 1	1	F1 - F6	517	123	18	8.9	4.91	4.39	1.4
Polimetálico	Cachipampa	3990	<i>bech and fill</i>	Tajeo 6432 – 1	2	F7 - F12	513	117	17	7.9	4.33	3.42	1.32
Polimetálico	Cachipampa	3990	<i>bech and fill</i>	Tajeo 6432 – 1	3	F13 - F18	510	114	17	8.62	4.75	3.56	1.07
Polimetálico	Cachipampa	3990	<i>bech and fill</i>	Tajeo 6432 – 1	4	F19 - F24	520	124	18	9.56	4.48	4.29	1.15
Polimetálico	Cachipampa	3990	<i>bech and fill</i>	Tajeo 6432 – 1	5	F25 - F30	522	121	18	8.58	4.71	4.22	1.43
Polimetálico	Cachipampa	3990	<i>bech and fill</i>	Tajeo 6432 – 1	6	F31 - F36	529	125	18	8.11	3.78	4.34	1.54
Polimetálico	Cachipampa	3990	<i>bech and fill</i>	Tajeo 6432 – 1	7	F37 - F42	515	112	16	8.63	4.14	4.26	1.64
Polimetálico	Cachipampa	3990	<i>bech and fill</i>	Tajeo 6432 – 1	8	F43 - F48	503	126	19	8.57	4.42	4.19	1.18
Polimetálico	Cachipampa	3990	<i>bech and fill</i>	Tajeo 6432 – 1	9	F49 - F54	501	115	17	8.87	4.89	3.63	1.31
Polimetálico	Cachipampa	3990	<i>bech and fill</i>	Tajeo 6432 – 1	10	F55 - F60	512	122	18	8.33	4.66	3.67	1.87
						Promedio	514	120	18	8.61	4.51	4.00	1.39



*Figura 9. Análisis inicial del descaje del disparo en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua*

- **Comentario**

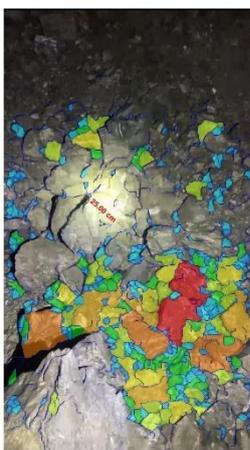
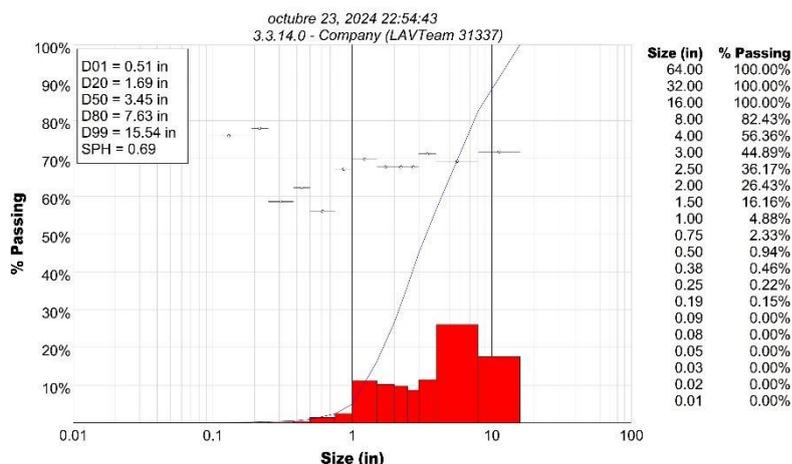
En el análisis inicial de los 10 disparos de 6 filas del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua, en promedio se obtuvo lo siguiente:

- ✓ El tonelaje de mineral en promedio es de 514 toneladas
- ✓ El tonelaje de desmonte en promedio es de 120 toneladas
- ✓ La ley de plata es de 8.61 Oz Ag / TMS.
- ✓ La ley de plomo es de 4.51 %Pb / TMS
- ✓ La ley de Zinc es de 4.00 %Zn / TMS
- ✓ La ley de Manganeso es de 1.39 %Mn / TMS
- ✓ La dilución en promedio de los 10 disparados se obtuvo un 18%, siendo muy deficiente.

- **Análisis inicial de la fragmentación del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua**

En la siguiente figura se muestra el promedio del análisis inicial de la fragmentación del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua

TAJEO 6432 – 1, NIVEL 3990 EN LA UNIDAD MINERA UCHUCCHACUA



**Figura 10. Análisis inicial de la fragmentación del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua**

• **Comentario**

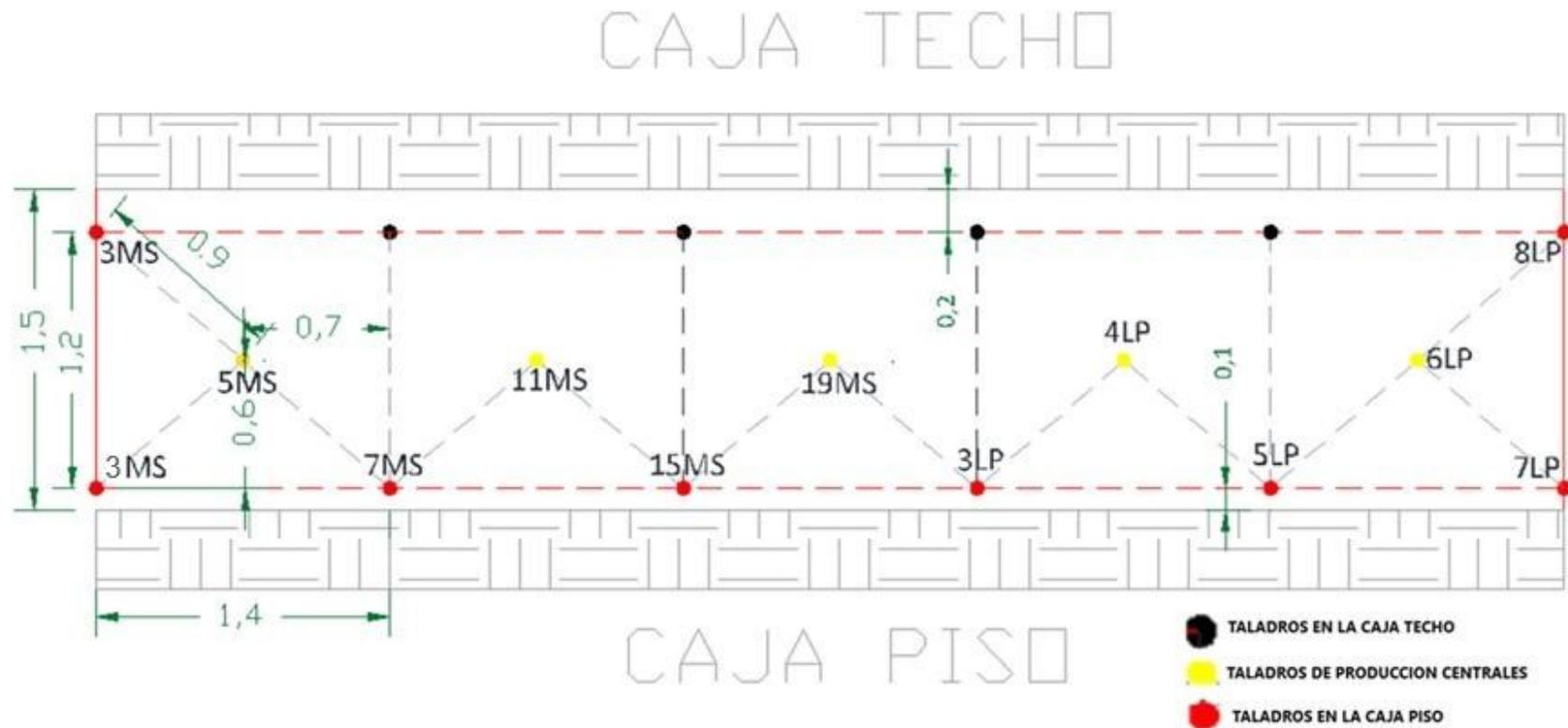
El análisis inicial de la fragmentación del tajeo 6432 – 1 del nivel 3990, según el análisis del P80, indica un valor de 7.63 pulgadas, el cual es muy deficiente.

El análisis inicial de la fragmentación en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 de la unidad minera Uchucchacua revela una distribución irregular del material, con la presencia de bloques de gran tamaño y un exceso de finos. Esta variabilidad en la granulometría ha impactado negativamente la eficiencia en las etapas posteriores como de limpieza y transporte, al requerir más tiempo y esfuerzo para gestionar el material fragmentado. La fragmentación no fue homogénea, lo que sugiere la necesidad de ajustar los parámetros de perforación y voladura, así como evaluar el uso de explosivos bombeables para mejorar la consistencia y optimizar el tamaño del material fragmentado, reduciendo los tiempos operativos y los costos asociados.

#### **4.1.2.1. Análisis de optimización del disparo en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua**

Tras las deficiencias encontradas en la situación inicial de los disparos, se planteó el desarrollo de un nuevo diseño de malla de perforación y voladura para el tajeo 6432 – 1, nivel 3990, con el fin de realizar el cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable, donde se obtuvo buenos resultados del disparo, mejorando la fragmentación y reduciendo costos de perforación y voladura.

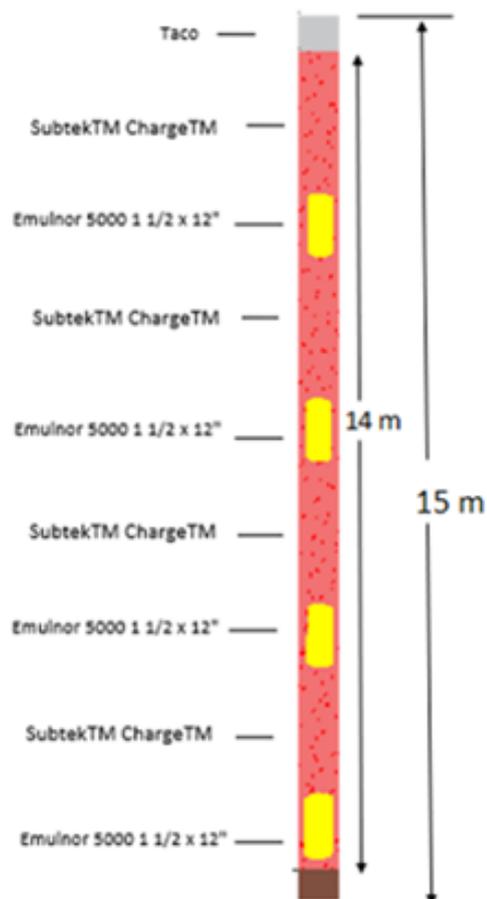
En la siguiente figura se muestra el análisis de la optimización del diseño de malla de perforación y voladura del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua, en el cual se muestra que cada disparo se realizan la voladura de las 6 filas de los taladros cargados



*Figura 11. Análisis de optimización – diseño de malla de perforación y voladura del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua Tomada del Área de Operaciones de la unidad minera Uchucchacua (8)*

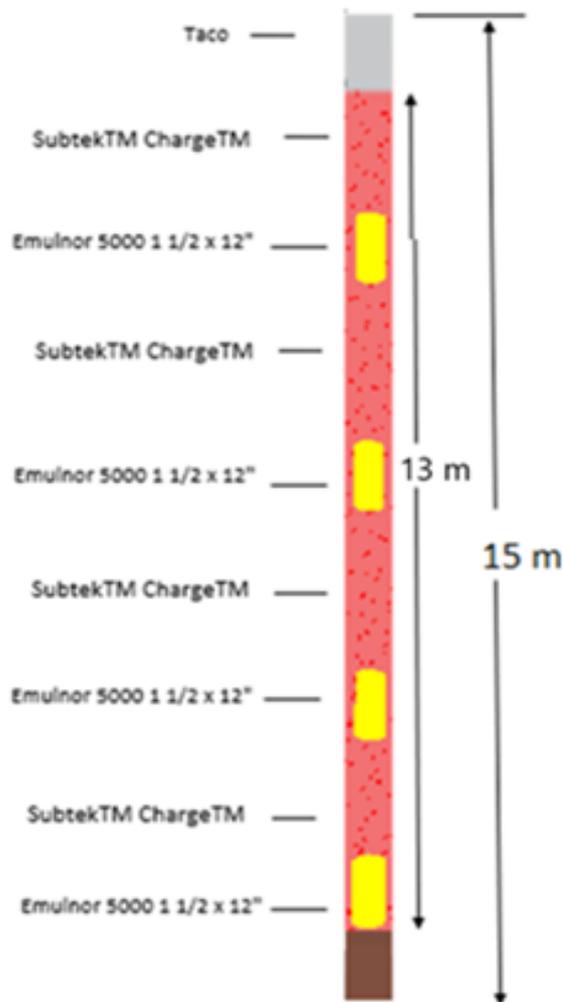
Del diseño de malla de perforación y voladura, se muestra que se diseñaron dos carguíos de explosivo para los taladros de la caja piso y producción, asimismo, los taladros de la caja techo. En las siguientes figuras se muestran los diseños de carguío correspondiente.

Tipo de ROCA III-B RMR 45-55					
PERFORACION			VOLADURA		
Longitud de Perforación	15	m	Longitud de carga	14	m
Diámetro de taladro	64	mm	Longitud de taco inicial	0.5	m
Burden	0.7	m	Longitud de taco final	0.5	m
Espaciamiento	0.9	m	<b>TAL CAJA PISO y PRODUCCION</b>		
Ancho de Veta	1.5	m	Cant/Tal Emulnor 5000 1 1/2"x12	4.0	Pzas
Ancho de Minado	1.2	m	SubtekTM ChargeTM / Tal	25.2	kg
Densidad Mineral	3.1	g/cc	Carmex 7 pies	2.00	Pzas
Numero de Taladros/Fila	2.0	und	Total Explosivo	11.64	kg
Metros Perforados/Fila	30	m	Densidad del explosivo SubtekTM ChargeTM	1.15	g/cm3
			<b>RENDIMIENTO</b>		
Toneladas Rotas/Fila	16	TN	Indice de Perforación	1.09	TN/mp
			Factor de Potencia	0.72	kg/TN
<b>DISEÑO DE CARGUÍO</b>					



*Figura 12. Análisis de optimización, diseño de carguío de taladros en el piso y producción del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua Tomada del Área de Operaciones de la unidad minera Uchucchacua (8)*

Tipo de ROCA III-B RMR 45-55					
PERFORACION			VOLADURA		
Longitud de Perforación	15	m	Longitud de carga	13	m
Diámetro de taladro	64	mm	Longitud de taco inicial	0.5	m
Burden	0.7	m	Longitud de taco final	0.5	m
Espaciamiento	0.9	m	<b>TAL CAJA TECHO</b>		
Ancho de Veta	1.5	m	Cant/Tal Emulnor 5000 1 1/2"x12	4.0	Pzas
Ancho de Minado	1.2	m	SubtekTM ChargeTM / Tal	23.4	kg
Densidad Mineral	3.1	g/cc	Carmex 7 pies	2.00	Pzas
Numero de Taladros/Fila	2.0	und	Total Explosivo	10.92	kg
Metros Perforados/Fila	30	m	Densidad del explosivo SubtekTM ChargeTM	1.10	g/cm3
			<b>RENDIMIENTO</b>		
Toneladas Rotas/Fila	16	TN	Indice de Perforación	1.09	TN/mp
			Factor de Potencia	0.67	kg/TN
<b>DISEÑO DE CARGUÍO</b>					



*Figura 13. Análisis de optimización, diseño de carguío de taladros en el techo del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua Tomada del Área de Operaciones de la unidad minera Uchucchacua (8)*

**Tabla 6. Dosificación del explosivo bombeable Subtek<sup>TM</sup> Charge<sup>TM</sup> para el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera uchucchacua**

Propiedad	Carguío de taladros en el piso y producción	Carguío de taladros en el techo del Tajeo
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	1.15	1.10
Diámetro mínimo de barreno (mm)	64	64
VOD típico (km/s)	2.6	2.1
energía (calor de formación - mj/kg)	2.5	2
Energía efectiva (MJ/kg)	2	1.8
Energía efectiva relativa (REE)		
Fuerza relativa en peso	90	85
Fuerza relativa en volumen	120	100
Volumen de gases (l/kg)	980	950
CO <sub>2</sub> (kg/t)	205	205
Tiempo de espera máximo	21 días	21 días
Tasa de gasificación (a 20°C)	Aproximadamente 20 minutos a 20°C.	Aproximadamente 20 minutos a 20°C.

- **Comentario:**

Con la finalidad de obtener buenos resultados y mejorar control de la sobrerotura y fragmentación en la caja techo se procedió a realizar 2 diseños de carguío de explosivo en los taladros de la caja piso y caja techo

- Diseños de carguío de explosivo en los taladros de la caja piso y taladros de producción centrales
- ✓ La perforación se realiza con un juego de 10 barras de 5 pies cada una siendo una longitud de 15 metros de perforación con una broca de 64 mm.
- ✓ La densidad de Carguío de taladros en el piso y producción es de 1.15 g/cm<sup>3</sup>
- ✓ La voladura se realiza con dos tipos de explosivo como carga el Subtek<sup>TM</sup> Charge<sup>TM</sup> con 11.64 kg por taladro y como cebo el Emulnor 5000 con una cantidad de 4 unidades.
- ✓ El índice de perforación es de 1.09 ton/mp
- ✓ El factor de potencia es de 0.72 kg/ton
- Diseños de carguío de explosivo en los taladros de la caja techo
- ✓ La perforación se realiza con un juego de 10 barras de 5 pies cada una siendo una longitud de 15 metros de perforación con una broca de 64 mm.

- ✓ La densidad de carguío de taladros en el piso y producción es de 1.10 g/cm<sup>3</sup>
- ✓ La voladura se realiza con dos tipos de explosivo como carga el SubtekTM ChargeTM con 10.92 kg por taladro y como cebo el Emulnor 5000 con una cantidad de 4 unidades.
- ✓ El índice de perforación es de 1.09 t/mp
- ✓ El factor de potencia es de 0.67 kg/t

Total de explosivo utilizado por fila es de 22.56 kg tanto en explosivo como carga el SubtekTM ChargeTM y el Emulnor 5000 con una cantidad de 4 unidades.

Carguío con explosivo bombeable SubtekTM ChargeTM





*Figura 14. Carguío con explosivo bombeable Subtek<sup>TM</sup> Charge<sup>TM</sup> en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua*

#### **4.1.2.2. Análisis de optimización de los 10 disparos de 6 filas por disparo del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua**

El análisis de optimización de los 10 disparos de 6 filas por disparo en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 de la unidad minera Uchucchacua se enfoca en la reducción de los costos de perforación y voladura mediante el cambio del explosivo encartuchado por un explosivo bombeable. Al realizar esta sustitución, se consigue una distribución más uniforme de la energía durante la voladura, lo que mejora la fragmentación y minimiza la necesidad de operaciones adicionales de voladura. Como resultado, este cambio contribuye a reducir el costo de perforación y voladura por tonelada, optimizando la eficiencia del proceso una vez realizado el disparo.

En el anexo 5, se muestra el análisis de optimización del plano transversal del diseño de malla de perforación y voladura del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua

En la siguiente tabla se muestra el análisis de optimización de los 10 disparos de 6 filas del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua.

**Tabla 7. Análisis de optimización de los 10 disparos de 6 filas por cada disparo del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua**

Tipo de mineral	Veta	Nivel	Método de minado B&F	Labor	Disparos	Filas	Mineral (TMS)	Dilución n (%)	OzAg / TMS	%Pb / TMS	%Zn / TMS	%Mn / TMS
Polimetálico	Cachipampa	3990	<i>bech and fill</i>	Tajeo 6432 – 1	1	F1 - F6	414	12	11.35	6.47	5.95	2.41
Polimetálico	Cachipampa	3990	<i>bech and fill</i>	Tajeo 6432 – 1	2	F7 - F12	429	11	10.35	5.89	4.98	2.33
Polimetálico	Cachipampa	3990	<i>bech and fill</i>	Tajeo 6432 – 1	3	F13 - F18	430	11	11.07	6.31	5.12	2.08
Polimetálico	Cachipampa	3990	<i>bech and fill</i>	Tajeo 6432 – 1	4	F19 - F 24	415	10	12.01	6.04	5.85	2.16
Polimetálico	Cachipampa	3990	<i>bech and fill</i>	Tajeo 6432 – 1	5	F25 - F30	406	11.5	11.03	6.27	5.78	2.44
Polimetálico	Cachipampa	3990	<i>bech and fill</i>	Tajeo 6432 – 1	6	F31 - F 36	408	12	10.56	5.34	5.9	2.55
Polimetálico	Cachipampa	3990	<i>bech and fill</i>	Tajeo 6432 – 1	7	F37 - F42	419	10	11.08	5.70	5.82	2.65
Polimetálico	Cachipampa	3990	<i>bech and fill</i>	Tajeo 6432 – 1	8	F43 - F 48	415	11	11.02	5.98	5.75	2.19
Polimetálico	Cachipampa	3990	<i>bech and fill</i>	Tajeo 6432 – 1	9	F49 - F54	428	11	11.32	6.45	5.19	2.32
Polimetálico	Cachipampa	3990	<i>bech and fill</i>	Tajeo 6432 – 1	10	F55 - F 60	404	12	10.78	6.22	5.23	2.88
Promedio							417	11	11.06	6.07	5.56	2.40



*Figura 15. Análisis de optimización sobre rotura del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua*

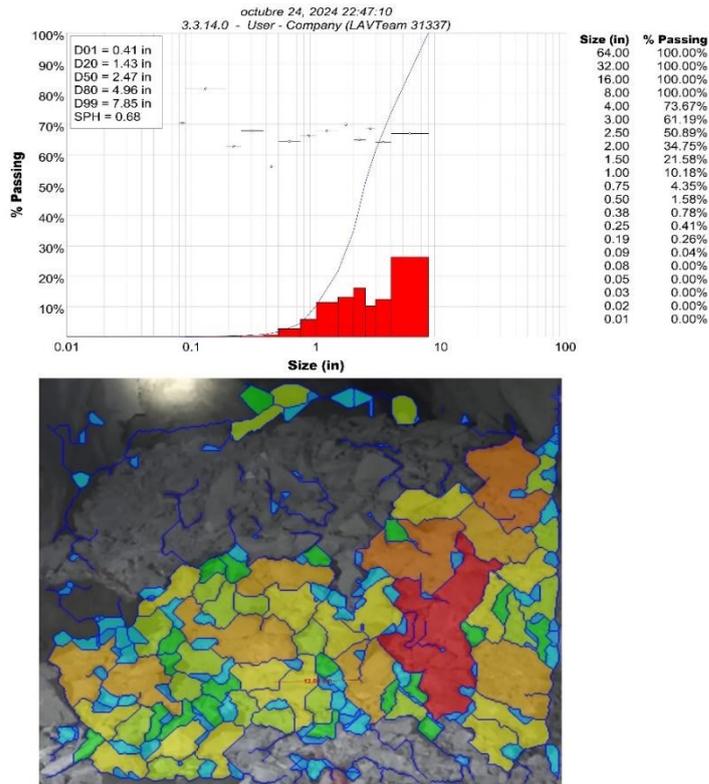
- **Comentario:**

En el análisis de optimización de los 10 disparos del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua, en promedio se obtuvo lo siguiente:

- ✓ El tonelaje promedio es de 417 toneladas
- ✓ La ley de plata es de 11.06 Oz Ag / TMS.
- ✓ La ley de plomo es de 6.07 %Pb / TMS
- ✓ La ley de Zinc es de 5.56 %Zn / TMS
- ✓ La ley de Manganeso es de 2.40 %Mn / TMS
- ✓ La dilución en promedio de los 10 disparados se obtuvo un 11%, el cual es favorable.

#### **4.1.2.3. Análisis de optimización de la fragmentación del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua**

En la siguiente figura se muestra el promedio del análisis de optimización de la fragmentación del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua



**Figura 16. Análisis de optimización de la fragmentación del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua**

• **Comentario**

El análisis de optimización de la fragmentación del tajeo 6432 – 1 del nivel 3990, según el análisis del P80 se obtuvo un valor de 4.96 pulgadas, el cual es eficiente.

El análisis de optimización de la fragmentación en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990, utilizando el valor de P80, arrojó un tamaño de fragmentación de 4.96 pulgadas, lo que indica una fragmentación eficiente. Este resultado sugiere que el 80 % del material fragmentado tiene un tamaño igual o inferior a 4.96 pulgadas, lo que es favorable para las operaciones de carga, transporte y procesamiento posterior. El valor obtenido cumple con los estándares operativos, lo que refleja un buen control en los parámetros de perforación y voladura. Sin embargo, se podrían realizar ajustes menores en los procedimientos para asegurar la consistencia de este resultado en futuras voladuras.

**4.1.3. Cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable para reducir el costo de perforación y voladura en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua**

Con el cambio de explosivos encartuchados (Emulnor 3000 y 5000) a explosivo bombeable Subtek™ Charge™, en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990, de la unidad minera Uchucchacua, se

logró reducir los costos de perforación y voladura, obteniéndose las siguientes mejoras en los disparos realizados:

- El Subtek™ Charge™ permite una distribución más uniforme de la energía durante la voladura. Gracias a sus propiedades bombeables, este explosivo se adaptó mejor a las condiciones de la perforación, lo que optimizó la liberación de energía. Esta mejora en la distribución contribuye a lograr una fragmentación más controlada y uniforme, el factor crucial para la eficiencia en el proceso de explotación del Tajeo 6432 – 1, Nivel 3990.
- Los explosivos encartuchados como el Emulnor 3000 y el Emulnor 5000 suelen ser más costosos debido a su proceso de fabricación y al manejo laborioso que requieren durante el carguío en los taladros. En contraste, el explosivo bombeable Subtek™ Charge™ se presenta como una alternativa más económica, ofreciendo ventajas clave en términos de costos. Su facilidad de manejo y el menor tiempo de preparación permiten una reducción significativa de los costos operativos asociados al uso del explosivo bombeable. Además, la adaptabilidad del Subtek™ Charge™ a diversas condiciones de perforación permite optimizar su uso, ya que se requiere una menor cantidad de explosivo para lograr el mismo rendimiento, lo que contribuye a una reducción adicional de costos y una mayor eficiencia en las operaciones de voladura.
- La aplicación del Subtek™ Charge™ también optimiza la eficiencia operativa. El proceso de carga de los taladros se vuelve más rápido y menos laborioso, lo que reduce el tiempo de preparación entre disparos. Esto no solo disminuye los costos directos, sino que también aumenta la productividad, permitiendo que los equipos realicen más trabajo en menos tiempo, lo que resulta en una mayor capacidad operativa.
- La aplicación del Subtek™ Charge™ también ha demostrado tener un impacto positivo en términos de seguridad y reducción de riesgos ambientales. Al ser más fáciles de manejar y aplicar, se minimizan los riesgos de accidentes durante la carga y manipulación de los explosivos. Además, la mejor distribución de la energía durante la voladura contribuye a reducir los efectos adversos en las áreas cercanas, como daños en las cajas del Tajeo 6432 – 1, Nivel 3990, lo que mejora la seguridad tanto para los trabajadores como para el entorno de trabajo.

El cambio de explosivos encartuchados a Subtek™ Charge™ no solo ha generado beneficios directos en la reducción de costos, sino que también ha optimizado la eficiencia operativa, mejorado la seguridad y proporcionado un mejor control sobre la fragmentación del mineral.

Esta estrategia se alinea perfectamente con el objetivo de maximizar la rentabilidad de las operaciones mineras, al tiempo que se mejora la sostenibilidad de los procesos en la unidad minera Uchucchacua.

En la siguiente sección se muestra la comparativa del análisis situacional con el uso de explosivos encartuchados, como el Emulnor 3000 y el Emulnor 5000, en relación al análisis óptimo con el explosivo bombeable Subtek™ Charge™.

#### 4.1.3.1. Análisis inicial del costo de perforación y voladura en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua

En la siguiente tabla se muestra el análisis inicial de los parámetros de perforación y voladura en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990.

**Tabla 8. Análisis inicial de los parámetros de perforación y voladura en el Tajeo 6432 – 1, Nivel 3990**

<b>Perforacion de Produccion</b>	<b>180</b>	<b>taladros/tajeo</b>
Taladros perforados - Produccion	180	tal/tajeo
m por taladro	15	m/tal
<b>Volumen de Produccion</b>	<b>2,035.00</b>	<b>ton</b>
Longitud	56.00	m
Ancho	2.00	m
Alto	15.00	m
Longitud Taladro	15.00	m
Densidad	3.10	ton/m3
Factor de carga	1.26	kg/m
	0.75	Ton/m
<b>Equipos de Perforacion</b>		
Rendimiento de Simba	6.58	tal/gdia
Horas Trabajadas Simba	7.6	hr/gdia
Consumo de Petroleo	1.50	Gal/hr
Dias trabajados	30.00	dias
<b>Carguio de taladros</b>		
Longitud	15.00	m
Densidad	0.95	Gr/cm3
Diametro	64	mm
F.C.L (Kg. Encartuchado. / m)	1.26	
Burden	1.10	
Espaciamiento	0.75	
<b>Equipos de Limpieza</b>		
Rendimeinto Scooptram 3.5 Yd3	38	ton/hr
Horas Trabajadas SCOOP	7	hr/gdia
Consumo de Petroleo	3.5	Gal/hr
Horas por dia	12	Horas

En la siguiente figura, se muestra el análisis inicial del costo de perforación y voladura en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990

### Análisis inicial del costo de perforación y voladura en el Tajeo 6432 – 1, Nivel 3990

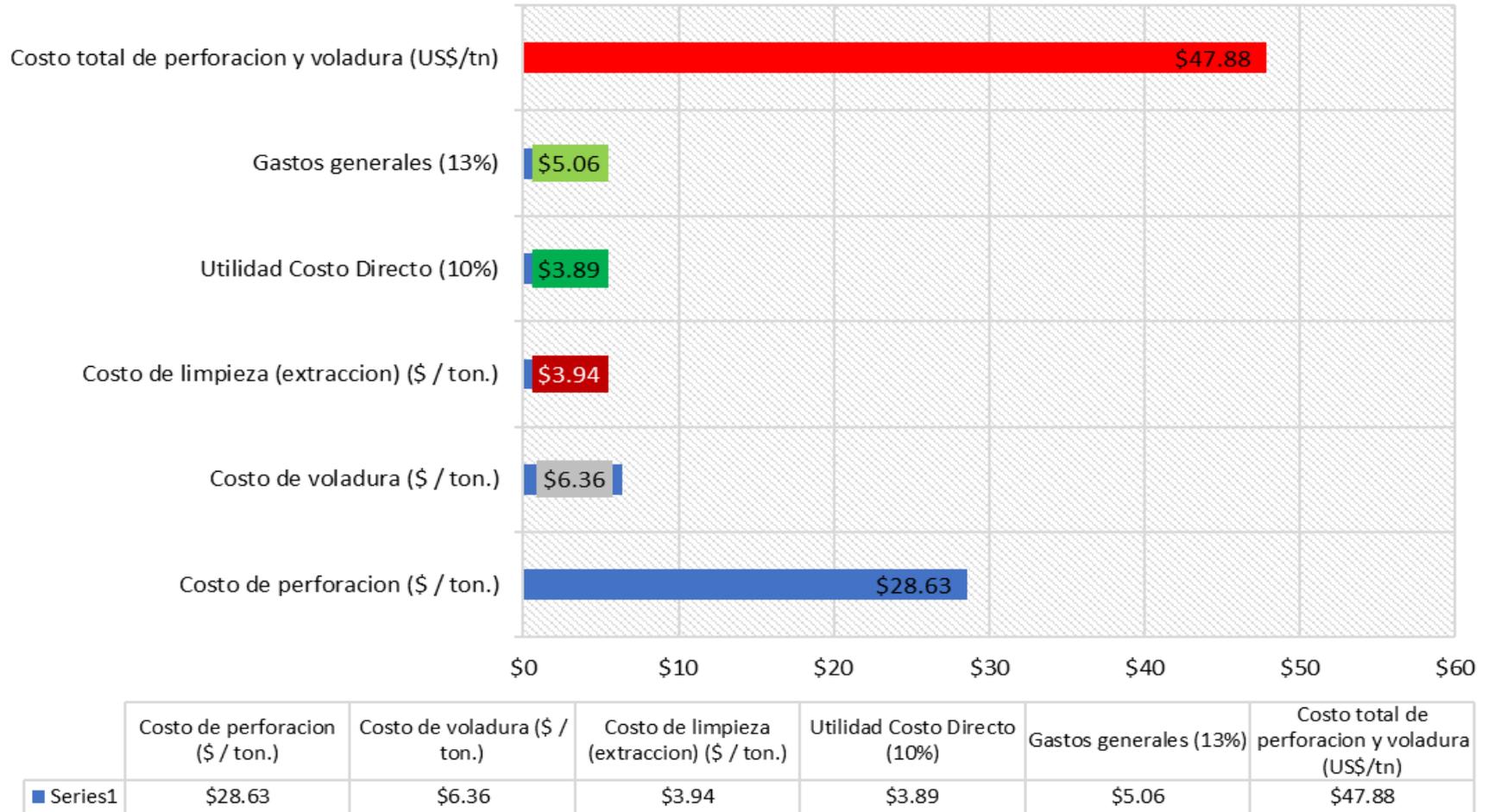


Figura 17. Análisis inicial del costo de perforación y voladura en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990

- **Comentario:**

De la figura se tiene los siguientes resultados:

- ✓ El costo de perforación es de 28.63 \$ / t
- ✓ El costo de voladura es de 6.36 \$ / t
- ✓ El costo de limpieza (extracción) es de 3.94 \$/t
- ✓ La utilidad costo directo (10%) es de 3.89 \$/t
- ✓ Los gastos generales (13%) es de 5.06 \$/t
- ✓ El costo total de perforación y voladura es de 47.88 \$/t

Para mejorar este costo total deficiente, es recomendable revisar los parámetros de perforación y voladura para aumentar la eficiencia, reducir los costos de perforación y limpieza, y optimizar la fragmentación del material. Estas acciones pueden conducir a una estructura de costos más equilibrada, aumentando así la rentabilidad del tajeo y minimizando el impacto de los costos generales en la operación.

#### **4.1.3.2. Análisis de la optimización del costo de perforación y voladura en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua**

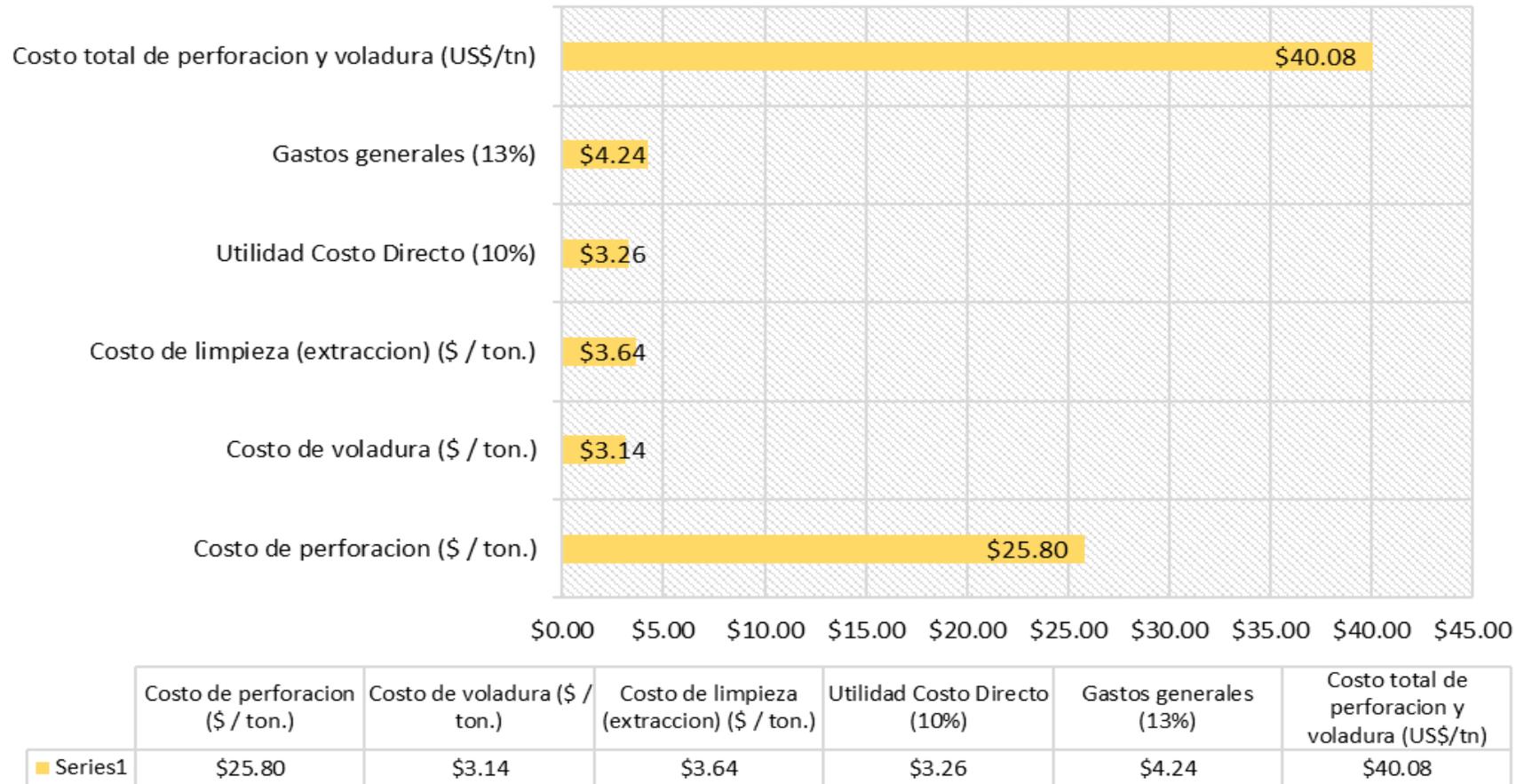
En la siguiente tabla se muestra el análisis de la optimización de los parámetros de perforación y voladura en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990

**Tabla 9. Análisis de la optimización de los parámetros de perforación y voladura en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990**

<b>Perforacion de Produccion</b>	<b>170</b>	<b>taladros/tajeo</b>
Taladros perforados - Produccion	170	tal/tajeo
m por taladro	15	m/tal
<b>Volumen de Produccion</b>	<b>2,135.00</b>	<b>ton</b>
Longitud	71.00	m
Ancho	1.50	m
Alto	15.00	m
Longitud Taladro	15.00	m
Densidad	3.10	ton/m3
Factor de carga	0.73	kg/m
	0.84	Ton/m
<b>Equipos de Perforacion</b>		
Rendimiento de Simba	6.58	tal/gdia
Horas Trabajadas Simba	7.6	hr/gdia
Consumo de Petroleo	1.50	Gal/hr
Dias trabajados	30	dias
<b>Carguio de taladros</b>		
Longitud	15	m
Densidad	0.95	Gr/cm3
Diametro	64	mm
F.C.L (Kg. Subtek™ Charge™ / m)	0.73	
Burden	0.70	
Espaciamiento	0.90	
<b>Equipos de Limpieza</b>		
Rendimeinto Scooptram 3.5 Yd3	38	ton/hr
Horas Trabajadas SCOOP	7	hr/gdia
Consumo de Petroleo	3.5	Gal/hr
Horas por dia	12	Horas

En la siguiente figura se muestra el análisis de la optimización del costo de perforación y voladura en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990

## Análisis de la optimización del costo de perforación y voladura en el Tajeo 6432 – 1, Nivel 3990



*Figura 18. Análisis de la optimización del costo de perforación y voladura en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990*

- **Comentario:**

De la figura se tiene los siguientes resultados:

- ✓ El costo de perforación es de 25.80 \$/
- ✓ El costo de voladura es de 3.14 \$ / ton
- ✓ El costo de limpieza (extracción) es de 3.64 \$/t
- ✓ La utilidad Costo Directo (10%) es de 3.29 \$/t
- ✓ Los gastos generales (13%) es de 4.24 \$/t
- ✓ El costo total (US\$/tn) es de 40.08 \$/t

Los ajustes en los procesos de perforación y voladura han reducido el costo total, aumentando la eficiencia operativa y mejorando la rentabilidad del tajeo. Sin embargo, existe margen para seguir optimizando estos costos, especialmente en la etapa de perforación, con el objetivo de alcanzar una estructura de costos aún más competitiva y mejorar la rentabilidad a largo plazo en la operación.

#### **4.1.3.3. Optimización del costo de perforación y voladura en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua**

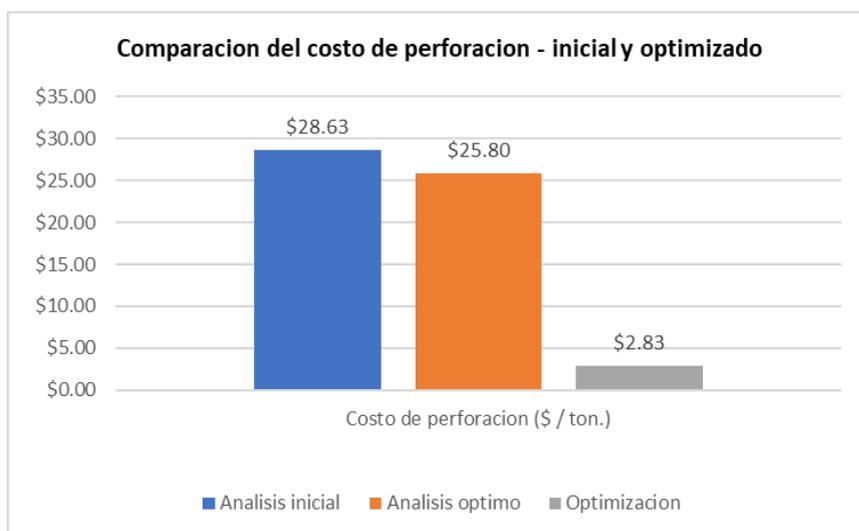
La optimización del costo de perforación y voladura en el tajeo 6432 – 1 se centra en la selección de equipos eficientes, el ajuste de parámetros de perforación para maximizar la cobertura y reducir desperdicios, el diseño de malla de voladura mejoro la fragmentación y minimizo la sobrerotura.

**Tabla 10. Resumen de la optimización del costo de perforación y voladura en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua**

Ítems	Análisis inicial	Análisis óptimo	Optimización
Costo de perforación (\$/t)	\$28.63	\$25.80	\$2.83
Costo de voladura (\$/t)	\$6.36	\$3.14	\$3.22
Costo de limpieza (extracción) (\$/t)	\$3.94	\$3.64	\$0.29
Utilidad Costo Directo (10%)	\$3.89	\$3.26	\$0.63
Gastos generales (13%)	\$5.06	\$4.24	\$0.82
Costo total de perforación y voladura (\$/t)	\$47.88	\$40.08	\$7.80

La optimización del costo de perforación y voladura en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990, en la unidad minera Uchucchacua se enfoca en reducir el costo de perforación, voladura y limpieza por tonelada mediante el uso eficiente de equipos, herramientas, parámetros optimizados y

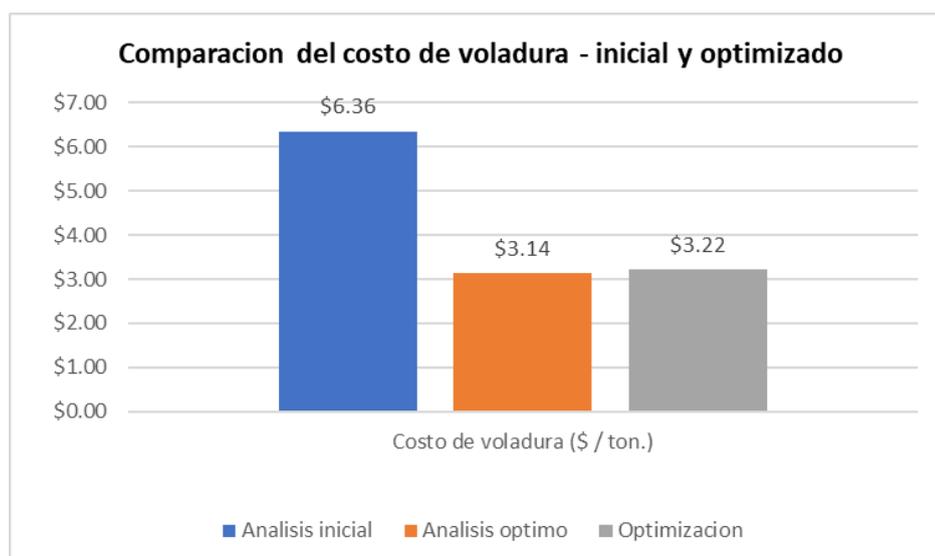
explosivos adecuados. Esto garantiza una fragmentación adecuada que facilite la extracción y minimice gastos adicionales, permitiendo calcular un costo total competitivo por tonelada rota.



**Figura 19. Optimización del costo de perforación del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua**

- **Comentario:**

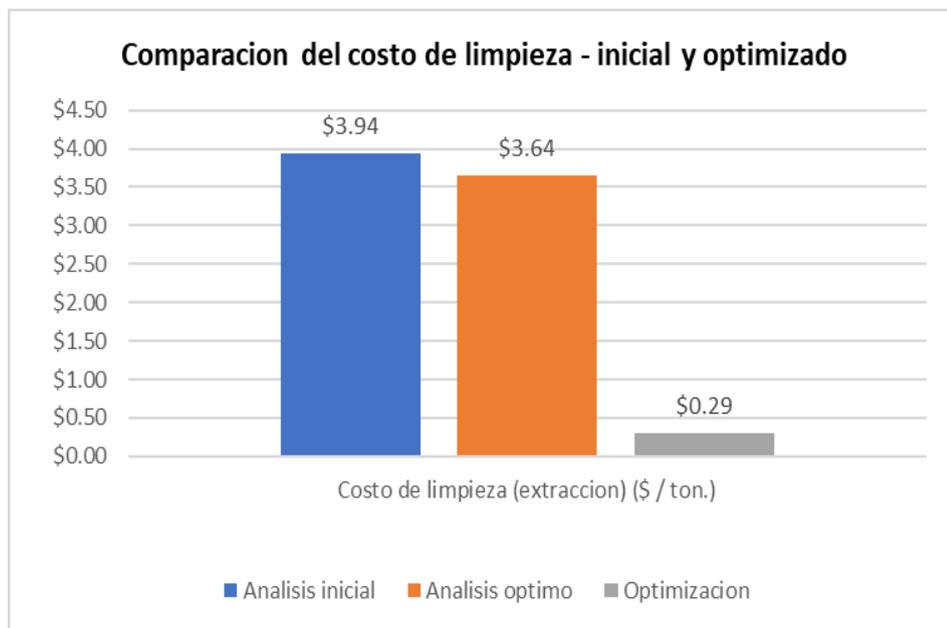
En la figura se compara el costo inicial de perforación que es de 28.63 \$/t y el costo óptimo de perforación que es de 25.80 \$/t, logrando una optimización de 2.83 \$/t. Esto evidencia que los ajustes en los parámetros de perforación permitieron disminuir significativamente el costo por tonelada, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo costos.



**Figura 20. Optimización del costo de voladura del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua**

- **Comentario:**

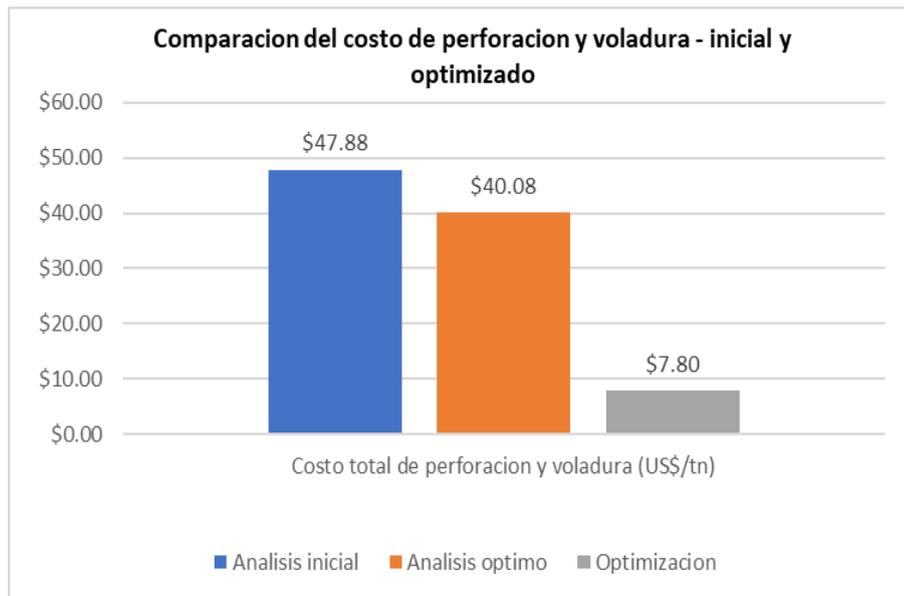
En la figura se compara el costo de voladura inicial que es de 6.36 \$/t y el costo de voladura óptima que es de 3.14 \$/t, logrando una optimización de \$3.22 \$/t gracias a mejoras en la selección de explosivos, lo que resultó en una fragmentación más eficiente y una significativa reducción de costos operativos.



**Figura 21. Optimización del costo de limpieza del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua**

- **Comentario:**

En la figura se compara el costo de limpieza (extracción) de 3.94 \$/t en el análisis inicial a 3.64 \$/t en el análisis óptimo, logrando una optimización de \$0.29 \$/t. Esto se debe a mejoras en la logística de limpieza y una mayor eficiencia en el uso de los equipos, reflejando un impacto positivo en la eficiencia operativa y la reducción de costos.



**Figura 22. Optimización del costo de perforación del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua**

- **Comentario:**

La comparación del costo total de perforación y voladura, en el análisis inicial es de 47.88 \$/t; en el análisis en el optimizado es de 40.08 \$/t, logrando una optimización de \$7.80 \$/t. Esto evidencia una mejora significativa en costos, reflejando mayor eficiencia y rentabilidad operativa.

## CONCLUSIONES

- 1 El tajeo 6432 – 1, nivel 3990, se encuentra en una roca intermedia tipo III B, con resistencia a la compresión media de 80-85 MPa y un RMR promedio de 56 en la caja piso, 45 en la veta de mineral y 55 en la caja techo, lo que clasifica la roca del techo como tipo III A. La estructura presenta sistemas de fallamientos y fracturas con relleno suave, orientados según la mineralización. Tras la voladura, el factor de seguridad inicial del espacio vacío es de 1, lo que requiere la implementación de sostenimiento en menos de 24 horas. El desplazamiento es de 0.11 cm en el piso y 0.13 cm en el techo. Al aplicar relleno detrítico, el factor de seguridad mejora a 1.15, indicando que esta solución es adecuada dentro del plazo establecido.
- 2 El análisis inicial de los de los 10 disparos de 6 filas del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua mostró un tonelaje promedio de 514 toneladas de mineral y 120 toneladas de desmonte, con leyes de 8.61 Oz Ag/TMS de plata, 4.51 %Pb de plomo, 4.00 %Zn de zinc y 1.39 %Mn de manganeso. La dilución promedio fue del 18 %, considerada deficiente. El análisis inicial de la fragmentación en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 reveló una distribución irregular del material, con un P80 de 7.63 pulgadas, generó bloques grandes y exceso de finos, afectando la eficiencia en limpieza y transporte y aumentando los tiempos y costos operativos
- 3 Tras implementar optimizaciones de mejora tras el disparo, el tonelaje promedio aumentó a 417 toneladas, con mejoras significativas en las leyes: 11.06 Oz Ag/TMS de plata, 6.07 %Pb de plomo, 5.56 %Zn de zinc y 2.40 %Mn de manganeso, mientras que la dilución se redujo a un 11 %, un nivel favorable para la operación. Tras la mejora de los parámetros de perforación y voladura, se consideró el uso de explosivos bombeables. En el análisis de optimización, el P80 se redujo a 4.96 pulgadas, logrando una fragmentación eficiente, con el 80 % del material en tamaños adecuados para las siguientes etapas operativas.
- 4 El análisis inicial del costo de perforación y voladura en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990 arrojó un costo total de 47.88 \$/t, lo cual fue muy ineficiente. Tras aplicar las optimizaciones, el costo total disminuyó a 40.08 \$/t. La comparación entre los análisis iniciales y optimizados muestra una reducción de 7.80 \$/t, en el costo de perforación se ha reducido en 2.83 \$/t, el costo de voladura se ha reducido en 3.22 \$/t y el costo de limpieza se ha reducido en 0.29 \$/t. Estas acciones han mejorado la eficiencia operativa, reducido costos y aumentado la rentabilidad del tajeo.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda continuar monitoreando el desplazamiento en la caja piso y techo después de cada voladura para detectar cualquier variación significativa. El uso de sensores o puntos de control ayudaría a verificar si los valores se mantienen dentro de límites seguros.
2. Se recomienda reajustar regularmente los parámetros de perforación y voladura para mantener la dilución en el rango óptimo, maximizando así el tonelaje y la calidad del mineral extraído.
3. Se recomienda continuar evaluando y adaptando el uso de explosivos bombeables, ya que estos contribuyen a una fragmentación más controlada, asegurando tamaños óptimos para el transporte y minimizando los costos de manejo de material.
4. Se recomienda considerar explosivos de menor costo y reajustar su cantidad según las necesidades de fragmentación para reducir costos de voladura sin sacrificar la eficiencia de fragmentación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. VERA, Pablo. Implementación de prácticas productivas en contratos de preparación minera. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Santiago de Chile: Universidad del Chile, 2019.
2. CAHUATA, Michael. Optimización de la voladura con el uso de la emulsión bombeable en minería subterránea y tunelería. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2022.
3. VALER, Isaac. Propuesta de reemplazo de explosivo anfo por emulsión para mejorar la voladura en la mina Parcoy CMH 2022. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Ayacucho: Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga, 2022.
4. CANCHANYA, Jordy y GUILLEN, Miguel. Propuesta de implementación del cambio de explosivo Emulex (80,65 Y 45) a emulsión Quantex sub para la reducción de costos de la voladura en la rampa NV175 Nancy de la Unidad Minera Animón de Empresa Administradora Chungar S.A.C. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo: Universidad Continental, 2020.
5. ÁREA DE GEOLOGÍA. *Informe de ubicación de la Unidad Minera Uchucchacua*. Oyón: Compañía de minas Buenaventura S. A. A., 2022.
6. INSTITUTO DE INGENIERO DE MINAS DEL PERU. Planificación estratégica en minería subterránea: agregando valor con simulación e incertidumbre. [En línea] 11 de 06 de 2022. [Citado el: 25 de 07 de 2023.] <https://www.revistamineria.com.pe/tecnico-cientifico/planificacion-estrategica-en-mineria-subterranea:-agregando-valor-con-simulacion-e-incertidumbre>.
7. LÓPEZ, C., LÓPEZ, E. Y GARCIA, P. *Manual de Perforacion y voladura de Rocas*. 2003.
8. ÁREA DE OPERACIONES. *Informe de perforación y voladura de la Unidad Minera Uchucchacua*. Oyón: Unidad Minera Uchucchacua, 2023.
9. ÁREA DE GEOMECÁNICA. *Informe geomecánico del tajeo 6432 – 1, nivel 3990*. Oyón: Unidad Minera Uchucchacua, 2023.
10. FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. Departamento de perforación y voladura. Yauli: Unidad Minera Andaychagua , 2023.
11. ORICA MINING SERVICES PERU S.A. Departamento de perforación y voladura. Yauli: Unidad Minera Andaychagua, 2023.

## **ANEXOS**

**Anexo 1**  
**Matriz de consistencia**

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL
¿Cómo influye el cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable para reducir el costo por tonelada en el Tajeo 6432 – 1, Nivel 3990 en la Unidad Minera Uchucchacua?	Realizar el cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable para reducir el costo por tonelada en el Tajeo 6432 – 1, Nivel 3990 en la Unidad Minera Uchucchacua	El cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable será factible y viable para reducir el costo por tonelada en el Tajeo 6432 – 1, Nivel 3990 en la Unidad Minera Uchucchacua.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICA
¿Cómo influye la caracterización del macizo rocoso para el cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable en el Tajeo 6432 – 1, Nivel 3990 en la Unidad Minera Uchucchacua?	Realizar la caracterización del macizo rocoso para el cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable en el Tajeo 6432 – 1, Nivel 3990 en la Unidad Minera Uchucchacua.	La caracterización del macizo rocoso influirá positivamente para el cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable en el Tajeo 6432 – 1, Nivel 3990 en la Unidad Minera Uchucchacua.
¿Cómo influye el cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable para mejorar la fragmentación en el Tajeo 6432 – 1, Nivel 3990 en la Unidad Minera Uchucchacua?	Realizar el cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable para mejorar la fragmentación en el Tajeo 6432 – 1, Nivel 3990 en la Unidad Minera Uchucchacua.	El cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable será factible para mejorar la fragmentación en el Tajeo 6432 – 1, Nivel 3990 en la Unidad Minera Uchucchacua
¿Cómo influye el cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable para reducir el costo de perforación y voladura en el Tajeo 6432 – 1, Nivel 3990 en la Unidad Minera Uchucchacua?	Realizar el cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable para reducir el costo de perforación y voladura en el Tajeo 6432 – 1, Nivel 3990 en la Unidad Minera Uchucchacua	El cambio de explosivo encartuchado a explosivo bombeable será factible y viable para reducir el costo de perforación y voladura en el Tajeo 6432 – 1, Nivel 3990 en la Unidad Minera Uchucchacua

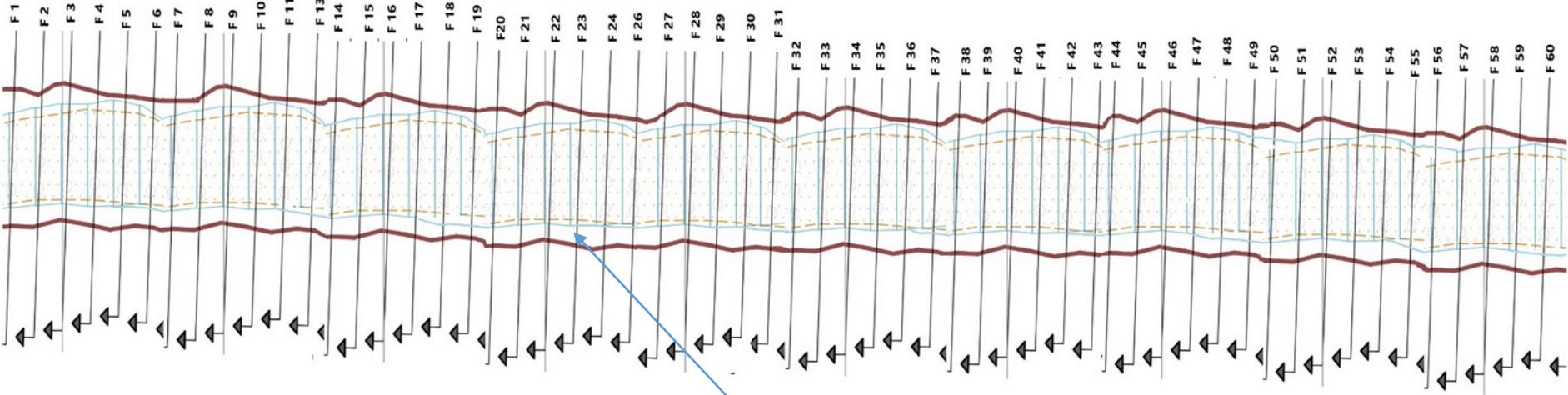
## Anexo 2

### Caracterización del macizo rocoso del tajeo 6432 – 1, nivel 3990

Parámetro RMR	Descripción	Valor Medido	Categoría/ Rango	Puntuación (RMR)
1. Resistencia de la roca intacta	Resistencia a la compresión de la roca sin fracturas.	30 MPa	25-50 MPa → 6 puntos	6
2. RQD (Rock Quality Designation)	Porcentaje de fragmentos de roca mayores a 10 cm en núcleos de perforación.	60%	50-75% → 15 puntos	15
3. Espaciamiento de discontinuidades	Distancia promedio entre las principales discontinuidades.	0.5 m	0.2-0.6 m → 10 puntos	10
4. Condición de las discontinuidades	Evaluación de rugosidad, alteración, relleno y apertura de las fracturas.	Moderadamente rugosas, con relleno moderado	Condición moderada → 12 puntos	12
5. Presencia y condiciones de agua	Evaluación del flujo de agua y su impacto en la estabilidad del macizo rocoso.	Flujo intermitente, leve influencia	Flujo intermitente → 5 puntos Orientación desfavorable → 8 puntos	5
6. Orientación de discontinuidades	Relación de las discontinuidades respecto al frente de avance del tajeo.	60° (desfavorable)	8 puntos	8
Total RMR				56

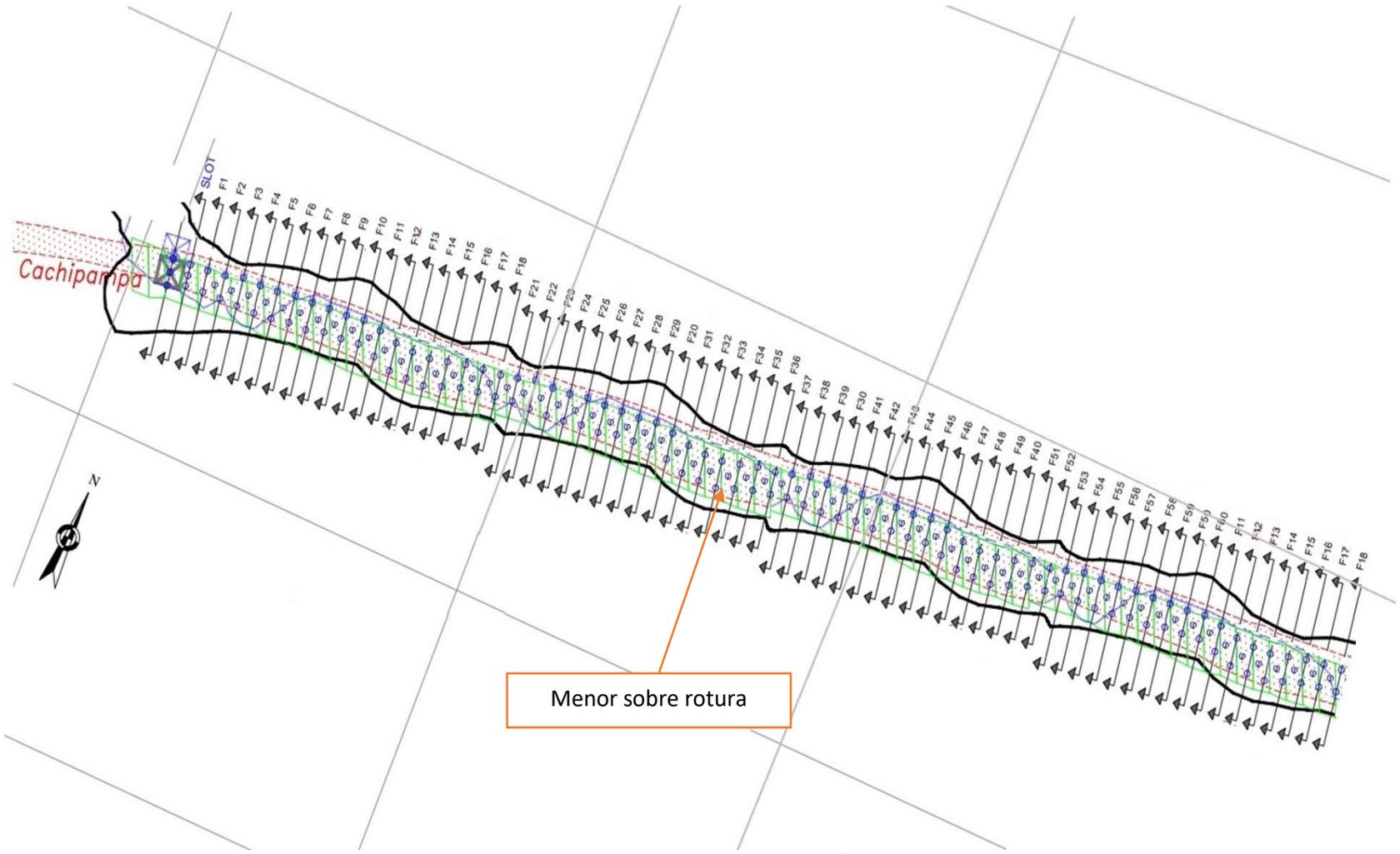
Anexo 3

Planos

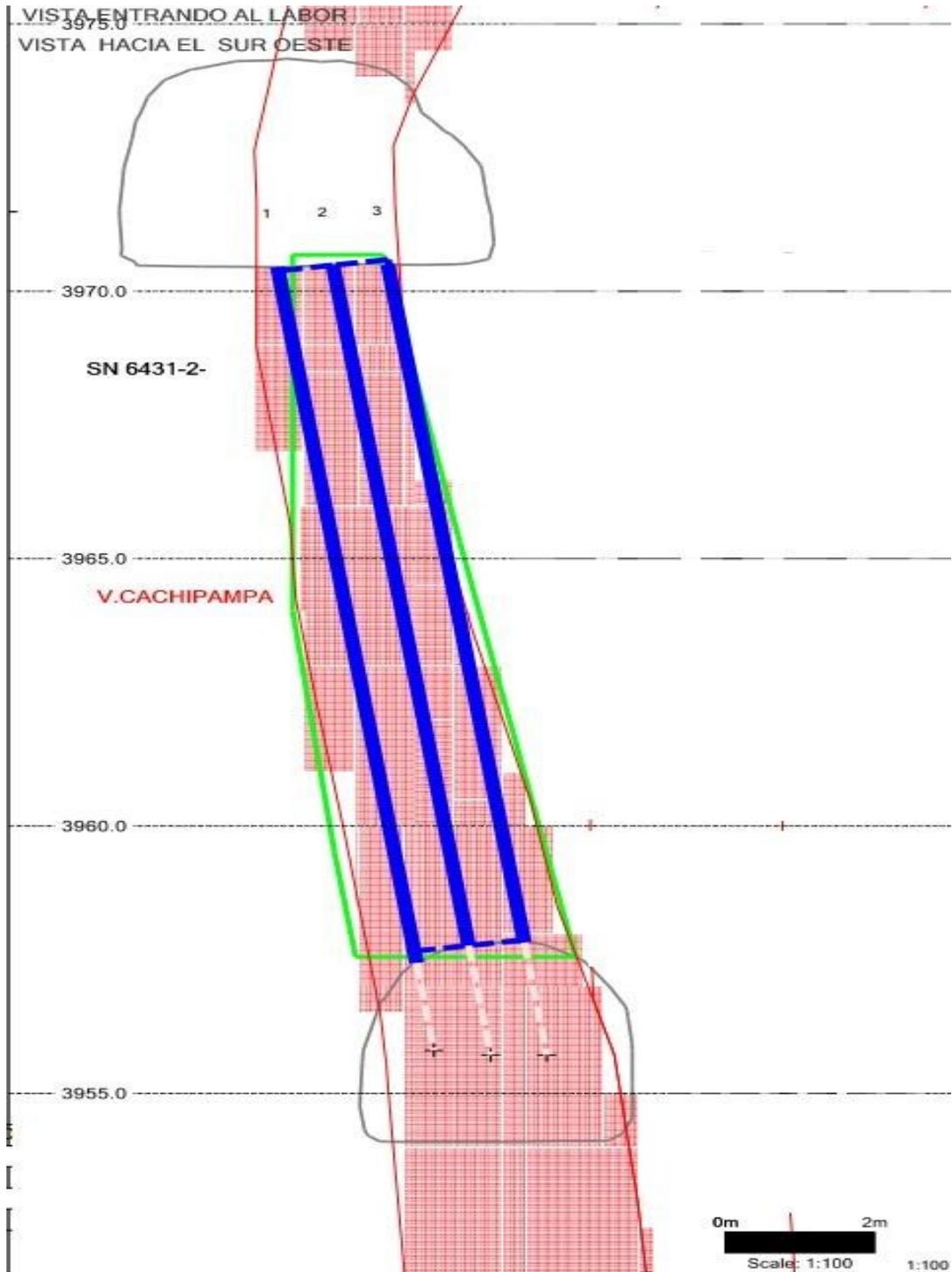


Mayor sobre rotura

*Análisis de inicial – plano en planta del diseño de malla de perforación y voladura del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua  
Tomada del Área de Operaciones de la unidad minera Uchucchacua (8)*



*Análisis de optimización – plano en planta del diseño de malla de perforación y voladura del Tajeo 6432 – 1, Nivel 3990 en la Unidad Minera Uchucchacua  
Tomada del Área de Operaciones de la unidad minera Uchucchacua (8)*



*Análisis de optimización – plano transversal del diseño de malla de perforación y voladura del tajeo 6432 – 1, nivel 3990 en la unidad minera Uchucchacua  
Tomada del Área de Operaciones de la unidad minera Uchucchacua (8)*

## Anexo 4

### valorización inicial del costo de perforación y voladura en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Cantidad	Costo Unitario	Vida Util	Costo Parcial	Costo Total
			(Personas)	(Incidencia)	US\$/Unidad		US\$/gdia	US\$/ton
<b>1.00</b>	<b>PERFORACION</b>						<b>60,740.24</b>	<b>28.97</b>
<b>1.01</b>	<b>Mano de Obra</b>						<b>122.01</b>	
	Operador de Simba	Gdia	1.00	100%	40.01		40.01	
	Ayudante Operador de Simba	Gdia	1.00	100%	30.00		30.00	
	Mecanico - Electricista de Mina Raptor	Gdia	1.00	25%	35.00		8.75	
	Peon de Servicios	Gdia	1.00	25%	25.00		6.25	
	Bodeguero	Gdia	1.00	25%	25.00		6.25	
	Choferes Camioneta Mantenimiento	Gdia	1.00	25%	30.00		7.50	
	Choferes Camión Servicios, Lubricador	Gdia	1.00	25%	30.00		7.50	
	<b>Supervisión</b>							
	Ingeniero Jefe de Guardia	Gdia	1.00	35%	45.00		15.75	
<b>1.02</b>	<b>Aceros de Perforación</b>						<b>16,048.29</b>	
	Barra SP T38-RD38-T38 x 5"	p.p		9,446.40	0.79		7,432.97	
	Broca Retractil FP T38 x 64MM	p.p		9,446.40	0.30		2,794.25	
	Shank COP 1838/1638 T38 x 435 MM	p.p		9,446.40	0.04		373.92	
	Broca B T38 x 5"	p.p		0.00	0.68		0.00	
	Copas de Afilado	Jgo.		9,446.40	0.04		377.86	
	Aguzadora de copas	Pza		9,446.40	0.00		3.15	
	Tubo de PVC	m.		1,035.00	4.11		4,253.85	
	Bolsa de Polipropileno	Kg.		67.50	0.90		60.61	
	Cancamos de anclaje	Pza		12.00	7.51		90.06	
	Reflectores de 500 watt	Pza		4.00	72.51		290.03	
	Cable eléctrico	m		20.00			0.00	
	Trípode	Pza		1.00			0.00	
	Conos de plástico naranja para SLS	Pza		56.00	0.22		12.49	
	Manguera de 1" ( 70 m)	m		70.00	3.53		247.10	
	Manguera de 1/2" ( 70 m)	m		70.00	1.60		112.00	
	Cable de acero	m					0.00	
	Grampas Crosby	Pza					0.00	
	Tuvo de PVC 3/4	Pza					0.00	
	Alambre de 8	m					0.00	
<b>1.03</b>	<b>Equipos</b>						<b>44,548.03</b>	
	Simba	hr.		207.02	206.56		42,762.45	
	Combustible	Gal		310.54	5.75		1,785.58	
<b>1.04</b>	<b>Herramientas y EPP</b>						<b>21.91</b>	
	Implementos de seguridad	Gdia	2.00	1.00	6.28		12.56	
	Herramientas	Gdia	1.00	1.00	7.04		7.04	
	Lamparas Mineras	Gdia	2.00	1.00	1.16		2.31	
<b>2.00</b>	<b>VOLADURA</b>						<b>6,512.72</b>	<b>6.36</b>
<b>2.01</b>	<b>Mano de Obra</b>						<b>88.01</b>	
	Maestro cargador de explosivos	Gdia	1.00	1.00	47.67		47.67	
	Ayudante cargador de explosivos	Gdia	1.00	1.00	40.34		40.34	
<b>2.02</b>	<b>Explosivos y accesorios de voladura</b>						<b>6,395.76</b>	
	Emulnor 3000 1 1/2" X 12"	Pza.	42.00	7560.00	0.70		5,322.24	
	Emulnor 5000 1 1/2" X 12"	Pza.	4.00	720.00	0.70		506.88	
	Guías Ensambladas Carmex de 7"	Pza.	2.00	360.00	1.57		566.64	
<b>2.03</b>	<b>Equipos</b>						<b>0.00</b>	
		Ton			0.06		0.00	
<b>2.04</b>	<b>Herramientas y EPP</b>						<b>28.95</b>	
	Implementos de seguridad	Gdia	2.00	1.00	6.28		12.56	
	Herramientas	Gdia	2.00	1.00	7.04		14.08	
	Lamparas Mineras	Gdia	2.00	1.00	1.16		2.31	
<b>3.00</b>	<b>EXTRACCION</b>						<b>9,092.19</b>	<b>3.94</b>
<b>3.01</b>	<b>Mano de Obra</b>						<b>504.96</b>	
	Operador de Scooptram	Gdia	1.00	7.65	66.00		504.96	
<b>3.02</b>	<b>Insumos</b>						<b>221.76</b>	
	Mangas de ventilación 30"	m.	1.00	56.00	3.96		221.76	
<b>3.03</b>	<b>Equipos</b>						<b>8,254.73</b>	
	Scooptram 3.5 yd	hr.	1.00	53.55	96.88		5,188.10	
	Telemando	hr.	1.00	53.55	7.63		408.87	
	Combustible	Gal	1.00	187.43	5.75		1,077.75	
	Ventilador de 32,000 CFM	hr.	1.00	103.80	15.22		1,580.01	
<b>3.04</b>	<b>Herramientas y EPP</b>						<b>110.74</b>	
	Implementos de seguridad	Gdia	1.00	7.65	6.28		48.05	
	Herramientas	Gdia	1.00	7.65	7.04		53.85	
	Lamparas Mineras	Gdia	1.00	7.65	1.16		8.84	
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (US\$/tn)</b>							<b>76,345.15</b>	<b>39.27</b>
	Utilidad Costo Directo				10%			3.93
	Gastos generales				13%			5.10
<b>COSTO TOTAL (US\$/tn)</b>								<b>48.30</b>

## Anexo 5

### Valorización óptima del costo de perforación y voladura en el tajeo 6432 – 1, nivel 3990

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	Cantidad	Costo Unitario	Vida Útil	Costo Parcial	Costo Total
			(Personas)	(Incidencia)	US\$/Unidad		US\$/gdía	US\$/ton
<b>1.00</b>	<b>PERFORACION</b>						<b>57,457.02</b>	<b>26.12</b>
<b>1.01</b>	<b>Mano de Obra</b>						<b>122.01</b>	
	Operador de Simba	Gdía	1.00	100%	40.01		40.01	
	Ayudante Operador de Simba	Gdía	1.00	100%	30.00		30.00	
	Mecánico - Electricista de Mina Raptor	Gdía	1.00	25%	35.00		8.75	
	Peon de Servicios	Gdía	1.00	25%	25.00		6.25	
	Bodeguero	Gdía	1.00	25%	25.00		6.25	
	Choferes Camioneta Mantenimiento	Gdía	1.00	25%	30.00		7.50	
	Choferes Camión Servicios, lubricador	Gdía	1.00	25%	30.00		7.50	
	<b>Supervisión</b>		1.00					
	Ingeniero jefe de Guardia	Gdía	1.00	35%	45.00		15.75	
<b>1.02</b>	<b>Aceros de Perforacion</b>						<b>15,239.95</b>	
	Barra SP T38-RD38-T38 x 5"	p.p		8,954.40	0.79		7,045.83	
	Broca Retractivo FP T38 x 64MM	p.p		8,954.40	0.30		2,648.71	
	Shank COP 1838/1638 T38 x 435 MM	p.p		8,954.40	0.04		354.45	
	Broca B T38 x 5"	p.p		0.00	0.68		0.00	
	Copas de Afilado	ago.		8,954.40	0.04		358.18	
	Agujadora de copas	Pza		8,954.40	0.00		2.98	
	Tubo de PVC	m.		977.50	4.11		4,017.53	
	Bolsa de Polipropileno	Kg.		63.75	0.90		57.25	
	Cancamos de anclaje	Pza		12.00	7.51		90.06	
	Reflectores de 500 watt	Pza		4.00	72.51		290.03	
	Cable eléctrico	m		20.00			0.00	
	Tripode	Pza		1.00			0.00	
	Conos de plastico naranja para SLS	Pza		71.00	0.22		15.83	
	Manguera de 1" ( 70 m)	m		70.00	3.53		247.10	
	Manguera de 1/2" ( 70 m)	m		70.00	1.60		112.00	
	Cable de acero	m					0.00	
	Grampas crosby	Pza					0.00	
	Tuyo de PVC 3/4	Pza					0.00	
	Alambre de 8	m					0.00	
<b>1.03</b>	<b>Equipos</b>						<b>42,073.14</b>	
	Simba	hr.		195.52	206.56		40,386.76	
	Combustible	Gal		293.28	5.75		1,686.38	
<b>1.04</b>	<b>Herramientas y EPP</b>						<b>21.91</b>	
	Implementos de seguridad	Gdía	2.00	1.00	6.28		12.56	
	Herramientas	Gdía	1.00	1.00	7.04		7.04	
	Lamparas Mineras	Gdía	2.00	1.00	1.16		2.31	
<b>2.00</b>	<b>VLADURA</b>						<b>3,397.57</b>	<b>3.14</b>
<b>2.01</b>	<b>Mano de Obra</b>						<b>88.01</b>	
	Maestro cargador de explosivos	Gdía	1.00	1.00	47.67		47.67	
	Ayudante cargador de explosivos	Gdía	1.00	1.00	40.34		40.34	
<b>2.02</b>	<b>Explosivos y accesorios de voladura</b>						<b>3,162.00</b>	
	SubtekTM ChargeTM	Kg.	24.30	4131.00	0.52		2,148.12	
	Emulnor 5000 1 1/2" X 12"	Pza.	4.00	680.00	0.70		478.72	
	Guías Ensambladas Carmex de 7"	Pza.	2.00	340.00	1.57		535.16	
<b>2.03</b>	<b>Equipos</b>						<b>118.61</b>	
	Cargador de SubtekTM ChargeTM	Ton		2,135.00	0.06		118.61	
<b>2.04</b>	<b>Herramientas y EPP</b>						<b>28.95</b>	
	Implementos de seguridad	Gdía	2.00	1.00	6.28		12.56	
	Herramientas	Gdía	2.00	1.00	7.04		14.08	
	Lamparas Mineras	Gdía	2.00	1.00	1.16		2.31	
<b>3.00</b>	<b>EXTRACCION</b>						<b>8,911.12</b>	<b>3.64</b>
<b>3.01</b>	<b>Mano de Obra</b>						<b>529.77</b>	
	Operador de Scooptram	Gdía	1.00	8.03	66.00		529.77	
<b>3.02</b>	<b>Insumos</b>						<b>281.16</b>	
	Mangas de ventilación 30"	m.	1.00	71.00	3.96		281.16	
<b>3.03</b>	<b>Equipos</b>						<b>7,984.01</b>	
	Scooptram 5 yd	hr.	1.00	56.18	85.00		4,775.66	
	Telemando	hr.	1.00	56.18	7.63		428.97	
	Combustible	Gal	1.00	196.64	5.75		1,130.71	
	Ventilador de 32,000 CFM	hr.	1.00	108.31	15.22		1,648.67	
<b>3.04</b>	<b>Herramientas y EPP</b>						<b>116.18</b>	
	Implementos de seguridad	Gdía	1.00	8.03	6.28		50.41	
	Herramientas	Gdía	1.00	8.03	7.04		56.50	
	Lamparas Mineras	Gdía	1.00	8.03	1.16		9.27	
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (US\$/tn)</b>							<b>69,765.71</b>	<b>32.91</b>
Utilidad Costo Directo						10%		3.29
Gastos generales						13%		4.28
<b>COSTO TOTAL (US\$/tn)</b>								<b>40.48</b>

## Anexo 6

### Fichas técnicas de explosivo Emulnor



# EMULNOR®

EMULSIÓN / HIDROGEL ENCARTUCHADA

#### Descripción y composición

El EMULNOR® es una emulsión explosiva encartuchada en una envoltura plástica que posee propiedades de seguridad, potencia, resistencia al agua y buena calidad de los gases de voladura.

#### Tipos y usos

Para satisfacer los requerimientos del mercado, FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. cuenta con los siguientes tipos:

- EMULNOR® 500.-  
Para la voladura de rocas muy suaves.
- EMULNOR® 1000.-  
Para la voladura de rocas suaves a intermedias.
- EMULNOR® 3000.-  
Para la voladura de rocas intermedias a duras.
- EMULNOR® 5000.-  
Para la voladura de rocas muy duras.

Su uso está orientado a cualquier tipo de trabajo: En explotaciones y desarrollos mineros, en obras de ingeniería civil, en canteras, en taladros secos, húmedos e inundados, con una modalidad de aplicación similar a las dinamitas convencionales, pudiendo trabajar como columna explosiva o como "cebos" de iniciación de columnas de nitro-carbonitratos.

Debido a la buena calidad de los gases residuales y al no contener nitroglicerina en su composición, permite que el personal reintrese a la labor en menor tiempo, obteniéndose mejoras en los ciclos de trabajo, sin desmedro de la seguridad.

Transporte

Clase: 1  
División: 1.1 D  
N° ONU: 0241



#### Características técnicas

	EMULNOR® 500	EMULNOR® 1000	EMULNOR® 3000	EMULNOR® 5000
Densidad relativa (g/cm³)	0,90 ± 0,15	1,10 ± 0,1	1,14 ± 0,1	1,16 ± 0,1
Velocidad de confinado *	4 400 ± 300	5 800 ± 300	5 700 ± 300	5 500 ± 300
Rotación (m/s) confinado **	3 500 ± 300	4 500 ± 300	4 400 ± 300	4 200 ± 300
Presión de detonación (kbar)	44	95	93	88
Energía (kcal/kg)	628	785	920	1010
Volumen normal de gases (l/kg)	962	920	880	870
Potencia relativa en peso (%) (***)	70	87	102	112
Potencia relativa en volumen (%) (***)	77	120	142	159
Sensibilidad al fulminante	Nº 8	Nº 8	Nº 8	Nº 8
Resistencia al agua	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Categoría de humos	Primera	Primera	Primera	Primera

\* Velocidad de detonación en tubo de 1,5 pulgadas de diámetro.  
 \*\* Velocidad de detonación con cartucho de 1" pulgada de diámetro.  
 \*\*\* Poderes relativos relativos a ANFO con potencia detonadora de 100.

#### Presentación

	Material de caja	Capacidad de caja (Pza.)	Peso neto (kg)	Peso bruto (kg)	Dimensiones exteriores (cm)
EMULNOR® 500 1" x 7"	Cartón	318	25,0	26,5	38,8 x 45,8 x 26,2
EMULNOR® 500 1" x 8"	Cartón	294	25,0	26,5	38,8 x 45,8 x 30,0
EMULNOR® 1000 1" x 7"	Cartón	264	25,0	26,5	38,8 x 45,8 x 26,2
EMULNOR® 1000 1" x 8"	Cartón	230	25,0	26,5	38,8 x 45,8 x 30,0
EMULNOR® 1000 1" x 12"	Cartón	150	25,0	26,5	34,2 x 47,5 x 30,0
EMULNOR® 3000 1" x 7"	Cartón	260	25,0	26,5	38,8 x 45,8 x 26,2
EMULNOR® 3000 1" x 8"	Cartón	228	25,0	26,5	38,8 x 45,8 x 26,2
EMULNOR® 3000 1" x 12"	Cartón	144	25,0	26,5	34,2 x 47,5 x 30,0
EMULNOR® 5000 1" x 7"	Cartón	246	25,0	26,5	38,8 x 45,8 x 26,2
EMULNOR® 5000 1" x 8"	Cartón	216	25,0	26,5	38,8 x 45,8 x 26,2
EMULNOR® 5000 1" x 12"	Cartón	142	25,0	26,5	34,2 x 47,5 x 30,0

Otras formas de envoltura de acuerdo a pedido.



**MANIPULO Y ALMACENAMIENTO**  
 Los explosivos y accesorios de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. son productos seguros, pero en ciertos momentos se deben tomar precauciones. El usuario debe seguir las instrucciones que se encuentran en el momento de su producción, almacenamiento y uso, así como en el momento de su manipulación.

FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. no asume responsabilidad alguna por el transporte, almacenamiento, manipulación y uso de los explosivos. El transporte y almacenamiento, manipulación y uso debe hacerse en concordancia con las regulaciones y procedimientos que se aplican en cada país. FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. cuenta con personal capacitado para brindar asesoramiento en cualquier momento.

**ATENCIÓN**  
 Las instrucciones y recomendaciones aquí indicadas no cubren necesariamente todos los aspectos de seguridad en las distintas condiciones bajo las cuales puede ser usado. Antes de hacer uso de este producto, investigue y consulte las reglas de FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C. para el personal capacitado responsable de su manipulación y almacenamiento. Este producto puede ser modificado sin previo aviso.



*Tomada de Famesa explosivos S.A. (10)*

## Anexo 7

### Fichas técnicas de explosivo Subtek™ Charge™

Technical Data Sheet

The Power  
of Partnership

## 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 estructura de emulsión.

### Aplicación

*Subtek™ Charge™* es fabricado en el sitio de voladura desde una unidad de bombeo subterránea diseñada por Orica. Ésta combina una emulsión no explosiva con un sensibilizador para entregar un producto explosivo resistente al agua. *Subtek™ Charge™* puede ser usada en todas las aplicaciones subterráneas, especialmente en barrenos descendentes y horizontales.

### Beneficios claves

- 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 gran 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.

### Recomendaciones para su uso

#### Diámetro de barreno

El diámetro mínimo de barreno recomendado depende de la densidad seleccionada. Por favor, contacte a su representante Local Orica o a un ingeniero de servicio técnico para mayor información.

#### Carguío

El carguío es llevado a cabo usando un equipo especial de bombeo para minería subterránea. Por favor, contacte a su representante Local Orica del servicio técnico para mayor información.

### Propiedades Técnicas

Propiedad	Subtek Charge
Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) <sup>(1)</sup>	1.15 – 1.25
Diámetro mínimo barrenos (mm)	40
VOD típico (km/s) <sup>(2)</sup>	3.5 – 5.7
<b>Energía Relativa Efectiva (REE)<sup>(3)</sup></b>	
Fuerza relativa en peso	87 – 91
Fuerza relativa en volumen	125 - 142
Tiempo de Espera	7 días

### Primado e Iniciación

*Subtek™ Charge™* puede ser iniciado de manera confiable usando un booster *Pentex™* ó un cartucho de explosivo *Senatel™*, junto con un detonador eléctrico, electrónico o de tubo de choque *Exel™*. El diámetro del cartucho del explosivo *Senatel™* debe ser apropiado para el tamaño del barreno. No se recomienda el uso de cordón detonante con *Subtek™ Charge™*.

### Tiempo de espera en el barreno de voladura

El tiempo máximo de espera recomendado es de 7 días. El tiempo de espera depende de factores tales como: Diámetro del barreno, densidad, condiciones de agua del terreno y sistema de iniciación. El personal técnico de Orica Mining Services debe ser consultado si se presentan condiciones especiales en el terreno.

### Gasificación

La tasa de gasificado de *Subtek™ Charge™* depende de la temperatura. El tiempo típico del gasificado es de aproximadamente 25 minutos a 20°C.

### Temperatura del Terreno

Este producto está disponible para uso en terrenos de temperatura entre 0° a un máximo de 40°C. Si usted requiere aplicaciones en terrenos fuera de este rango, por favor contacte a representante Local Orica.



Tomada de Orica Mining Services Perú S.A. (11)

# Subtek™ Charge™

## Almacenamiento y Manipulación Clasificación de explosivo

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

## Destrucción

La destrucción de materiales explosivos puede ser peligrosa. Los métodos para una segura destrucción de explosivos pueden variar dependiendo de la situación del usuario. Por favor contacte a un representante local de Orica para más información acerca de prácticas seguras.

## Seguridad

Los gases post-detonación de Subtek™ Charge™ característicos lo hacen apropiado para aplicaciones de voladura subterránea. Los usuarios deben asegurar que haya una ventilación adecuada previa al reingreso dentro del área volada.

Subtek™ Charge™ es relativamente insensible a la iniciación por impacto, fricción o impacto mecánico bajo condiciones de uso normal. Puede ocurrir detonación producto de impacto fuerte o calor excesivo, particularmente bajo condiciones de confinamiento.

Explosivos hechos a base de Nitrato de Amonio tales como Subtek™ Charge™ pueden reaccionar con materiales piríticos en el terreno y pueden crear situaciones potencialmente peligrosas. Orica no acepta responsabilidad por ninguna pérdida por el uso del producto en terreno que contenga material pirítico o cualquier otro material reactivo.

## Marcas Registradas

La palabra, el logotipo y la marca Orica son marcas registradas del grupo de compañías Orica. Subtek™, Exe™, Senatel™, Pentex™ y MMU™ son marcas registradas de Orica Explosives Technology Pty Ltd. ACN 075 659 353, 1 Nicholson Street, East Melbourne VIC Australia.

## Limitación de responsabilidades

La información contenida aquí está basada en experiencias, la cual se asume exacta y actualizada a la fecha de su preparación. Sin embargo, su aplicación y condiciones de uso no están dentro del control del fabricante y los usuarios deberían determinar la aplicabilidad de los productos y los métodos de uso de acuerdo a sus propósitos. Ni el fabricante o el vendedor otorgan garantía de ningún tipo, expresa o implícita, legal o de otro tipo, excepto que los productos descritos aquí cumplirán las especificaciones del fabricante y del vendedor. El fabricante y el vendedor expresamente excluyen cualquier otra garantía. INCLUYENDO, SIN LIMITACIONES, GARANTÍAS CONCERNIENTES A COMERCIABILIDAD O ADAPTABILIDAD PARA UN PROPÓSITO PARTICULAR. Bajo ninguna circunstancia el fabricante o el vendedor serán responsables por daños indirectos, especiales, consecuenciales o accidentales, incluyendo, pero sin limitación, daño por lucro cesante, ganancias previstas o por oportunidades pérdida.

## Explosivos Mexicanos S.A. de C.V.

Prolongación Fertilizantes #1800 Col. Industrial C.P. 25760  
Monclova, Coahuila México  
Oficina: + (52 866) 631 – 1011  
Fax: + (52 866) 631 – 4266

## Teléfonos de Emergencia

En México	01-800-002-1400
	01-555-559-1588
Celular	045-866-638-5125
Fuera de México	52-555-559-1588
Celular	52-1-866-638-5125

## Notas:

- (1.) Solamente densidad nominal.
- (2.) La VOD real depende de las condiciones de uso incluyendo el diámetro del barreno y el grado de confinamiento. El rango acotado se refiere a un diámetro mínimo no confinado hasta la VOD ideal calculada.
- (3.) La "Energía Efectiva Relativa" (REE) de un explosivo es la energía calculada a estar disponible para hacer efectivo el trabajo de la voladura, está calculado usando el código de computador Orica IDeX y es relativo al Anto a una densidad de 0.8g/cm<sup>3</sup>.



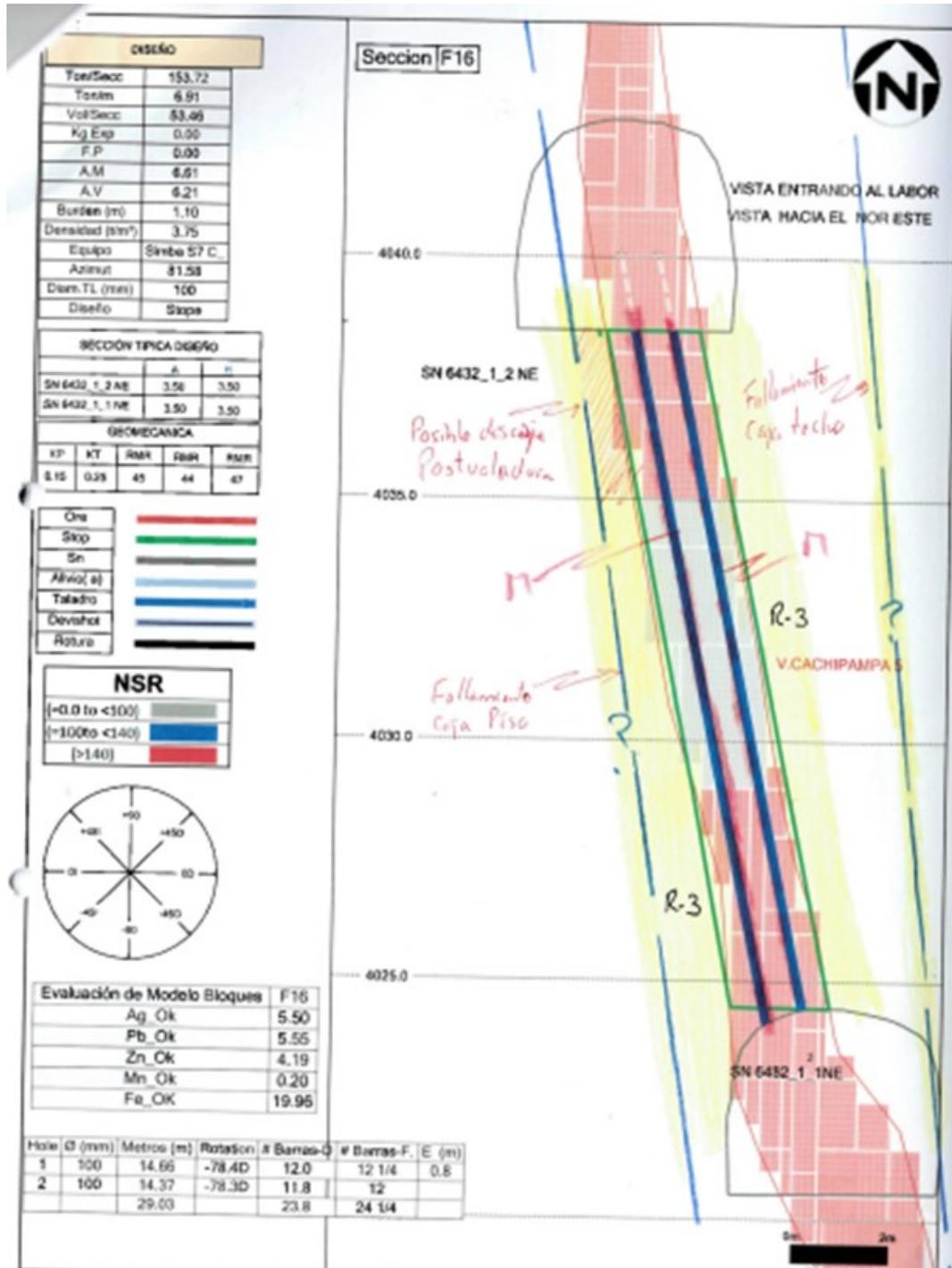
## Anexo 8

### Implementaciones de los trabajos de perforación y voladura en el tajeo

1. Marcado de taladros en las llegadas de acuerdo a la guardia/operador.



2. Integración de la información Geomecánica-Geológica y Voladura en las mallas de perforación



Tomada del Área de Operaciones de la unidad minera Uchuchacua (8)

### 3. Carguío de los taladros en el tajeo 6432 – 1, Nivel 3990



4. Disparo de los taladros en el tajeo 6432 – 1, Nivel 3990

