

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



**T E S I S**

**Optimización de mallas de extracción basada en el método de explotación Sub  
Level Caving en la unidad minera Yauricocha**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero de Minas**

**Autor:**

**Bach. Gherson Ivan FIGUEROA SANTOS**

**Asesor:**

**Mg. Nelson MONTALVO CARHUARICRA**

**Cerro de Pasco – Perú – 2026**

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



**T E S I S**

**Optimización de mallas de extracción basada en el método de explotación Sub  
Level Caving en la unidad minera Yauricocha**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Mg. Silvestre Fabián BENAVIDES CHAGUA**  
**PRESIDENTE**

---

**Mg. Carlos Edwin ROJAS VICTORIO**  
**MIEMBRO**

---

**Mg. David Odon SOSA POMA**  
**MIEMBRO**



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

Facultad de Ingeniería de Minas

Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas

"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"



## INFORME DE ORIGINALIDAD N° 024-2026

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

Presentado por:

**Bach. FIGUEROA SANTOS, Gherson Ivan**

Escuela de Formación Profesional  
**Ingeniería de Minas**

Tipo de trabajo:  
**Tesis**

Título del trabajo:  
**"Optimización de mallas de extracción basada en el método de explotación Sub Level Caving en la unidad minera Yauricocha".**

Asesor:  
**Mg. Nelson MONTALVO CARHUARICRA**

Índice de Similitud: 22 %

Calificativo:

**APROBADO**

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

Cerro de Pasco, 26 de junio de 2026



Firmado digitalmente por:  
FERNANDEZ MALLOQUI Raul FAU  
20154605046 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 26.06.2026 16:23:19 -05:00

## **DEDICATORIA**

Dedicatoria en especial a mis padres y hermanos  
por todo el apoyo, motivación y esfuerzo en  
cada etapa de mi vida como estudiante quienes  
siempre fueron mis pilares para nunca rendirme en el  
camino de la vida y poder cumplir mis metas.

## **AGRADECIMIENTO**

Le agradezco a Dios por darme fortaleza para no rendirme y quien me guía por el camino correcto y porque cada día bendice mi vida permitiéndome disfrutar de mi familia.

Agradezco a los formadores de la carrera que siempre nos transmitieron sus experiencias y se esforzaron por ayudarnos en cada etapa de nuestra vida universitaria y motivaron para ser buenos profesionales.

Le doy gracias a la Universidad que me brindó la oportunidad de conocer y aprender sobre mi carrera y crecer en mi formación como profesional.

Al ingeniero Nelson Montalvo, por el asesoramiento en el desarrollo de esta investigación.

Gracias a los familiares y amigos que confiaron en mí y me animaron en la realización de esta tesis.

## RESUMEN

Este trabajo de tesis examina los costos para perfeccionar la recuperación del mineral usando el método de explotación Sub Level Caving. Se evaluarán las mallas de perforación en términos de la dilución y la recuperación del método mencionado, considerando pilares con anchos variados: 4m, 5.5m y 7m, utilizando el software REBOP como apoyo; La evaluación mencionada se realiza en diversas áreas de cuerpos mineralizados, que son Esperanza, Cata, Rosaura y Antacaca-Sur.

En estos escenarios, se ejecuta un plan económico-operativo a mediano y largo plazo que abarca la geología, la geomática, el método de extracción, los servicios auxiliares, el sostenimiento y la ventilación. Todos ellos tendrán un impacto en el costo de recuperación y dilución del mineral económico.

Determinar la optimización del sistema de explotación a través de índices de productividad, dilución, recuperación, seguridad, costos operativos y tasas de perforación en los tajos de sublevel caving en la unidad acumulativa optimización del sistema de explotación a través de índices de productividad, dilución, recuperación, seguridad, costos operativos y tasas de perforación en los tajos de sublevel caving en la unidad acumulativa Yauricocha. Con la suposición de que: la optimización del método de minería sublevel caving se consiguió a través de la mejora en la unidad de acumulación Yauricocha en términos de los índices de seguridad, recuperación, dilución, productividad, costos operativos y ratios de perforación

**Palabras Claves:** Sub level caving, maximización de rentabilidad, extracción

## **ABSTRACT**

This thesis examines the costs of improving mineral recovery using the Sub-Level Caving mining method. Drilling patterns will be evaluated in terms of dilution and recovery for this method, considering pillars of varying widths: 4m, 5.5m, and 7m, using REBOP software. This evaluation will be conducted in several mineralized areas, including Esperanza, Cata, Rosaura, and Antacaca-Sur.

In these scenarios, a medium- and long-term economic-operational plan is implemented, encompassing geology, geomatics, the extraction method, auxiliary services, ground support, and ventilation. All of these factors will impact the cost of recovery and dilution of the economic ore.

To determine the optimization of the exploitation system through productivity, dilution, recovery, safety, operating costs and drilling rates in the sublevel caving pits in the Yauricocha cumulative unit. Under the assumption that: the optimization of the sublevel caving mining method was achieved through the improvement in the Yauricocha accumulation unit in terms of safety, recovery, dilution, productivity, operating costs and drilling ratios

**Keywords:** Sub-level caving, maximizing profitability, extraction

## **INTRODUCCION**

Se consideran distintos factores y rasgos del macizo rocoso en la optimización de la técnica de minado sublevel caving, ya que estos influyen significativamente en el diseño de la malla para perforar y volar taladros largos.

La explotación de cuerpos mineralizados en la minería subterránea enfrenta desafíos crecientes, como la profundización y las características geométricas, como su forma, tamaño y orientación. Para ello, es necesario implementar algunos sistemas de sostenimiento para preservar y garantizar la vida de los empleados y proteger el equipo minero; realizar una adecuada planificación de las mallas de perforación y voladura para que, al realizar la voladura de rocas, no se alteren los límites de los depósitos y se prevenga la dilución.

En la Unidad Yauricocha de Sociedad Minera Corona SA, existe una inquietud permanente por aumentar el volumen del mineral a un costo reducido y mejorar los costos de producción. Por esta razón, se lleva a cabo el siguiente análisis para determinar el ancho de los pilares más propicios para cada área mineralizada donde se explota mediante la técnica Sub Level Caving.

Al elaborar la tesis, se realizó inicialmente un diagnóstico de las operaciones unitarias de minado sublevel caving en el presente y cómo estos afectan a la productividad, la recuperación, la dilución, caving en el presente y cómo estos afectan a la productividad, la recuperación, la dilución, la la seguridad y los costos operativos de la compañía, esto continuó con la aplicación de factores en la perforación y voladura de taladros largos, que posibilitó definir propuestas para mejorar los estándares de extracción y llevarlas a cabo a través del control operacional de las operaciones mineras y por lo tanto, la reducción de los gastos operativos.

El Autor.

## INDICE

### Página

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCION

INDICE

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE TABLAS

## CAPÍTULO I

### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

|        |                                                  |    |
|--------|--------------------------------------------------|----|
| 1.1.   | Identificación y determinación del problema..... | 1  |
| 1.2.   | Delimitación de la investigación.....            | 2  |
| 1.2.1. | Ubicación .....                                  | 2  |
| 1.2.2. | Geología regional .....                          | 3  |
| 1.2.3. | Geología local .....                             | 6  |
| 1.3.   | Formulación del Problema .....                   | 8  |
| 1.3.1. | Problema general.....                            | 8  |
| 1.3.2. | Problemas específicos .....                      | 9  |
| 1.4.   | Formulación de Objetivos .....                   | 9  |
| 1.4.1. | Objetivo general .....                           | 9  |
| 1.4.2. | Objetivos específicos .....                      | 9  |
| 1.5.   | Justificación de la investigación .....          | 10 |

|      |                                       |    |
|------|---------------------------------------|----|
| 1.6. | Limitaciones de la Investigación..... | 10 |
|------|---------------------------------------|----|

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

|        |                                                                  |    |
|--------|------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1.   | Antecedentes de estudio .....                                    | 11 |
| 2.2.   | Bases teóricas - científicas .....                               | 13 |
| 2.2.1. | Sublevel Caving .....                                            | 13 |
| 2.2.2. | Sublevel Caving como método de minado.....                       | 14 |
| 2.2.3. | Optimización del método Sublevel Caving esquema del diseño ..... | 15 |
| 2.2.4. | Secuencia de minado del Sublevel Caving .....                    | 15 |
| 2.2.5. | Método de minado Sublevel Caving .....                           | 18 |
| 2.2.6. | Configuración típica Sublevel Caving .....                       | 18 |
| 2.2.7. | Operación del método de minado SLC .....                         | 18 |
| 2.2.8. | Fundamentos de diseño Sublevel Caving .....                      | 19 |
| 2.2.9. | Descripción del Método Hundimiento por Subniveles .....          | 19 |
| 2.3.   | Definición de términos básicos .....                             | 34 |
| 2.4.   | Formulación de Hipótesis .....                                   | 36 |
| 2.4.1. | Hipótesis general .....                                          | 36 |
| 2.4.2. | Hipótesis específicas .....                                      | 36 |
| 2.5.   | Identificación de las Variables .....                            | 36 |
| 2.5.1. | Variable para la hipótesis general: .....                        | 36 |
| 2.5.2. | Variable para la hipótesis específico .....                      | 37 |
| 2.6.   | Definición operacional de variables e indicadores .....          | 38 |

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

|        |                                                                                  |    |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1.   | Tipo de investigación .....                                                      | 39 |
| 3.2.   | Nivel de investigación.....                                                      | 39 |
| 3.3.   | Métodos de Investigación .....                                                   | 39 |
| 3.4.   | Diseño de Investigación .....                                                    | 40 |
| 3.5.   | Población y muestra .....                                                        | 40 |
| 3.5.1. | Población.....                                                                   | 40 |
| 3.5.2. | Muestra.....                                                                     | 41 |
| 3.6.   | Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....                            | 41 |
| 3.6.1. | Técnicas utilizadas en la recolección de datos .....                             | 41 |
| 3.6.2. | Instrumentos utilizados en la recolección de datos .....                         | 41 |
| 3.7.   | Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación. .... | 41 |
| 3.8.   | Técnicas de procesamiento y análisis de datos. ....                              | 42 |
| 3.9.   | Tratamiento estadístico .....                                                    | 42 |
| 3.10.  | Orientación ética filosófica y epistémica .....                                  | 42 |

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

|        |                                                                                         |    |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1.   | Descripción del trabajo de campo .....                                                  | 43 |
| 4.2.   | Presentación, análisis e interpretación de resultados .....                             | 44 |
| 4.2.1. | Evaluación de la situación del método Sub Level Caving en la Unidad<br>Yauricocha ..... | 44 |
| 4.2.2. | Enfoque metodológico para la perforación y voladura de taladros largos .....            | 45 |
| 4.2.3. | Diseño de perforación usando modelos matemáticos .....                                  | 51 |

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2.4. Comparación de resultados usando los modelos matemáticos .....             | 55 |
| 4.2.5. Diseño de mallas de perforación .....                                      | 57 |
| 4.2.6. Diseño de carguío de taladros largos .....                                 | 58 |
| 4.2.7. Diseño de carguío de taladros largos .....                                 | 59 |
| 4.2.8. Simulación con software Jk Simblast de los diseños de taladros largos..... | 60 |
| 4.2.9. Resultados de la investigación .....                                       | 67 |
| 4.3. Prueba de Hipótesis.....                                                     | 69 |
| 4.4. Discusión de Resultados .....                                                | 69 |

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

## INDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                                   | <b>Páginas</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Figura 1. Plano de Ubicación de mina Yauricocha.....                                                                              | 2              |
| Figura 2. Columna estratigráfica de Yauricocha .....                                                                              | 3              |
| Figura 3. Columna estratigráfica regional de Yauricocha .....                                                                     | 6              |
| Figura 4. Plano geológico cuerpo Esperanza – Nivel 970 -Piso 8 – Vista Planta .....                                               | 7              |
| Figura 5. Plano geológico cuerpo Esperanza – Nivel 970 -Piso 8 – Vista Longitudinal.....                                          | 8              |
| Figura 6. Perfil del método de minado Sublevel Caving .....                                                                       | 14             |
| Figura 7. Diseño de Draw Points .....                                                                                             | 15             |
| Figura 8. Frente disparado, desatado de rocas y a lado derecho la instalación de marchavantes<br>de 45/60lbs. 6 a más.....        | 16             |
| Figura 9. Punto de dirección y gradiente para iniciar el picado de patilla.....                                                   | 16             |
| Figura 10. Iniciando el entablado, cariito y topes. A la derecha el encibado de cimbra,<br>bolsacretes, bancos y materiales ..... | 17             |
| Figura 11. Perforación taladros largos .....                                                                                      | 17             |
| Figura 12. Malla de Perforación para roca tipo V .....                                                                            | 25             |
| Figura 13. Distribución de voladura .....                                                                                         | 26             |
| Figura 14. Cimbra 3.5m x 3.0m utilizada en las Ventanas .....                                                                     | 29             |
| Figura 15. Relación de velocidad de penetración vs RMR.....                                                                       | 30             |
| Figura 16. Vista de perfil .....                                                                                                  | 31             |
| Figura 17. Vista en planta .....                                                                                                  | 31             |
| Figura 18. Inicio en salida del bolsillo.....                                                                                     | 32             |
| Figura 19. Lugar de la Unidad Minera.....                                                                                         | 44             |
| Figura 20. Equipo de perforación de taladros largos. ....                                                                         | 47             |
| Figura 21. Dimensiones de equipo de perforación .....                                                                             | 47             |

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 22. Características técnicas de la Mecha Rápida.....                          | 50 |
| Figura 23. Características técnicas del Explosivo (Emulsión).....                    | 51 |
| Figura 24. Esquema de Carguío de taladros .....                                      | 54 |
| Figura 25. Diseño de Malla de Perforación Espaciamento (S) = 1.2 m. 1.5 m. ....      | 57 |
| Figura 26. Diseño de Malla de Perforación Espaciamento (S)= 1.5 m. ....              | 57 |
| Figura 27. Diseño de Malla de Perforación Espaciamento (S)= 1.7 m .....              | 58 |
| Figura 28. Diseño de carguío Sistemático .....                                       | 58 |
| Figura 29. Diseño de Malla de Carguío Espaciamento (S)= 1.2 – 1.5 m. ....            | 59 |
| Figura 30. Diseño de Malla de Carguío Espaciamento (S)= 1.5 m. ....                  | 59 |
| Figura 31. Diseño de Malla de Carguío Espaciamento (S)= 1.7 m. ....                  | 60 |
| Figura 32. Distribución de carga Espaciamento = 1.2 m. – 1.5 m.....                  | 61 |
| Figura 33. Distribución de tiempo según retardos Espaciamento (S) = 1.2 - 1.5 m..... | 61 |
| Figura 34. Orga Operante de Espaciamento (S) = 1.2 m. – 1.5 m.....                   | 62 |
| Figura 35. Distribución de carga Espaciamento (S)=1.5 m. ....                        | 63 |
| Figura 36. Distribución de tiempo según retardos Espaciamento (S) = 1.5 m. ....      | 63 |
| Figura 37. Carga Operante de Espaciamento (S) = 1.5 m. ....                          | 64 |
| Figura 38. Distribución de carga Espaciamento (S) =1.7 m. ....                       | 65 |
| Figura 39. Distribución de tiempo según retardos Espaciamento (S) = 1.7 m. ....      | 66 |
| Figura 40. Carga Operante de Espaciamento (S) = 1.7 m. ....                          | 66 |

## INDICE DE TABLAS

|                                                              | <b>Páginas</b> |
|--------------------------------------------------------------|----------------|
| Tabla 1. Utilización de control de explosivos.....           | 26             |
| Tabla 2. Salida de disparo .....                             | 32             |
| Tabla 3. Operacionalización de Variables .....               | 38             |
| Tabla 4. Análisis situacional SLC - Yauricocha.....          | 45             |
| Tabla 5. Tiempo de retardo de Fanel .....                    | 49             |
| Tabla 6. Constante de roca (C) .....                         | 52             |
| Tabla 7. Factor de Fijación (F) .....                        | 52             |
| Tabla 8. Datos para cálculo de Burden .....                  | 53             |
| Tabla 9. Burden Teórico .....                                | 53             |
| Tabla 10. Especificaciones para el cálculo de burden .....   | 55             |
| Tabla 11. Resultados del Burden .....                        | 55             |
| Tabla 12. Resultados de espaciamiento .....                  | 55             |
| Tabla 13. Comparación de Resultados de Espaciamiento .....   | 56             |
| Tabla 14. Resultados después de la investigación .....       | 67             |
| Tabla 15. Costo de explotación Método Sub Level Caving ..... | 68             |
| Tabla 16. Ratio de perforación – Tajo 6950 Esperanza.....    | 68             |
| Tabla 17. Costo - Ratio de perforación.....                  | 68             |

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

La mina Yauricocha presenta diferentes cuerpos y zonas de explotación entre las que destacan Rosaura, Catas, Antacaca Sur, Antacaca, Mascota y Esperanza, las cuales se explotan mediante el método Sub Level Caving y los cuerpos de Esperanza Distal, Gallito, Brecha los cuales son explotados por Cut and fill, Bench and fill. Dentro de las zonas explotadas por Sub Level Caving se evidencia un diseño que emplea extracción de mineral mediante bolsillos laterales sobre ventanas fortificadas con cimbras las cuales resultan en un excelente sistema de soporte para facilitar la operación de la perforación de producción. Sin embargo, se identifica que el dejar las cimbras sin removerlas dificulta la interacción y propagación del flujo gravitacional, producto de dejar sobre las cimbras pilares de mineral sin movimiento y sin interacción, lo cual resulta en riesgo operacional para los trabajadores, equipos y procesos, pérdida de recuperación minera y alta dilución, ineficiencia en el proceso de las operaciones unitarias que redundan en baja productividad y altos costos de operación. Es así que basados en las observaciones realizadas de las operaciones unitarias de todo el complejo Yauricocha, tomando en

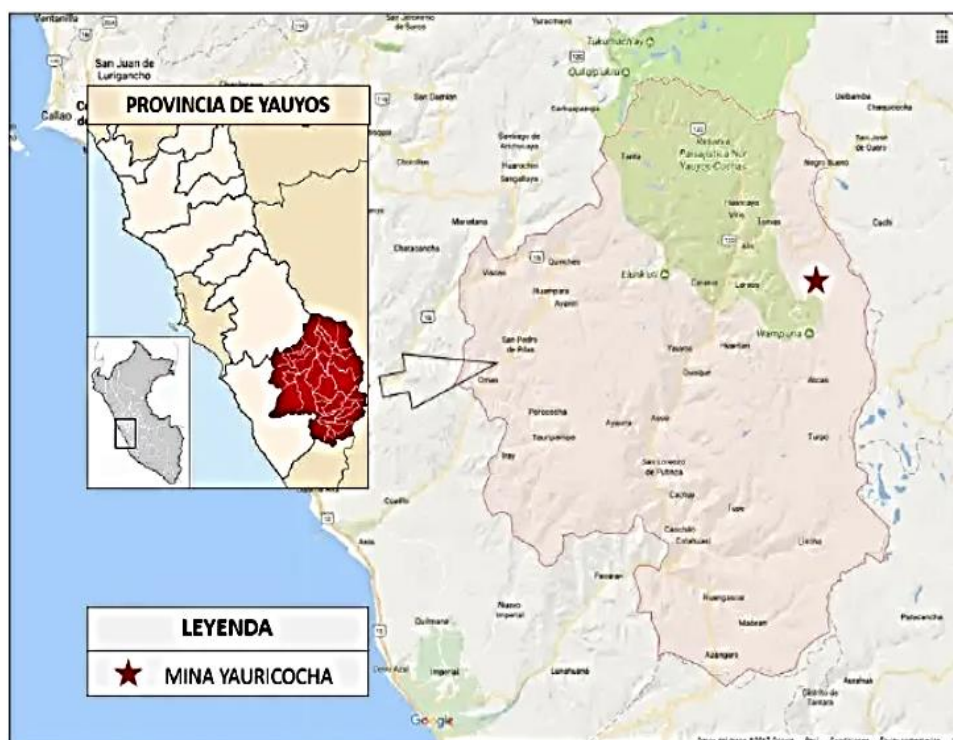
cuenta aspectos geomecánicos y estándares de seguridad, se propone la presente investigación del rediseño de explotación, la secuencia de preparación y explotación de los cuerpos integrando los recursos, infraestructura y capacidades de extracción por nivel con la finalidad de maximizar la rentabilidad de la extracción de minerales comprometidos en cada zona.

## 1.2. Delimitación de la investigación

### 1.2.1. Ubicación

La mina Yauricocha se encuentra situada políticamente en el distrito de Alis, provincia de Yauyos, departamento de Lima, en donde se establecen el área de la mina, la planta Chumpe y otras unidades auxiliares como oficinas y laboratorios. Localizada geográficamente en la zona alta de la cordillera occidental andina, en las nacientes de uno de los afluentes del río Cañete, el que desemboca al océano Pacífico. El área de la mina se encuentra a una altitud promedio de 4600 m s. n. m

**Figura 1.** Plano de Ubicación de mina Yauricocha

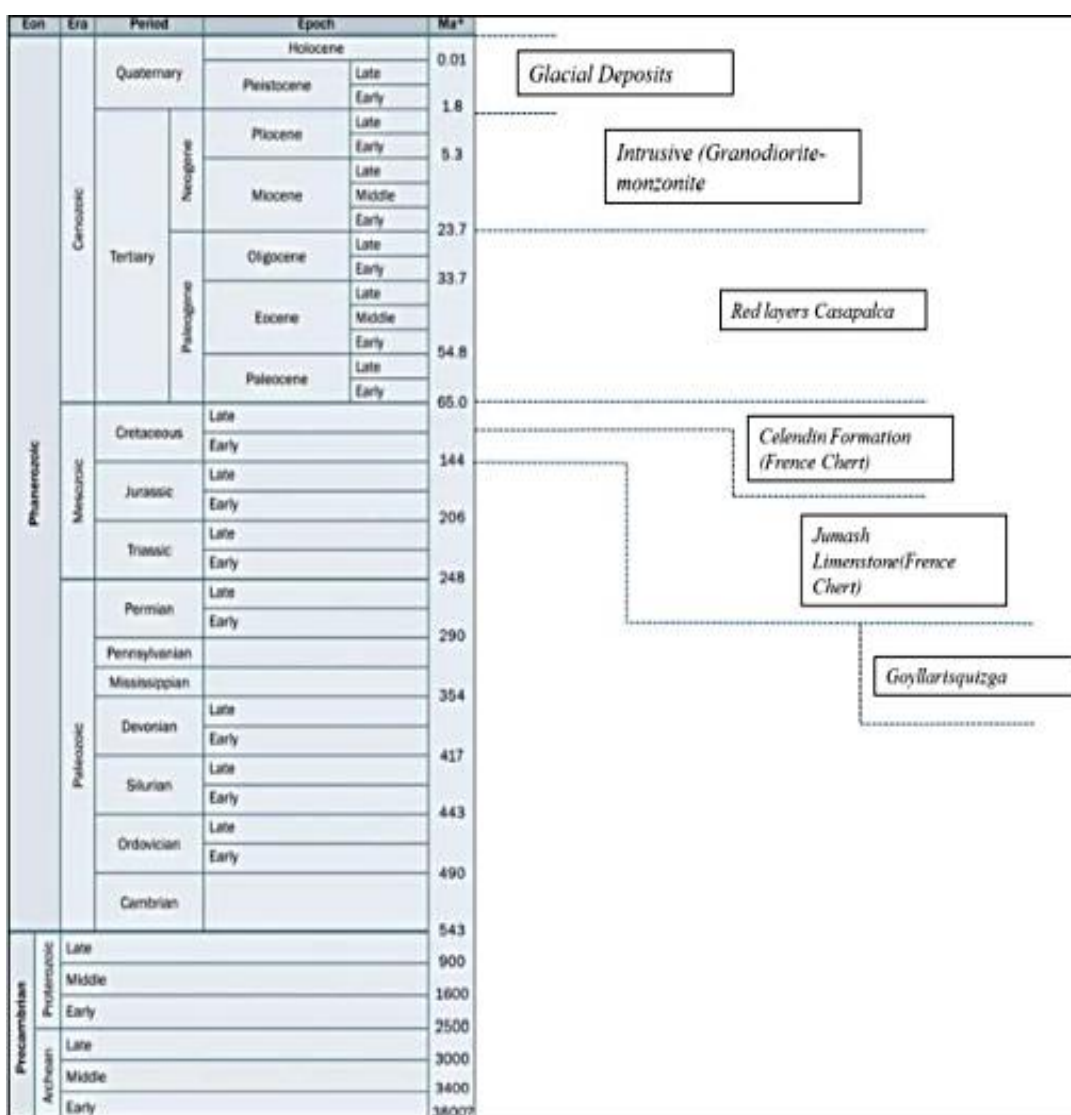


Fuente: internet.

### 1.2.2. Geología regional

En la unidad de acumulación Yauricocha se encuentra múltiples depósitos de reemplazo de carbonatos; por lo menos un Skarn y algunas expresiones de vetas de metales epitermales. La mayor parte de la estratigrafía en Perú se encuentra espacialmente y genéticamente relacionada con la evolución tectónica de la cordillera de los Andes. Los depósitos de mineral del Distrito Yauricocha están relacionados el stock de Yauricocha, una intrusión de la época del Mioceno de composición granodiorítica a quartzomonzonítica.

**Figura 2.** Columna estratigráfica de Yauricocha



Fuente: Geología – SMCSA

**a) Formación Goyllarisquizga.**

Las rocas más antiguas expuestas en el área son las areniscas de la formación Goyllarisquizga del cretáceo Inferior. Este grupo de aproximadamente 300 m de espesor está constituido por areniscas gruesas blancas a grises, localmente bandeadas con lutitas carbonáceas, así como pequeños mantos de carbón de mala calidad y arcilla. Estas areniscas presentan intercalaciones de lutitas rojas en la base, las areniscas afloran en los núcleos de los anticlinales al SW de Yauricocha y como capas dispersas a lo largo de la zona revuelta de chacras, así como en afloramientos aislados en la zona.

**b) Formación Jumasha.**

Concordante sobre la formación Goyllarisquizga, se encuentra la formación Jumasha del Cretáceo medio. Esta formación con espesor promedio de 700 m consistente de caliza masiva de color gris claro. En la base, cerca al contacto con las areniscas, incluye intercalaciones de lutitas carbonosas. Estos estratos están sucedidos por lentes discontinuos de calizas marrones y grises, ocasionalmente con horizontes lutáceos y silíceos de unos 6,00 m de espesor. También están presentes pseudobrechas origen sedimentario y un sill de basalto.

**c) Formación Celendín.**

Sobre yaciendo concordantemente a las calizas Jumasha se encuentra la formación Celendín; formada por lutitas silicificadas finamente estratificada con intercalaciones de caliza recristalizada de edad Santoniana con un espesor promedio en el área de Yauricocha es de 400 metros. 28.14 1.96A esta unidad que anteriormente se le consideraba como estratos inferiores de las capas rojas Casapalca, localmente se le ha denominado France Chert.

**d) Formación Capas Rojas Casapalca.**

Esta formación sobreyace concordantemente a la formación Celendín siendo su contacto continuo. Se le ha asignado una edad entre el Cretáceo Superior y el Terciario Inferior, ya que la ausencia de fósiles no permite conocer con exactitud. Está constituida principalmente por lutitas rojas calcáreas, calizas puras y calizas arenosas rojizas, ocasionalmente se ha reportado la presencia de flujos de lava y capas tufáceas.

**e) Formación Intrusiva.**

La actividad intrusiva se desarrolló mayormente en el mioceno. Las edades determinadas mediante el método Ar-K en biotitas de muestras tomadas en el área de Yauricocha y Éxito, dan un promedio de 6,9 millones de año. (Giletti 1968).

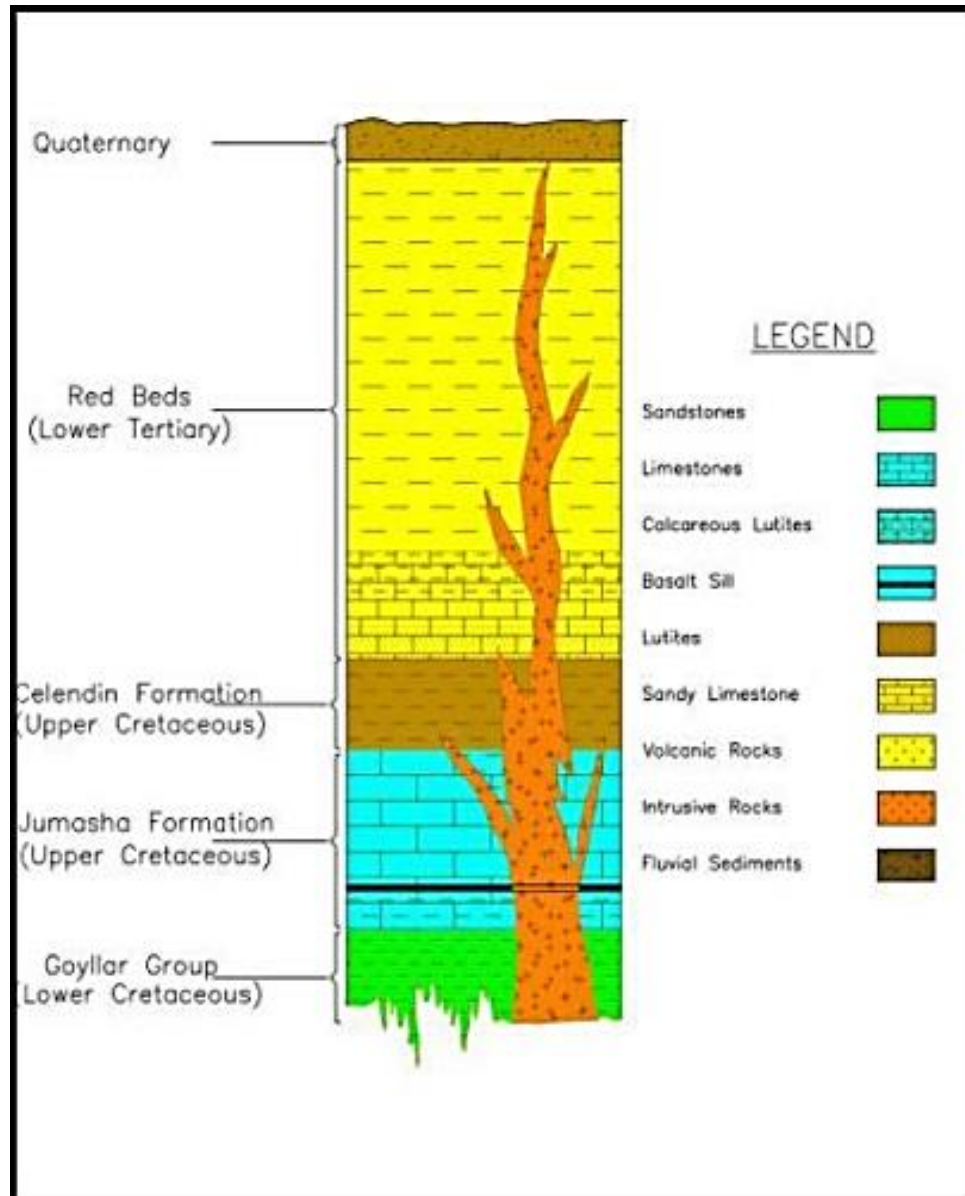
Los Intrusivos presentan contactos definidos y de gran ángulo con los sedimentos, así como una neta tendencia a seguir el rumbo regional y plano de estratificación. Los Intrusivos varían gradualmente en tamaño, desde cuerpos de unos cuantos cientos de metros cuadrados hasta grandes masas que han cubierto varios kilómetros cuadrados. Es común la ocurrencia de apófisis pequeños en los bordes de los intrusivos mayores. Su composición varía de granodiorita a cuarzo-monzonita en los bordes, observándose macroscópicamente plagioclasas, ortosa, biotita, horblenda y cuarzo. Las plagioclasas, fluctúan desde oligoclasa hasta andesina, presentando comúnmente textura porfirítica.

**f) Metamorfismo.**

Todas las rocas intrusivas han producido halos de metamorfismo en las rocas de caja. La extensión, tipo y grado de metamorfismo varía fuertemente según el tipo de roca. Las rocas metamorfizadas se han transformado en cuarcitas, lutitas y calizas. Los halos metamórficos que rodean las intrusiones tienen distintas

extensiones, lutitas blanqueadas se extienden más allá del área de silicatos de calcio.

**Figura 3.** Columna estratigráfica regional de Yauricocha



Fuente: Geología - SMC S.A.

### 1.2.3. Geología local

Los distintos yacimientos son irregulares y orientados paralelos a la dirección general de los estratos dominantes noroeste-sureste. Los yacimientos muestran ángulos de manto pronunciados hacia el noreste. El espesor promedio varía entre 10 y 40 metros. La mayoría de los yacimientos se encuentran en el grupo Jumasha de la caliza

dentro y a lo largo del contacto de las lutitas Celendín (France Chert) y el contacto con las rocas intrusivas. Algunos de los yacimientos están interconectados formando amplias zonas mineralizadas, como es el caso del contacto oriental de los cuerpos Antacaca. Otros cuerpos mineralizados tales como Violeta, Erika, cuye, Mascota, Antacaca, Oriente Sur, Oeste Contacto, ameba, Maritza, Esperanza, Catas, Carmencita entre otros se encuentran aislados. La mineralización de los yacimientos consiste principalmente de pirita, cuarzo, enargita, calcopirita, bornita, covelita, galena, esfalerita, tetraedrita, geocronita y calcopirita.

A continuación, se mostrarán planos del Tajo 6950 del cuerpo Esperanza como muestra del tipo de yacimiento y su forma que se presenta en los diferentes tajos de sub level caving en la mina Yauricocha.

**Figura 4.** *Plano geológico cuerpo Esperanza – Nivel 970 -Piso 8 – Vista Planta*

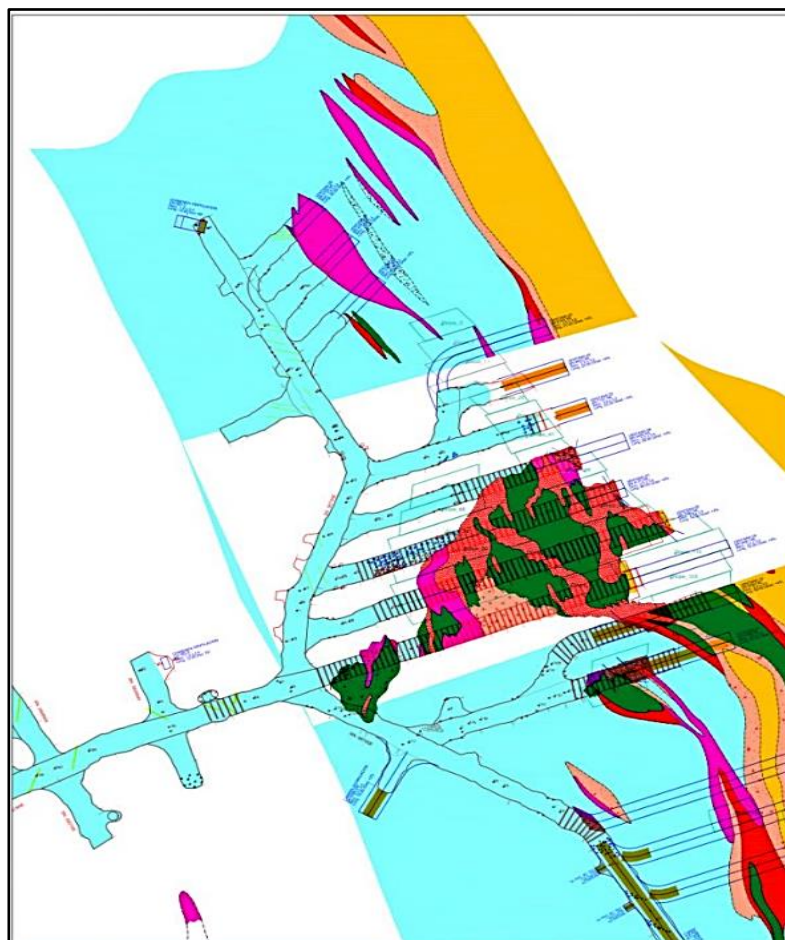
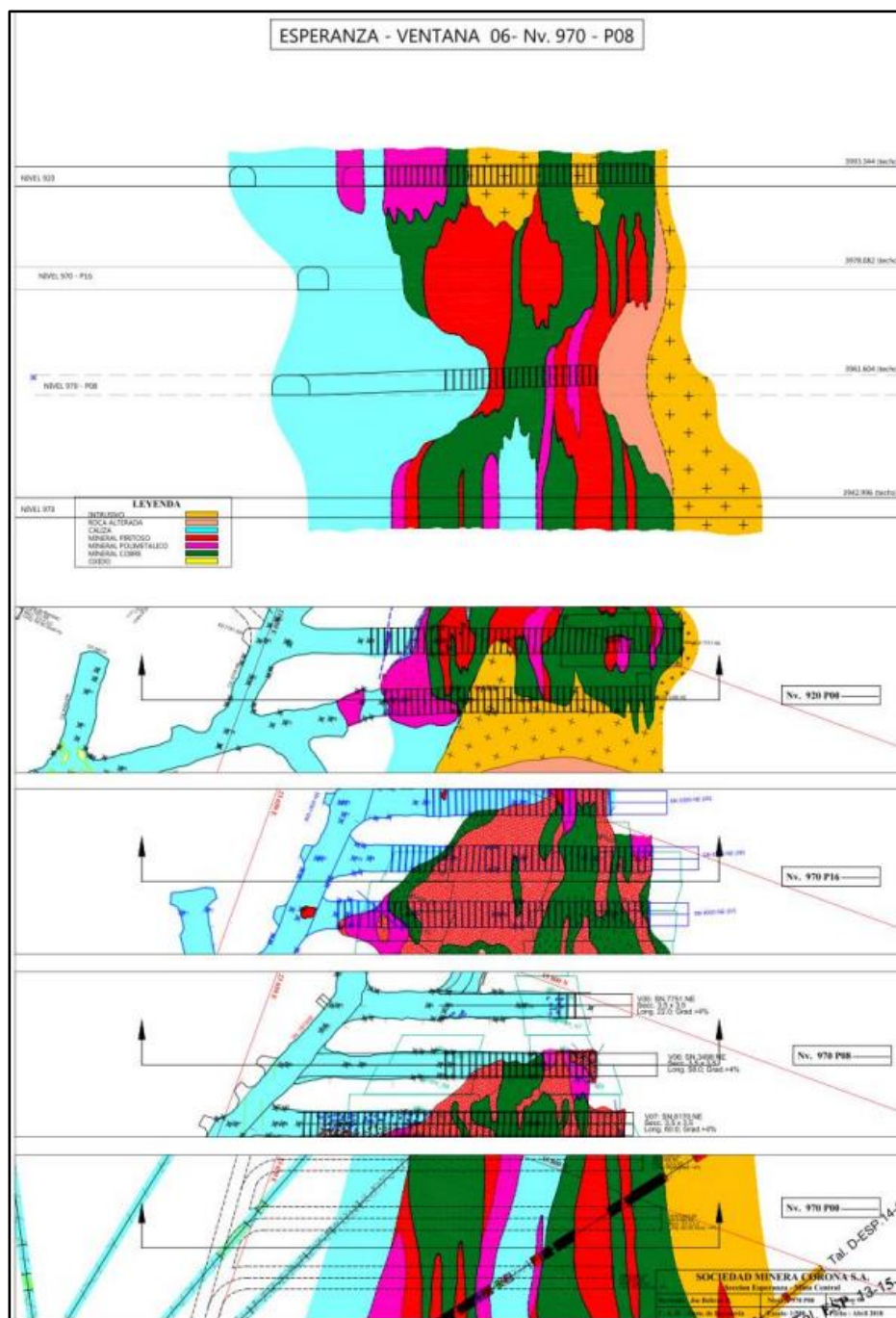


**Figura 5. Plano geológico cuerpo Esperanza – Nivel 970 -Piso 8 – Vista Longitudinal**



### 1.3. Formulación del Problema

#### 1.3.1. Problema general

¿De qué manera podemos rediseñar el método de extracción que emplea la mina Yauricocha a través de la evaluación de las mallas de extracción, considerando la

recuperación y la dilución; que nos permitirá incrementar la eficacia del método Sub Level Caving?

### **1.3.2. Problemas específicos**

- a) ¿Al analizar las mallas de extracción en cuanto a recuperación y dilución, tenemos la posibilidad de rediseñar el método de explotación Sub Level Caving en la mina Yauricocha, lo que nos facilita incrementar la eficiencia de este procedimiento?
- b) ¿Al poner en valor los recursos minerales para distintos ritmos de explotación y leyes de cortes, podremos reestructurar el método de explotación Sub Level Caving en la Mina Yauricocha, lo que nos facilitará incrementar la eficacia de dicho procedimiento?

## **1.4. Formulación de Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Reformular el procedimiento de extracción que emplea la mina Yauricocha a través de la valoración de las mallas de extracción, considerando la recuperación y dilución; que nos facilite la eficacia del método de Sub Level Caving.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- a) Analizar las mallas de extracción en cuanto a recuperación y dilución, con el objetivo de rediseñar el método de explotación Sub Level Caving en la mina Yauricocha, con el fin de incrementar la eficacia de dicho procedimiento.
- b) Valorizar los recursos minerales para distintos ritmos de explotación y normativas de cortes, con el objetivo de rediseñar el método de explotación Sub Level Caving en la Mina Yauricocha, con el fin de incrementar la eficacia de este procedimiento.

### **1.5. Justificación de la investigación**

Esta investigación respalda su ejecución y subraya su relevancia, ya que nos brindará la oportunidad de rediseñar el método de explotación que emplea actualmente Yauricocha, basándonos en una nueva secuencia y diseño de explotación, reconfigurando los anchos de minado de las ventanas de explotación y programas de preparación/producción ad hoc. Todo esto con el objetivo de incrementar la eficacia del método de SLC empleado y, consecuentemente, elevar el valor. Estos elementos respaldan y otorgan la relevancia correspondiente a la ejecución de la investigación.

### **1.6. Limitaciones de la Investigación**

El principal obstáculo en la mina y para llevar a cabo la investigación fueron la escasez de fondos para la realización del trabajo, así como la ausencia de personal capacitado para el respaldo y la formación de personal de apoyo.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

##### **a) Antecedentes nacionales.**

**Chucuya G.** presenta la Tesis titulada: “Recuperación de puentes de mineral para el incremento de la producción y ley de cabeza en Compañía Minera Kolpa S. A.”, El propósito principal de la investigación fue recuperar el puente de mineral del tajeo 795 con el fin de aumentar la producción y la ley de cabeza en la empresa minera KOLPA S. A. El objetivo concreto fue implementar el plan de extracción apropiado para la recuperación del puente de mineral con el fin de aumentar la ley de cabeza en la empresa minera KOLPA S. A. Como consecuencia, se logró retomar la extracción del puente de mineral del tajeo 795 y aumentar la producción de 28300 t a 29 854 t promedio mensual, manteniendo un valor económico de 133 \$/t a 165 \$/t promedio mensual. La empresa Minera Kolpa, en colaboración con diversas áreas como la Operación Mina, Servicios, Planeamiento, Geomecánica, Geología, Control de Calidad, Ventilación, entre otras. Se logra implementar un plan de minería apropiado y se restauró el puente de mineral en el tajo 795.

**Cutti Huallpa G.** en su trabajo de investigación: “*Recuperación de puentes de mineral mediante taladros largos en los tajeos de explotación en la mina Huanzala – CIA. Minera Santa Luisa S. A.*”. El propósito principal de la investigación fue entender cómo se recuperan los puentes en los tajeos de explotación de la unidad minera Huanzalá. El propósito concreto consistió en establecer el método para recuperar los puentes en los tajeos de explotación de la unidad minera Huanzalá. Se logró la posibilidad de aplicar la recuperación del mineral mediante el uso de taladros largos. Las investigaciones geomecánicas realizadas a cabo en los tajeos de explotación revelan que la explotación mediante taladros largos es viable.

**Ramos A. R.** dentro de su investigación titulada: «*Recuperación de pilar de tajo antiguo de nivel 400 intermedio de la sección I empleando el método de subniveles con taladros largos en la empresa minera Los Quenuales S. A. – U.M. Yauliyacu*». El principal del estudio fue establecer el impacto de la restauración de un pilar de tajo antiguo utilizando el método de subniveles con taladros de gran longitud en la compañía minera Los Quenuales S. A. - UM Yauliyacu. La meta particular consistió en establecer económicamente la viabilidad de la recuperación de tajo antiguo mediante el método de subniveles con taladros largos en la compañía minera Los Quenuales S. A. - UM Yauliyacu. El resultado fue que, al recuperar los pilares de tajo antiguo tradicional, se consiguió alcanzar el tono previsto. Estos pilares contribuirán en las leyes finales de los minerales. La recuperación de pilares de tajo antiguo convencional en la sección I fue un incremento de 156 000 toneladas a lo largo del año 2018 gracias al método SLV. En los últimos cuatro meses, la dilución de los tajos disminuyó debido al control de las cajas de tajo. El trabajo se llevó a cabo con un factor de potencia de 1,03. La

distribución de los exsaneles fue de corto período durante la voladura de tajo, lo que contribuyó a mejorar los resultados. El procedimiento para recuperar el pilar de tajo 747S del nivel 400 intermedio de la sección I tiene un costo de perforación de \$2.05t, accesorios de \$0.31t, voladura de \$1t, limpieza de \$2.04t y soporte de \$2.47t. La recuperación del tajo 747S de nivel 400 intermedio de sección I tiene un costo total de \$ 40.52t, reduciendo \$0.43t del promedio de costos del año 2018 en la extracción de minerales. Se lleva a cabo la restauración del pilar del tajo antiguo de manera removida para prevenir derrumbes y proteger el recurso humano de riesgos.

## **2.2. Bases teóricas - científicas**

La elaboración de esta tesis presenta la valoración técnica económica del procedimiento de explotación Sub level Caving en el tajo y cuerpo Esperanza de la unidad minera Yauricocha. El contenido empleado alude a variables geológicas, geomecánicas, geometalúrgicas y económicas que se aplican en el procedimiento de minado empleado. De igual forma, se detallan las variables operativas del ciclo de minado, tales como el plan de producción vinculado al método Sub level Caving y su valoración financiera

### **2.2.1. Sublevel Caving**

Es una técnica fundamentada en el uso del flujo gravitacional del mineral que se ha derrumbado. Originalmente, SLC se originó como una técnica para tratar roca incompetente que colapsaba justo después de retirar la fortificación. El procedimiento se ha ajustado para una roca de alta competencia que necesita perforación y voladura.

#### **a) Ventajas**

Se trata de un procedimiento de extracción económico: 28 \$/t Esperanza, 35 \$/t Catas – Antacaca y 40 \$/tn Antacaca Sur. El procedimiento puede

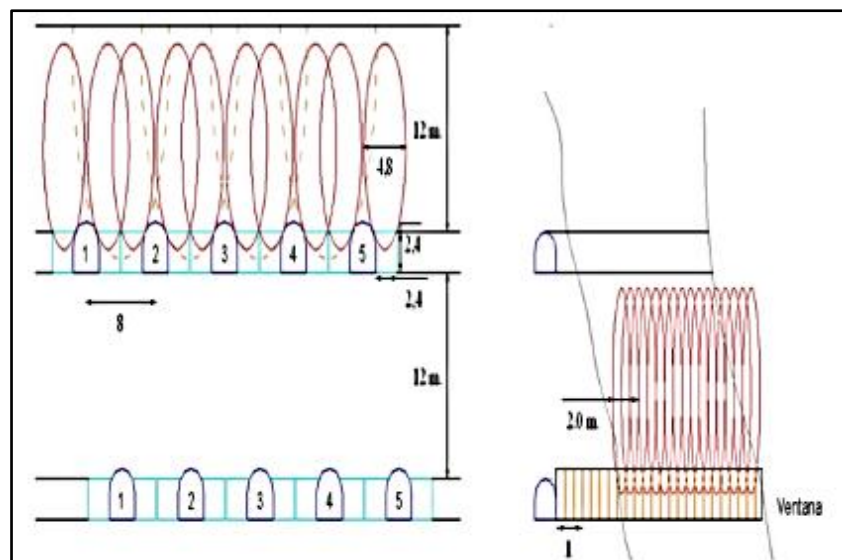
implementarse en roca con RMR 10 - 40 y cuerpos con formas irregulares y angostas. Es un procedimiento seguro, siempre se lleva a cabo dentro de las ventanas reforzadas. Es muy mecanizable, lo que simplifica el entrenamiento y la mano de obra necesaria. La normalización y especialización posibilitan una gran adaptabilidad en f (Leyes - tonelaje).

#### b) Desventajas

Es necesario tolerar un nivel específico de dilución del mineral. Es necesario mantener un control acucioso de la producción ( $V_n/V_n$ , B/B). Hay pérdidas de minerales; al alcanzar el límite de extracción, el mineral remanente altamente diluido se desvanece. El método exige un nivel elevado de preparación. Cuando se produce el hundimiento, ocurre la subsidencia, que necesita ser localizada fuera del cono de subsidencia, necesitando un mayor desarrollo.

#### 2.2.2. Sublevel Caving como método de minado

**Figura 6.** Perfil del método de minado Sublevel Caving

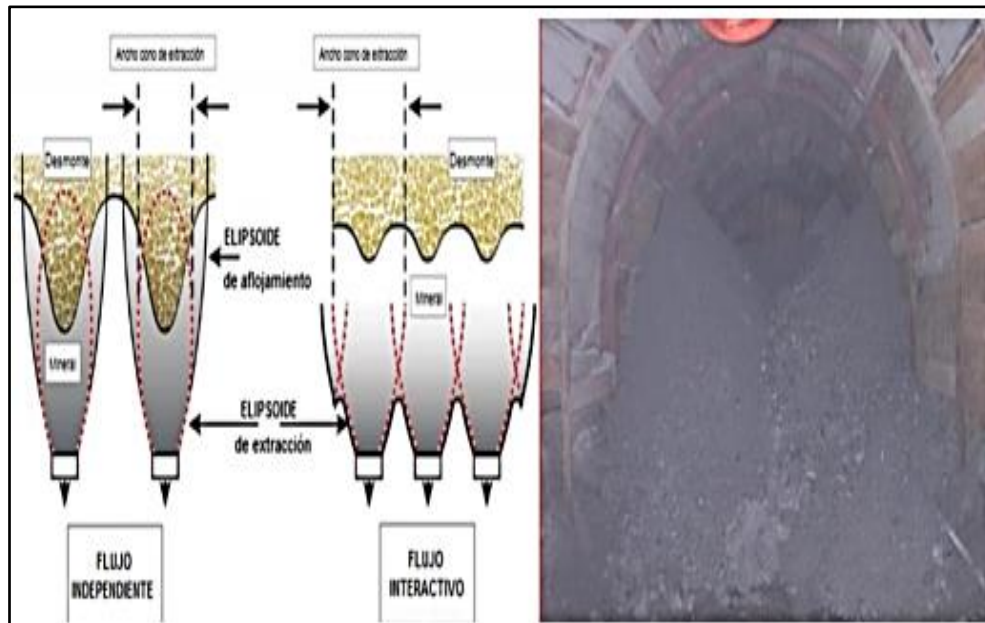


Fuente: Departamento de Planeamiento

### 2.2.3. Optimización del método Sublevel Caving esquema del diseño

Establecer espaciamiento entre draw points 5 a 8 m.

**Figura 7.** *Diseño de Draw Points*



*Fuente: Departamento de Planeamiento*

### 2.2.4. Secuencia de minado del Sublevel Caving

#### a) Preparación:

Instalación de marchavantes y entablado.

**Figura 8.** *Frente disparado, desatado de rocas y a lado derecho la instalación de marchavantes de 45/60lbs. 6 a más*



Picado patillas y armado de cimbra.

**Figura 9.** *Punto de dirección y gradiente para iniciar el picado de patilla*



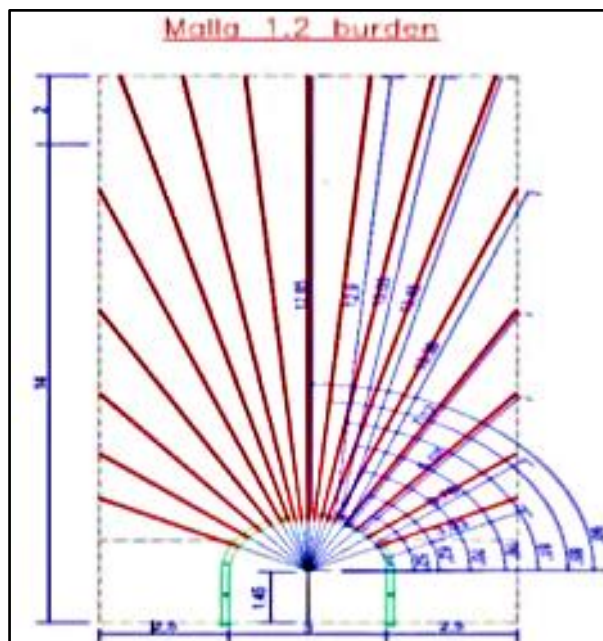
Entablado y encribado.

**Figura 10.** *Iniciando el entablado, cariito y topes. A la derecha el encribado de cimbra, bolsacretes, bancos y materiales*



P/V Taladros largos.

**Figura 11.** *Perforación taladros largos*





#### **2.2.5. Método de minado Sublevel Caving**

El Sublevel Caving es una técnica de extracción por hundimiento del mineral que, debido a su característica, provoca subsidencia en las zonas aledañas al cuerpo mineralizado que se ha explotado mediante este procedimiento.

#### **2.2.6. Configuración típica Sublevel Caving**

Se trata de crear galerías o ventanas paralelas, usualmente 8 metros separados de eje a eje en la horizontal, denominadas galerías de producción. Los sub niveles se sitúan a través de cuerpos mineralizados en espacios verticales que oscilan, en la mayoría de las situaciones, entre 8 y 13 metros (en nuestro caso 16 m). La explotación se organiza de acuerdo a su configuración geométrica uniforme. La entrada a los sub niveles se realiza a través de rampas.

#### **2.2.7. Operación del método de minado SLC**

La operación se basa principalmente en causar el hundimiento a través de la perforación de orificios en forma de abanico desde los subniveles hacia arriba, atravesando el pilar superior, la voladura subsiguiente de las perforaciones, y el traslado y carga del mineral que ha sido disparado. La extracción desde un frente de galería de producción, también conocido como punto de extracción continua, hasta que se

introduzca estéril en un volumen tal que la ley obtenida ya no sea rentable. En ese instante, se inicia la corrida de abanico contigua y se repite el procedimiento.

#### **2.2.8. Fundamentos de diseño Sublevel Caving**

Al llevar a cabo el diseño de un Caving Sublevel, se establece inicialmente la geometría del flujo gravitacional, es decir, establecer el ancho y espesor del elipsoide de extracción (EE) para una determinada altura de extracción. Según el principio del flujo gravitacional, la extracción de un mineral fracturado en un lugar genera un volumen en movimiento de forma elipsoide de revolución de altura  $h$  y ancho  $W$ , que se expande en proporción al aumento de la extracción, conservando una relación de excentricidad prácticamente invariable. La excentricidad ( $E$ ) fluctúa en función del tipo de material (granulometría, viscosidad, humedad, entre otros). Este elipsoide se denomina elipsoide de desprendimiento o elipsoide de desprendimiento.

El método se basa principalmente en una serie de estudios de las variables siguientes:

- Dimensiones del elipsoide de extracción y elipsoide de desprendimiento.
- Espaciamiento vertical de subniveles ( $h_s$ ).
- Espaciamiento horizontal de galerías ( $s_d$ ) y
- Ancho de tajada  $6\text{ burden}$ .

#### **2.2.9. Descripción del Método Hundimiento por Subniveles**

En el método hundimiento por subniveles se desarrollan accesos paralelos separados generalmente de 8 a 15 m. en la horizontal, conocidas como ventanas de producción o *draw points*. Los subniveles se ubican a través del cuerpo mineralizado en intervalos verticales que varían, en la mayoría de los casos, de 6 a 20 m, dependiendo de las condiciones del macizo rocoso y de la disponibilidad de equipos a utilizar. La explotación queda de este modo diseñada según una configuración

geométrica simétrica. El acceso a los subniveles es por medio de rampas comunicadoras.

El método hundimiento por subniveles se aplica generalmente en cuerpos subverticales como vetas, brechas y diques. También puede ser aplicado en cuerpos horizontales o subhorizontales que sean de gran potencia.

La configuración de los subniveles se puede adecuar a los distintos cuerpos y a formas irregulares, se distinguen dos configuraciones principales: En cuerpos anchos se usa una configuración transversal, cuando el cuerpo es angosto esta configuración es impracticable, por lo que las ventanas deben girarse en la dirección del cuerpo adoptando una configuración longitudinal.

Las características del método son:

- Es un método de minado masivo y no es selectivo.
- Consiste en extraer mineral produciendo un flujo gravitacional continuo provocado por la perforación y voladura de taladros largos, generando hundimiento en el área mineralizada.
- Aplicable por las condiciones geomecánicas favorables (RMR: 15- 35).
- El objetivo de este método es recuperar un alto volumen de producción de mineral a un bajo costo.
- Es un método completamente seguro por las fortificaciones en los puntos de extracción que genera el mayor costo de la operación.

### **Condiciones de aplicación del método hundimiento por subniveles**

Se aplica bajo las siguientes condiciones:

- Generalmente es aplicado en cuerpos verticales masivos y en depósitos que tienen grandes dimensiones y alto buzamiento.
- Los minerales adecuados para el empleo de este método son los de

resistencia media, quebradizos y bien estratificados que permitan poner al descubierto una superficie relativamente grande y que se derriben con facilidad, sea con explosivos o por sí solos debido a la presión del techo.

- Los límites del yacimiento deben ser regulares.
- Debido a las pérdidas de mineral se aplica este método sólo en minerales de valor medio y que no presenten problemas en el tratamiento metalúrgico.
- El método resulta especialmente favorable para yacimientos de gran volumen.
- El yacimiento debe ser muy potente y poseer una gran extensión horizontal pues de esta forma la presión del techo es mayor y el hundimiento será uniforme.
- El método se aplica para yacimientos que no requieren de clasificación.
- Los requerimientos mínimos para la estabilidad del mineral exigen que la ventana de producción deba sostenerse firmemente.
- El acarreo permite que la extracción del mineral sea continua.
- La dilución es el factor que influye en la aplicación de hundimientos por subniveles. El método es preferido para yacimientos en los cuales el mineral económico sea fácilmente hundible.

## **Operaciones Unitarias**

### **Planeamiento**

El método hundimiento por subniveles es sistemático y requiere de un minucioso trabajo de planeamiento y diseño antes de iniciar las operaciones. El desarrollo, producción y extracción son actividades realizadas en diferentes frentes, cada uno de los cuales es una operación continua independiente de los otros, estando

un frente siempre disponible para la operación. Estos son factores que obligan que el método sea mecanizado y eficiente.

Una planificación razonable de hundimiento por subniveles depende del nivel de conocimiento de los parámetros especiales para este método y sobre todo para el flujo de mineral por gravedad, probablemente la fragmentación del mineral juegue el papel más importante ya que decide la forma del flujo gravitatorio.

Un punto crítico es la desviación de los taladros que debe ser controlada con la precisión para obtener un grado de fragmentación adecuado. Para resolver los problemas difíciles de hundimiento por subniveles en especial los problemas de dilución y pérdida de mineral se realizan estudios en laboratorios y pruebas in-situ.

Se ha demostrado que el flujo gravitatorio de roca quebrada y de mineral es de forma elíptica, es decir de todas las rocas que forman la elipse convergen simultáneamente al punto de extracción.

La ventilación en este método se constituye en un problema de difícil solución. La instalación de mangas de ventilación para cada ventana se hace imprescindible.

### **Desarrollo y Preparación**

Los trabajos de desarrollo y preparación son los de mayor exigencia y de mayor duración, pues ello depende una cantidad relativamente extensa de construcciones iniciales que son determinados por el tiempo que dure la explotación o la vida de la mina. Estos mismos son diseñados de acuerdo a las características del yacimiento, equipos a utilizar y valorización total del proyecto en función a la producción que se estime extraer diariamente.

Las preparaciones que se diseñan según el estándar son:

- Rampa de comunicación (4.0m de ancho por 4.0m de alto), que está ubicado en la zona de mayor competencia de la masa rocosa por su característica

permanente en todo lo que dure la vida de la mina y permita el tránsito de volquetes.

- Subnivel de extracción (3.5m de ancho por 3.0m de alto), que se puede desarrollar tanto en la parte estéril como dentro del cuerpo de mineral puesto que es acceso directo porque a partir de él se abrirán ventanas de producción o draw points.
- Labores de servicios con la finalidad de dar mayor fluidez a los servicios auxiliares para la operación, como chimeneas de ventilación (1.5m x 1.5m), chimeneas de servicios (1.5m x 1.5m) o caminos.
- Cámaras de acumulación de mineral y de desmonte (4.0m de ancho por 4.0m de alto), que sirven para aliviar el material que se evacua desde las ventanas de producción y a la vez acelerar el ciclo de minado.
- Cámaras de carguío, que son diseñadas de manera técnica y segura con dos entradas, una para el equipo de bajo perfil que tiene que descargar desde una altura prudente (3.5m de ancho por 3.0m de alto) y el otro para el estacionamiento y carga del volquete (4.0m de ancho por 4.0m de alto).

La perforación de cada una de estas labores se realiza con Jumbo electrohidráulico Rocket Boomer 281 de un sólo brazo de 14 pies de longitud de barra de marca Atlas Coopco.

|                               |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| 1. Presión aire:              | 6 Bar.                  |
| 2. Presión de agua:           | 10 – 12 Bar.            |
| 3. Presión de percusión alta: | 180 Bar.                |
| 4. Presión de percusión baja: | 130 Bar.                |
| 5. Presión rotación:          | 40 – 70 Bar.            |
| 6. Presión avance alta:       | 80 – 90 Bar. Regulable. |

|                              |               |
|------------------------------|---------------|
| 7. Presión avance baja:      | 40 Bar. Fijo. |
| 8. Velocidad de penetración: | 32 m/hr.      |
| 9. Longitud de barra:        | 3.0mts.       |
| 10. Diámetro de broca:       | 45m.m.        |
| 11. Martillo (Cop):          | 1238          |

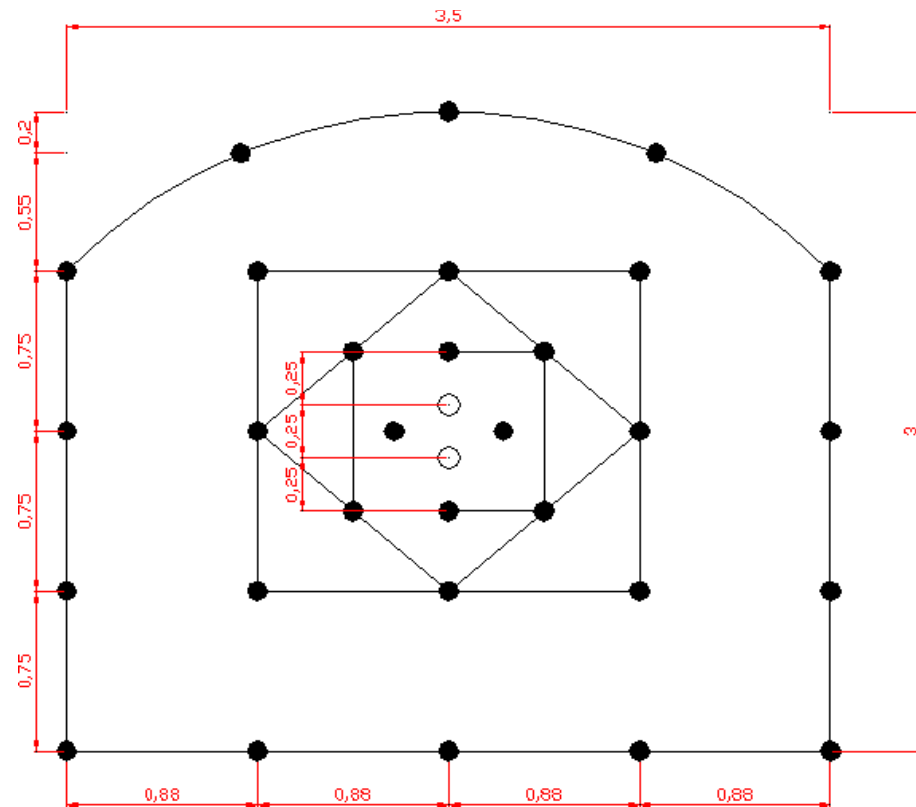
La voladura se realiza con dinamitas según despacho de polvorín. Para la limpieza se utiliza scooptrams diesel de 4.2 yd<sup>3</sup> y 6 yd<sup>3</sup>, hasta una distancia que sólo se involucra en los precios unitarios, mientras que la evacuación hasta el botadero de desmonte se realiza con volquetes de 30 toneladas desde las cámaras de carguío.

### **Preparación de las Ventanas**

#### **a) Perforación**

La perforación se realiza con perforadoras neumáticas manuales tipo *Jackleg*. Las perforadoras neumáticas son accionadas por aire comprimido, el aire debe mantenerse constante entre 60 a 70 lbs/plug<sup>2</sup>, los taladros resultantes son de 36mm de diámetro y de 6 pies de longitud. El uso de estos equipos de perforación manuales, obviando el uso de jumbos como en el caso de otras preparaciones se debe directamente a la distribución de trabajos entre empresas especializadas y los precios unitarios que implican la valorización por tipo de labor. Según las condiciones del cuerpo de mineral como Roca Tipo V, la malla de perforación es la siguiente:

**Figura 12. Malla de Perforación para roca tipo V**



#### **b) Voladura**

Para la preparación de las ventanas perforadas con Jackleg se utiliza cartuchos de Gelatina Especial 75% y Semexa 60%, ambos de 7/8'' x 7'', con detonadores no eléctricos de retardo Exel SS amarrados a cordón detonante y éste a su vez a la mecha de seguridad o guía blanca; en terreno duro o húmedo se utiliza dinamita gelatinosa, aproximadamente se carga 7 a 8 cartuchos por taladro dependiendo del tipo de terreno y la distribución del taladro.

La distribución de la voladura es como se indica:

**Figura 13.** *Distribución de voladura*

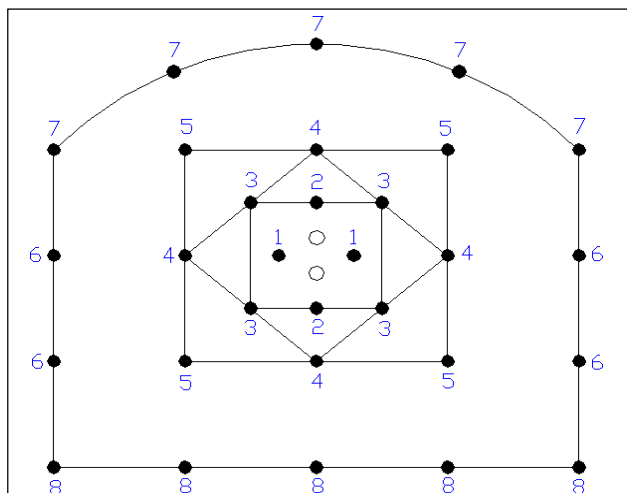


**Tabla 1.** *Utilización de control de explosivos*

|                    | <b>SALIDA</b> | <b>Nº TAL</b> | <b>Kg EXPLO</b> | <b>Kg/TAL</b> |
|--------------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|
| ALIVIO             |               | 2             |                 |               |
| ARRANQUE           | 1 y 2         | 4             | 2.844           | 0.711         |
| 1º AYUDA           | 3             | 4             | 2.528           | 0.632         |
| 2º AYUDA           | 4             | 4             | 2.212           | 0.553         |
| AYUDA DE CUADRADOR | 5             | 4             | 2.212           | 0.553         |
| CUADRADORES        | 6             | 4             | 1.896           | 0.474         |
| CORONA             | 7             | 5             | 1.975           | 0.395         |
| ARASTRE            | 8             | 5             | 2.765           | 0.553         |
|                    | <b>TOTAL</b>  | <b>32</b>     | <b>16.432</b>   |               |

### Resumen:

|                                   |
|-----------------------------------|
| LONGITUD DEL TALADRO: 6 pies      |
| DIAMETRO DEL TALADRO: 36mm        |
| AVANCE POR DISPARO: 1.6m          |
| CARTUCHOS/TALADRO: 7              |
| LONGITUD DEL CARTUCHO: 7 pulgadas |
| DIAMETRO DEL CARTUCHO: 22.2mm     |
| PESO DE CARTUCHO: 0.079Kg         |
| FACTOR DE CARGA: 0.30Kg/Ton       |

### c) **Sostenimiento**

Esta actividad se realiza con *Cimbras* espaciadas a 5 pies o 1.5 m, tipo de sostenimiento que se aplica cuando la roca no favorece a la excavación, por el que se requiere necesariamente de elementos con gran poder de resistencia.

Tiene los siguientes elementos:

- Fabricado en viga H6'' de dos cuerpos.
- Material de acero.
- Templadores  $\frac{3}{4}$ '' de 1.70 mt. rosca de 10cm (en ambos cuerpos) con respectivas tuercas y contratueras.
- Pernos de 2'' x  $\frac{7}{8}$ '' de diámetro para planchas de unión.
- Planchas de 8'' x 8'' x  $\frac{1}{2}$ '' en acero

Estándares y procedimientos de trabajo:

Uso EPP obligatorio: protector (casco), botas con puntera de acero, guantes, mameluco con cintas reflectoras, respirador contra gases y polvo, tapón auditivo, correa porta lámpara, lámpara, lentes de seguridad, arnés de seguridad, lentes para soldar.

#### **Requerimientos:**

- Tener en cuenta Línea de Centro para radio de curvatura.
- Preparado de patillas en el piso de 30 cm, si fuera suave el piso colocar soleras.
- Preparado de andamios con tablones de 2'' x 8'' x 15'.
- Personal requerido mínimo de 03 hombres más 02 de apoyo.
- Contar con las herramientas necesarias: Scooptram, Equipo de Perforación, Estación Total, Motosierra, Juego de barretillas de 4',

6', 8', 10' y 12 pies, Cimbra de 02 piezas H-6", Pernos de cimbra de  $\frac{3}{4}$ ", con sus respectivas tuercas y distanciadores, Planchas acanaladas, puntales y Tablas, Juego de barrenos, Llave francesa de 12", Flexómetro, Cordel, Pintura, Escalera metálica, Llave de boca de 14", Lampa, Pico, Bolsacretes.

**Procedimiento de Trabajo:**

- a. Inspección de la zona a sostener, verificando la ventilación, desate de roca y sostenimientos anteriores.
- b. Contar con cuadrillas de cuatro a cinco trabajadores, más un Capataz, con suficiente experiencia en colocado de cimbras, maestros y ayudantes que tengan mínimo tres años de experiencia.
- c. Excavar (0.3 m) las cavidades para las zapatas de acuerdo a las dimensiones diseñadas en el plano.
- d. Levantar cada uno de los componentes de la cimbra y unir las partes con los pernos centrales; luego colocar los tirantes espaciadores a la cimbra adyacente.
- e. Fijar las cimbras levantadas con elementos de apoyo a los hastiales de la labor.
- f. Cubrir el arco con encostillados de tablas de 2" x 6" x 5' y dejando libre los hastiales una altura de 1.50 m desde el piso, sujetando la primera tabla con ángulos de madera denominados *carritos*.

Recordar que no se rellenan las cavidades restantes entre la cimbra y el techo con bolsacrete o tamales.

Se paraliza cuando no hay personal capacitado, suficiente personal para levantar la cimbra, por falta de ventilación adecuada o cuando no se cumpla algún paso del procedimiento.

**Figura 14.** *Cimbra 3.5m x 3.0m utilizada en las Ventanas*



#### **d) Limpieza**

La limpieza se realiza con scooptram diesel de 2.5 yd<sup>3</sup> de capacidad de cuchara, pero para acelerar el ciclo de minado se puede evacuar mediante el apoyo de equipos de mayor capacidad hasta 4.2 yd<sup>3</sup>, puesto que se puede aceptar el ingreso a un ancho de 3.5m por una altura de 3.0m, teniendo mayor cuidado sólo en la entrada para no afectar las patas de las cimbras al golpearlas y desubicarlas.

#### **e) Preparación de Tapón**

Finalmente se prepara una barrera o tapón al fondo de la ventana con redondos o aserrados con patilla de 0.3 m. colocados verticalmente y clavados con tablas de 2'' x 6'' x 7' y sin luz de abertura, de manera que no se permita el escurrimiento o soplo de la carga del fondo cuando empieza

el hundimiento y pueda garantizar un trabajo seguro durante la perforación o exposición de personal y maquinaria dentro de la ventana.

**f) Sondeo del Cuerpo de Mineral**

Teniendo la ventana de producción completamente preparada y segura, se procede a realizar perforaciones con el mini jumbo neumático “colibrí” de 3 a 5 taladros cada dos cimbras para la exploración o sondeo del cuerpo de mineral para obtener lo siguiente:

- Verificar la conformidad de mineral y los límites del cuerpo.
- Obtener las leyes aproximadas por cada fila.
- Cubicar el volumen que se conseguirá explotar.
- Conseguir información geomecánica como RMR y resistencia a la compresión con la velocidad de perforación.

**Figura 15.** *Relación de velocidad de penetración vs RMR*



**g) Explotación de las Ventanas en Tajeo**

**Perforación**

La perforación de taladros largos para realizar el tajeo se realiza con un equipo neumático

El diseño de perforación es la siguiente:

**Figura 16. Vista de perfil**

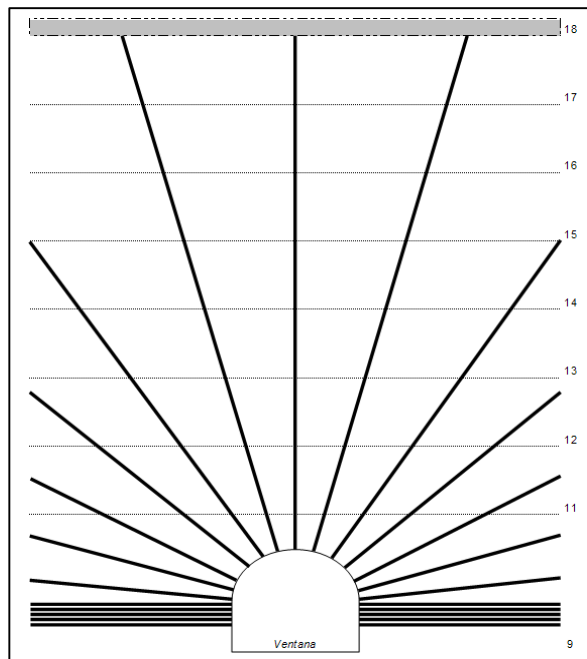
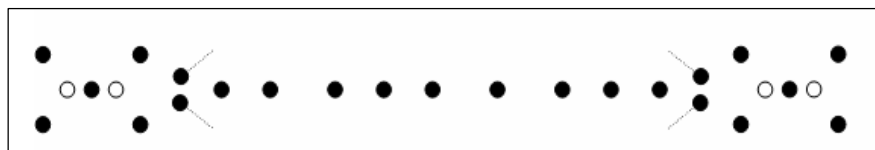


**Figura 17. Vista en planta**



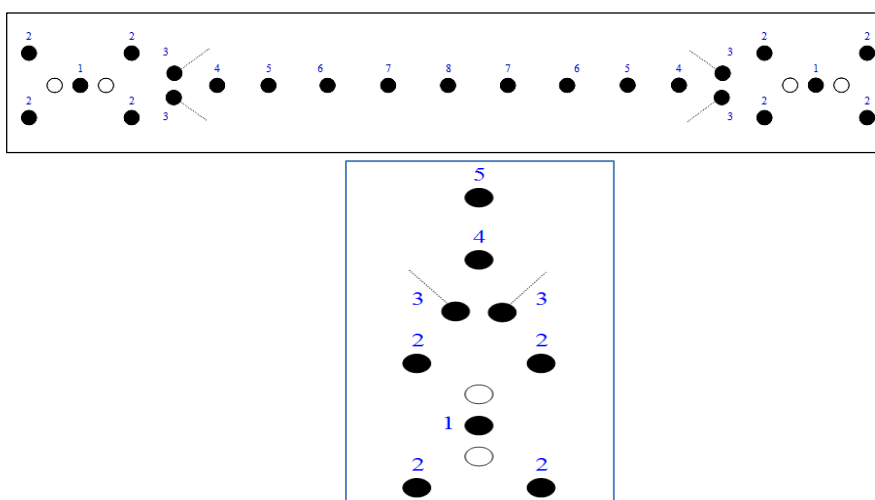
### **Voladura**

La voladura es de suma importancia para la explotación de las ventanas de producción, ya que esto implica que el resultado debe mantener la estabilidad de las siguientes filas que quedan por disparar en el cuerpo de mineral y además no debe afectar a las cimbras que mantienen seguro el punto de extracción de mineral.

La voladura se realiza con cartuchos de dinamita Semexsa 65% de 1 1/2'' x 12', la misma para el encebado con detonadores no eléctricos de retardo Exel para taladros largos, enganchados a cordón detonante 5G, luego la mecha de seguridad o guía blanca y finalmente a la mecha rápida.

Para cuidar que ingrese al taladro la cantidad requerida de material explosivo y pueda confinarse se utiliza tubos de PVC de 2'' de diámetro que ayudan a fijar la carga explosiva sin dejar que resbale o caiga. Se debe de considerar que primero se disparan ambos bolsillos simultáneamente y luego se va avanzando hasta concluir del taladro del centro de la fila.

**Figura 18.** Inicio en salida del bolsillo



El bolsillo se dispara primero para poder generar una cara libre lo suficientemente amplia y provocar que un sólo taladro cargado pueda completar la salida de la siguiente columna.

**Tabla 2.** Salida de disparo

|                | SALIDA       | Nº TAL    | Kg EXPLO       | Kg/TAL |
|----------------|--------------|-----------|----------------|--------|
| ALIVIO         |              | 4         |                |        |
| ARRANQUE       | 1            | 2         | 15.04          | 7.52   |
| CUAD. BOLSILLO | 2            | 8         | 60.16          | 7.52   |
| AYUDA          | 3            | 4         | 27.072         | 6.768  |
| 1º TALADRO     | 4            | 2         | 15.04          | 7.52   |
| 2º TALADRO     | 5            | 2         | 18.8           | 9.4    |
| 3º TALADRO     | 6            | 2         | 26.32          | 13.16  |
| 4º TALADRO     | 7            | 2         | 30.08          | 15.04  |
| 5º TALADRO     | 8            | 1         | 16.92          | 16.92  |
|                | <b>TOTAL</b> | <b>27</b> | <b>209.432</b> |        |

#### Resumen:

|                                           |
|-------------------------------------------|
| <i>TIPO DE ROCA: TIPO V</i>               |
| <i>LONGITUD DEL TALADRO: hasta 20m</i>    |
| <i>DIAMETRO DEL TALADRO: 51mm</i>         |
| <i>AVANCE POR DISPARO: 2m</i>             |
| <i>CARTUCHOS/TALADRO: 27</i>              |
| <i>LONGITUD DEL CARTUCHO: 12 pulgadas</i> |
| <i>DIAMETRO DEL CARTUCHO: 38.1mm</i>      |
| <i>PESO DE CARTUCHO: 0.367Kg</i>          |
| <i>FACTOR DE CARGA: 0.35Kg/Ton</i>        |

#### Extracción y Limpieza

El chuteo se realiza por los bolsillos y no por el techo, puesto que es sumamente peligroso la exposición del personal y equipos. La limpieza es continua a partir del disparo de la primera fila hasta concluir, se ejecuta con scooptram diesel de 3.5 yd<sup>3</sup> de capacidad de cuchara y se puede permitir el ingreso de scoops hasta de 4.2 yd<sup>3</sup>, siempre en cuando se tengan los cuidados que se mencionaron anteriormente.

El equipo LHD que se utiliza con las características:

|            |                                |
|------------|--------------------------------|
| Equipo:    | Scooptram Diesel               |
| Marca:     | Jarvis Clark                   |
| Modelo:    | ST 120                         |
| Capacidad: | 3.5 yd <sup>3</sup>            |
| Año:       | 1999 (Over Haul completo 2007) |
| Motor:     | Clark R28321                   |

El costo de limpieza asiente a 1.64 \$/Ton.

#### Transporte

La evacuación de mineral desde las ventanas concluye en la cámara de acumulación CA-8357-N, esto para acelerar el ciclo de minado; a la vez,

desde esa cámara otro scooptram diesel de 4.2 yd<sup>3</sup> de capacidad de cuchara transporta el material hacia la cámara de carguío CA-8010-NE con el objetivo de cargar al volquete estacionado en la cámara CA-8008-NE.

El volquete de 30 Ton de capacidad de tolva transporta la carga de mineral desde el punto de carguío.

### **2.3. Definición de términos básicos**

- Acarreo. Traslado de materiales hacia un destino señalado
- Blending. Término en ingles usado en minería para referirse a la mezcla o dosificación de carga.
- Bolsillo. Es el espacio entre dos cimbras referentes a los hastiales, presenta enmaderado que se retira para la salida de carga en el método sub level caving.
- Cimbra. Arco de acero que cumple la función de sostenimiento pasivo en túneles.
- Corte. Es una división horizontal que se le da a un cuerpo mineralizado para su explotación.
- Deformación. Es el cambio en la forma que sufre un cuerpo, como consecuencia de esfuerzos con los que interactúa o con también por la temperatura.
- Desmonte. Es la carga que no tiene valor económico producido en el avance de labores de preparación y/o desarrollo.
- Dilución. Es la mezcla de material estéril con mineral, que ocasiona la pérdida de ley del mineral.
- Emulnor. Emulsión explosiva encartuchada que posee propiedades de seguridad, potencia, resistencia al agua y buena calidad de los gases de voladura
- Estéril. Carga sin presencia de mineral valioso.

- Explosivo. Son compuestos químicos susceptibles de composición muy rápida que generan instantáneamente gran volumen de gases a altas temperaturas y presión ocasionando efectos destructivos
- Guarda cabeza. Conjunto de elementos que se utilizan para trabajos con el riesgo de caída de roca, estos elementos pueden ser puntales de madera o rieles acompañados de tablas que cubren los espacios vacíos.
- Ley. Es la medida que describe el grado de concentración de elementos presentes en los minerales.
- Marchavante. Riel de acero usado para guarda cabezas.
- Mineral. Es una sustancia inorgánica natural, que posee estructura atómica y composición definida, que en ocasiones se puede estar asociado a otro tipo de roca
- Peligro. Situación o característica intrínseca de algo capaz de ocasionar daños a las personas, equipos, procesos y ambiente
- Puente. Capa de mineral dejado en el techo por medida de seguridad, para prevenir un riesgo de colapso de la excavación.
- Recuperación. Es la acción de continuar con la explotación de mineral dejado, también es reusar materiales que siguen siendo útiles.
- Relleno. Es el material estéril que se ingresa a tajos como reemplazo de espacio del mineral extraído.
- Riesgo. Probabilidad de que un peligro se materialice en determinadas condiciones y genere daños a las personas, equipos y al ambiente
- RMR. Criterio de clasificación geomecánica para valorar el macizo rocoso según Bieniawski.
- Sub level caving. Denominación en inglés que se le da al método de explotación de “Hundimiento por subniveles”, que consta en aprovechar cuerpos mineralizados

con roca no muy competente, fracturado para que por gravedad descienda hacia a un subnivel preparado para su extracción.

- Tajo. Labor temporal de donde se explota mineral
- Valor de mineral. Es valor de mineral por tonelada in situ, según las leyes de los ensayos.
- Ventana. Labor temporal que nace de un subnivel, cruza el cuerpo mineralizado y es donde desciende el mineral en el método de sub level caving

## **2.4. Formulación de Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

Si reestructuramos el método de extracción que emplea la mina Yauricocha a través de la valoración de las mallas de extracción, considerando la recuperación y la dilución; Conseguiremos incrementar la eficacia del método Sub Level Caving.

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

- a) Al analizar las mallas de extracción en cuanto a recuperación y dilución, tenemos la posibilidad de rediseñar el método de explotación Sub Level Caving en la mina Yauricocha, lo que nos facilita incrementar la eficacia de este procedimiento.
- b) Al evaluar los recursos minerales en función de distintos ritmos de extracción y normativas de cortes, podremos reestructurar el método de explotación Sub Level Caving en la Mina Yauricocha, lo que nos facilitará incrementar la eficacia de dicho método.

## **2.5. Identificación de las Variables**

### **2.5.1. Variable para la hipótesis general:**

**Variable Independiente**

Reestructuración del procedimiento de extracción que emplea la mina Yauricocha.

**Variables Dependientes**

Incremento de la eficacia del método SubLevel Caving.

**2.5.2. Variable para la hipótesis específico**

**Para la hipótesis a.**

Variable independiente

Evaluación de las mallas de extracción del método de minado

Variable dependiente

Aumento de la eficiencia del método Sub Level Caving.

**Para la hipótesis b.**

Variable independiente

Valorizar los recursos minerales para diferentes ritmos de explotación.

Variable dependiente

Aumento de la eficiencia del método Sub Level Caving

## 2.6. Definición operacional de variables e indicadores

**Tabla 3.** Operacionalización de Variables

| <i>Definición Conceptual</i>           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <i>Definición Operacional</i>                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <i>Subdimensiones</i>                                                                                                                                | <i>Indicadores</i>                                                                                                                                                                                       |
| Método de explotación Sub Level Caving | El desarrollo de la presente tesis aplico el método analítico, siendo la investigación de carácter descriptivo-explicativo. La tesis fue experimental para la cual se observó los resultados de la evaluación técnica y económica de la mecanización del método de minado Sub Level Caving, tajo Esperanza nivel 1020 de la unidad minera Yauricocha de la sierra Metals Inc. | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Geología</li> <li>✓ Geomécanica</li> <li>✓ Parámetros de diseño operacional del método de minado</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Modelo geológico, leyes de mineral, ensamble mineralógico, etc.</li> <li>✓ RMR, GSI y RQD.</li> <li>✓ Programa de avances, preparación y explotación</li> </ul> |
| Análisis de la mecanización            | La metodología para la recolección y procesamiento de información fue la revisión documentaría y el acopio de datos correspondiente al tajo Esperanza, nivel 1020 de la unidad minera Yauricocha. Para concluir que la mecanización del método de minado Sub Level Caving, tajo Esperanza, nivel 1020 permitirá mejorar la productividad operacional en el ciclo de minado.   | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Operacional</li> <li>✓ Económico</li> </ul>                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Plan de Producción, opex (costos de capital).</li> <li>✓ Evaluación Económica</li> </ul>                                                                        |

*Fuente: Elaboración Propia*

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipo de investigación**

El tipo de investigación es aplicada, porque se aplicará los conocimientos de la investigación básica para solucionar el problema que se vienen presentando en la ejecución del método de explotación Sb Level Caving en la unidad minera Yauricocha

#### **3.2. Nivel de investigación**

La presente investigación utiliza el nivel explicativo porque es aquella que tiene relación causal. La presente investigación utiliza el nivel explicativo porque es aquella que tiene relación causal. Immanuel Kant, filósofo alemán, definía la causalidad como el proceso por el cual un evento o acción (causa) determina o induce otro evento o resultado (efecto), en el caso de un accidente o evento cuando ya ocurrió en forma reactiva se realiza la investigación y la causa casi siempre es actitudinal

#### **3.3. Métodos de Investigación**

El método general de la investigación es el científico, dado que su objetivo es guiar de manera metódica y organizada para interpretar sucesos reales, explorar la ruta y encontrar la respuesta al problema propuesto.

El método utilizado en el estudio es el enfoque inductivo - deductivo. Este enfoque se centra en examinar e investigar minuciosamente los parámetros técnicos económicos y poner en práctica criterios para observar los resultados obtenidos en la producción.

Los análisis de los indicadores técnicos económicos, serán útiles para establecer cómo incrementar la productividad en la explotación.

### **3.4. Diseño de Investigación**

La investigación se llevará a cabo de manera cuasi experimental y longitudinal, ya que se manipulará la variable independiente para obtener los resultados y así medir el impacto en la variable dependiente del problema. En relación al enfoque longitudinal, la recolección de datos se llevará a cabo en diversas etapas.

El estudio se realiza bajo un diseño no experimental de longitudinal (evolutivo). Se llevará a cabo durante el lapso de tres meses, se llevará a cabo un seguimiento y documentación de las variables, y durante la investigación se observarán variaciones a lo largo del tiempo. En el estudio, no se manipularán ni se intentará modificar las variables. Solo nos centramos en investigar y examinar los parámetros técnicos económicos en el funcionamiento de la minería, después evaluamos su rentabilidad de la explotación.

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población**

La población se compone de todas las actividades mineras que se encuentran en funcionamiento completo en la Compañía Minera Corona SA – Unidad Yauricocha.

### 3.5.2. Muestra

La muestra serán las tareas que se están explotando a través del método Sub Level Caving, donde se llevará a cabo toda la investigación y se recolectará toda la información requerida para el presente estudio.

## 3.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Hoy en día, la investigación científica cuenta con una variedad de métodos de recopilación de datos que se vinculan con el método y la clase de investigación a llevar a cabo.

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

Observación

Revisión bibliográfica

Recopilación de datos en campo

Manejo de Softwares

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

Software para cálculos Microsoft Excel 2010

Libros

Bibliografía de internet

PC

Tablas estadísticas

Otros

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

Realizando la validación de los datos obtenidos por los formatos de la Empresa.

| Estadísticas de fiabilidad |                |
|----------------------------|----------------|
| Alfa de Cronbach           | N de elementos |
| ,697                       | 9              |

La base de datos obtenida es confiable en un 0.697

### **3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.**

El proceso de datos se efectuó en la mina detallando el tipo de roca y la zonificación correspondiente en relación a la aplicación del método Sub level Caving, de acuerdo a la información obtenida y las consideraciones determinadas con respecto a los resultados de la Evaluación geomecánica, para validar el sostenimiento en la evaluación de mallas

Es importante precisar que el método de explotación Sub Level Caving, en este contexto se empleó el modelamiento numérico solo en las zonas representativas.

### **3.9. Tratamiento estadístico**

Las unidades experimentales a comparar son los sostenimientos ejecutados mediante el método Sub Level Caving, los cuales actúan como punto de referencia en cada región. Esto posibilita la recolección de información estadística en el proceso realizado para el mantenimiento de la explotación, adquiriendo un modelo estadístico del proceso realizado.

### **3.10. Orientación ética filosófica y epistémica**

El trabajo se llevó a cabo considerando los valores y principios del individuo, preservando la ética profesional en cada momento autorizado en la investigación. Es momento de agradecer y reconocer los beneficios de la Unidad Minera Yauricocha, que nos brindó con cada aspecto de contribución y respaldo para finalizar este trabajo.

## **CAPITULO IV**

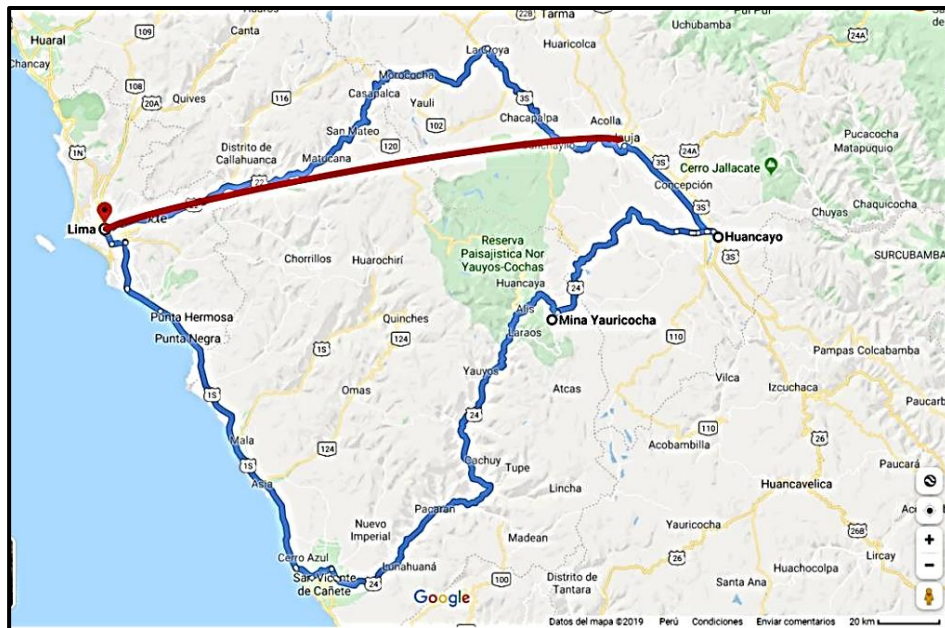
### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

##### **Ubicación**

La mina Yauricocha se encuentra políticamente situada en Alis, un distrito de la provincia de Yauyos y del departamento de Lima, a cerca de 12 km. a 60 kilómetros de distancia y hacia el oeste de la divisoria continental. al sur de la estación Pachacayo del ferrocarril. Ubicada en la parte alta de la cordillera Occidental Andina, muy próxima a la línea divisoria continental y en las fuentes de uno de los afluentes del río Cañete, que desemboca en el Océano Pacífico. El área minera está situada a una altura media de 4.600 metros sobre el nivel del mar.

**Figura 19. Lugar de la Unidad Minera**



### **Accesibilidad**

Es posible llegar a la mina Yauricocha por carretera, tomando el camino Lima - Huancayo - Yauricocha, que tiene una longitud de 420 kilómetros. El trayecto es asfaltado hasta Chupaca.

Desde ese punto hasta la mina Yauricocha, el camino está asfaltado. Otra opción es tomar la Panamericana Sur desde Lima hasta Cañete y Yauricocha, siguiendo el valle del río Cañete a lo largo de 370 km. La carretera está pavimentada desde Lima hasta Pacarán, y de Pacarán a la mina Yauricocha es una vía afirmada

## **4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados**

### **4.2.1. Evaluación de la situación del método Sub Level Caving en la Unidad Yauricocha**

El examen de la situación antes de la optimizar del método de minado sub level caving en la unidad Yauricocha es la siguiente:

**Tabla 4. Análisis situacional SLC - Yauricocha**

| DESCRIPCION                            | SUB LEVEL CAVING |
|----------------------------------------|------------------|
| Productividad SLC                      | 35 Tn/Tarea      |
| Recuperación                           | 90 %             |
| Dilución                               | 20 %             |
| Seguridad – Índice de accidentabilidad | 3.6 %            |
| Costos Explotación SLC                 | 8.56 \$/Tn       |
| <b>Perforación</b>                     |                  |
| Ratio de perforación                   | 2.5 Tn/Mts       |
| Costo de perforación                   | 6.153 \$/Tn.     |
| <b>Voladura</b>                        |                  |
| Ratio de Voladura                      | 0.35 Kg/Tn       |
| Costo de voladura                      | 1.45 \$/Tn.      |

#### **4.2.2. Enfoque metodológico para la perforación y voladura de taladros largos**

En este contexto se tendrá en cuenta los parámetros iniciales del cuerpo Esperanza - Tajo 6950 – Nv. 970 – Piso 8, esto nos servirá para desarrollar un diseño adecuado de la mala de perforación y voladura de taladros largos. Los cuales son los siguientes parámetros:

##### **Tipo de yacimiento – Cuerpo Esperanza.**

Este cuerpo está ubicado en una lengua de caliza entre el stock intrusivo Mascota y el France Chert, en el extremo N de la zona mineralizada de la mina de Yauricocha.

Ha sido reconocido desde superficie hasta por debajo del nivel 920 existen evidencias de su extensión en profundidad por perforaciones ejecutado en el año 2016.

Este cuerpo estrechamente asociado al stock intrusivo en los niveles superiores es de forma tubular muy irregular que tiende a decrecer hacia el nivel 870. Así también, su mineralización varía en sentido vertical, presentando en la parte superior mineralización de Cu-Pb y Zn gradando a Cu en profundidad.

Razón por lo que este cuerpo fue seleccionado para poder realizar un tajo piloto y optimizar el método sub level caving mecanizado.

Las concesiones es 100% propiedad de Sociedad Minera Corona S.A.

### **Calidad del macizo rocoso - Cuerpo Esperanza.**

En termino de calificación de Bienaski (1989) las calizas de la roca de caja en esperanza son de calidad “Regular” con una calidad del macizo rocoso (RMR) desde 41-60, y en la zona mineralizada se observa una calidad de macizo rocoso que varían generalmente de “Muy Malas” con una calidad del macizo rocoso (RMR) que varía desde 0-20 y también “Mala” con una calidad de macizo rocoso de 21\_40. Todas estas clasificaciones se hicieron empleando pruebas INSITU en el Nv. 970 – Piso 8 y Piso 16 – Cuerpo Esperanza.

### **Equipo de perforación de taladros largos.**

El equipo que se usa para la perforación de Taladros Largos es un Micro jumbo electrohidráulico, con brazo pendular que permite realizar movimientos precisos y suaves para la perforación de taladros paralelos y en abanico.

Viga long hole serie 2500 con 2 stinger y mordaza hidráulica. Equipado con perforadora Montabert HC 50 (14 kW), incluye clinómetro digital para medir los ángulos de perforación. Full 360°, 1.44m de cobertura horizontal paralela; 15 m de longitud de perforación máxima, diámetros de 64 mm y rimado de 102 mm.

### **Aplicaciones:**

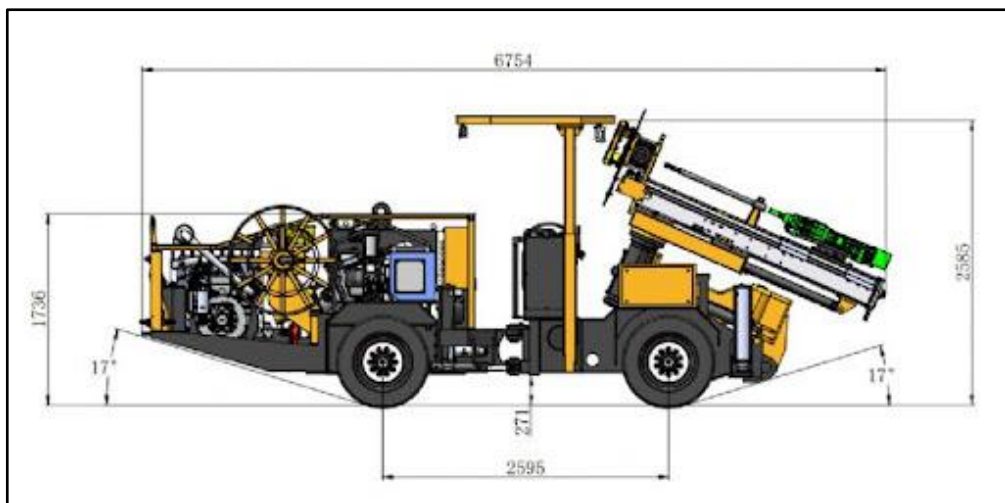
- Explotación por sub niveles, banqueo.
- Hundimiento por subniveles (Sub Level Caving).
- VCR y taladros de cable bolting.

**Figura 20.** *Equipo de perforación de taladros largos.*



Estos equipos se adaptan a las secciones de 3.5 m x 3.5 m., que tiene los subniveles (Ventanas) para la explotación.

**Figura 21.** *Dimensiones de equipo de perforación*



### **Accesorios y explosivos en la explotación de SLC.**

#### **a. Accesorios**

##### **✓ Fanel.**

Es un accesorio de voladura con un sistema eficaz, con características mejoradas en la tracción y abrasión, haciéndolo apropiado para todas las aplicaciones de la minería superficial,

subterránea y obras civiles; logrando de esta manera una alta eficiencia, seguridad e incrementando la productividad.

Está formado por los siguientes componentes:

- **Fulminante de retardo:** Consiste de un Fulminante N° 12 que contiene en su interior un explosivo primario muy sensible, uno secundario de alto poder explosivo y un elemento de retardo de acuerdo a su número de serie, que permite detonarlo a diferentes intervalos de tiempo. Para ello se ofrece al mercado dos escalas: período corto y período largo. (MS y LP). Lo cual en la unidad de acumulación Yauricocha usamos los de periodo largo.
- **Manguera Fanel o tubo de choque:** Fabricado con materiales termoplásticos de alta resistencia mecánica, la cual en su interior está uniformemente cubierto por una sustancia reactiva que al ser activada conduce una onda de choque cuya presión y temperatura son suficientes para iniciar al fulminante de retardo. Para el período corto la Manguera Fanel es de color rojo o naranja. (MS). Para el período largo la Manguera Fanel es de color amarillo. (LP).
- **Etiqueta:** Indica el número de serie y el tiempo de retardo en milisegundos o segundos. Adicionalmente, tenemos un código de barras que permite la trazabilidad del producto.
- **Conector plástico tipo “J”:** Es un bloque plástico especialmente diseñado para facilitar la conexión y asegurar el contacto entre la Manguera Fanel y el Cordón detonante.

Adicionalmente, el color del conector plástico permite identificar el período de tiempo de retardo del FANEL, así tenemos:

Para el período corto el conector plástico tipo “J” es de color rojo. Para el período largo el conector plástico tipo “J” es de color azul.

**Tabla 5.** *Tiempo de retardo de Fanel*

| Periodo Largo |            |
|---------------|------------|
| N° de Serie   | TDR (seg.) |
| 1             | 0,5        |
| 2             | 1,0        |
| 3             | 1,5        |
| 4             | 2,0        |
| 5             | 2,5        |
| 6             | 3,0        |
| 7             | 3,5        |
| 8             | 4,0        |
| 9             | 4,5        |
| 10            | 5,0        |
| 11            | 5,6        |
| 12            | 6,2        |
| 13            | 6,8        |
| 14            | 7,4        |
| 15            | 8,0        |
| 16            | 8,6        |

✓ **Carmex.**

Es un sistema de iniciación seguro y eficiente para efectuar voladuras en minería superficial y subterránea. Es ensamblado por personal especializado, mediante el uso, garantizando con ello la hermeticidad del Fulminante – Mecha de Seguridad – Conector.

✓ **Mecha rápida.**

Es un componente del sistema tradicional de iniciación de voladuras, compuesto por una masa pirotécnica, dos alambres y una cobertura exterior de material plástico.

**Figura 22.** Características técnicas de la Mecha Rápida

|                                   | UNIDAD | MECHA RÁPIDA Z-18 |
|-----------------------------------|--------|-------------------|
| Color de la Mecha Rápida          | --     | Rojo              |
| Material de la cobertura exterior | --     | Plástico          |
| Tiempo de combustión a.n.m.       | s/m    | 35 ± 5            |
| Diámetro externo                  | mm     | 2 ± 0,3           |
| Peso total                        | g/m    | Min. 6,0          |

**b. Explosivos.**

✓ **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.

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

**Figura 23. Características técnicas del Explosivo (Emulsión)**

|                                           | UNIDAD            | EMULNOR<br>500 | EMULNOR<br>1000 | EMULNOR<br>3000 | EMULNOR<br>5000 |
|-------------------------------------------|-------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Densidad relativa                         | g/cm <sup>3</sup> | 0,90 ±0,15     | 1,13 ±0,1       | 1,14 ±0,1       | 1,16 ±0,1       |
| Velocidad de detonación confinado (*)     | m/s               | 4 400 ±300     | 5 800 ±300      | 5 700 ±300      | 5 500 ±300      |
| Velocidad de detonación sin confinar (**) | m/s               | 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              | 952            | 920             | 880             | 870             |
| Potencia relativa en peso (***)           | %                 | 70             | 87              | 102             | 112             |
| Potencia relativa en volumen (***)        | %                 | 77             | 120             | 142             | 159             |
| Sensibilidad al Fulminante                | —                 | N° 8           | N° 8            | N° 8            | N° 8            |
| Resistencia al agua                       | —                 | Excelente      | Excelente       | Excelente       | Excelente       |
| Categoría de humos                        | —                 | Clase 1        | Clase 1         | Clase 1         | Clase 1         |

#### ✓ **Cordón detonante.**

Es un accesorio de voladura, que posee características como son alta velocidad de detonación, facilidad de manipuleo y seguridad. Está formado por un núcleo de pentrita (PETN), el cual está recubierto con fibras sintéticas y forrado con un material plástico. En el caso de los cordones reforzados, se utiliza adicionalmente hilos y resinas parafinadas para dotar al producto de una mayor resistencia a la abrasión y tracción.

**Pentacord 3P.-** Es un Cordón Detonante de bajo gramaje desarrollado para iniciar al Fanel, Mininel y para voladuras secundarias, con una velocidad de detonación de 6800 m/s.

### **4.2.3. Diseño de perforación usando modelos matemáticos**

#### **Aplicación de los modelos matemáticos.**

- **Modelo Matemático de Languores.**

El Diseño de Perforación según Langefors, uno de los más destacados especialistas suecos que sugirió que la determinación de burden se basa en muchos factores además del diámetro del taladro, como la potencia relativa

del explosivo, el grado de compactación, una constante de la roca, su grado de fracturamiento, por lo que propuso el siguiente modelo:

$$B_{max} = \frac{D}{33} \sqrt{\frac{\delta re \cdot RWS}{C.F. \left(\frac{S}{B}\right)}}$$

**Donde:**

Bmax = Burden máximo (mts.).

D = Diámetro del taladro (mm).

δre = Densidad del explosivo (gr/cm3).

RWS = Potencia relativa por peso del Explosivo.

C = Constante de roca.

F = Factor de fijación.

S/B = Factor de Espaciamiento/Burden.

**Tabla 6.** Constante de roca (C)

| Constante de roca |                   |
|-------------------|-------------------|
| Dureza de la Roca | Constante de Roca |
| Suave             | 0.47              |
| Intermedia        | 0.47              |
| Dura              | 0.47              |

**Tabla 7.** Factor de Fijación (F)

| FACTOR DE FIJACION |        |
|--------------------|--------|
| FORMA              | FACTOR |
| Vertical           | 1      |
| Inclinado (3:1)    | 0.9    |
| Inclinado (2:1)    | 0.85   |

Teniendo los datos y la fórmula para el cálculo de burden de taladros largos hallamos el burden practico; en lo cual se realizó los resultados para tres calidades de macizo rocoso lo cual se muestra en el siguiente cuadro:

**Tabla 8.** Datos para cálculo de Burden

| Descripción |                                        | Macizo Rcoso RMR 0-20 | Macizo Rcoso RMR 21-40 | Macizo Rcoso RMR 41-60 |
|-------------|----------------------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| <b>D</b>    | Diámetro de Perforación (mm)           | 64                    | 64                     | 64                     |
| <b>δre</b>  | Densidad de Carga (gr/cm3)             | 1.13                  | 1.13                   | 1.13                   |
| <b>RWS</b>  | Potencia relativa en peo del explosivo | 1.02                  | 1.02                   | 1.02                   |
| <b>C</b>    | Constante de roca                      | 0.47                  | 0.47                   | 0.47                   |
| <b>F</b>    | Factor de fijación                     | 0.9                   | 0.9                    | 0.9                    |
| <b>S/B</b>  | Relación entre espaciamiento y burden  | 1.7                   | 1.5                    | 1.3                    |

Resultado de burden Teórico es el siguiente para las diferentes calidades de macizo rocoso que encontramos en el cuerpo Esperanza.

**Tabla 9.** Burden Teórico

| Dureza de Roca         | Burden Teórico |
|------------------------|----------------|
| Macizo Rcoso RMR 0-20  | 1.23           |
| Macizo Rcoso RMR 21-40 | 1.31           |
| Macizo Rcoso RMR 41-60 | 1.40           |

Con este resultado que nos muestra en el cuadro anterior calculamos el burden practico con la siguiente formula:

$$B = B_{max} - (2xD) - (0.02XL)$$

**Donde:**

B = Burden (mts.).

Bmax = Burden máximo (mts.).

D = Diámetro del taladro (mm).

L = Longitud del Taladro (m).

El resultado del burden practico se muestran en el siguiente cuadro

para las diferentes durezas de roca

- **Modelo matemático de C.J. Konya.**

Basada en las teorías del Dr. R. Ash determina el Burden en base a la relación entre el diámetro de la carga explosiva y la densidad, tanto del explosivo como de la roca, con el siguiente modelo matemático:

$$B = 3.15 \times De \cdot \left( \sqrt[3]{\frac{\delta e}{\delta r}} \right)$$

**Donde:**

B = Burden (Pies).

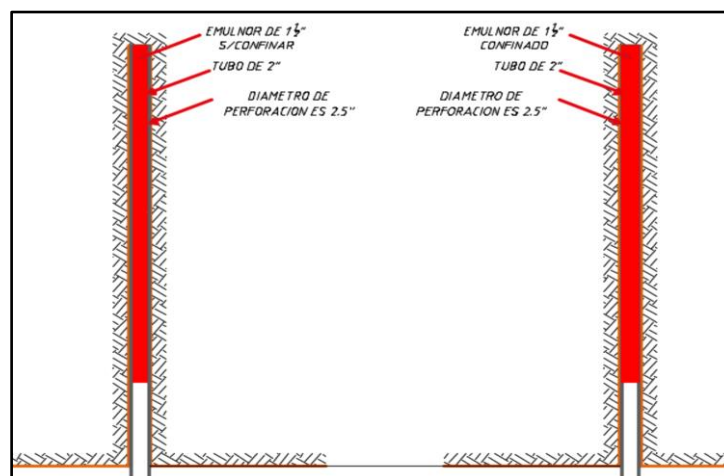
De = Diámetro del explosivo (pulg.).

$\delta e$  = Densidad del explosivo (gr/cm<sup>3</sup>).

$\delta r$  = Densidad de la roca (gr/cm<sup>3</sup>).

**Diámetro del explosivo:** se tendrá en cuenta el siguiente esquema para el diámetro del explosivo.

**Figura 24.** Esquema de Carguío de taladros



El diámetro real del explosivo es de 1 ½” lo cual cuando se carga en el taladro ya no tiene el mismo diámetro sino aumenta hasta el diámetro de la

tubería que es de 2". Por lo tanto, se usamos para el cálculo el diámetro de la tubería.

Se realizó los resultados para tres calidades de macizo rocoso lo cual se muestra en el siguiente cuadro:

**Tabla 10.** Especificaciones para el cálculo de burden

|    | Descripción            | Unidad             | Macizo Rcoso RMR 0-20 | Macizo Rcoso RMR 21-40 | Macizo Rcoso RMR 41-60 |
|----|------------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| De | Diámetro del explosivo | Pulg.              | 1.5                   | 1.5                    | 1.5                    |
| de | Densidad del explosivo | gr/cm <sup>3</sup> | 1.13                  | 1.13                   | 1.13                   |
| de | Densidad de la roca    | gr/cm <sup>3</sup> | 2.5                   | 3.1                    | 3.65                   |

Resultado de burden es el siguiente para las diferentes calidades de macizo rocoso que encontramos en el cuerpo Esperanza

**Tabla 11.** Resultados del Burden

|               | Macizo Rcoso RMR 0-20 | Macizo Rcoso RMR 21-40 | Macizo Rcoso RMR 41-60 |
|---------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| Burden (Pies) | 3.63                  | 3.38                   | 3.20                   |
| Burden (mts.) | 1.1                   | 1.0                    | 1.0                    |

**\*Espaciamento (S):** Para taladros de salida secuencial por fila:

$$S = \frac{H + 7B}{8}; H < 4B$$

$$S = 1.4; H > 4B$$

**Tabla 12.** Resultados de espaciamento

|              | Macizo Rcoso RMR 0-20 | Macizo Rcoso RMR 21-40 | Macizo Rcoso RMR 41-60 |
|--------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| Espaciamento | 1.706                 | 1.452                  | 1.360                  |

#### 4.2.4. Comparación de resultados usando los modelos matemáticos

Según los resultados obtenidos diseñaremos la malla de perforación para las diferentes clasificaciones del macizo rocoso que se encuentran en los tajos Sub Level

Caving en la unidad de acumulación Yauricocha, lo cual mostraremos en el siguiente cuadro:

**Tabla 13.** *Comparación de Resultados de Espaciamiento*

| Modelo matemático         | Macizo Rocoso<br>RMR 0-20 | Macizo Rocoso<br>RMR 21-40 | Macizo Rocoso<br>RMR 41-60 |
|---------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Langefors - Espaciamiento | 1.70                      | 1.50                       | 1.30                       |
| Konya - Espaciamiento     | 1.706                     | 1.452                      | 1.360                      |

De estos resultados que observamos en el cuadro anterior concluimos que por ambos modelos matemáticos los resultados son similares por lo tanto usaremos los siguientes parámetros para cada calidad de roca:

- **RMR 0-20:** Para este tipo de roca que tiene un RMR de 0 a 20 usaremos un espaciamiento de 1.70 m.
- **RMR 21-40:** Para este tipo de roca que tiene un RMR de 21 a 40 usaremos un burden de 1.50 m.
- **RMR 41-60:** Para este tipo de roca que tiene un RMR de 41 a 60 usaremos un burden de 1.30 m., lo cual en aquí tendremos una variación donde usaremos un burden de 1.2 y 1.5 debido al número de taladros.

El burden para los diferentes diseños será 1 metro debido a que en el cuerpo esperanza el sostenimiento para labores de explotación se realiza con cimbras y estas esta distanciadas cada metro.

#### 4.2.5. Diseño de mallas de perforación

**Figura 25.** *Diseño de Malla de Perforación Espaciamiento (S) = 1.2 m. 1.5 m.*

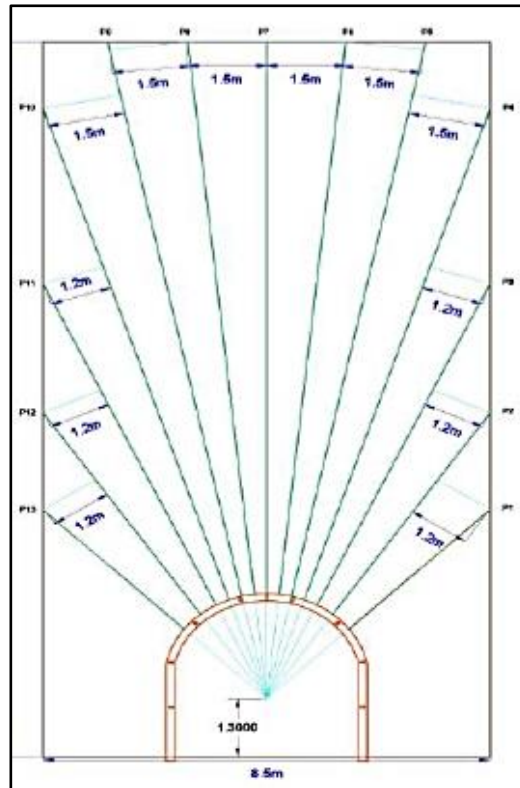


**Figura 26.** *Diseño de Malla de Perforación Espaciamiento (S)= 1.5 m.*

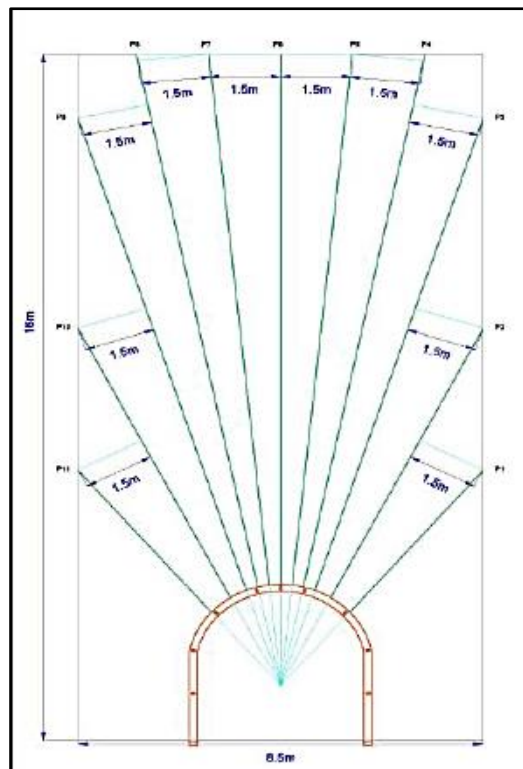
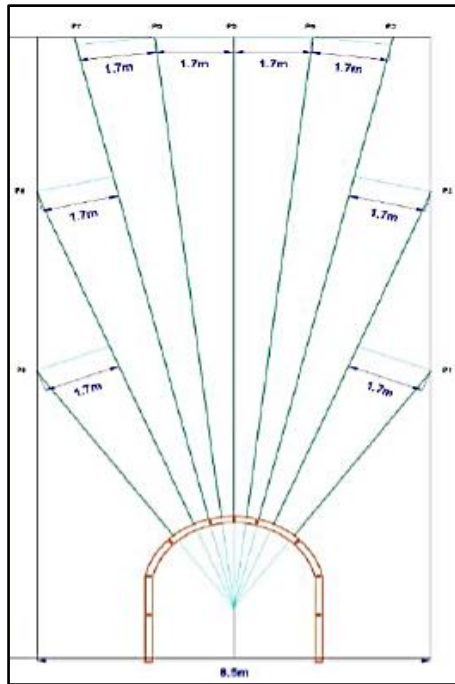


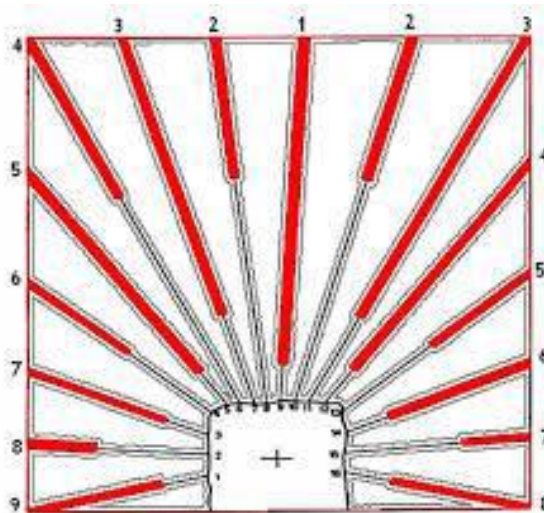
**Figura 27.** *Diseño de Malla de Perforación Espaciamiento (S)= 1.7 m*



#### 4.2.6. Diseño de carguío de taladros largos

En este aspecto el diseño de carguío de voladura de taladros largos se realizó operativamente esto debido al tipo de macizo rocoso que se tiene en cada mina, lo cual en el siguiente grafico se presenta un esquema de carguío de los taladros según un porcentaje adecuado y esto es simétrico.

**Figura 28.** *Diseño de carguío Sistemático*



En este trabajo de investigación se tomó en cuenta un carguío de 85%, 48% y 75% sucesivamente a partir del taladro central.

#### 4.2.7. Diseño de carguío de taladros largos

**Figura 29.** Diseño de Malla de Carguío Espaciamiento (S)= 1.2 – 1.5 m.

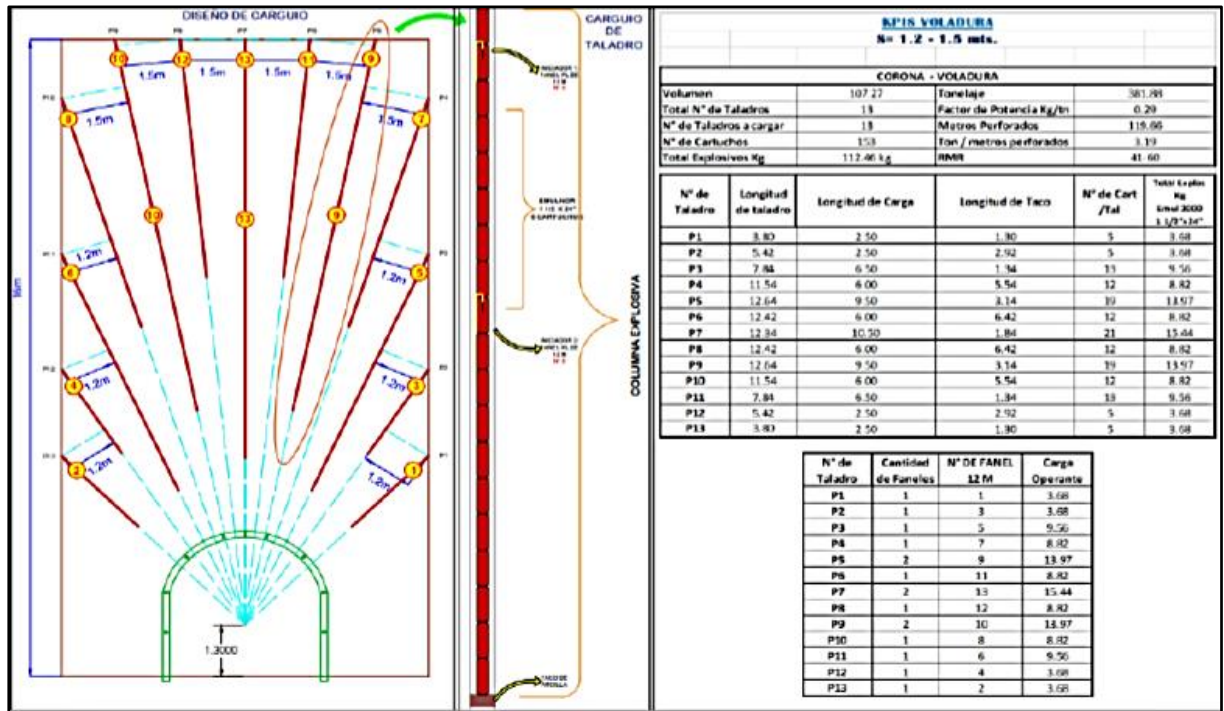


**Figura 30.** Diseño de Malla de Carguío Espaciamiento (S)= 1.5 m.

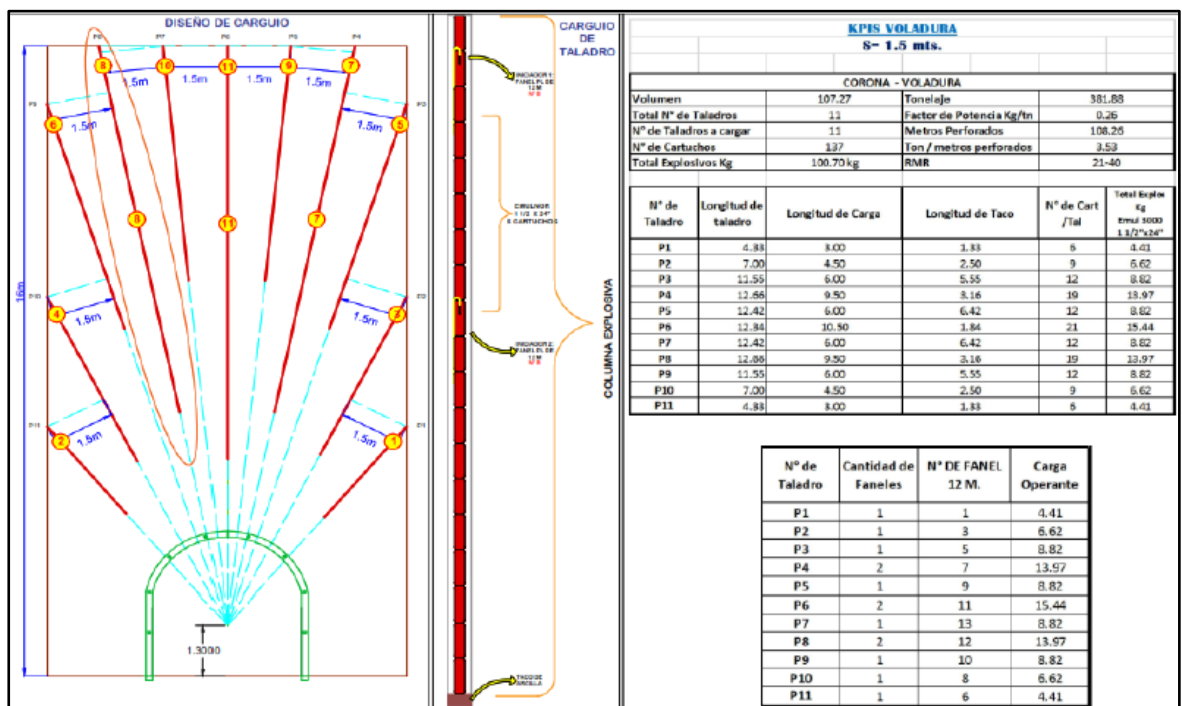
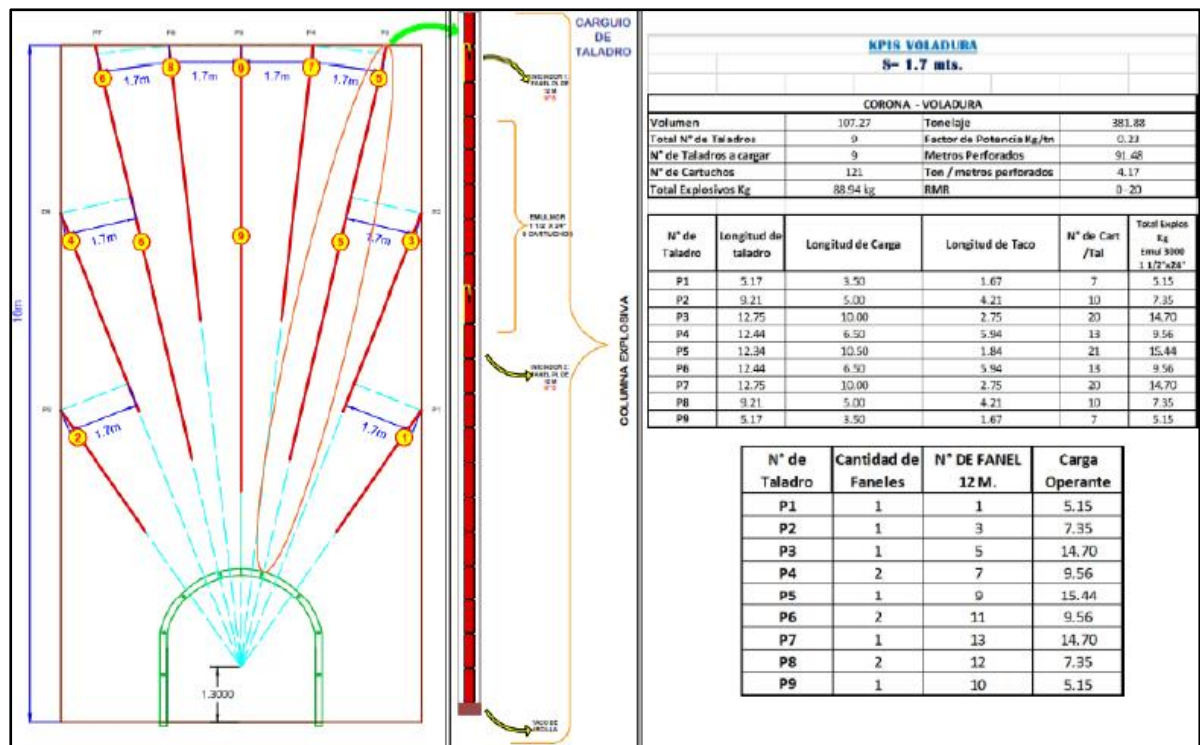


**Figura 31. Diseño de Malla de Carguío Espaciamiento (S)= 1.7 m.**



#### 4.2.8. Simulación con software Jk Simblast de los diseños de taladros largos

- **Diseño de espaciamiento de 1.2 m. – 1.5 m.**

Se observa en el siguiente grafico el diseño simulado en el software JK SIMBLAST 2D RING lo cual analiza la distribución de carga y la distribución de tiempos según los retardos que usamos en este tipo de voladura. A continuación, mostramos los resultados de diseño de Espaciamiento = 1.2 m. – 1.5 m.

**Figura 32.** Distribución de carga Espaciamiento = 1.2 m. – 1.5 m.

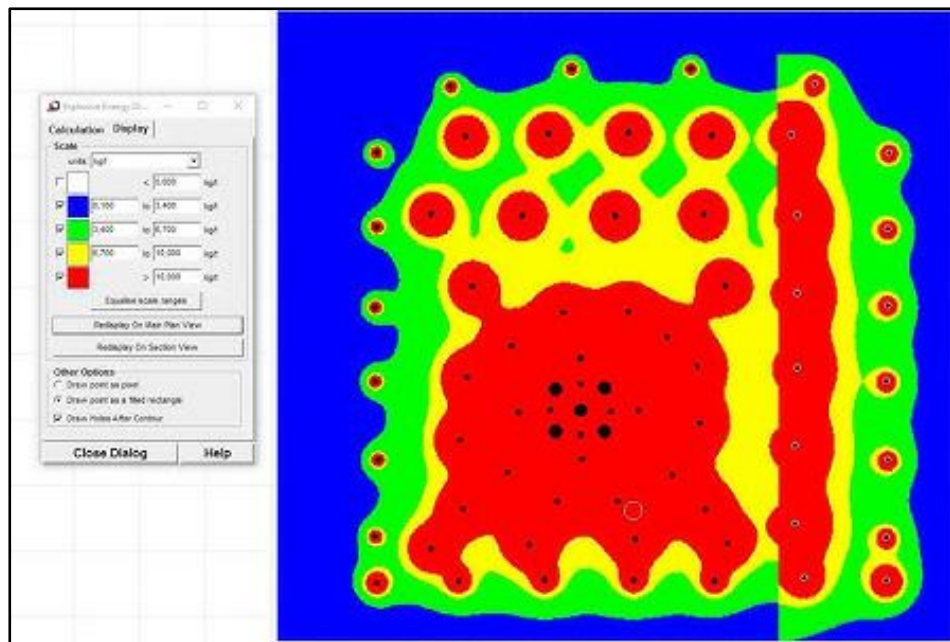


**Figura 33.** Distribución de tiempo según retardos Espaciamiento (S) = 1.2 - 1.5 m.

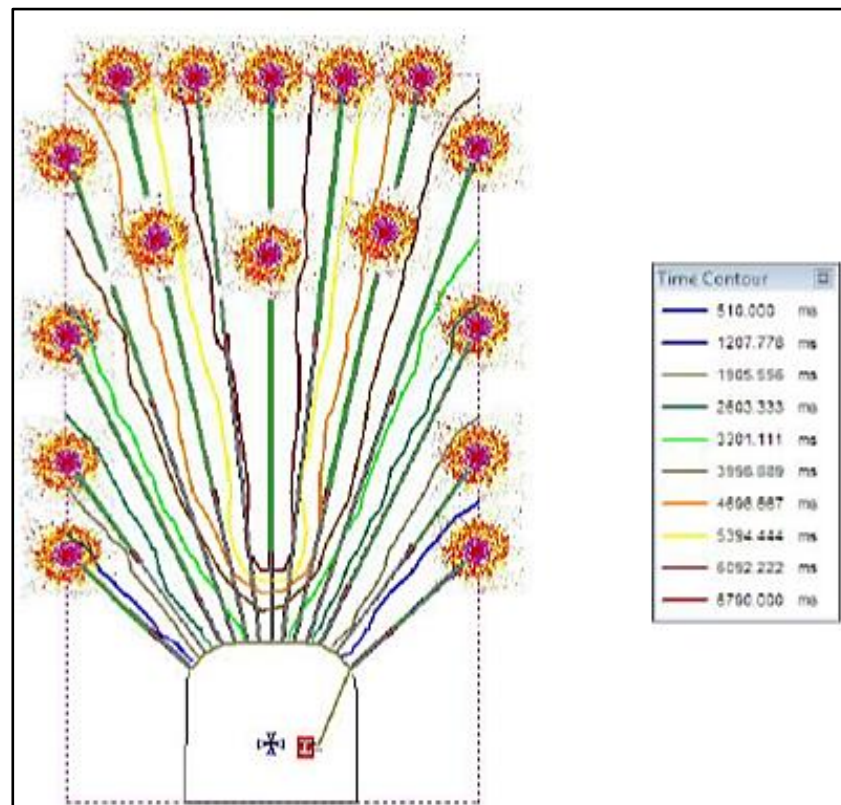
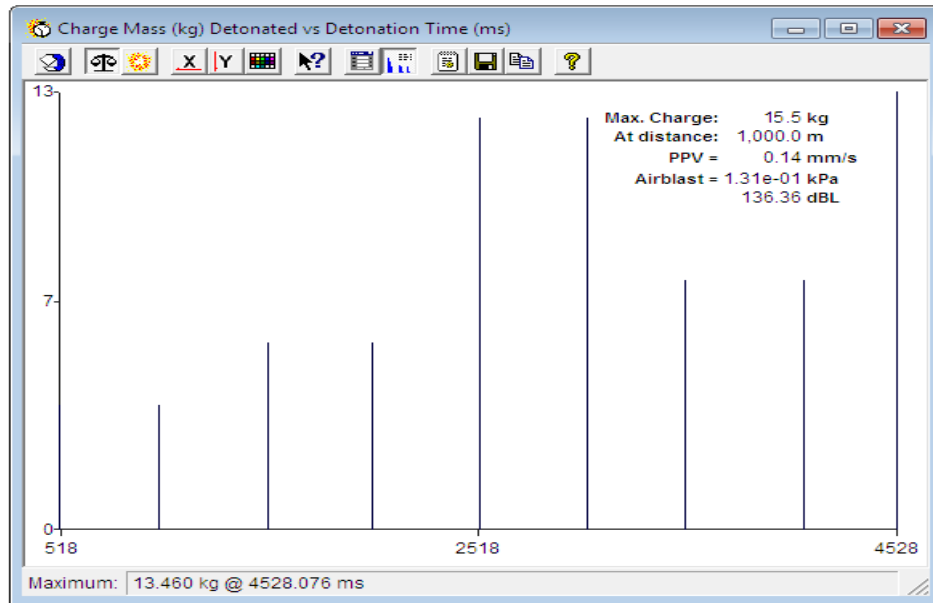


**Figura 34.** Orga Operante de Espaciamiento (S) = 1.2 m. – 1.5 m.



- **Diseño de espaciamento de 1.5 m.**

Se observa en el siguiente grafico el diseño simulado en el software JK SIMBLAST 2D RING lo cual analiza la distribución de carga y la distribución de tiempos según los retardos que usamos en este tipo de voladura. A continuación, mostramos los resultados de diseño de Espaciamento = 1.5 m.

**Figura 35.** Distribución de carga Espaciamiento ( $S$ )=1.5 m.

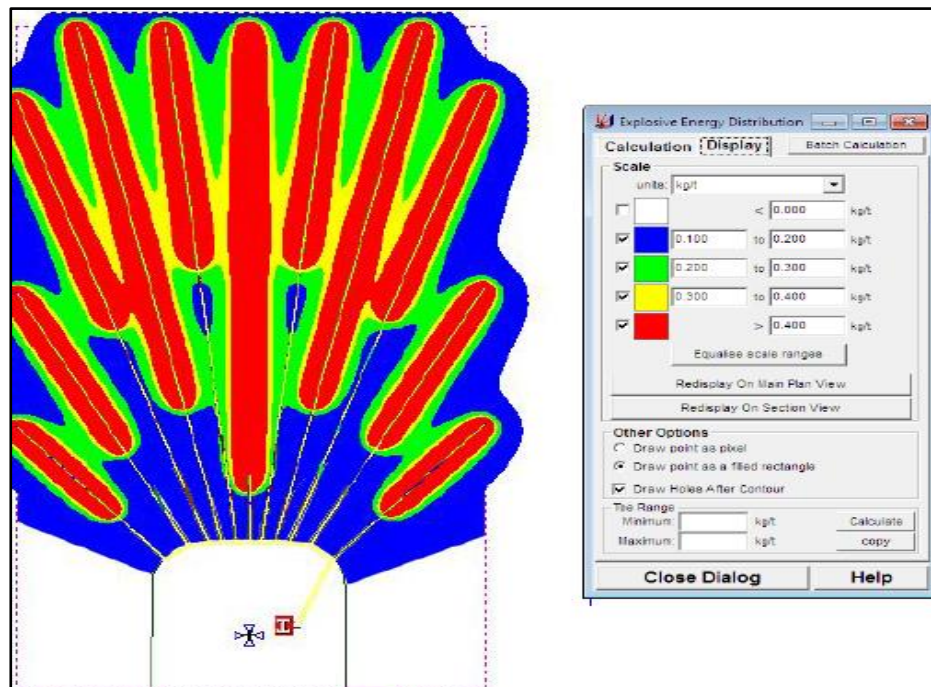


**Figura 36.** Distribución de tiempo según retardos Espaciamiento ( $S$ ) = 1.5 m.

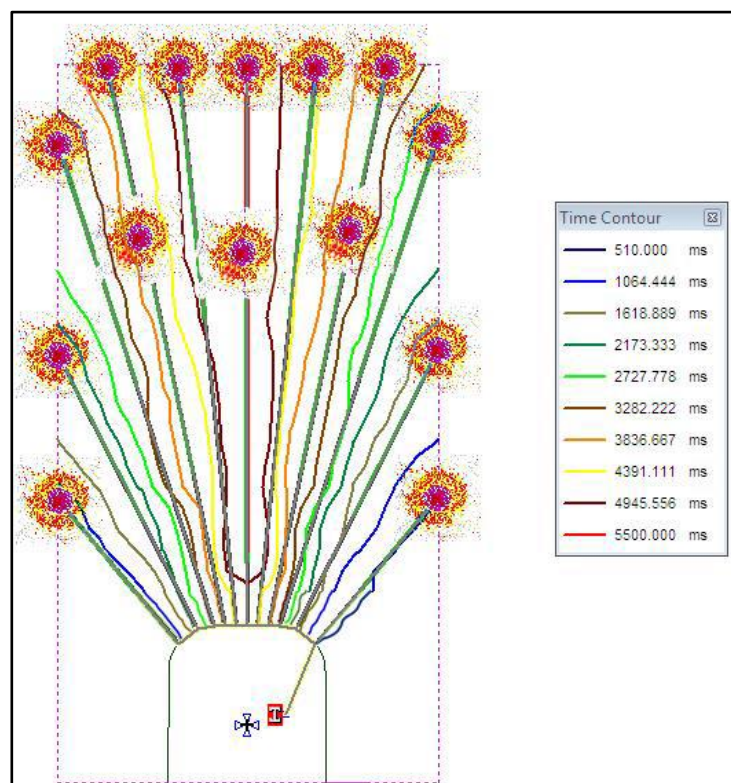
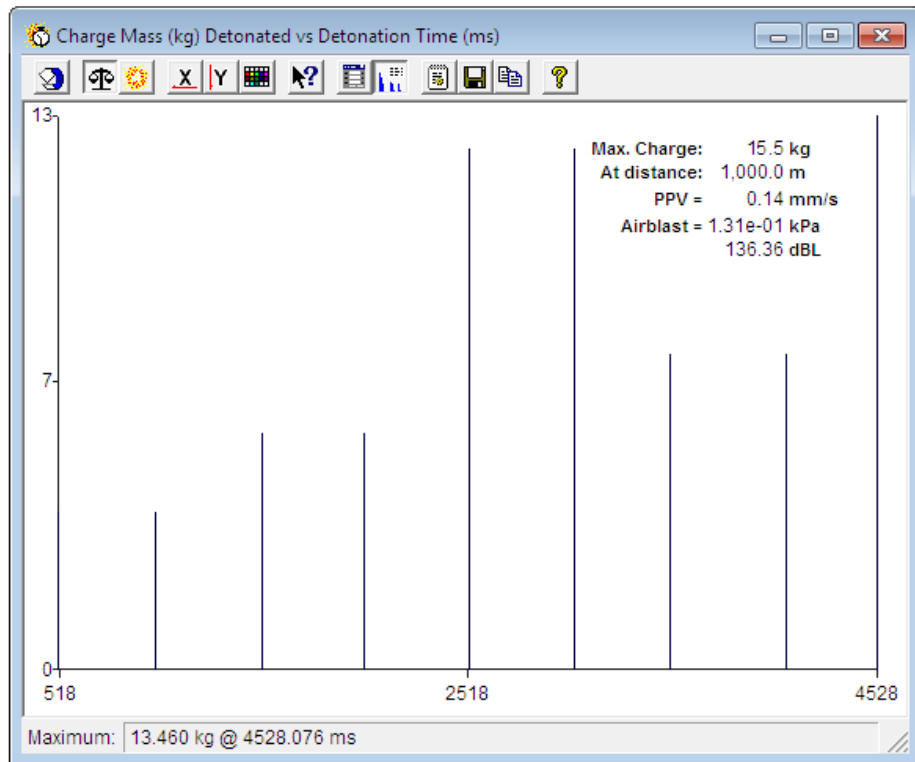


**Figura 37. Carga Operante de Espaciamiento (S) = 1.5 m.**



- **Diseño de espaciamiento de 1.7 m.**

Se observa en el siguiente grafico el diseño simulado en el software JK SIMBLAST 2D RING lo cual analiza la distribución de carga y la distribución de tiempos según los retardos que usamos en este tipo de voladura. A continuación, mostramos los resultados de diseño de Espaciamiento = 1.7 m.

**Figura 38.** *Distribución de carga Espaciamiento (S) =1.7 m.*

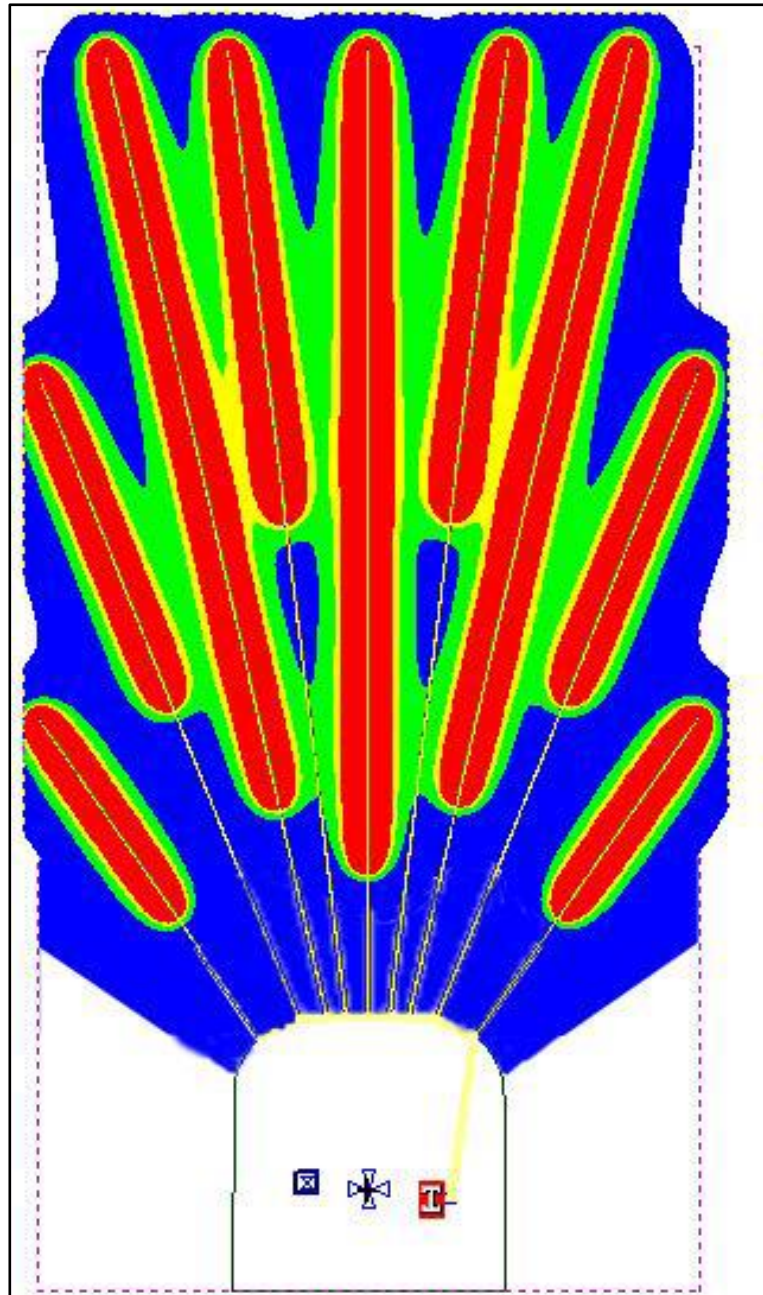


**Figura 39.** Distribución de tiempo según retardos Espaciamiento ( $S$ ) = 1.7 m.

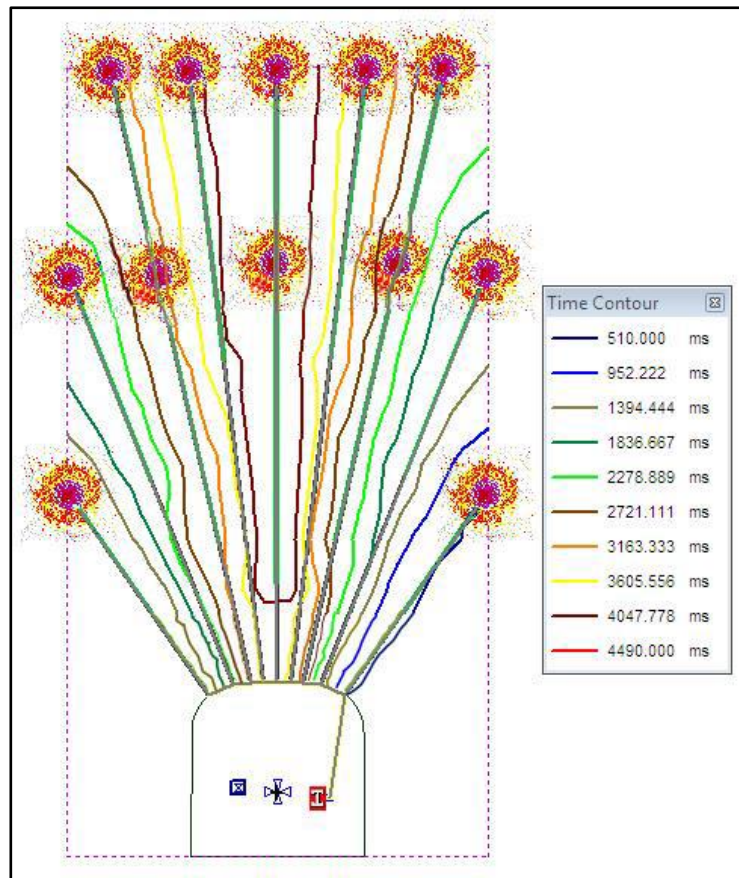
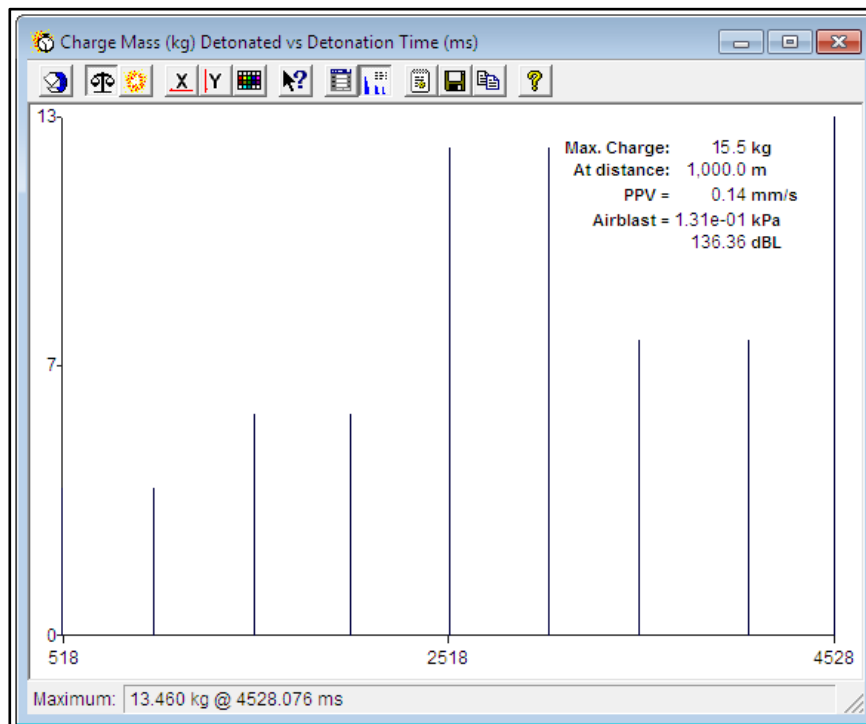


**Figura 40.** Carga Operante de Espaciamiento ( $S$ ) = 1.7 m.



#### 4.2.9. Resultados de la investigación

Habiendo obtenido un análisis situacional del método de minado Sub Level Caving en la unidad de acumulación Yauricocha, se realiza un el análisis después de la investigación obteniendo resultados favorables en costos de minado por el método de explotación Sub Level Caving.

#### **Resultados de la optimización de los índices de seguridad, dilución, productividad, recuperación, costos operativos y tasas de perforación.**

El método de minado Sub level caving se usa en un 70% de los tajos en la mina Yauricocha lo cual se obtuvo resultados favorables con el estudio que se realizó, a continuación, se detalla en el siguiente cuadro:

**Tabla 14.** Resultados después de la investigación

| DESCRIPCIÓN                            | SUB LEVEL CAVING |
|----------------------------------------|------------------|
| Productividad SLC                      | 40 Tn/Tarea      |
| Recuperación                           | 95 %             |
| Dilución                               | 14 %             |
| Seguridad – Índice de accidentabilidad | 1.7 %            |
| Costos Explotación SLC                 | 6.28 \$/Tn       |
| <b>Perforación</b>                     |                  |
| Ratio de perforación                   | 3.15 Tn/Mts      |
| Costo de perforación                   | 4.950 \$/Tn.     |
| <b>Voladura</b>                        |                  |
| Ratio de Voladura                      | 0.29 Kg/Tn       |
| Costo de voladura                      | 1.156 \$/Tn.     |

Donde se observa que la productividad en los tajos de Sub Level Caving aumentan en 5 Tn/Tarea, significando un incremento de un 14.2 %; la recuperación aumenta en un 5% debido a la perforación de taladros largos; la dilución disminuye en un 6 % por la voladura controlada que se realiza a través de los diseños de perforación y voladura de taladros largos.

La seguridad se midió por el índice de accidentabilidad lo cual disminuyó en un 1.9 % de la situación que se encontraba antes de la investigación, esto debido a que el diseño de perforación y voladura no afecta a la cimbra.

También se mejoró los costos operativos del método Sub Level Caving aumentando la productividad y disminuyendo los costos de perforación y voladura de taladros largos. A continuación, se muestra el costo de explotación del método sub level Caving en la unidad de acumulación Yauricocha

**Tabla 15. Costo de explotación Método Sub Level Caving**

| <b>Explotación Met.<br/>Sub Level Caving<br/>(\$ TN)</b> | feb-23 | feb-23 | mar-23 | abr-23 | may-23 | Jun-23 | Jul-23 | ago-23 |
|----------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                                          | 7.86   | 7.89   | 7.70   | 7.10   | 6.80   | 6.48   | 6.40   | 6.35   |

Como se muestra en la tabla N° 15 el costo de explotación del método sub level Caving antes de la investigación era 7.86 \$/Tn, lo cual durante la optimización del método el costo de explotación del mismo método llego a ser 6.35 \$/Tn, por lo tanto, disminuyo a un 21.1 % del costo inicial.

#### **Resultados de una adecuada malla de perforación de taladros largos**

La perforación de taladros largos es muy importante para una buena voladura debido a los parámetros y a la distribución de los taladros se desarrolló diseños que nos ayudaron a reducir los metros perforados debido a la calidad del macizo rocoso que se fue encontrando.

**Tabla 16. Ratio de perforación – Tajo 6950 Esperanza**

| <b>Mes</b>            | ene-23   | feb-23   | mar-23   | abr-23    | may-23    | Jun-23    | Jul-23    | ago-23    |
|-----------------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Prod. Esperanza (Tn)  | 7,840.70 | 4,848.00 | 7,538.40 | 10,527.00 | 10,335.00 | 10,582.00 | 10,487.40 | 10,520.62 |
| Metros perforados (m) | 3409     | 2020     | 2792     | 3300      | 3240      | 3256      | 3178      | 3298      |
| Ratio (Tn/m)          | 2.3      | 2.4      | 2.7      | 3.19      | 3.19      | 3.25      | 3.30      | 3.19      |

Se observa en la tabla N° 16, que la producción en el tajo 6950 – Esperanza a partir del mes de abril aumento un 20 %, debido a incremento de metros perforados y por ende se consiguió una ratio considerable de perforación.

**Tabla 17. Costo - Ratio de perforación**

| <b>Mes</b>                | ene-23 | feb-23 | mar-23 | abr-23 | may-23 | Jun-23 | Jul-23 | ago-23 |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Costo de Perforación TL   | 6.15   | 6.05   | 5.95   | 5.55   | 5.10   | 5.20   | 5.25   | 5.00   |
| Ratio de perforac. (Tn/m) | 2.30   | 2.40   | 2.70   | 3.19   | 3.19   | 3.25   | 3.30   | 3.19   |

En tabla N° 17 observamos un costo situacional antes de la investigación de 6.15 \$/Tn, lo cual después de la reducción de metros perforados se llegó a un costo de perforación de 4.95 \$/Tn, lo cual disminuyó en 1.20 \$/Tn que es equivalente a 20.5%. En esto también se tiene que considerar una perforación inicial de 115 mts y se optimizó a 102 mts siendo esto un 12.31% que se disminuyó

#### **4.3. Prueba de Hipótesis**

##### **Hipótesis (H1)**

Al optimizar con el método Sub Level Caving en las mallas de extracción se logró la mejora de los índices de productividad, dilución, recuperación, seguridad, ratios de perforación y costos operativos en la unidad Yauricocha.

- **H0:** Con un buen diseño de malla de extracción, se logra optimizar del método Sub Level Caving en la unidad minera Yauricocha.
- **H1:** Reducirán los costos en la unidad minera Yauricocha.

#### **4.4. Discusión de Resultados**

De los Resultados obtenido luego de haber realizado la investigación correspondiente y basándonos en los antecedentes recopilados, cálculos matemáticos para diseños de mallas de perforación y voladura de taladros largos, los resultados positivos se obtuvieron después de 150 perforaciones y voladuras durante aproximadamente tres meses con eso se precisa lo siguiente:

1. Respecto a la hipótesis general: Que el método de minado Sub Level Caving en la unidad de acumulación Yauricocha se logró optimizar de su análisis inicial de 7.86 \$/Tn, llegando a ser 6.28 \$/Tn después de la investigación, por lo tanto, disminuyo a un 21.1 % del costo inicial, también se mejoró índices de productividad, seguridad, dilución, recuperación y ratios de perforación y voladura debido al

mejor control que se obtuvo en el método sub level caving en coherencia con la hipótesis establecida e información recabada.

2. Sobre la primera hipótesis específica: El nuevo diseño de malla de perforación de taladros largos en abanico nos ayuda a reducir costos en perforación en promedio a un 20.5% del diseño anterior, se obtuvo este resultado después de 15 diseños de mallas de perforación en coherencia con la hipótesis establecida e información recabada.
3. Sobre la segunda hipótesis específica: El diseño propuesto de carguío de taladros largos nos disminuye el factor de potencia dando una mejor distribución y fragmentación de mineral, esto reduce hasta un 30.5%, se obtuvo este resultado después de 20 diseños de carguío en coherencia con la hipótesis establecida e información recabada.

En tanto al elipsoide de hundimiento (Flujo de mineral) en el método sub level caving en la unidad de acumulación Yauricocha se genera en ambos lados de un draw point esto debido al sostenimiento con cimbras, lo cual se logró mejorar con una mejor perforación y voladura de bolsillos.

El RMR del macizo rocoso que se encuentra en la zona de mineralización de la mina Yauricocha es de 0-40 que es tipo de roca muy mala a mala y en el contacto con roca intrusiva es de 41 – 60 que el tipo de roca es regular.

## CONCLUSIONES

1. Para conseguir la máxima recuperación del mineral, disminuir la dilución y alcanzar eficiencia en el minado, resulta esencial tener información adecuada sobre las características del flujo gravitacional para el mineral fragmentado. Igualmente, para el planeamiento y diseño. Para obtener información detallada de la mina, son necesarios análisis experimentales y analíticos.
2. En la unidad de acumulación Yauricocha, que tiene propiedades geométricas y geomecánicas beneficiosas, se mejora la producción de mineral en el procedimiento de minado sub nivel caving bajo las mismas condiciones geoeconómicas.
3. Se desarrolló que la secuencia óptima no es la que se muestra en el primer diseño de malla, donde las secuencias van de derecha a izquierda. En realidad, corresponde comenzar con los taladros laterales y después seguir con los centrales utilizando ventiladores de periodo largo LP, siendo estos últimos los que dan mejores resultados del número 11 al 16. Esto se debe a que el intervalo del tiempo permite evitar interferencias con el flujo del siguiente número.
4. La media de la carga operante es de 15,5 kg de explosivos por retardo en el diseño del carguío

## **RECOMENDACIONES**

- Es crucial llevar a cabo un control adecuado de los factores geomecánicos y geológicos. Cada taladro debe ser revisado para identificar su desviación; si esta se encuentra fuera del rango permitido, será necesario realizar perforaciones adicionales, eliminando los Perforadoras desviadas.
- Se sugiere estudiar la posibilidad de aumentar el ancho de las ventanas, porque el sistema de sustentación por cimbras comienza a ceder debido al peso que ejercen los pisos superiores y, por lo tanto, eleva la posibilidad de seguir trabajando en las ventanas que están más distantes.
- A fin de evitar sucesos no deseados, incidentes y accidentes, es necesario evaluar regularmente los puestos de trabajo y el talento humano en toda empresa. De esta manera se asegura un ambiente de trabajo óptimo que fomenta la motivación del personal y con este método, la productividad del Sub Level Caving se incrementa

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carhuamaca Merge, J.** Método de Minado Sub Level Caving (SLC) para mejorar recuperacion mineral - Mina Azulcocha - Concepción Industrial S.A.C. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Junín, Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo: UNCP, 2018, 112 pp.
- Bustamante Romero, A.** Prueba piloto en la ejecución del slot del método de explotación sub level caving en compañía minera Volcan – unidad Carahuacra. (Título de Ingeniero de Minas). Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2019, 101 pp.
- Gonzales Vergara, M. y Velasquez Taibe, J.** Explotación de un cuerpo mineralizado por subniveles con taladros largos en la unidad de producción Uchucchagua. (Título de Ingeniero de Minas). Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica, 2012, 124 pp.
- Chambi Medina, G.** Evaluación técnica y económica de los métodos de explotación corte y relleno mecanizado y sublevel Stopping en la Unidad Minera Pallancata para una óptima selección de minado. (Título de Ingeniero de Minas). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2013, 120 pp.
- Carlos Jiménez, I. y Rivera Cruz, E.** Ventajas económicas de la implementación del método de explotación sublevel stopping en vetas angostas frente al método de explotación convencional de corte y relleno ascendente en la zona codiciada de la mina Morococha. (Título de Ingeniero de Minas). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, 2016, 104 pp.
- Giletti, J.** Geophys. 1966. [En línea]. Journal of Geophysical Research. <https://doi.org/10.1029/JZ071i016p04029>. 7. Corona, Sociedad Minera. Plan de minado. 2019. [En línea] 03 de 2020. [Citado el: 14 de 05 de 2020]

<http://www.mineracorona.com.pe/wpcontent/uploads/2020/03/Memoria-Anual-SMC-2019.pdf>

**Chucuya, Alan.** Recuperación de puentes de mineral para incremento de la producción y ley de cabeza en Compañía Minera Kolpa S.A. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Puno: Universidad Nacional Del Altiplano, 2018.

**Cutti, Grover.** Recuperación de puentes de mineral mediante taladros largos en los tajeos de explotación en la mina Huanzala - CIA. Minera Santa Luisa S.A. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Ayacucho: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, 2013.

**Ramos, Rosel.** Recuperación de pilar de tajo antiguo de nivel 400 intermedio de la sección I empleando el método de subniveles con taladros largos en la empresa minera Los Quenuales S.A. - U.M. Yauliyacu. T Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo: Universidad Continental, 2020.

**Bedoya, Vladimir.** *Geología local y regional*. Yauricocha [e línea] 2017 [Fecha de consulta: 17 de noviembre del 2022] Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/527907111/A-4-1-Geologia-Yauricocha-Local-y-Regional-2017#>.

**Geoservice Ingeniería S.A.C.,** *Diseño de los depósitos de residuos domésticos, peligrosos, relleno sanitario y área de compostaje*. Yauricocha: s.n., 2017.

**Departamento de geomecánica, sociedad minera Corona S.A.** *Evaluación Geomecánica Mina Yauricocha*. Yauricocha , 2022.

## **ANEXOS**

## Instrumentos de Recolección de Datos

### Análisis situacional SLC - Yauricocha

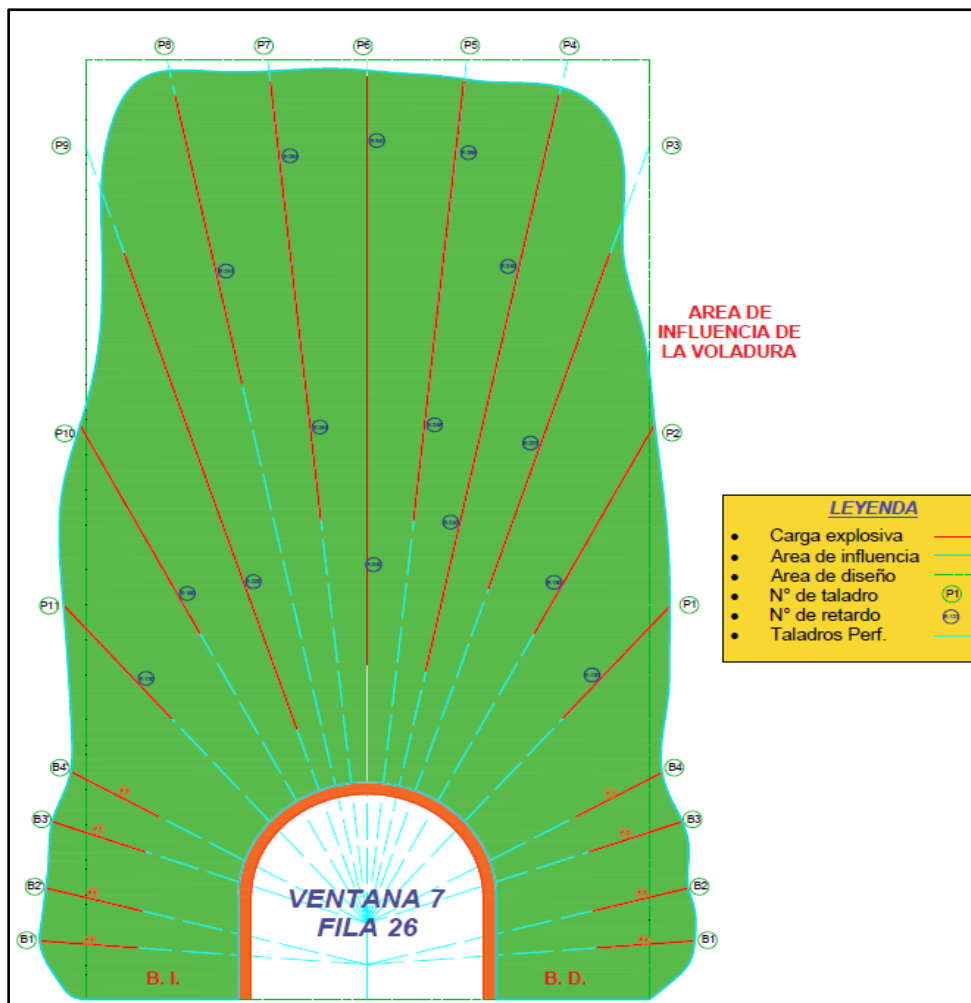
| DESCRIPCION                            | SUB LEVEL CAVING |
|----------------------------------------|------------------|
| Productividad SLC                      | 35 Tn/Tarea      |
| Recuperación                           | 90 %             |
| Dilución                               | 20 %             |
| Seguridad – Índice de accidentabilidad | 3.6 %            |
| Costos Explotación SLC                 | 8.56 \$/Tn       |
| <b>Perforación</b>                     |                  |
| Ratio de perforación                   | 2.5 Tn/Mts       |
| Costo de perforación                   | 6.153 \$/Tn.     |
| <b>Voladura</b>                        |                  |
| Ratio de Voladura                      | 0.35 Kg/Tn       |
| Costo de voladura                      | 1.45 \$/Tn.      |

### Características técnicas del Explosivo (Emulsión)

|                                           | UNIDAD            | EMULNOR<br>500 | EMULNOR<br>1000 | EMULNOR<br>3000 | EMULNOR<br>5000 |
|-------------------------------------------|-------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Densidad relativa                         | g/cm <sup>3</sup> | 0,90 ±0,15     | 1,13 ±0,1       | 1,14 ±0,1       | 1,16 ±0,1       |
| Velocidad de detonación confinado (*)     | m/s               | 4 400 ±300     | 5 800 ±300      | 5 700 ±300      | 5 500 ±300      |
| Velocidad de detonación sin confinar (**) | m/s               | 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              | 952            | 920             | 880             | 870             |
| Potencia relativa en peso (***)           | %                 | 70             | 87              | 102             | 112             |
| Potencia relativa en volumen (***)        | %                 | 77             | 120             | 142             | 159             |
| Sensibilidad al Fulminante                | —                 | N° 8           | N° 8            | N° 8            | N° 8            |
| Resistencia al agua                       | —                 | Excelente      | Excelente       | Excelente       | Excelente       |
| Categoría de humos                        | —                 | Clase 1        | Clase 1         | Clase 1         | Clase 1         |

### Datos para cálculo de Burden

| Descripción |                                         | Macizo<br>Rocoso<br>RMR 0-20 | Macizo<br>Rocoso<br>RMR 21-40 | Macizo<br>Rocoso<br>RMR 41-60 |
|-------------|-----------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>D</b>    | Diámetro de Perforación (mm)            | 64                           | 64                            | 64                            |
| <b>δre</b>  | Densidad de Carga (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.13                         | 1.13                          | 1.13                          |
| <b>RWS</b>  | Potencia relativa en peso del explosivo | 1.02                         | 1.02                          | 1.02                          |
| <b>C</b>    | Constante de roca                       | 0.47                         | 0.47                          | 0.47                          |
| <b>F</b>    | Factor de fijación                      | 0.9                          | 0.9                           | 0.9                           |
| <b>S/B</b>  | Relación entre espaciamiento y burden   | 1.7                          | 1.5                           | 1.3                           |



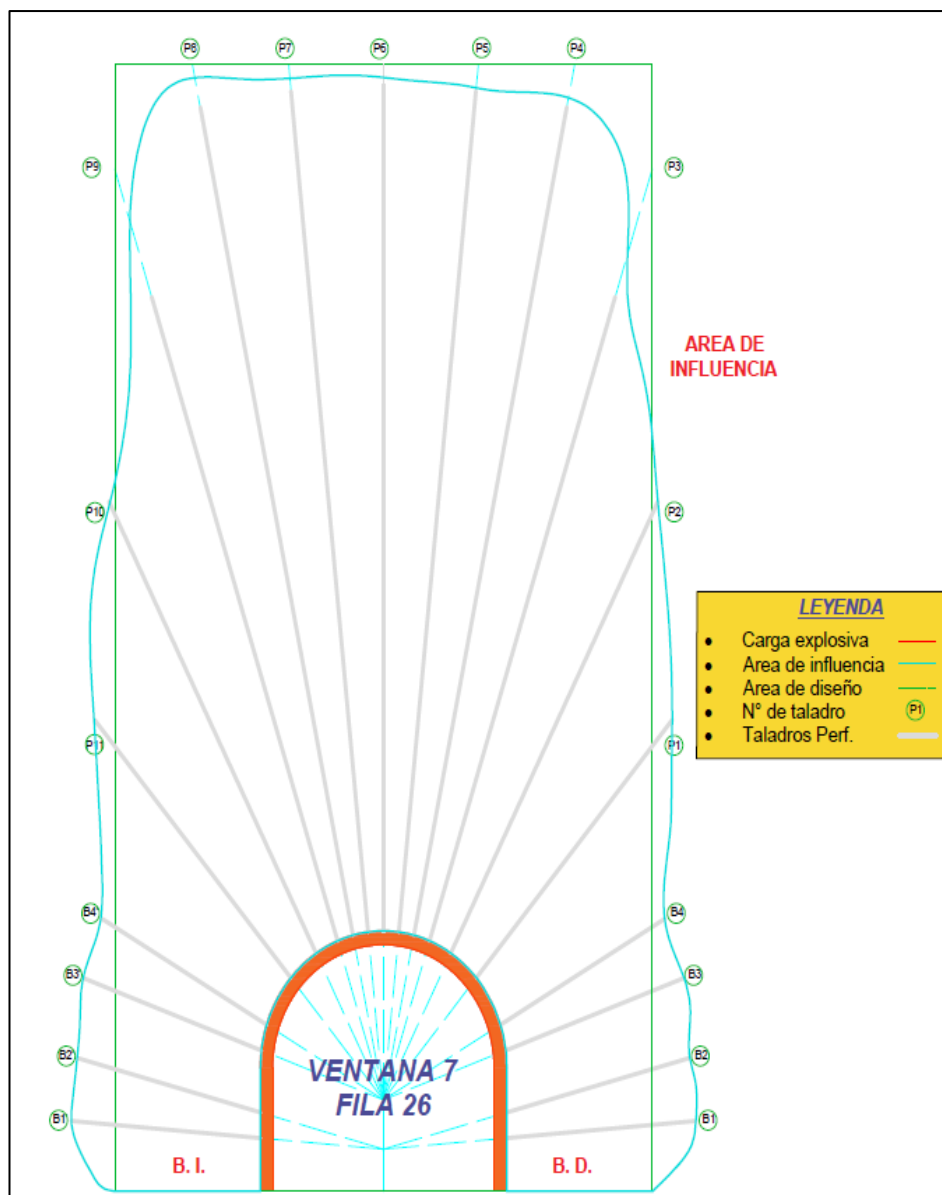
## **MAILLA DE VOLADURA**

**ESPERANZA NV. 970 P-8**

| VENTANA N°              |       | 7            | F-26   |  |
|-------------------------|-------|--------------|--------|--|
| BOLSILLOS - PERFORACIÓN |       |              |        |  |
| Burden                  | 1.5   | Ancho Block  | 8.5    |  |
| Espaciamento            | 1     | Altura Block | 16     |  |
| Diámetro                | 64 mm | Volumen Roto | 136.00 |  |
| Long. De Barra          | 1.2   | TMS          | 484.16 |  |

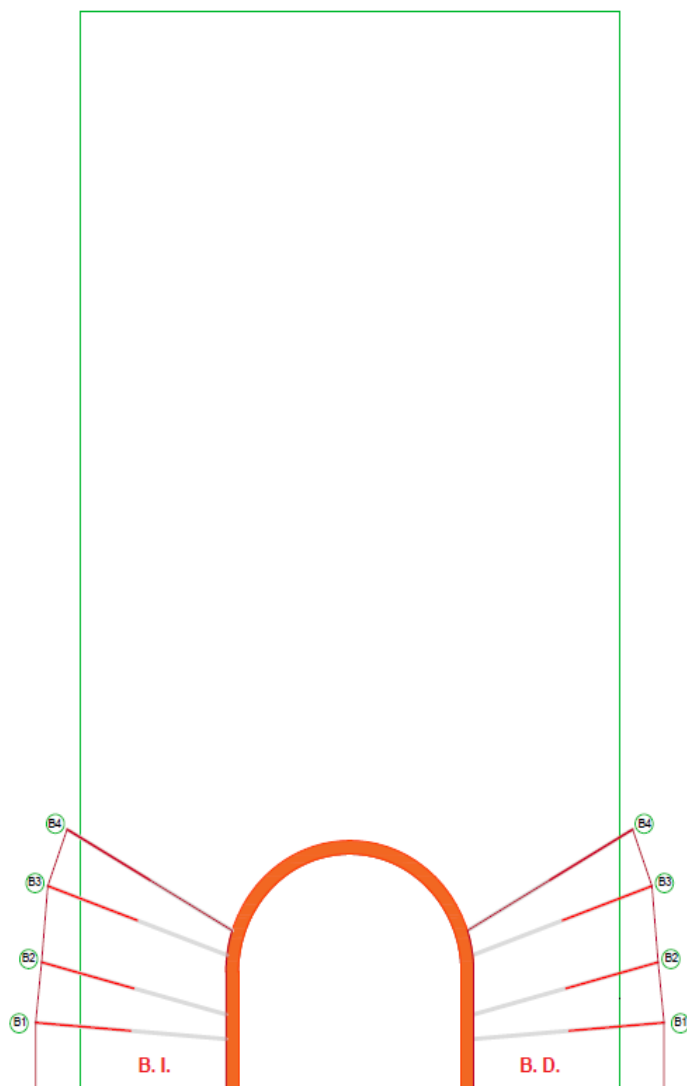
| VOLADURA                |           |                          |        |
|-------------------------|-----------|--------------------------|--------|
| Total N° de Taladros    | 19        | Factor de Potencia Kg/tm | 0.26   |
| N° de Taladros a cargar | 19        | Metros Perforados        | 127.20 |
| N° de Cartuchos         | 318       | Ton f metros perforados  | 3.81   |
| Total Explosivos Kg     | 124.34 kg | RMR                      | 21-30  |

| N° de Taladro |     | Longitud de Carga | Longitud de Taco | N° de Cart /Tal | Total Explos Kg Emul 3000 1 1/2"x12" |
|---------------|-----|-------------------|------------------|-----------------|--------------------------------------|
| T. CORONA     | P1  | 2.50              | 2.30             | 10              | 3.91                                 |
|               | P2  | 4.00              | 3.20             | 16              | 6.26                                 |
|               | P3  | 6.00              | 3.60             | 24              | 9.38                                 |
|               | P4  | 10.00             | 2.00             | 40              | 15.64                                |
|               | P5  | 7.50              | 4.50             | 30              | 11.73                                |
|               | P6  | 10.00             | 2.00             | 40              | 15.64                                |
|               | P7  | 7.50              | 4.50             | 30              | 11.73                                |
|               | P8  | 5.00              | 7.00             | 20              | 7.82                                 |
|               | P9  | 8.50              | 1.10             | 34              | 13.29                                |
|               | P10 | 4.00              | 3.20             | 16              | 6.26                                 |
|               | P11 | 2.50              | 2.30             | 10              | 3.91                                 |
| BOLSILLOS     | B1  | 1.50              | 1.50             | 6               | 2.35                                 |
|               | B2  | 1.50              | 1.50             | 6               | 2.35                                 |
|               | B3  | 1.50              | 1.50             | 6               | 2.35                                 |
|               | B4  | 1.50              | 1.50             | 6               | 2.35                                 |
|               | B1  | 1.50              | 1.50             | 6               | 2.35                                 |
|               | B2  | 1.50              | 1.50             | 6               | 2.35                                 |
|               | B3  | 1.50              | 1.50             | 6               | 2.35                                 |
|               | B4  | 1.50              | 1.50             | 6               | 2.35                                 |

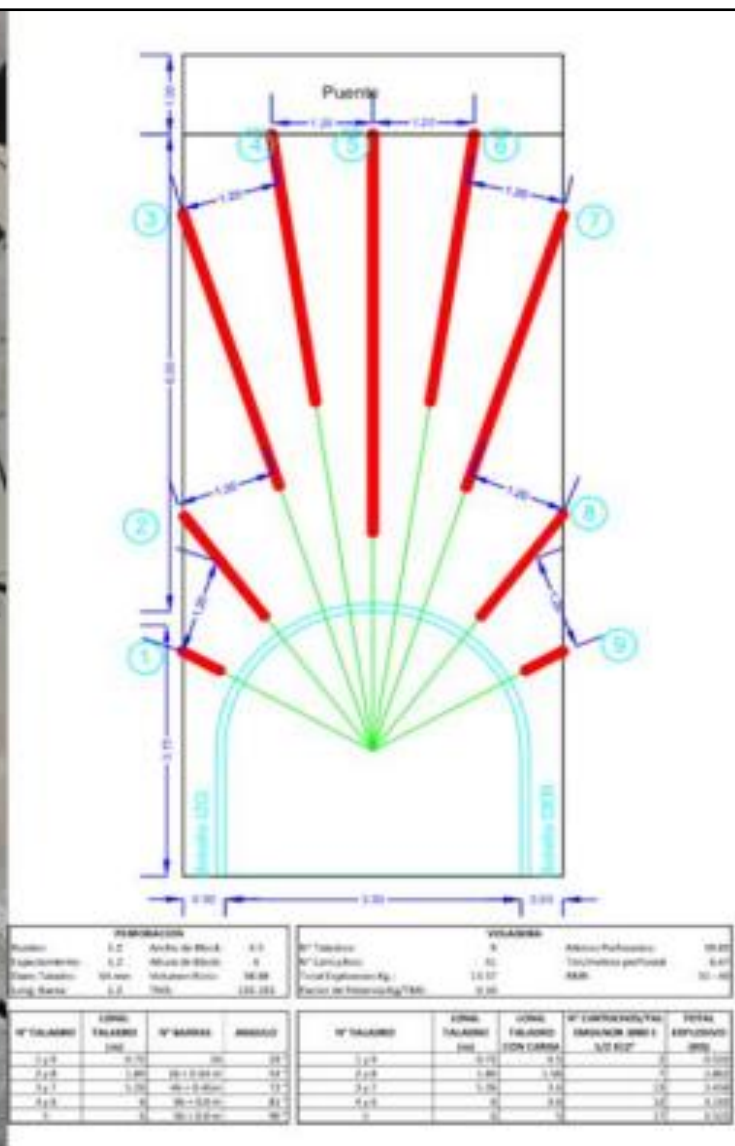


## MALLA DE PERFORACION

| ESPERANZA NV. 970 P-8 |       |              |              |
|-----------------------|-------|--------------|--------------|
| VENTANA N°            |       | 7            | F -26        |
| PERFORACIÓN           |       |              |              |
| Burden                | 1.5   | Ancho Block  | 8.5          |
| Espaciamiento         | 1     | Altura Block | 16           |
| Diámetro              | 64 mm | Volumen Roto | 136.00       |
| Long. De Barra        | 1.2   | TMS          | 484.16       |
|                       |       |              |              |
| N° de Taladro         |       | Longitud de  | N° de Barras |
| T. CORONA             | P1    | 4.80         | 4.00 b       |
|                       | P2    | 7.20         | 6.00 b       |
|                       | P3    | 9.60         | 8.00 b       |
|                       | P4    | 12.00        | 10.00 b      |
|                       | P5    | 12.00        | 10.00 b      |
|                       | P6    | 12.00        | 10.00 b      |
|                       | P7    | 12.00        | 10.00 b      |
|                       | P8    | 12.00        | 10.00 b      |
|                       | P9    | 9.60         | 8.00 b       |
|                       | P10   | 7.20         | 6.00 b       |
|                       | P11   | 4.80         | 4.00 b       |
| BOLSILLOS             | B1    | 3.00         | 2.50 b       |
|                       | B2    | 3.00         | 2.50 b       |
|                       | B3    | 3.00         | 2.50 b       |
|                       | B4    | 3.00         | 2.50 b       |
|                       | B1    | 3.00         | 2.50 b       |
|                       | B2    | 3.00         | 2.50 b       |
|                       | B3    | 3.00         | 2.50 b       |
|                       | B4    | 3.00         | 2.50 b       |



| ESPERANZA NV. 970 P-8   |    |                   |                          |                 |                                      |
|-------------------------|----|-------------------|--------------------------|-----------------|--------------------------------------|
| VENTANA N°              |    | 7                 | F-28                     |                 |                                      |
| BOLSILLOS - PERFORACIÓN |    |                   |                          |                 |                                      |
| Burden                  |    | 1.5               | Ancho Block              | 8.5             |                                      |
| Espaciamiento           |    | 1                 | Altura Block             | 16              |                                      |
| Diámetro                |    | 64 mm             | Volumen Roto             | 18.60           |                                      |
| Long. De Barra          |    | 1.2               | TMS                      | 66.22           |                                      |
|                         |    |                   |                          |                 |                                      |
| N° de Taladro           |    | Longitud de       | N° de Barras             | Ángulo          |                                      |
| BOLSILLO DERECHO        | B1 | 3.00              | 2.50 b                   | 5               |                                      |
|                         | B2 | 3.00              | 2.50 b                   | 15              |                                      |
|                         | B3 | 3.00              | 2.50 b                   | 20              |                                      |
|                         | B4 | 3.00              | 2.50 b                   | 30              |                                      |
| BOLSILLO IZQUIERDO      | B1 | 3.00              | 2.50 b                   | 175             |                                      |
|                         | B2 | 3.00              | 2.50 b                   | 165             |                                      |
|                         | B3 | 3.00              | 2.50 b                   | 160             |                                      |
|                         | B4 | 3.00              | 2.50 b                   | 150             |                                      |
|                         |    |                   |                          |                 |                                      |
| BOLSILLOS - VOLADURA    |    |                   |                          |                 |                                      |
| Total N° de Taladros    |    | 8                 | Factor de Potencia Kg/tn | 0.28            |                                      |
| N° de Taladros a cargar |    | 8                 | Metros Perforados        | 24.00           |                                      |
| N° de Cartuchos         |    | 48                | Ton / metros perforados  | 2.76            |                                      |
| Total Explosivos Kg     |    | 18.77 kg          | RMR                      | 21-30           |                                      |
|                         |    |                   |                          |                 |                                      |
| N° de Taladro           |    | Longitud de Carga | Longitud de Taco         | N° de Cart /Tal | Total Explos Kg Emul 3000 1 1/2"x12" |
| BOLSILLO DERECHO        | B1 | 1.50              | 1.50                     | 6               | 2.35                                 |
|                         | B2 | 1.50              | 1.50                     | 6               | 2.35                                 |
|                         | B3 | 1.50              | 1.50                     | 6               | 2.35                                 |
|                         | B4 | 1.50              | 1.50                     | 6               | 2.35                                 |
| BOLSILLO IZQUIERDO      | B1 | 1.50              | 1.50                     | 6               | 2.35                                 |
|                         | B2 | 1.50              | 1.50                     | 6               | 2.35                                 |
|                         | B3 | 1.50              | 1.50                     | 6               | 2.35                                 |
|                         | B4 | 1.50              | 1.50                     | 6               | 2.35                                 |



## Matriz

| Problemas                                                                                                                                                                                                    | Objetivos                                                                                                                                                                            | Hipótesis                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Problema Principal                                                                                                                                                                                           | Objetivos Principal                                                                                                                                                                  | Hipótesis Principal                                                                                                                                                                                         |
| ¿ Cuáles son los resultados de la evaluación técnica-económica del método de explotación Sub Level Caving para su mecanización, tajo Esperanza nivel 1020 – unidad minera Yauricocha de Sierra Metals Inc .? | Realizar la evaluación técnica-económica del método de explotación Sub Level Caving para su mecanización, tajo Esperanza nivel 1020 – unidad minera Yauricocha de Sierra Metals Inc. | Los resultados de la evaluación técnica-económica del método de explotación Sub Level Caving influirán en la mecanización, tajo Esperanza nivel 1020 – unidad minera Yauricocha Sociedad Minera Corona S.A. |
| Problemas Secundarios                                                                                                                                                                                        | Objetivos Específicos                                                                                                                                                                | Hipótesis Secundarios                                                                                                                                                                                       |
| 1. ¿ Cuáles son los resultados de la evaluación técnica del método de explotación Sub Level Caving para su mecanización en la Unidad Minera Yauricocha de Sierra Metals Inc ?                                | 1. Efectuar la evaluación técnica del método de explotación Sub Level Caving para su mecanización y mejorar la productividad.                                                        | 1. Los resultados de la evaluación técnica del método de explotación Sub Level Caving determinaran el grado de su mecanización e incremento de la productividad.                                            |
| 2. ¿ Cuáles son los resultados de la evaluación económica del método de explotación Sub Level Caving para su mecanización?                                                                                   | 2. Realizar la evaluación económica y determinar el programa de inversión operativa del método de explotación Sub Level Caving para su mecanización.                                 | 2. Los resultados de la evaluación económica del método de explotación Sub Level Caving harán factible la mecanización.                                                                                     |