



**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”**



**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y METALURGIA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

**TESIS:**

**IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO DE EXPLOTACIÓN SUBLEVEL  
STOPING CON TALADROS LARGOS EN EL TAJO PILOTO DEL  
NIVEL 2, DE LA MINA AREQUIPA - M - 2020**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**  
**INGENIERO DE MINAS**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. NATIVIDAD CASCA, Abelson Gadolin**

**ASESOR:**

**M. Sc. Ing. TORRES YUPANQUI, Luis Alberto**

**HUARAZ - PERÚ**

**2021**

**FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, CONDUCENTES A  
OPTAR TÍTULOS PROFESIONALES Y GRADOS ACADÉMICOS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

**1. Datos del autor:**

Apellidos y Nombres: \_\_\_\_\_

Código de alumno: \_\_\_\_\_ Teléfono: \_\_\_\_\_

E-mail: \_\_\_\_\_ D.N.I. n°: \_\_\_\_\_

*(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)*

**2. Tipo de trabajo de investigación:**

Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional

Trabajo Académico Trabajo de Investigación

Tesinas (presentadas antes de la publicación de la Nueva Ley Universitaria 30220 – 2014)

**3. Para optar el Título Profesional de:**

\_\_\_\_\_

**4. Título del trabajo de investigación:**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**5. Facultad de:** \_\_\_\_\_

**6. Escuela o Carrera:** \_\_\_\_\_

**7. Línea de Investigación (\*):** \_\_\_\_\_

**8. Sub-línea de Investigación (\*):** \_\_\_\_\_

*(\*) Según resolución de aprobación del proyecto de tesis*

**9. Asesor:**

Apellidos y nombres \_\_\_\_\_ D.N.I n°: \_\_\_\_\_

E-mail: \_\_\_\_\_ ID ORCID: \_\_\_\_\_

**10. Referencia bibliográfica:** \_\_\_\_\_

**11. Tipo de acceso al Documento:**

Acceso público\* al contenido completo.

Acceso restringido\*\* al contenido completo

*Si el autor eligió el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Santiago Antúnez de Mayolo una licencia no exclusiva, para que se pueda hacer arreglos de forma en la obra y difundirlo en el Repositorio Institucional, respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.*

En caso de que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_



## 12. Originalidad del archivo digital

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.



Firma del autor

## 13. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para las investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia Creative Commons, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica.



El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12º del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Recolector Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".

## 14. Para ser verificado por la Dirección del Repositorio Institucional

Seleccione la  
Fecha de Acto de sustentación:

Huaraz,

Firma:



Varillas William Eduardo

Asistente en Informática y Sistemas

- UNASAM -

**\*Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**\*\* Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.



**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"**

*"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"*

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS,  
GEOLOGÍA Y METALURGIA**

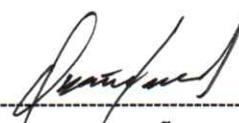


**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL**

En la ciudad de Huaraz, siendo las Diez horas con Quince minutos de la mañana (10:15 a.m.) del día Quince de Febrero del Dos mil Veintidos (15/02/2022), se reunieron los miembros del jurado Evaluador nominados según Resolución Nro. 052-2021-FIMGM/D, de fecha 19 de Noviembre del 2021, integrado por los siguientes Docentes: **Dr. Ing. JAVIER ENRIQUE SOTELO MONTES**, como **Presidente**; **Dr. Ing. JUAN ROGER QUIÑONES POMA**, como **Secretario** y el **MBA Ing. RICARDO CAYO CASTILLEJO MELGAREJO**, como **Vocal**; para la sustentación de la tesis Titulado: **"IMPLEMENTACION DEL METODO DE EXPLOTACION SUBLEVEL STOPING CON TALADROS LARGOS EN EL TAJO PILOTO DEL NIVEL 2, DE LA MINA AREQUIPA - M-2020"** presentado por el **Bachiller ABELSON GADOLIN NATIVIDAD CASCA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas, en concordancia con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo", se procedió con el acto de sustentación bajo las siguientes consideraciones, el Presidente del Jurado calificador, invitó a los docentes, alumnos y público en general a participar en este acto; luego invitó al Secretario del Jurado calificador a dar lectura de la Resolución N° 052-2021-FIMGM/D de fecha 19 de Noviembre del 2021. Acto seguido invitó al sustentante a la defensa de su tesis por un lapso de veinte minutos (20), concluida con la misma, se procedió con el rol de preguntas de parte de los miembros del Jurado Calificador, finalmente se invitó al público en general a hacer abandono del Auditorium de la FIMGM por un lapso de diez (10) minutos con el propósito de deliberar la nota del sustentante, **ACORDANDO: APROBAR CON EL CALIFICATIVO (\*)de: DIECISEIS (16)**. Siendo las Diez horas y cincuenta minutos (10:50 a.m. ) del mismo día, se dio por concluida el acto de sustentación.

En consecuencia, queda en condición de ser calificado **APTO** por el Consejo de Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia y por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" y recibir el Título de **INGENIERO DE MINAS** de conformidad con la Ley Universitaria y el Estatuto de la UNASAM.

  
-----  
**DR. Ing. JAVIER ENRIQUE SOTELO MONTES**  
**Presidente**

  
-----  
**Dr. Ing. JUAN ROGER QUIÑONES POMA**  
**Secretario**

  
-----  
**MBA Ing. RICARDO CAYO CASTILLEJO MELGAREJO**  
**Vocal**

  
-----  
**M.Sc. Ing. LUIS ALBERTO TORRES YUPANQUI**  
**Asesor**

(\*) De acuerdo con el Artículo 84º Reglamento de Grados y Títulos de la UNASAM, están deben ser calificadas con términos de: **APROBADO CON EXCELENCIA (19-20)**, **APROBADO CON DISTINCIÓN (17-18)**, **APROBADO (14-16)**, **DESAPROBADO (00-13)**.



**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"**

*"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"*

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS,  
GEOLOGÍA Y METALURGIA**



**ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS**

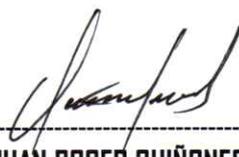
Los Miembros del Jurado, luego de evaluar la tesis titulada: **"IMPLEMENTACION DEL METODO DE EXPLOTACION SUBLEVEL STOPING CON TALADROS LARGOS EN EL TAJO PILOTO DEL NIVEL 2, DE LA MINA AREQUIPA – M- 2020"** presentado por el Bachiller ABELSON GADOLIN NATIVIDAD CASCA y sustentada el día Quince de Febrero del 2022, por Resolución Decanatural N° 052-2021-FIMGM/D, la declaramos CONFORME.

En consecuencia queda en condiciones de ser publicada.

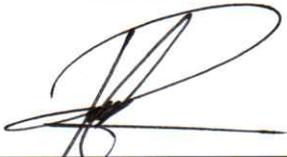
Huaraz, 15 de Febrero del 2022

  
-----  
**DR. Ing. JAVIER ENRIQUE SOTELO MONTES**

Presidente

  
-----  
**Dr. Ing. JUAN ROGER QUIÑONES POMA**

Secretario

  
-----  
**MBA Ing. RICARDO CAYO CASTILLEJO MELGAREJO**

Vocal

  
-----  
**M.Sc. Ing. LUIS ALBERTO TORRES YUPANQUI**

Asesor

## DEDICATORIA

*Dedico mi tesis en memoria a papá don Ricardo Antonio Casca Leandro, por darme ese sueño de lograr mis metas y ser profesional. Mis padres Rosa Casca Reyes y Simeón Natividad Aranibar por darme la vida y sus apoyos incondicionales para lograr este objetivo de mi vida. Y así a mis tíos: Juan De Dios, María y Julia Casca Reyes como también a mi abuelita Lucia reyes silva; quienes aportaron en este camino difícil pero provechoso hasta lograr la meta sueño cumplido.*

## AGRADECIMIENTO

Mis agradecimientos a mis familiares quienes estuvieron en esta carrera que se va lograr; al señor Aurelio Aranibar Morales y la señora Adela Simón Sabino. Quienes tuvieron la voluntad de darme aliento y su esfuerzo para lograr esta meta. Que siempre estaré agradecido.

Agradezco al docente de la escuela profesional de ingeniera de minas de la universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, por haberme compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión. Quienes me formaron un profesional con valores y responsabilidad para la sociedad y al servicio de nuestro país.

Agradezco a mi colegio José Carlos Mariátegui – Huashcao y como así a los docentes con quienes aprendí las primeras enseñanzas de mi vida las cuales me sirvieron mucho para el estudio en la universidad.

## RESUMEN

La presente tesis titulada: “Implementación del método de explotación Sublevel Stopping con Taladros Largos en el Tajo Piloto del Nivel 2, de la Mina Arequipa - M - 2020”, Tiene por objetivo general el de implementar el método de explotación Sublevel Stopping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020. Se justifica porque el incumplimiento de la producción planeado en los tajos del nivel 2 y la necesidad que impone la Gerencia General de aumentar la producción, de la mina el departamento de ingeniería mina vio por conveniente implementar el método de explotación Sublevel Stopping con taladros largos en el Tajo Piloto, interactuado necesariamente con los criterios de seguridad y rentabilidad, en la mina. Tiene por Hipótesis General: La implementación del método de explotación Sublevel Stopping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020, incrementando la producción. La metodología empleada es la del método científico y es del tipo Aplicada, El resultado más importante fue que los nuevos parámetros de diseño de malla son: Burden de 1.20 m., Espaciamiento de 1.00 m. y Factor de potencia = 3.84 Kg Anfo / Ton. La conclusión más importante fue que se implementó el método de explotación Sublevel Stopping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020, el cual permitió el incremento de la producción en un 30%, mejorando la rentabilidad de la operación.

**Palabras claves:** Implementación, método de explotación Sublevel Stopping con taladros largos, tajo piloto, Nivel 2, de la mina Arequipa – M, 2020

## ABSTRACT

The present thesis entitled: "Implementation of the Sublevel Stoping exploitation method with Long Holes in the Level 2 Pilot Pit of the Arequipa Mine - M - 2020", Its general objective is to implement the Sublevel Stoping exploitation method with long holes in the Pilot Pit of level 2, of the Arequipa mine - M - 2020. It is justified because the failure of the planned production in the level 2 pits and the need imposed by the General Management to increase production, of the mine the department The mine engineering department saw fit to implement the Sublevel Stoping method of exploitation with long holes in the Pilot Pit, necessarily interacting with the safety and profitability criteria, in the mine. Its General Hypothesis is: The implementation of the Sublevel Stoping exploitation method with long holes in the Pilot Pit of level 2, of the Arequipa - M - 2020 mine, will increase production. The methodology used is that of the scientific method and is of the Applied type. The most important result was that the new mesh design parameters are: Burden of 1.20 m., Spacing of 1.00 m. and Power factor = 3.84 Kg Anfo / Ton. The most important conclusion was that the Sublevel Stoping exploitation method was implemented with long holes in the Pilot Pit of level 2, of the Arequipa - M - 2020 mine, which allowed an increase in production by 30%, improving profitability of the operation.

**Keywords:** Implementation, Sublevel Stoping exploitation method with long holes, pilot pit, Level 2, of the Arequipa mine - M, 2020

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
INTRODUCCIÓN.....	xi
CAPITULO I.....	1
GENERALIDADES.....	1
1.1. Entorno Físico.....	1
1.1.1. Ubicación y acceso.....	1
1.1.2. Propiedad Minera.....	1
1.1.3. Antecedentes Históricos.....	2
1.2. Entorno Geológico.....	2
1.2.1. Geología regional.....	2
1.2.2. Geología local.....	7
1.2.3. Geología estructural.....	9
1.2.4. Geología económica.....	10
CAPITULO II.....	11
FUNDAMENTACIÓN.....	11
2.1. Marco Teórico.....	11
2.1. Antecedentes de la investigación.....	11
2.2. Fundamentación teórica.....	17

2.2.1. Sublevel Stopping. ....	17
2.2.2. Método de Taladros Largos. ....	30
2.3. Definición de Términos. ....	40
CAPITULO III .....	43
METODOLOGÍA.....	43
3.1. <i>El Problema.</i> .....	43
3.1.1. Formulación del Problema. ....	44
3.1.1.1. Formulación del problema General.....	44
3.1.1.2. Formulación de problemas específicos.....	44
3.1.2. Objetivos de la investigación. ....	45
3.1.2.1. Objetivo General.....	45
3.1.2.2. Objetivos Específicos. ....	45
3.1.3. Justificación e importancia. ....	45
3.1.4. Alcances. ....	46
3.1.5. Delimitación De La Investigación .....	46
3.2. <i>Hipótesis.</i> .....	46
3.3. <i>Variables.</i> .....	47
3.3.1. Operacionalización de variables. ....	48
3.4. <i>Diseño de la investigación.</i> .....	48
3.4.1. Tipo de investigación. ....	48
3.4.2. Nivel de la investigación.....	49
3.4.3. Método. ....	49
3.4.4. Población y muestra .....	50
3.4.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos. ....	50

CAPITULO IV .....	52
RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	52
4.1. <i>Descripción de la realidad y procesamiento de datos</i> .....	52
4.2. <i>Descripción de la realidad y procesamiento de datos</i> .....	53
4.3. <i>Diseño método de minado sublevel stoping</i> .....	54
4.3.1. <i>Criterios de diseño para el minado sublevel stoping</i> .....	56
4.4. <i>Discusión de resultados</i> .....	65
4.5. <i>Aportes del tesista</i> .....	66
CONCLUSIONES.....	67
RECOMENDACIONES .....	70
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	71
ANEXOS.....	73
ANEXO N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIAS.....	74
ANEXO N° 02: MÉTODO DE MINADO SUBLEVEL STOPING .....	76

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura N° 1.</b> Características estructurales regionales de la Cordillera Blanca.....	4
<b>Figura N° 2.</b> Sub Level Stopping – perforacion radial.....	28
<b>Figura N° 3.</b> Sub Level Stopping Convencional principios del método.....	29
<b>Figura N° 4.</b> Sub Level Stopping variante Long Blash Hole (LBH).....	30
<b>Figura N° 5.</b> Perforación Taladros largos.....	31
<b>Figura N° 6.</b> Taladros Largos paralelos .....	33
<b>Figura N° 7.</b> Taladros Largos radiales.....	34
<b>Figura N° 8.</b> Esquema Long Hole Blasting.....	35
<b>Figura N° 9.</b> Diseño de la malla de perforación y voladura.....	38
<b>Figura N° 10.</b> Diseño típico para el minado – SLV.....	39
<b>Figura N° 11.</b> Secuencia de minado sublevel stopping con taladros largos en vetas angostas .....	54
<b>Figura N° 12.</b> Raptor.....	55
<b>Figura N° 13.</b> Tipos de brocas a emplear.....	55
<b>Figura N° 14.</b> Dimensiones de labores de desarrollo y preparación del método de minado sublevel stopping con taladros largos en vetas angostas.....	56
<b>Figura N° 15.</b> Dimensiones de labores de desarrollo y preparación del método de minado sublevel stopping con taladros largos en vetas angostas.....	56
<b>Figura N° 16.</b> Malla para vetas.....	59
<b>Figura N° 17.</b> Proceso de carguío en taladros largos.....	61
<b>Figura N° 18.</b> Proceso de carguío en taladros largos – taladros de producción.....	62

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. <i>Ruta de acceso a la Unidad de Producción Arequipa "M"</i> . .....	1
Tabla N° 2. <i>Operacionalización de variables</i> . .....	48

## INTRODUCCIÓN

La presente tesis titulada “Implementación del método de explotación Sublevel Stopping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020”, Nace de la pregunta ¿Cómo implementar el método de explotación Sublevel Stopping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M - 2020?, y tiene como fundamento el reemplazo del método corte y relleno ascendente por el de método de explotación Sublevel Stopping con taladros el cual permitirá incrementar la producción y disminuir los costos de minado y tiene la finalidad, la implementación del método sublevel stopping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa – M. La mina Arequipa “M”, se ubica en el distrito de Marcará, provincia de Carhuaz, departamento y región Ancash. La litología en la zona de estudio y alrededores está constituida por el intrusivo de granodiorita del batolito de la Cordillera Blanca, cuarcitas, areniscas y lutitas de la Formación Chicama del Jurásico superior. La mina tiene una superficie de 40 ha, y se han identificado nueve (9) vetas principales distribuidas en cuatro sistemas estructurales con direcciones N25°W vetas Arequipa “M”, Arequipa Sur, Loreta, Roma, Melgar; sistema N55°E vetas Caballito, Ramal Caballito; Sistema N-S vetas Diagonal Caballito; Sistema N-55°W veta Reyna. La mineralización Au-Ag-Pb-Zn-Cu es de tipo hidrotermal vetiforme de sulfuración intermedia a baja, y se ha originado por relleno de fracturas posiblemente en diferentes pulsos relacionados con la actividad magmática de la Cordillera Blanca de Edad Mioceno superior-Plioceno. La mena está constituida por oro-galena-esfalerita-calcopirita; la ganga incluye tres generaciones de cuarzo (blanco, hialino y gris), pirita, arsenopirita, calcita, baritina, azufre, epidota, turmalina, silomelano. la tesis tiene la siguiente estructura:

**Capítulo I: Generalidades**, en la que se describe algunas características de la mina, tales el entorno físico y el entorno geológico.

**Capítulo II: Fundamentación**, relacionados al marco teórico, los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y la definición de términos.

**Capítulo III: Metodología**, se plantea la pregunta de investigación, así como los objetivos, la justificación e importancia. Redacción de la hipótesis, las variables, metodología incluyendo a la población y muestra del estudio.

**Capítulo I: Resultados de la investigación**, plasmar el resultado de la investigación tal como se ha sustentado en el proyecto de tesis.

Para finalizar las conclusiones, las recomendaciones, las referencias bibliográficas y los anexos

## CAPITULO I

### GENERALIDADES

#### 1.1. Entorno Físico.

##### 1.1.1. Ubicación y acceso.

La mina Arequipa “M” se ubica en la Cordillera Blanca, en la comunidad de Vicos, en el distrito de Marcará, provincia de Carhuaz, departamento y región Ancash. La zona de interés está ubicada en la hoja 1:100,000 de Huari (19-I) y las coordenadas UTM de la parte central del Proyecto (Datum PSAD 56, zona 18-S), son las siguientes: E 237,800 y N 8’968,200. El Proyecto Arequipa “M” está situado a 495 km al norte de Lima. (Departamento de la Geología, 2020).

##### Acceso:

El acceso desde la ciudad de Lima a la Mina, es la siguiente

**Tabla N° 1.** Ruta de acceso a la Unidad de Producción Arequipa “M”.

Ruta	Km	Tipo de carretera	Horas
Lima - Huaraz	420	Asfaltada	6.0
Huaraz - Marcara	30	Asfaltada	1.0
Marcará - Mina Arequipa M	45	Afirmada	2.5
<b>Total</b>	<b>495</b>		<b>9.5</b>

Fuente: (Departamento de la Geología, 2020).

##### 1.1.2. Propiedad Minera

La Unidad de Producción Arequipa “M” incluye una (1) concesión minera de 40 ha como Arequipa “M” cuyo titular es el Sr. Eulogio Constantino Cáceres Medina. (Departamento de la Geología, 2020).

### **1.1.3. Antecedentes Históricos**

La zona fue conocida y explotada posiblemente desde la época colonial, los trabajos consistieron en socavones estrechos, piques o inclinados, galerías (14 Niveles) únicamente en las zonas ricas de mineral de plata argentífera. En la actualidad, existen en superficie varios cateos, trincheras, medias barretas, rajos y labores mineras subterráneas desarrolladas en las vetas Arequipa “M”, Victoria y Caballito. (Departamento de la Geología, 2020).

## **1.2. Entorno Geológico**

### **1.2.1. Geología regional**

La mina Arequipa “M” está situado en el sector suroriental de la Cordillera Blanca. Esta cordillera forma parte de la Cordillera Occidental; tiene una elongación NW-SE y una longitud de 250 Km., en ella afloran rocas sedimentarias de la Formación Chicama del Jurásico superior y la Formación Chimú del Cretácico inferior, las cuales han sido intruídas por el batolito de la Cordillera Blanca de edad Mio-Plioceno; Este batolito está compuesto por rocas intrusivas de tipo granodiorita, tonalita y monzonita. El contexto geológico regional se caracteriza por la existencia de una amplia secuencia sedimentaria, localizada en el sector oriental de la Cordillera Blanca donde predomina la Formación Chicama de edad Titoniana (150 Ma.) constituida principalmente por lutitas grises, con intercalaciones de horizontes de areniscas, que han sido metamorfozadas a pizarras y cuarcitas. Estratigráficamente, esta formación se depositó discordantemente sobre las calizas del Grupo Pucará de edad Triásico superior a Jurásico Inferior (215 a 190 Ma.), y a su vez esta sobre yacida por las areniscas y lutitas con

intercalaciones de capas de carbón de la Formación Chimú de edad Cretácico inferior.

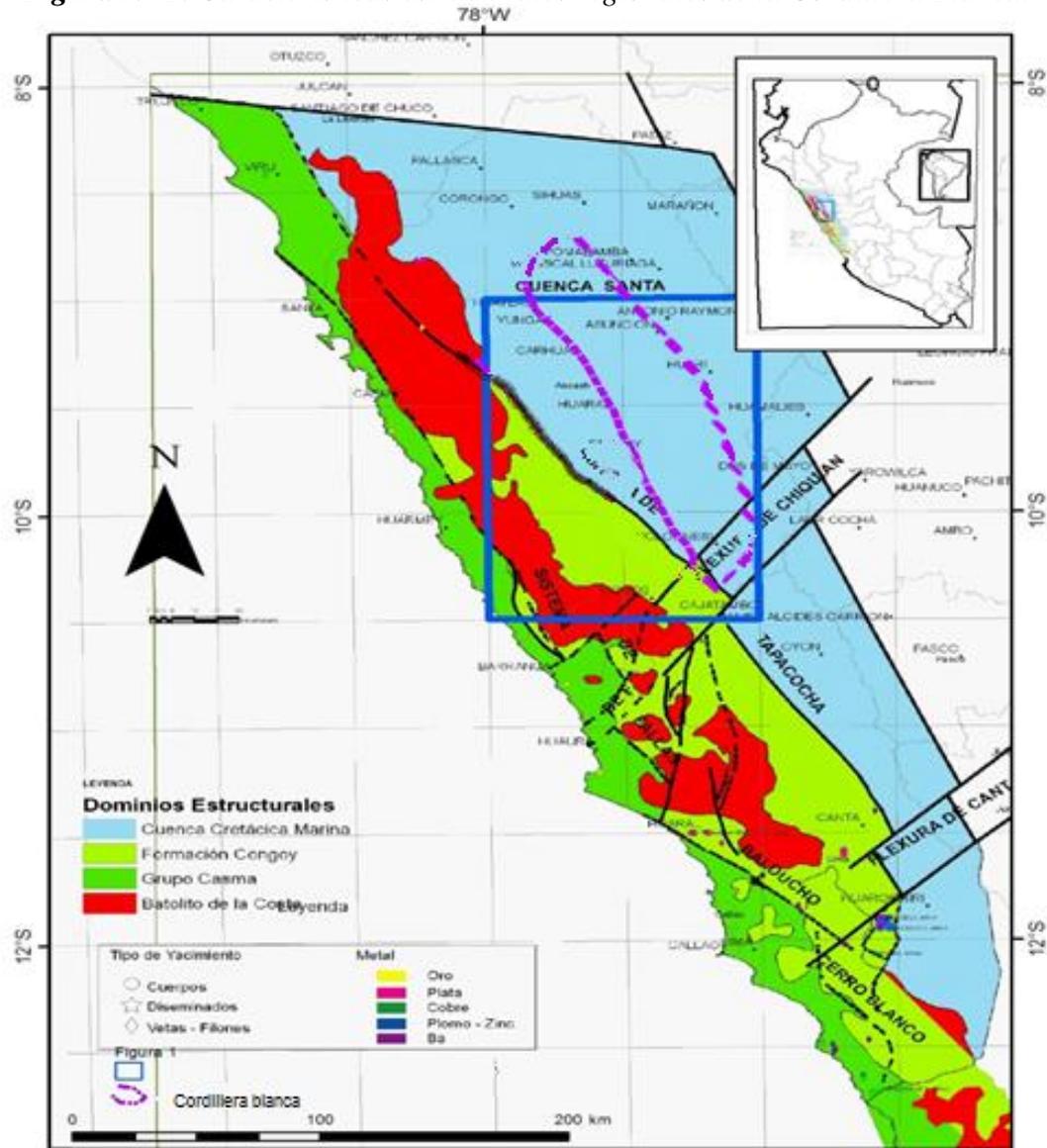
**Características Estructurales:** Regionalmente, el sector de estudio ha sido dividido en diversos dominios estructurales:

✚ **Dominio del Casma:** este dominio está situado al oeste de la Cordillera Negra, y hacia el Este, se encuentra limitado por el sistema de fallas Tapacocha. Geológicamente está caracterizado por las secuencias volcano sedimentarias del Grupo Casma y los plutones graníticos del Batolito de la Costa.

✚ **Dominio de la Cordillera Negra:** está limitado al oeste por el sistema de fallas Tapacocha y al Este por el sistema de fallas Huaraz-Recuay. En el eje de la cordillera se encuentra la falla Huacllan-Churin. La característica principal de este dominio son los volcánicos del Grupo Calipuy, donde aparecen localmente ventanas de la Formación Chicama. Relacionadas con el Grupo Calipuy existen estructuras circulares relacionadas con los antiguos centros volcánicos.

✚ **Dominio de la Cordillera Blanca:** se encuentra situado al Este de la Cordillera Negra; los controles estructurales aquí son el sistema de fallas Huaraz- Recuay por el oeste, y en el Este el sistema de fallas Chonta. Este dominio se caracteriza por la presencia de rocas plutónicas del Batolito de la Cordillera Blanca que intruyen a los sedimentos de ambiente marino/continental de la Formación Chicama, Formación Chimú y Grupo Goyllarisquizga.

Figura N° 1. Características estructurales regionales de la Cordillera Blanca.



Fuente: Departamento de Geología, 2020.

**Estratigrafía:** La estratigrafía de la Cordillera Blanca está constituida por unidades que abarcan desde el Jurásico hasta el Neógeno. La unidad más antigua aledaña a la Cordillera Blanca es el Complejo del Marañón de edad precámbrica.

✚ **La Formación Chicama:** está compuesta en la base, por areniscas cuarzosas y lutitas; y al techo por lutitas negras. En el contacto con

plutones muestra una nítida estructura metamórfica formando pizarras y esquistos.

- ✚ **La Formación Chimú:** está constituida principalmente por areniscas cuarzosas blanquecinas a grises y en la base se presentan intercalaciones de lutitas negras y niveles de carbón. Los estratos son gruesos y resistentes a la erosión.
- ✚ **La Formación Santa:** está compuesta por limoargilitas gris oscuras en estratos gruesos, con intercalaciones de calizas, calizas bioclásticas y algunos niveles de calizas oolíticas. Es común encontrar nódulos calcáreos.
- ✚ **La Formación Carhuaz:** perteneciente al Grupo Goyllarisquizga, está compuesta por limolitas rojas intercaladas con areniscas finas de estratificación paralela y delgada. Localmente se pueden encontrar niveles volcánicos intercalados dentro de la secuencia de limolitas y areniscas (Enríquez, 1999).
- ✚ **La Formación Pariahuanca:** típicamente consiste en bancos medianos a gruesos de caliza grisácea, con escasas intercalaciones de lutitas oscuras; hacia el norte del Callejón de Huaylas se nota un incremento en el contenido clástico y ferruginoso.
- ✚ **La Formación Chulec:** presenta una típica litología de capas delgadas de caliza bioclástica o arenosa, localmente ferruginosa, con intercalaciones de margas y lutitas calcáreas.
- ✚ **La Formación Pariatambo:** presenta una litología constante en todo su afloramiento, consistente en margas y lutitas negruzcas con

intercalaciones delgadas de calizas bituminosas; localmente presenta algunas intercalaciones volcánicas.

**✚ La Formación Jumamasha-Celendín:** Consiste en capas medianas a gruesas de calizas y dolomías grises y amarillentas de grano fino a medio. En la base de la formación se encuentra un conglomerado de elementos gruesos.

Los depósitos cuaternarios se encuentran cubriendo las litologías descritas y están representados por materiales morrénicos y fluvio-glaciares del Plioceno, y depósitos aluviales y coluviales del Pleistoceno.

**Rocas Intrusivas:** En la región existe una variedad de rocas intrusivas de diversos tipos y edades. Lo más relevante es el Batolito de la Cordillera Blanca, aflora ampliamente en la región, se ubica en la parte central de la Cordillera Occidental, tiene un rumbo aproximadamente paralelo a las estructuras principales.

La petrografía del batolito consiste de una granodiorita leucocrática de grano grueso con foliación bien desarrollada, en algunos casos pasa gradualmente a una anfibolita, el granito ocurre en algunas áreas del batolito cortando la granodiorita y consiste de grandes fenocristales de ortosa rosada en una matriz de feldespatos, cuarzo, biotita y hornblenda.

Los sistemas de diques y sills de pórfido cuarcífero se relacionan con los granitos y se distribuyen a lo largo de la Quebrada Llanganuco.

Los diques de aplita y pegmatita son comunes en el batolito; aparentemente alcanzan su mayor desarrollo cerca de los bordes del intrusivo, pero también ocurren en las partes internas del batolito.

Las estructuras internas del batolito consisten en una foliación de forma general debido a la alineación y orientación paralela de los cristales que componen la granodiorita y un juego bien desarrollado de diaclasas de rumbo NW-SE. (Departamento de la Geología, 2020).

### 1.2.2. Geología local

En mina Arequipa “M”, la litología está constituida por rocas sedimentarias de la formación Chicama instruidas por el batolito de la Cordillera Blanca, posibles cuerpos subvolcánicos y diques básicos.

#### **Rocas Sedimentarias:**

**Formación Chicama:** La Formación Chicama consiste en un paquete potente de lutitas y areniscas de textura fina a mediana; el rumbo de la formación varía de N20° a 35°W con buzamientos de 70° a 75°NE. Esta formación descansa discordantemente sobre el Grupo Pucará. En el techo de la formación existe una pequeña discordancia paralela, por encima de la cual se depositaron las cuarcitas de la Formación Chimú.

**Lutitas y pizarras (Js-Ch):** coloración gris oscura, se presentan en horizontes de 0.5 a 10m intercalados con paquetes de areniscas y cuarcitas.

Existe abundante pirita diseminada y nódulos ferruginosos, debido a que se depositaron en el fondo de una cuenca con condiciones reductoras.

Los paquetes de lutitas y pizarras son más potentes hacia el noreste (Eje de la Cordillera Blanca).

**Areniscas y cuarcitas (Js-Ch):** se presentan en capas delgadas a medianas intercaladas con lutitas gris oscuro. En superficie intemperizada presentan color pardo a marrón, y en superficie fresca la cuarcita muestra un color blanco grisáceo. No desarrollan alteración hidrotermal en superficie.

**Rocas Intrusivas:** En la zona de estudio, intruyendo a la Formación Chicama se han cartografiado el cuerpo intrusivo granodiorita-Tonalita.

**Granodiorita-Tonalita (N-gd-t):** Esta unidad litológica aflora en toda la propiedad y está constituida por una granodiorita de grano grueso (leucocrática), presenta grandes fenocristales de ortosa rosada en una matriz de feldespatos, cuarzo, biotita y hornblenda, se caracteriza por presentar una foliación bien desarrollada. La mineralogía consiste en fenocristales de plagioclasas (46%) alterados incipientemente a arcillas; cloritas (5%) y trazas de sericita; fenocristales de anfíboles I (36%) y trazas de piroxenos alterados a clorita y óxidos de hierro, y moldes de cristales reemplazados por anfíboles II (6%) y minerales opacos (6%), en una matriz constituida por plagioclasa, anfíboles I y minerales opacos. También ocurren finas venillas, con espesores menores a 0.15mm, rellenas por anfíboles III y cloritas. Los diques de aplita y pegmatita son comunes en el batolito; aparentemente alcanzan su mayor desarrollo cerca de los bordes del intrusivo, pero también ocurren en las partes internas del batolito. Las estructuras internas del batolito consisten en una foliación de forma general debido a la alineación y orientación paralela de los cristales que componen la granodiorita y un juego bien desarrollado de

diaclasas de rumbo NW-SE. Presenta alteraciones de tipo cloritización débil, argilización, sericitización y oxidación incipiente.

**Depósitos Cuaternarios (Qh-co, Qh-al, Qh-mo, Qh-g):** Son materiales aluviales y coluviales del Pleistoceno que se encuentran expuestos a lo largo de las quebradas y en las laderas de los cerros. también existen materiales morrénicos y fluvio-glaciares del Plioceno. La granulometría de estos depósitos varía desde cantos y bloques hasta arcillas, de composición análoga a las rocas que afloran en los alrededores. (Departamento de la Geología, 2020).

### 1.2.3. Geología estructural

Se tienen las grandes Unidades Tectónicas regionales donde se ubica el proyecto Arequipa “M”. De oeste a este destacan las siguientes Unidades:

- ✚ Unidad Tectónica de la Cordillera Negra y el Callejón de Huaylas.
- ✚ Unidad Tectónica de la Cordillera Blanca y Callejón de Conchucos, con tres zonas estructurales bien definidas: El Batolito de la Cordillera Blanca, el Eje de la Cordillera Blanca y el Callejón de Conchucos.
- ✚ Unidad Tectónica de Sobreescurremientos al Este del Callejón de Conchucos.

Las minas de Ag, Pb y Zn explotadas en la región, se ubican en el extremo oriental del Batolito de la Cordillera Blanca, en el contacto con la Formación Chicama. las vetas del proyecto Arequipa “M” se ubican en la Unidad Tectónica de la Cordillera Blanca; en la zona Estructural del Eje de la

Cordillera, específicamente cerca del contacto oriental del Batolito con las rocas de la Formación Chicama. (Departamento de la Geología, 2020).

#### **1.2.4. Geología económica**

La mineralización en la mina Arequipa “M” está constituida por vetas epitermales polimetálicas Au-Ag-Pb-Zn de sulfuración baja a intermedia que rellenan fracturas en el intrusivo y en la secuencia sedimentaria, están relacionadas con la actividad magmático-hidrotermal del Batolito de la Cordillera Blanca de edad Mioceno-Plioceno. La mineralización se presenta en vetas, vetillas y cuerpos de cuarzo. En el caso de la Veta Arequipa “M”, se observa un claro zoneamiento caracterizado por incremento de Au-Ag en la parte superior que va variando a Pb-Zn en profundidad. La mina Arequipa “M”, las estructuras mineralizadas se encuentran emplazadas en el intrusivo de granodiorita y en la secuencia sedimentaria de la Formación Chicama. Las anomalías de Au-Ag-Pb-Zn reportadas, están básicamente controladas por estructuras de tres (3) tipos: vetas bien definidas, vetillas bandeadas, y cuerpos silíceos. (Departamento de la Geología, 2020).

## CAPITULO II

### FUNDAMENTACIÓN

#### 2.1. *Marco Teórico.*

##### 2.1. Antecedentes de la investigación.

###### **Antecedente Internacional:**

(Cortes D. 2011) **“Recopilación de información para futuro estudio técnico-económico en la explotación de mantos de baja potencia en mina Rafaela”**, Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería de Minas. Chile.

#### **RESUMEN**

La tesis tiene por objetivo general determinar la factibilidad técnica para la explotación de mantos de baja potencia mediante la propuesta de un método mecanizado de explotación. Presentar un marco general del negocio minero presente en el proyecto, entregando para ello información básica recopilada respecto a los puntos claves que definirán la viabilidad del mismo. Estos puntos, corresponden a Estudios metalúrgicos realizados, Recuperación Minera, Recursos Presentes y valores futuros de los metales presentes.

El desarrollo de este estudio considera la siguiente metodología:

- ✚ Recopilación y análisis de antecedentes
- ✚ Realización de estudio de mecánica de roca y evaluación de parámetros de planta de procesamiento de minerales sulfurados.
- ✚ Diseño y selección del o los métodos de explotación.

- ✚ Determinación del ritmo óptimo de explotación.
- ✚ Definición de manejo de mineral y ventilación.
- ✚ Estimación de Costos e inversiones.
- ✚ Recomendación final y Reflexiones.

Las conclusiones más importantes fueron:

Los parámetros estudiados y los distintos test realizados para ello, corresponden a una recopilación de información con fines de entregar una base de datos referentes a los principales factores que definen al negocio minero. Sin embargo, esta información representa sólo una guía para futuros estudios y se aconseja utilizar como dato duro únicamente si se planea realizar un estudio no formal de prefactibilidad en etapa temprana. De querer realizar un estudio Scoping bajo la supervisión de una “competent person” este estudio servirá exclusivamente para guiar y acotar los distintos parámetros y estudios requeridos ya que no cuenta con la cantidad de ensayos ni protocolos estipulados por un estudio de estas características.

Con respecto a la información recopilada cabe mencionar las siguientes consideraciones:

- ✚ Los métodos de explotación seleccionados responden a la idea actual sobre la forma y tamaño del yacimiento pudiendo variar con la incorporación de nueva información de geología que redefina los recursos. Es por ello que se aconseja, una vez definido completamente el total de del yacimiento, utilizar los métodos de análisis presentados en este informe para redimensionar nuevos métodos de ser necesario.

- ✚ Se recomienda realizar mediante muestreo y nuevas campañas de sondajes, una estimación de reservas que genere un modelo de bloques del yacimiento con el fin de facilitar y mejorar la calidad de futuros estudios.
  
- ✚ Dada la fina granulometría media de los minerales de interés presentes en la calcilutita (Tabla 25), se requiere de una remolienda para etapas Cleaner que elevará considerablemente los costos planta si se decide en un futuro estudio el desarrollo de una planta procesadora de minerales. Es el caso de Minera Las Cenizas que en su etapa Cleaner actualmente muelen 93% bajo 45 micrones, por lo que el gasto energético del procesamiento de este tipo de mineral será considerablemente mayor a un mineral promedio. Además, las dosis calculadas de colectores son muy superiores a las comúnmente encontradas en la industria por lo que esto también deberá ser considerado en la evaluación de la implementación de una planta procesadora de minerales sulfurados.
  
- ✚ La recuperación minera calculada del 76% puede ser mejorada a un 79% si se extraen, por medio de perforación manual y acarreo con equipos de carguío que puedan superar el manto del área (Equipo Bobcat), los rebajes del piso que la labor mecanizada no logra extraer.
  
- ✚ De encontrarse mantos de mayor potencia se puede estudiar el impacto en el negocio minero de no extraer estéril con el fin de generar las calles (necesario para implementación de equipos). Esto traería consigo una disminución considerable en la recuperación minera pero un aumento en la ley media.

- ✚ Dadas las dificultades técnicas de instalar una planta concentradora en la pertenencia minera, y por ello tener que viajar con el mineral por un camino de más de 14 km, se propone realizar un análisis económico que evalúe el acondicionamiento de un sector de la pertenencia (aplanar, instalación de insumos entre otros) para la instalación de la planta.
- ✚ Dado el actual auge en la minería del cobre, y como se ha visto en faena, la dotación de personal resulta un punto a considerar en el proyecto. Esto puede generar aumentos no previstos en los costos de mano de obra.

### **Antecedente Nacional:**

(Alata W. 2019) **“Implementación del método sub Level Stopping con taladros largos para el minado del Tajo 012 veta Ximena – zona Oroya – Compañía Minera Casapalca”**, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalurgia. Escuela Profesional de Ingeniería de Minas. Cuzco – Perú.

### **RESUMEN**

La tesis tiene por objetivo general Implementar un método de explotación adecuada para el minado del tajo 012 veta Ximena Zona Oroya, que sea compatible con los criterios de operatividad, costos y seguridad para cumplir con la producción planeado de acuerdo a las condiciones encontradas en el yacimiento.

El tipo de Investigación, conforme al propósito del presente trabajo y teniendo en cuenta la aplicación de los conocimientos para la solución del problema planteado, evaluar la diferencia del método convencional que actualmente aplica con la implementación del nuevo método que utiliza otra zona de

la unidad para lo cual se utilizan unidades medibles para evaluar la implementación el método de minado. Se adoptará la investigación aplicada, experimental y cuantitativa.

Las conclusiones más importantes fueron:

La implementación del método de explotación Sub Level Stopping con taladros largos, logra:

- ✚ Cumplir e incrementar la producción programada que se venía teniendo con el método corte y relleno ascendente (realce) semi mecanizada, con criterios de seguridad y operatividad, la producción de mineral incremento de 158.4 TM diarias a 362.88 TM diarias, es una gran oportunidad para revertir los resultados adversos que se venía teniendo en el tajo 012, puesto que el programa de producción incremento de 2000 TM/ mes a 4500 TM/mes.
- ✚ El método de minado Sub Level Stopping se adapta a las condiciones geológicas y geomecánicas encontradas a este yacimiento, el diseño de 2 pilares recuperables es uno de los componentes importantes el cual garantiza la sostenibilidad de la producción conforme a la exigencia del programa de producción, respecto a la evaluación estructural, del tajo 012, se encuentra en un tipo de roca encajonante regular RMR = 63. Y la mineralización (veta) de Regular a Pobre RMR = 46.

#### **Antecedente Local:**

(León D. 2017) **“Aplicación del tajeo por subniveles con taladros largos para optimizar recursos en la mina Caridad, Compañía Minera Huancapeti S.A.C.”**, Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”.

Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia. Escuela Académico Profesional de Ingeniería De Minas. Huaraz – Perú.

## RESUMEN

La tesis tiene por objetivo general Aplicar el tajeo por subniveles con taladros largos para optimizar recursos en la mina Caridad, compañía minera Huancapeti S.A.C.

El tipo de Investigación, Según su finalidad es aplicada, según el periodo de acopio de información Prospectiva, Según su rigurosidad No Experimental y según el enfoque adoptado Cualitativo.

Las conclusiones más importantes fueron:

Se ha demostrado que con la aplicación del tajeo por subniveles con taladros largos optimizara recursos:

- ✚ Incrementando la producción de la compañía minera Huancapeti S.A.C.
- ✚ Se minimiza los accidentes por desprendimientos de roca.
- ✚ Se reducen los costos de minado.
- ✚ Se mejora la productividad.

En el desarrollo del presente trabajo de investigación, se ha demostrado que con la aplicación del tajeo por subniveles con taladros largos en la mina Caridad, compañía minera Huancapeti S.A.C. Se obtiene 4.67 US\$/TCS más de utilidad que si usáramos el método de corte y relleno.

El método de tajeo por subniveles es muy manejable con la mecanización, y por lo tanto los tajeos son de alta eficiencia, llegando a 110 toneladas/hombre-guardia en grandes.

## **2.2. Fundamentación teórica.**

### **2.2.1. Sublevel Stopping.**

Este método se aplica preferentemente en yacimientos de forma tabular verticales o subverticales de gran espesor, por lo general superior a 10 m. Es deseable que los bordes o contactos del cuerpo mineralizados sean regulares.

También es posible aplicarlo en yacimientos masivos o mantos de gran potencia, subdividiendo el macizo mineralizado en caserones separados por pilares, que posteriormente se pueden recuperar.

Tanto la roca mineralizada como la roca circundante deben presentar buenas condiciones de estabilidad; vale decir, deben ser suficientemente competentes o autosoportante.

#### **Principios:**

El sublevel stopping es un método en el cual se excava el mineral por tajadas verticales dejando el caserón vacío, por lo general de grandes dimensiones, particularmente en el sentido vertical.

El mineral arrancado se recolecta en embudos o zanjas emplazadas en la base del caserón, desde donde se extrae según diferentes modalidades.

La expresión “sublevel” hace referencia a las galerías o subniveles a partir de los cuales se realiza la operación de arranque del mineral.

### **Desarrollos:**

Un nivel base o nivel de producción, consiste en una galería de transporte y estocadas de carguío que permiten habilitar los puntos de extracción.

Embudos o zanjas recolectoras de mineral. Cuando se trata de una zanja continua a lo largo de la base del caserón – modalidad preferida en la actualidad – se requiere el desarrollo previo de una galería a partir de la cual se excava la zanja.

Galerías o subniveles de perforación, dispuestos en altura según diversas configuraciones conforme a la geometría del cuerpo mineralizado

Una chimenea o una rampa de acceso a los subniveles de perforación, emplazada en el límite posterior del caserón.

Una chimenea a partir de la cual se excava el corte inicial o cámara de compensación (slot) que sirve de cara libre para las primeras tronaduras de producción.

### **Arranque:**

En la versión convencional se perforan tiros radiales (abanicos) a partir de los subniveles dispuestos para esos fines. Se trata de tiros largos (hasta unos 30 m) de 2 a 3 pulgadas de diámetro, perforados de

preferencia con jumbos radiales electro-hidráulicos y barras de extensión.

En la versión LBH (long blast hole) se perforan tiros de gran diámetro (4 ½ a 6 ½ pulgadas), en lo posible paralelos y de hasta unos 80 m de longitud. Se utiliza equipo DTH.

Las operaciones de perforación y tronadura se pueden manejar en este caso en forma continua e independiente. Se puede barrenar con anticipación un gran número de abanicos, los que posteriormente se van quemando según los requerimientos del programa de producción.

### **Manejo del mineral:**

En su modalidad más antigua el mineral arrancado se cargaba directamente a carros a través de buzones dispuestos en la base del caserón. La presencia de bolones – frecuente en este método – es un problema complicado, dado que no es posible reducir de tamaño en los buzones. Era necesario instalar estaciones de control (parrillas) antes de los buzones.

También es posible la utilización de scapers para extraer el mineral, y luego arrastrarlo y cargarlo a carros de ferrocarril. En este caso, el manejo del material grueso o de sobre- tamaño es mucho más simple.

Hoy en día se utilizan preferentemente equipos LHD para la extracción, carguío y transporte del mineral hacia estaciones de traspaso, donde es cargado a carros o camiones para su transporte final a superficie.

### **Ventilación:**

La utilización generalizada hoy en día de equipos cargadores diesel (LHD) para el manejo del mineral, exige disponer de una adecuada ventilación del Nivel de Producción.

Para tal propósito, se utilizan las galerías de acceso o de cabecera ubicadas en los límites del caserón: el aire es inyectado por una de estas galerías y luego de recorrer el nivel es extraído por la otra.

Los subniveles de perforación se ventilan desviando parte del flujo de aire hacia las chimeneas o rampas de acceso a dichos subniveles

### **Fortificación (sostenimiento):**

Como fuera señalado anteriormente, la aplicación de este método exige buenas condiciones de estabilidad tanto de la roca mineralizada como de la roca circundante. No requiere, por lo tanto, de la utilización intensiva o sistemática de elementos de refuerzo.

Las galerías de producción en la base de los caserones se fortifican por lo general – según requerimiento – mediante pernos cementados o pernos y malla de acero (incluso shotcrete), atendiendo a las condiciones locales de la roca.

En los subniveles de perforación se puede utilizar localmente elementos de refuerzo provisorios cuando las condiciones de la roca así lo requieran.

### **Comentarios:**

El advenimiento de innovaciones tecnológicas en cuanto a perforación y tronadura subterránea de tiros largos de gran diámetro (LBH), ha traído consigo un significativo aumento de la popularidad de este método.

El mayor volumen y complejidad de los desarrollos es compensado por la mayor eficiencia de las operaciones. La perforación, la tronadura y la extracción del mineral son operaciones que se pueden ejecutar de modo independiente entre sí.

Permite la utilización intensiva de equipos mecanizados de gran rendimiento; vale decir, pocas unidades con escaso personal. Se puede obtener así una alta productividad en un sector concentrado de la mina.

El trazado de los límites de los caserones no acepta líneas sinuosas. En el marco de esos límites pueden quedar incorporados sectores de baja ley como así mismo quedar excluidos otros de alta ley. En este sentido el método SLS es poco selectivo, especialmente en su versión moderna LBH.

El conocimiento riguroso y la interpretación adecuada del modelo geológico del yacimiento son factores claves para el éxito de la aplicación de este método; conjuntamente con un cuidadoso control del trazado de los diagramas de tronadura.

### Características:

- + Alta producción
- + Aplicable a cuerpos largos, muy inclinados (idealmente verticales), regulares y con roca mineral y de caja competente.
- + Productividad: 15-40 ton / hombre turno.
- + Cada cámara puede producir más de 25.000 ton / mes.
- + Intensivo en desarrollos, pero todos son hechos en mineral.
- + Método no es selectivo o cuerpos tienen que ser regulares.
- + Uno de los métodos subterráneos de más bajo costo.

### Tipo de cuerpo mineralizado:

- + Regular.
- + Grande.
- + Resistente y competente.
- + Muros deben autoportarse.
- + Desde 6 m de ancho.
- + Cuerpos parejos y bien definidos.
- + Dilución.
- + Sin inclusiones de estéril.

- + Sin fracturas.
- + Se truena muchas veces a inestabilidad.
- + Cámaras permanecen abiertos por largo tiempo.

#### **Desarrollo:**

- + Acceso por pique en footwall
- + Galerías de transporte cada 45 – 120 m
- + Subniveles cada 10 – 55 m
- + Slot para cara libre
- + Pilares se dejan para separar caserones y pueden recuperarse

#### **Extracción:**

- + Embudos que cargan directamente a tren (con nivel de reducción).
- + Tronadura secundaria.
- + Embudos que cargan a tren (sin nivel de reducción).
- + Requiere material de granulometría fina.
- + Slusher.
- + Parrillas para carguío de tren.
- + LHD a puntos de traspaso.
- + Pala autocargadora a tren.

## Perforación de producción:

+ Factores que influyen:

- ❖ Resistencia.
- ❖ Tamaño requerido para traspaso.
- ❖ Diámetro de tiros.
- ❖ Largo de tiros.
- ❖ Orientación.
- ❖ Espaciamiento.

+ Estos factores contribuyen a elegir el equipo de perforación.

+ Perforación en abanico o tiros paralelos.

+ LBH:

- ❖ Diámetro: 170 mm.
- ❖ Distancia entre subniveles: 45 – 55 m.
- ❖ Espaciamiento y burden: 6 x 6 m.

## **Voladura de producción:**

### Factores:

- ❖ Fragmentación requerida.
- ❖ Diámetro de perforación.
- ❖ Espaciamiento y burden.
- ❖ Condición de tiros.
- ❖ Agua.
- ❖ Tamaño permitido de la tronadura (vibraciones).
- ❖ Dureza del mineral.

 ANFO, hidrogeles, emulsiones y ANFOS pesados a granel o empaquetados.

### Voladura secundaria.

- ❖ Perforación y voladura.
- ❖ Carga cónica.

## **Relleno de cámaras:**

 Razones medioambientales o de seguridad.

 Se puede realizar con:

- ❖ Roca no cementada.

- ❖ Arena.
- ❖ Roca cementada o Colas cementadas.
- ❖ Permite recuperar pilares.

#### **Aspectos económicos:**

- + Alta productividad.
- + Bajo costo.
- + Mecanización.

#### **Ventajas:**

- + Muy favorable para mecanización.
- + Altamente eficiente.
- + Hasta 110 ton / hombre turno.
- + Tasa de producción moderada a alta (25.000 ton / mes).
- + Método seguro y fácil de ventilar.
- + Recuperación sobre 90%.
- + Dilución baja: < 20%.
- + Perforación puede adelantarse.

- ✚ En operaciones grandes, tronaduras semanales son frecuentes en turnos entrenados y eficientes.
- ✚ Mineral está disponible de inmediato al iniciarse la tronadura de producción.

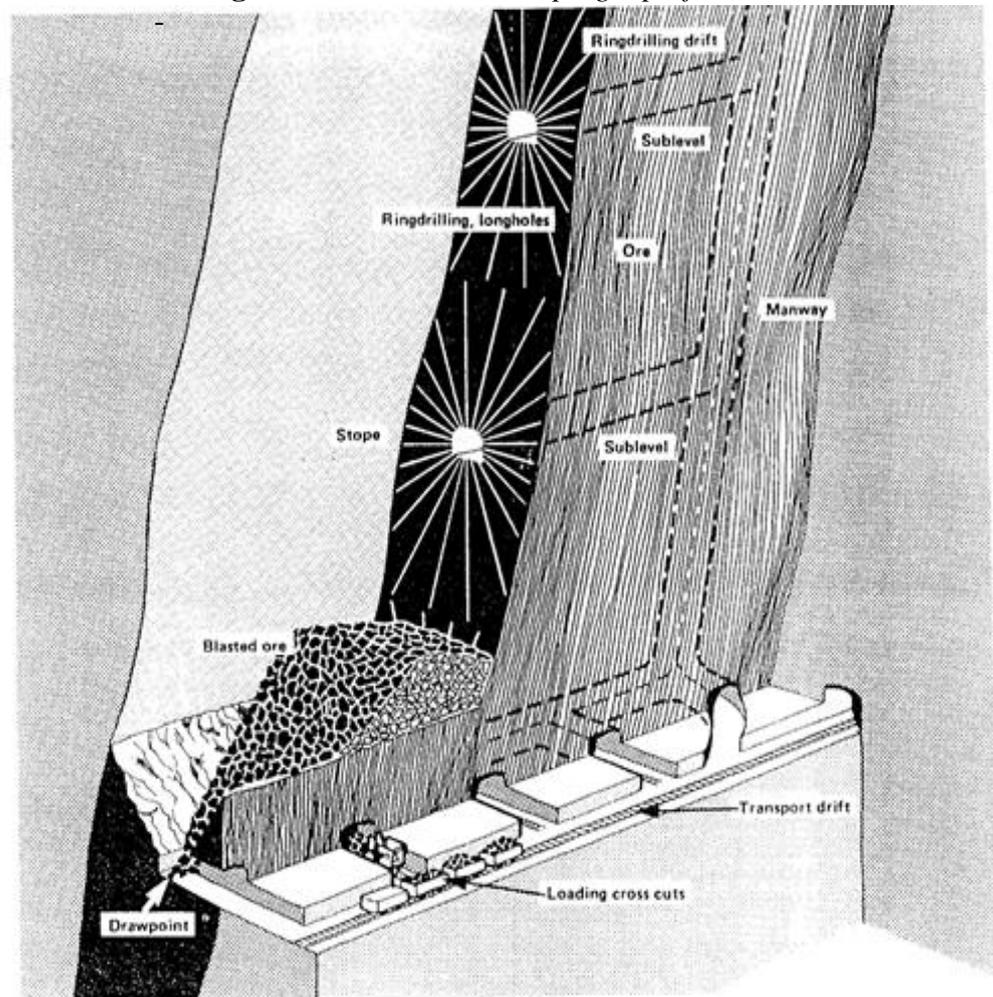
### **Desventajas:**

- ✚ Intensivo en capital con bastantes desarrollos antes de iniciar la producción.
- ✚ No selectivo.
- ✚ Ineficiente a bajas inclinaciones.
- ✚ Voladura secundaria puede generar gases que vuelven al caserón.

### **Variantes:**

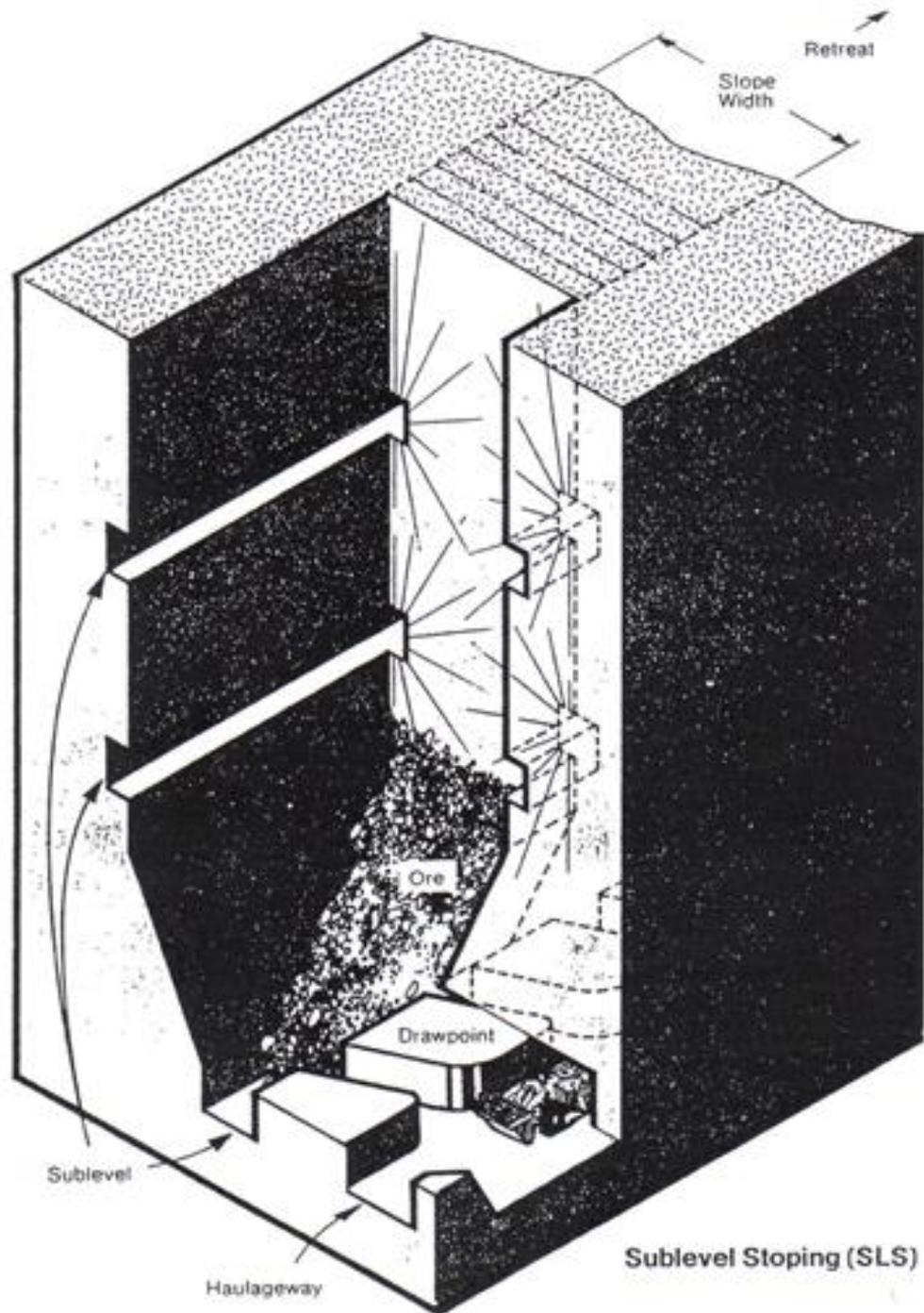
- ✚ VCR: vertical cráter retreat.
  - Tronadura con cargas esféricas en la base de hoyos verticales.

Figura N° 2. Sub Level Stopping – perforacion radial.



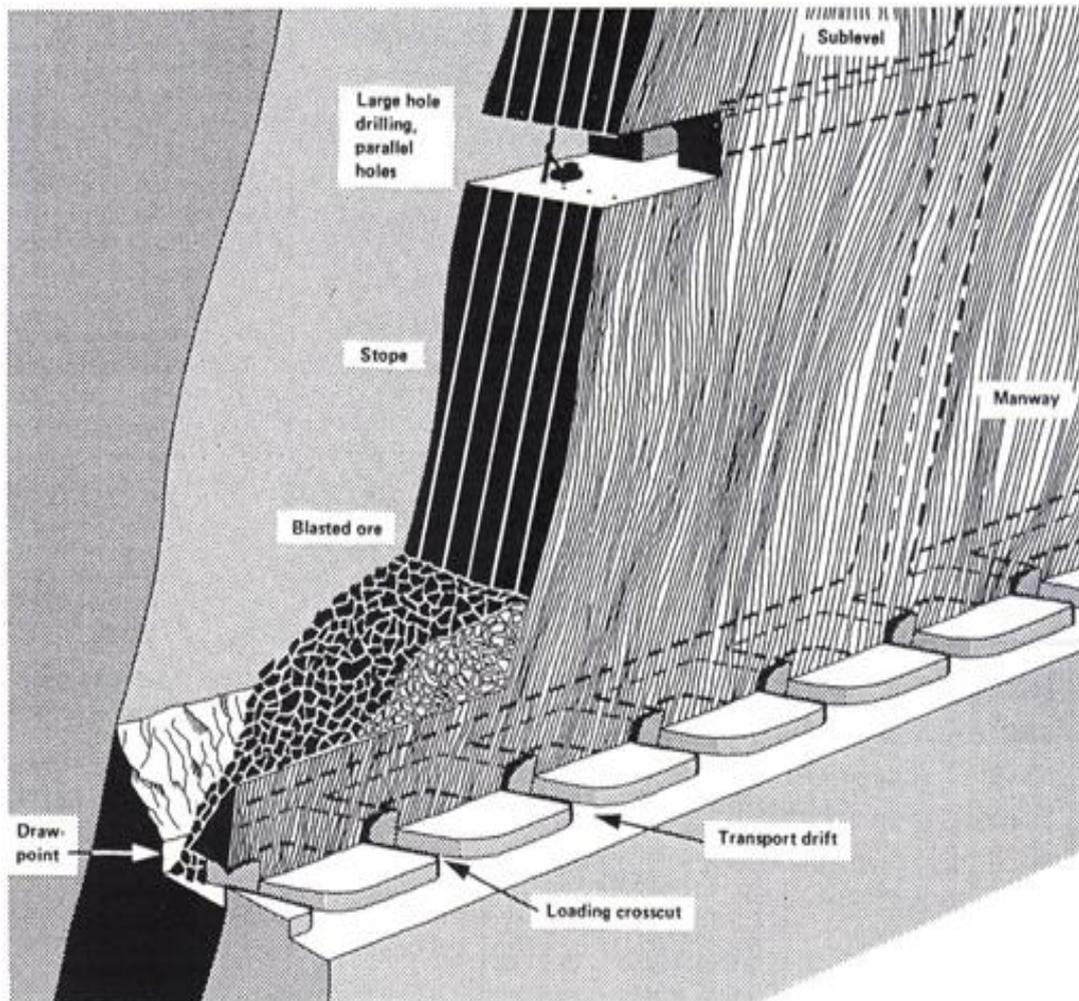
Fuente: [file:///C:/Users/corei7/Downloads/Sublevel\\_Stopping.pdf](file:///C:/Users/corei7/Downloads/Sublevel_Stopping.pdf)  
Recuperado el 2 de Junio del 2020.

**Figura N° 3.** *Sub Level Stoping Convencional principios del método.*



Fuente: file:///C:/Users/corei7/Downloads/Sublevel\_Stoping.pdf Recuperado el 2 de Junio del 2020.

**Figura N° 4.** *Sub Level Stopping variante Long Blash Hole (LBH).*

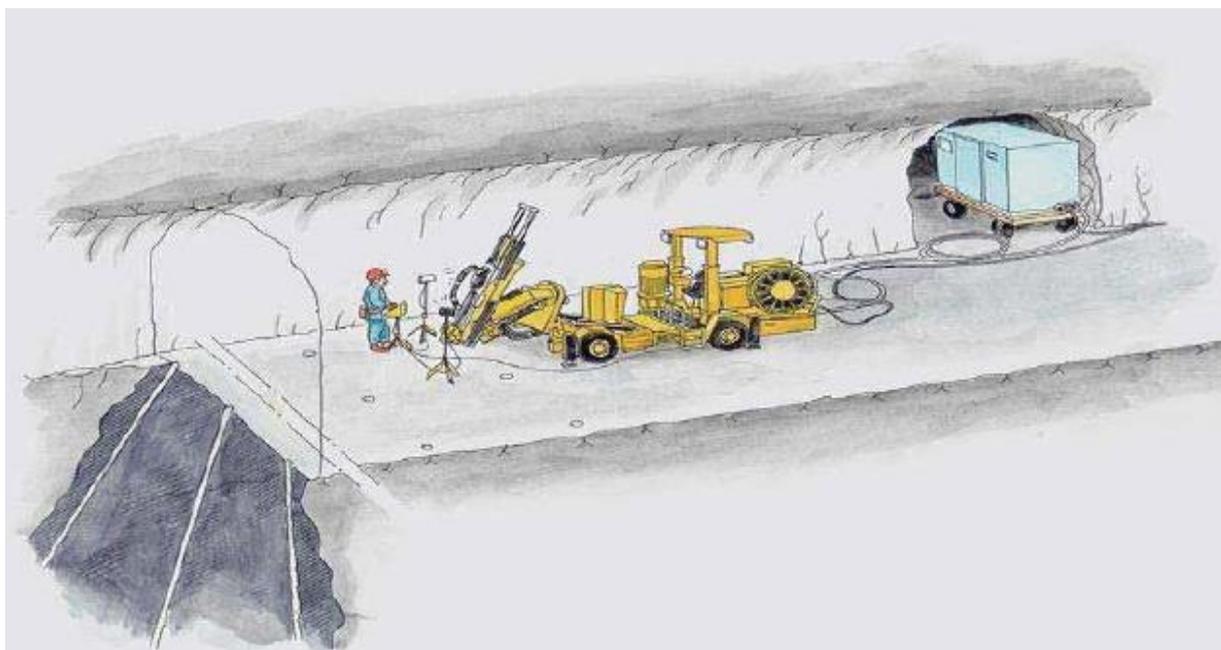


Fuente: file:///C:/Users/corei7/Downloads/Sublevel\_Stopping.pdf Recuperado el 2 de Junio del 2020.

### 2.2.2. Método de Taladros Largos.

Los taladros largos son los que se perforan con brocas mayor a 51 mm de diámetro y con barras de extensión que varían entre 1.20 m a 1.80 m de longitud. Son considerados como una variable del método sublevel stopping, ya que se puede afirmar que el proceso es similar a diferencia de la longitud de los taladros que pueden alcanzar hasta los 100 metros, además el método se puede aplicar en cuerpos y vetas, presenta una alta producción de extracción de minerales.

**Figura N° 5.** Perforación Taladros largos.



Fuente: Luisín Armando León Córdor - métodos Explotación Taladros Largos, Citado por Alata, 2019.

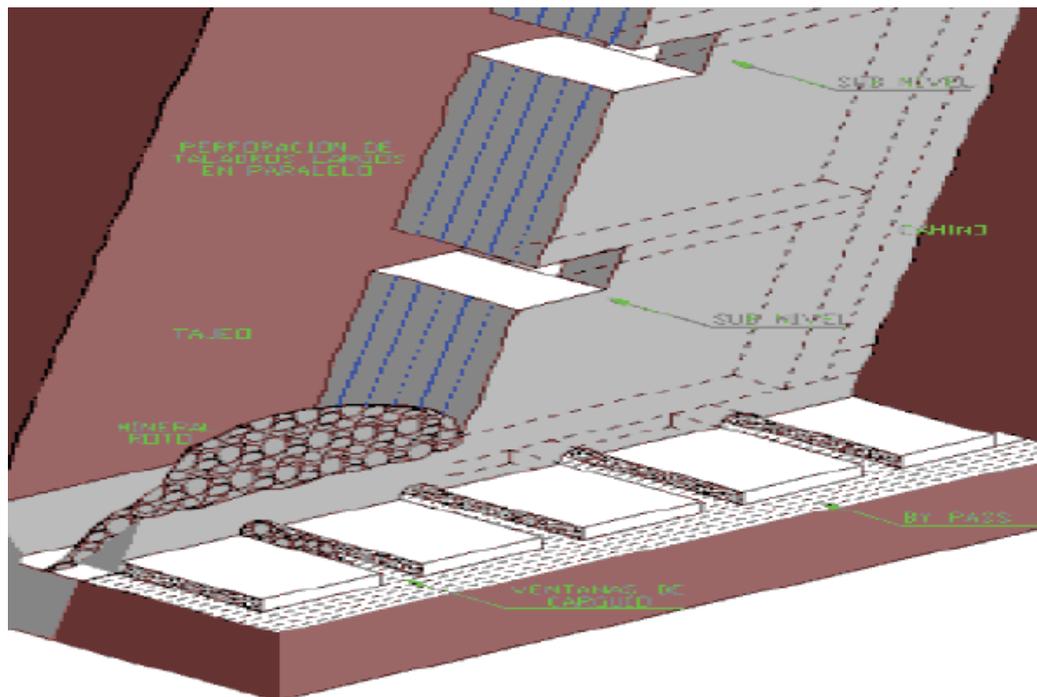
- ✚ Condiciones Necesarias Para Su Aplicación  $\frac{3}{4}$  Posibilidad de controlar las cajas.
- ✚ Cuerpos de más de 6 m de potencia.
- ✚ Diseño adecuado para sacar el máximo provecho al método  $\frac{3}{4}$  Limitaciones De Trabajo.
- ✚ Cuerpos irregulares.
- ✚ Posibilidad de dilución
- ✚ Cajas de material deleznable

## Tipos De Perforación:

### a. Taladros Paralelos.

- ✚ Se aplica a yacimientos verticales que tengan una potencia adecuada.
- ✚ La perforación, se realiza mediante taladros largos en paralelo con barras de extensión para alcanzar la longitud deseada, teniendo en cuenta la desviación de los taladros, por lo general el diámetro es de 51 mm a más.
- ✚ Teniendo formada la cara frontal del nivel inferior para dar inicio el arranque, se inicia la perforación con taladros negativos.
- ✚ La voladura se inicia de la parte baja y se realiza de manera ascendente con salida a una cara libre.
- ✚ Se tiene dos tipos de taladro en paralelos, Taladros positivos: hacia arriba, Taladros negativos: hacia abajo }

**Figura N° 6. Taladros Largos paralelos**



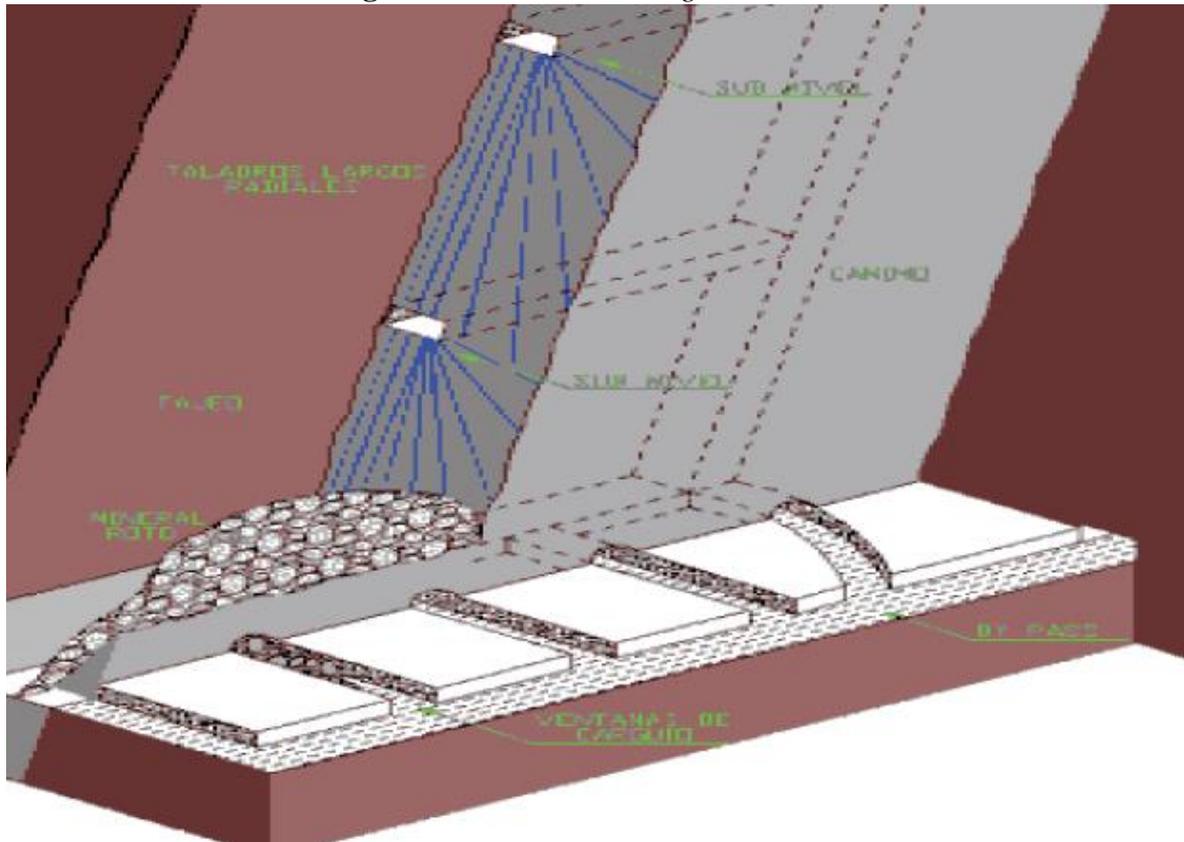
Fuente: Julián Miño Gallardo NOVIEMBRE - 2017, Citado por Alata, 2019.

#### **b. Perforación Radial.**

- ✚ Las operaciones se dan inicio de una cara libre en este caso ubicada en la parte inferior del tajo; la perforación se realiza en forma de abanico o en anillo, donde el mineral roto cae por gravedad, los mismos que son extraídos FRQ HTXLSRV 'ORDG KDXO GXPS' según el sistema que está empleando la mina.
- ✚ La distancia entre los subniveles ha ido incrementándose debido a que se tiene controles tecnológicos de modo eficiente para el desvío y prolongación de las barras de extensión, de esta manera se logra grandes distancias entre subniveles, en algunos casos se reduce a uno.

- ✚ Cuando se usa perforación en anillos, la sección transversal de la galería o subnivel es perforado en todo el perímetro radialmente
- ✚ En vetas angostas es recomendable realizar taladros paralelos: se tiene 2 tipos de perforación radial.

**Figura N° 7.** *Taladros Largos radiales.*



Fuente: Julián Miño Gallardo NOVIEMBRE - 2017, Citado por Alata, 2019.

## Métodos De Minado Usando Taladros Largos

### a LHB (Long Hole Blasting)

#### Características:

- ✚ Corte inferior: zona de recepción el material roto y forma la cara libre en la parte inferior del tajeo.
- ✚ Sector de taladros largos: donde se realiza las perforaciones y representa entre el 80 y 90% del material del tajeo
- ✚ Corte lateral: cara libre vertical para iniciar la voladura, tanto del corte inferior como del sector de taladros largos.

**Figura N° 8.** *Esquema Long Hole Blasting.*



Fuente: Cía. Minera Casapalca - área Geomecánica, Citado por Alata, 2019.

## Diseño De Malla De Perforación (Según Langefors):

El Diseño de Perforación según Langefors, uno de los más destacados especialistas suecos sugirió que la determinación de burden se basa en muchos más factores además del diámetro del taladro, por lo que propuso su modelo.

$$B_{max} = \frac{\phi}{33} \times \sqrt{\frac{\delta \times PRP}{c \times f \times E/B}}$$

dónde:

$B_{m\acute{a}x}$  = burden máximo (m)

$\phi$  = diámetro del taladro (mm)

$c$  = constante de roca

Dureza de roca	Constante de roca
Intermedia	0,3 + 0,75
Dura	0,4 + 0,75

f = Factor de fijación

Tipo de taladro	Factor de fijación
Vertical	1,00
Inclinado, 3:1	0,90
Inclinado, 2:1	0,85

E/B = relación entre espaciamiento y burden

$\delta$  = densidad de carga (g/cm<sup>3</sup>)

PRP = potencia relativa en peso del explosivo

Valor Práctico Del Cálculo Del Burden Se calcula con la siguiente fórmula

Dónde:

B<sub>máx</sub> = burden máximo

$\phi$  = diámetro del taladro (mm)

L = Longitud del taladro (m)

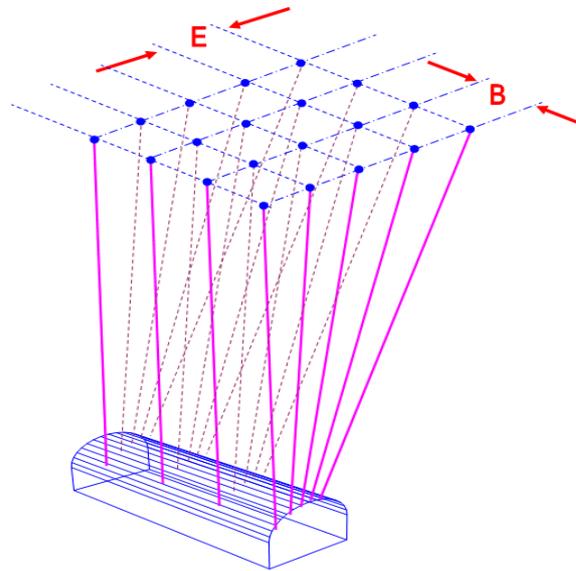
Valor Del Espaciamiento se calcula con la siguiente fórmula

Dónde:

E = Espaciamiento (m)

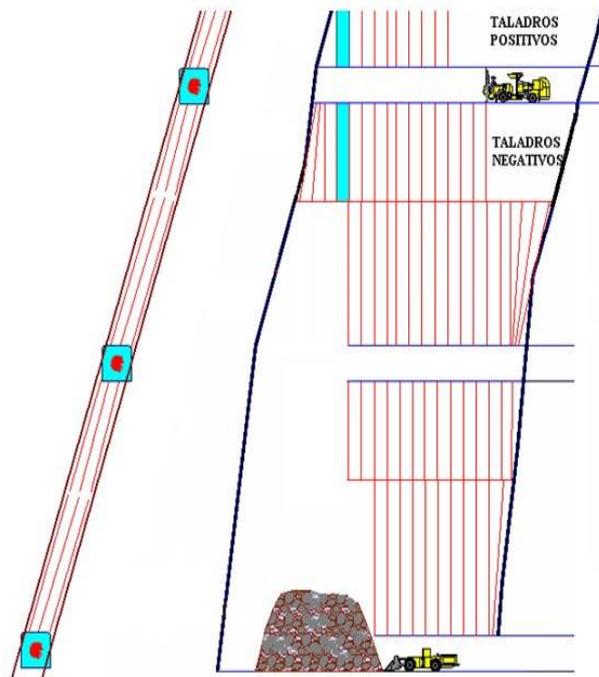
B = Burden (m). (Alata, 2019).

**Figura N° 9.** *Diseño de la malla de perforación y voladura.*



Fuente: Exsa, sandvik rock tool, Empresa minera los Quenuales S.A. Perforación & Voladura - Taladros largos, métodos de explotación SLC – SLV, Citado por León, 2017.

**Figura N° 10.** *Diseño típico para el minado – SLV.*



Fuente: Exsa, sandvik rock tool, Empresa minera los Quenuales S.A. Perforación & Voladura - Taladros largos, métodos de explotación SLC – SLV. Citado por León, 2017.

### 2.3. Definición de Términos.

- ✚ **Malla de perforación.** - Diseño inicial para perforación, con la finalidad de lograr una distribución uniforme de la energía, un confinamiento y nivel de energía adecuado.
- ✚ **Jumbo/Simba.** - Maquina de perforación electro hidráulico especialmente diseñado para perforar taladros verticales ascendentes y descendentes.
- ✚ **Aceros de perforación.** - Son elementos que sirven para transmitir la energía mecánica a la roca
- ✚ **Broca retráctil.** - Elemento con diseño del faldón estriado para minimizar la desviación del taladro
- ✚ **Taladro de rotura.** - Orificios perforado con la finalidad de colocar una con carga explosiva.
- ✚ **Paralelismo.** - Técnica que sirve para asegurar la simetría y mantener el burden entre filas de perforación.
- ✚ **Angulo de inclinación.** - Inclinación de los taladros que sirve para asegurar el espaciamiento entre taladros a perforar en el eje de perforación (fila)
- ✚ **Desviación de taladro.** - Taladro ejecutado que está fuera del punto inicial planificado, la desviación es vista desde un punto de vista

tridimensional pudiendo distorsionar el burden y el espaciamiento del diseño original.

- ✚ **SLC.** - Método de explotación sub level en cuerpos.
- ✚ **SLV.** - Método de explotación sub level en vetas.
- ✚ **Explosivo.** - Compuesto químico, mezcla de materiales cuyo propósito es funcionar por explosión
- ✚ **Cebo.** - Combinación de una carga explosiva y un detonador que constituye una unidad.
- ✚ **Carga de columna.** - Carga larga y continúa de un explosivo o agente de voladura dentro de un taladro.
- ✚ **Acoplamiento.** - Grado en que un explosivo llena un taladro, los explosivos a granel son acoplados totalmente.
- ✚ **Densidad del explosivo.** - Peso de un explosivo en un volumen determinado.
- ✚ **Densidad de carga.** - Peso de un explosivo cargado por metro de taladro.
- ✚ **Velocidad de detonación.** - Velocidad a la cual progresa la detonación a través de un explosivo.
- ✚ **Factor de carga.** - Cantidad de explosivo usado por unidad de roca para volarlo.

- ✚ **Sobre excavación.** - Exceso de rotura más de los límites de excavación.
  
- ✚ **Taco.** - Material inerte introducido en el taladro detrás de la carga de columna, su propósito es retener los gases y la energía del explosivo dentro del taladro.
  
- ✚ **Retardos.** - Pausa de tiempo determinado entre detonaciones e impulsos de detonación para permitir la iniciación de cargas explosivas separadamente.
  
- ✚ **Presión de barrenos.** - Presión que ejercen los gases calientes del explosivo detonado sobre la pared del taladro, la presión del taladro es una función de la densidad y la velocidad de detonación. (León, 2017).

## CAPITULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1. *El Problema.*

La necesidad de mayor producción en la mina Arequipa M, porque a medida que la mina va profundizando tanto horizontalmente como verticalmente porque las leyes van en descenso, y las potencias de las vetas van en aumento hace que sea necesario el cambio de métodos de explotación pero sin bajar la producción actual, este cambio del método de explotación subterránea debe de tener como base , los estudios geológicos y geotécnicos, teniendo la información en tiempo real de la zona a explotar.

El tajo Piloto de la mina Arequipa M. busca que la programación mensual de la producción sea cumplida por que se registraba una baja productividad.

La gerencia general de la mina Arequipa M. necesita aumentar los volúmenes de producción. Para ello será necesario contemplar la implementación de un método de minado distinto a los que usualmente se viene realizando, con metodología de minado que asocia una explotación adecuada, compatibles con los criterios de seguridad y y rentabilidad.

Para mejorar la producción en el tajo piloto, se considera la necesidad de implementar un método de explotación que mejor se adapte a las condiciones geológicas y geomecánicas encontradas en la mina, además de otros factores importantes para seleccionar el método de minado, deberá considerarse los aspectos operativos como: tiempo en los ciclos de minado, voladura controlada, relleno y una evaluación económica del método, de tal manera que este resulte técnica y económica

factible, así lograr mecanizar las operaciones en la sección de vetas logrando reducir así los costos de explotación. (Alata, 2019)

### **3.1.1. Formulación del Problema.**

#### **3.1.1.1. Formulación del problema General.**

¿Cómo implementar el método de explotación Sublevel Stopping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M - 2020?

#### **3.1.1.2. Formulación de problemas específicos.**

1. ¿Cuáles son las condiciones geológicas y geomecánicas encontradas en el tajo piloto para la implementación del método de explotación Sublevel Stopping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020?
2. ¿Cuáles son las variables técnicos - económicos para la implementación del método de explotación Sublevel Stopping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020?
3. ¿Cómo la implementación del método de explotación Sublevel Stopping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020, incrementara la productividad?

### **3.1.2. Objetivos de la investigación.**

#### **3.1.2.1. Objetivo General.**

Implementar el método de explotación Sublevel Stopping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020.

#### **3.1.2.2. Objetivos Específicos.**

1. Determinar las condiciones geológicas y geomecánicas encontradas en el tajo piloto para la implementación del método de explotación Sublevel Stopping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020.
2. Determinar las variables técnicos - económicos para la implementación del método de explotación Sublevel Stopping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020.
3. Implementar el método de explotación Sublevel Stopping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020, incrementara la productividad.

### **3.1.3. Justificación e importancia.**

La tesis se justifica porque, el incumplimiento de la producción planeado en los tajos del nivel 2 y la necesidad que impone la Gerencia General de aumentar la producción, de la mina el departamento de ingeniería mina vio por conveniente implementar el método de explotación Sublevel Stopping con

taladros largos en el Tajo Piloto, interactuado necesariamente con los criterios de seguridad y rentabilidad, en la mina.

La investigación es importante con la propuesta de implantación se incrementará la producción mejorando notablemente la productividad y reduciendo los costos de explotación. Con esta experiencia se espera que la explotación de todos los tajos de los niveles inferiores se realice con este método.

#### **3.1.4. Alcances.**

Los alcances de la tesis están dirigidos a todos los tajos de los niveles inferiores de la mina Arequipa M.

#### **3.1.5. Delimitación De La Investigación**

La investigación se realizará exclusivamente en el tajo piloto de la mina Arequipa M.; dependiendo de los resultados se determinará su aplicación en otros tajos.

### **3.2. Hipótesis.**

#### **Hipótesis General.**

La implementación del método de explotación Sublevel Stopping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020, incrementa la producción.

### **Hipótesis Nula.**

La **NO** implementación del método de explotación Sublevel Stoping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020, **NO** incrementa la producción.

### **Hipótesis Específicas.**

1. Se determina las condiciones geológicas y geomecánicas del tajo piloto de la mina Arequipa - M – 2020.
2. Se determina las variables técnicos - económicos para la explotación del Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020.
3. Se implementa el método de explotación Sublevel Stoping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020, para incrementar la productividad.

### **3.3. Variables.**

#### **Variable Independiente (x):**

Implementación del método de explotación Sublevel Stoping con taladros largos.

#### **Variable dependiente (y):**

Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M año 2020

### 3.3.1. Operacionalización de variables.

Tabla N° 2. Operacionalización de variables.

Tipo de Variable	Nombre de la Variable	Dimensiones	Indicadores
Variable Independiente	Implementación del método de explotación Sublevel Stoping con taladros largos.	Forma de Yacimiento	✚ Vetas Cuerpos
		Producción Subnivel	✚ Toneladas métricas.
Variable dependiente	Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M año 2020.	Resistencia de la Roca	✚ RMR. ✚ Producción óptima al menor costo con cero accidentes.
		Ley	✚ % y Oz/Tm.
		Reserva del Mineral Económico	✚ TM
		Volumen	✚ M3
		Potencia de la veta	✚ Metros
		Malla de perforación	✚ Dimensiones en metros
		Rentabilidad económica	✚ Dólares, Soles.

Fuente: Adaptación de Waldo Roley Alata Ttito; 2019.

### 3.4. Diseño de la investigación.

#### 3.4.1. Tipo de investigación.

El tipo de investigación es APLICADA, porque se buscará las soluciones para la implementación del método de explotación Sublevel Stoping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020.

### 3.4.2. Nivel de la investigación.

El nivel será de investigación descriptiva.

### 3.4.3. Método.

Según Fernando Hernández, el método es el modo de conducir una investigación, el cual puede encerrar una serie de procedimientos.

Buendía, Colás y Hernández, expresan que el método podría quedar definido como el conjunto de procedimientos que permiten abordar un problema de investigación con el fin de lograr unos objetivos determinados.

Para Carlos Muñoz Razo, el método es procedimiento, técnica, teoría, tratamiento, sistema, enseñanza y ordenación; Modo de obrar habitual; marcha racional del espíritu para llegar al conocimiento de la verdad; Modo ordenado de proceder, hablar o comportarse.

Tomando los componentes que se mantienen como una constante en cada una de las posturas expuestas por los citados autores, se concluye que el Método es el camino procesal, lógico y organizado en la búsqueda de la verdad absoluta del conocimiento.

Una mala aplicación en el uso de los métodos puede conducirnos a una investigación estéril, apartarnos de los objetivos propuestos, los cuales deben tener una presencia permanente en la investigación, y el logro de estos se deberá en gran medida a la selección y uso adecuado del método. (<https://www.monografias.com>).

Se empleará el método científico.

#### 3.4.4. Población y muestra

##### **Población**

La población está compuesta por todos los tajos de la Mina Arequipa M, en el año 2020.

##### **Muestra**

La muestra será conformada por el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa – M, en el año 2020.

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

Las técnicas de recojo de datos serán:

**Observación:** Que consistirá en una percepción atenta y planificada de las diferentes actitudes que presentan los trabajadores mineros, los cuales están relacionados con los objetivos de la investigación, en las condiciones habituales de los trabajadores mineros, es decir sin provocarlos.

**Análisis documental:** Consistirá en la revisión de los registros de accidentes e índices de seguridad.

**Cuestionarios:** Consistirá en buscar la opinión de los trabajadores con respecto al plan aplicado.

##### **Técnicas de análisis de datos:**

Se empleó la estadística descriptiva probabilística, que es el conjunto de procedimientos diseñados para organizar, resumir y agrupar datos

descriptivos, para la prueba de la hipótesis se usa la estadística inferencial con la prueba Z.

### **Instrumentos de recolección de datos en trabajos de campo:**

- ✚ Software de Microsoft Office, donde se utilizaron los programas Word y Excel, para la elaboración del informe y el procesamiento de los datos.
- ✚ Acceso a Internet, para la búsqueda de información referencial.
- ✚ Recursos de oficina, como lápices, lapiceros y papel para el registro de la información durante las entrevistas y el proceso de observación directa. Además, un computador para la elaboración del informe.

### **Diseño de prueba de hipótesis:**

Se empleó el siguiente diseño:

- ✚ Plantear la hipótesis nula.
- ✚ Seleccionar el nivel de significancia.
- ✚ Identificar el valor estadístico de la prueba.
- ✚ Formular una regla de decisión.
- ✚ Tomar una muestra, llegar a una decisión (se rechaza o se acepta).

## CAPITULO IV

### RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 4.1. *Descripción de la realidad y procesamiento de datos*

La mina Arequipa “M”, se ubica en el distrito de Marcará, provincia de Carhuaz, departamento y región Ancash. La litología en la zona de estudio y alrededores está constituida por el intrusivo de granodiorita del batolito de la Cordillera Blanca, cuarcitas, areniscas y lutitas de la Formación Chicama del Jurásico superior. La mina tiene una superficie de 40 ha, y se han identificado nueve (9) vetas principales distribuidas en cuatro sistemas estructurales con direcciones N25°W vetas Arequipa “M”, Arequipa Sur, Loreta, Roma, Melgar; sistema N55°E vetas Caballito, Ramal Caballito; Sistema N-S vetas Diagonal Caballito; Sistema N-55°W veta Reyna. La mineralización Au-Ag-Pb-Zn-Cu es de tipo hidrotermal vetiforme de sulfuración intermedia a baja, y se ha originado por relleno de fracturas posiblemente en diferentes pulsos relacionados con la actividad magmática de la Cordillera Blanca de Edad Mioceno superior-Plioceno. La mena está constituida por oro-galena-esfalerita-calcopirita; la ganga incluye tres generaciones de cuarzo (blanco, hialino y gris), pirita, arsenopirita, calcita, baritina, azufre, epidota, turmalina, silomelano.

El método de explotación Sublevel Stopping con taladros largos es beneficioso, porque permite incrementar el volumen de producción, con una menor exposición del personal al riesgo de caída de rocas, mecanización de los equipos y minimizar costos de operación. La aplicación de la variante del método de minado sublevel stopping con taladros largos en vetas angostas se aplicará en el en el tajo piloto del Nivel 2, de la mina Arequipa - M

## 4.2. Descripción de la realidad y procesamiento de datos

- ✚ El método de minado sublevel stoping en vetas, se realizó en bancos de 10 metros, pero se tuvo el inconveniente de la desviación de taladros a la vez generando sobre dilución en el minado.
- ✚ El método de minado es que se emplea en vetas con un promedio de 1.20 metros, que buzcan 70° a 85° al SW, luego de las pruebas en la implementación del método de minado se logró determinar una variante muy importante al método de sublevel stoping para hacerlo productivo.
- ✚ La implementación del método de sublevel stoping tiene como finalidad obtener las siguientes mejoras:
  - ❖ Mejor productividad de minado.
  - ❖ Recuperación de mineral por encima del 90%.
  - ❖ Reducir la exposición de personal al riesgo de caída de rocas.
  - ❖ El método de minado empleado en la unidad minera Arequipa M. permite tener una producción constante al poder realizar un ciclo de minado continuo por la cantidad de blocks a minar.
- ✚ El cash cost durante indica que se está mejorando la rentabilidad de la operación que actualmente está alrededor de US\$ 52.00/TM.
- ✚ Se debe de indicar que el cambio de los métodos convencionales a los métodos mecanizados para dar mayor velocidad a la explotación y permiten incrementar hasta un 30% más la producción.

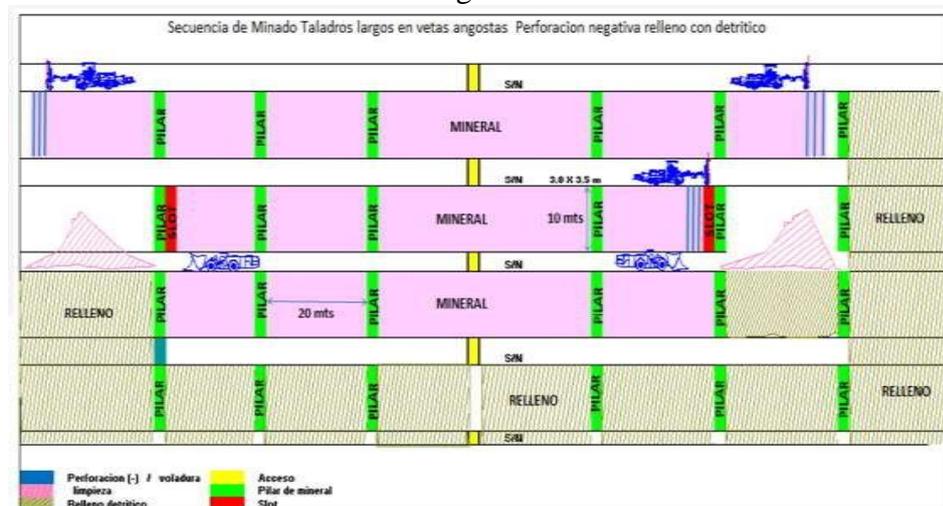
- ✚ El costo de producción disminuyó por se incrementó el tonelaje producido por la implementación del método de minado sublevel stoping con taladros largos.
- ✚ Los costos unitarios de perforación y voladura se incrementaron, pero decrecieron el del proceso de sostenimiento y en líneas generales se incrementó la producción y de esta manera se tuvo un ahorro significativo.

### 4.3. Diseño método de minado sublevel stoping

El diseño de minado inicia con el desarrollo de rampas con una sección de 3.5 m x 3.0 m, gradiente de 12 % negativo en un banco total de 60 m promedio, hasta llegar al nivel inferior o piso base, luego se preparan los accesos con sección de 3.5 m x 3.0 m hasta cortar la estructura para luego iniciar a correr los subniveles armando bancos de 10 m para minado de taladros largos.

- Para el minado se inicia la explotación desde los extremos en bancos de 25 m de longitud con pilares de 5 m, una vez culminado el minado de cada block se procede al relleno con desmonte, para dar paso al minado del nivel superior inmediato. (Baldeon, 2021).

**Figura N° 11.** Secuencia de minado sublevel stoping con taladros largos en vetas angostas



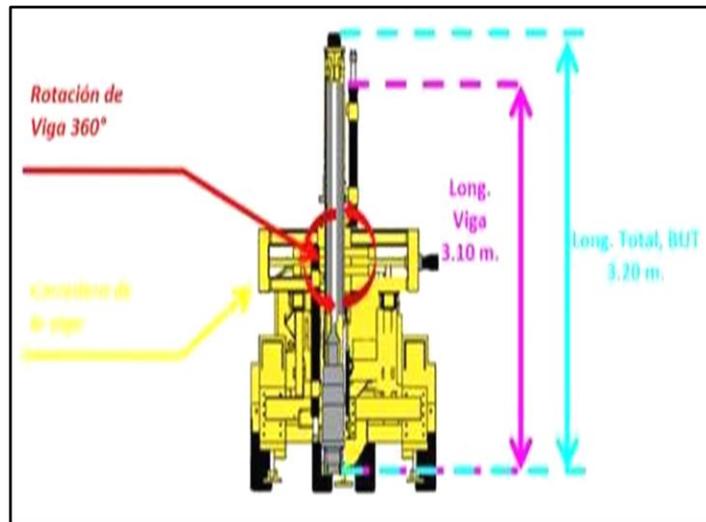
Fuente: Miguel Angel Baldeon Lazaro, 2021

Para realizar el minado se por método de minado sublevel stoping con taladros largos se tiene:

a. 01 Raptor

- ✚ Long. De barra de perforación: 1.2 m
- ✚ Tipo de columna: T-38
- ✚ Longitud de taladros: 10.00 m. (Baldeon, 2021).

**Figura N° 12. Raptor**



Fuente: Miguel Angel Baldeon Lazaro, 2021.

Un factor importante es el tipo de broca a utilizar en el minado para disminuir la desviación de los taladros.

**Figura N° 13. Tipos de brocas a emplear.**

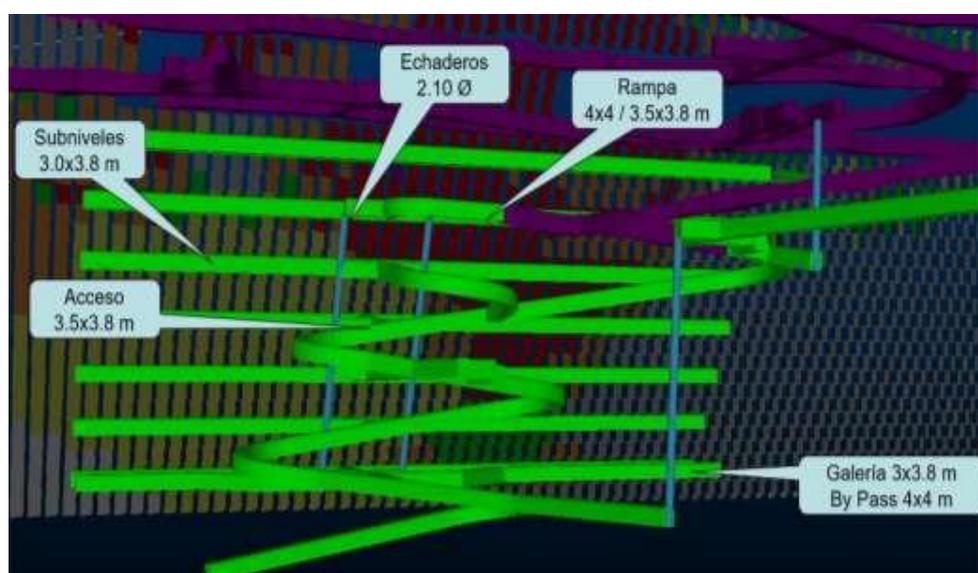


Fuente: Miguel Angel Baldeon Lazaro, 2021

### 4.3.1. Criterios de diseño para el minado sublevel stopping

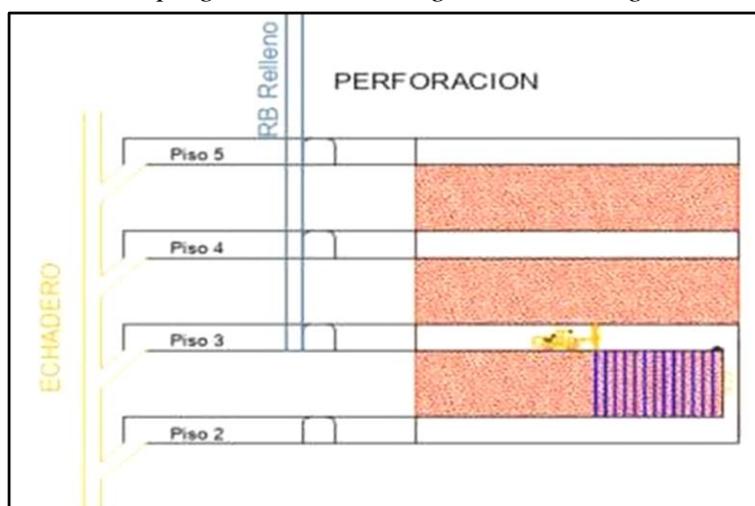
Para el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa – M, las labores de desarrollo y preparación en el diseño del método de minado sublevel stopping se considera: rampas de 3.5 x 3.00 m galerías de 4.5 x 4.00 m; bypass 4.5 x 4. m; accesos de 3.5 x 3.0 m; subniveles de 3.5 x 3.0 m y echaderos de 2.10 m de diámetro, considerando el ciclo de minado. (Baldeon, 2021).

**Figura N° 14.** Dimensiones de labores de desarrollo y preparación del método de minado sublevel stopping con taladros largos en vetas angostas.



Fuente: Miguel Angel Baldeon Lazaro, 2021

**Figura N° 15.** Dimensiones de labores de desarrollo y preparación del método de minado sublevel stopping con taladros largos en vetas angostas.



Fuente: Miguel Angel Baldeon Lazaro, 2021

## 1. Perforación

En la etapa de preparación de los subniveles de perforación, se deberá considerar:

- ✚ Sección mínima de 3.0 m de ancho y 3.5m de altura
- ✚ Refugios para el operador del scoop cada 25 m, con sección de 2 m de ancho x 2 m de alto y 1.50 m de largo. Su ubicación será de acuerdo con la ubicación de la cabina del scoop (al techo o piso de la veta).
- ✚ Ventilación forzada mediante ventiladores eléctricos y sus respectivas mangas de ventilación.
- ✚ Además del sostenimiento de las cajas y corona, en función a la recomendación geomecánica, instalar pernos hacia la caja techo a 0.50 m del piso y a menos 45° de inclinación, espaciados cada 1.50 m.
- ✚ Los nichos para tableros eléctricos se harán cada 50 m, con sección de 1.5 m de ancho x 1.80 m de altura y 1.50 de longitud. (Baldeon, 2021).

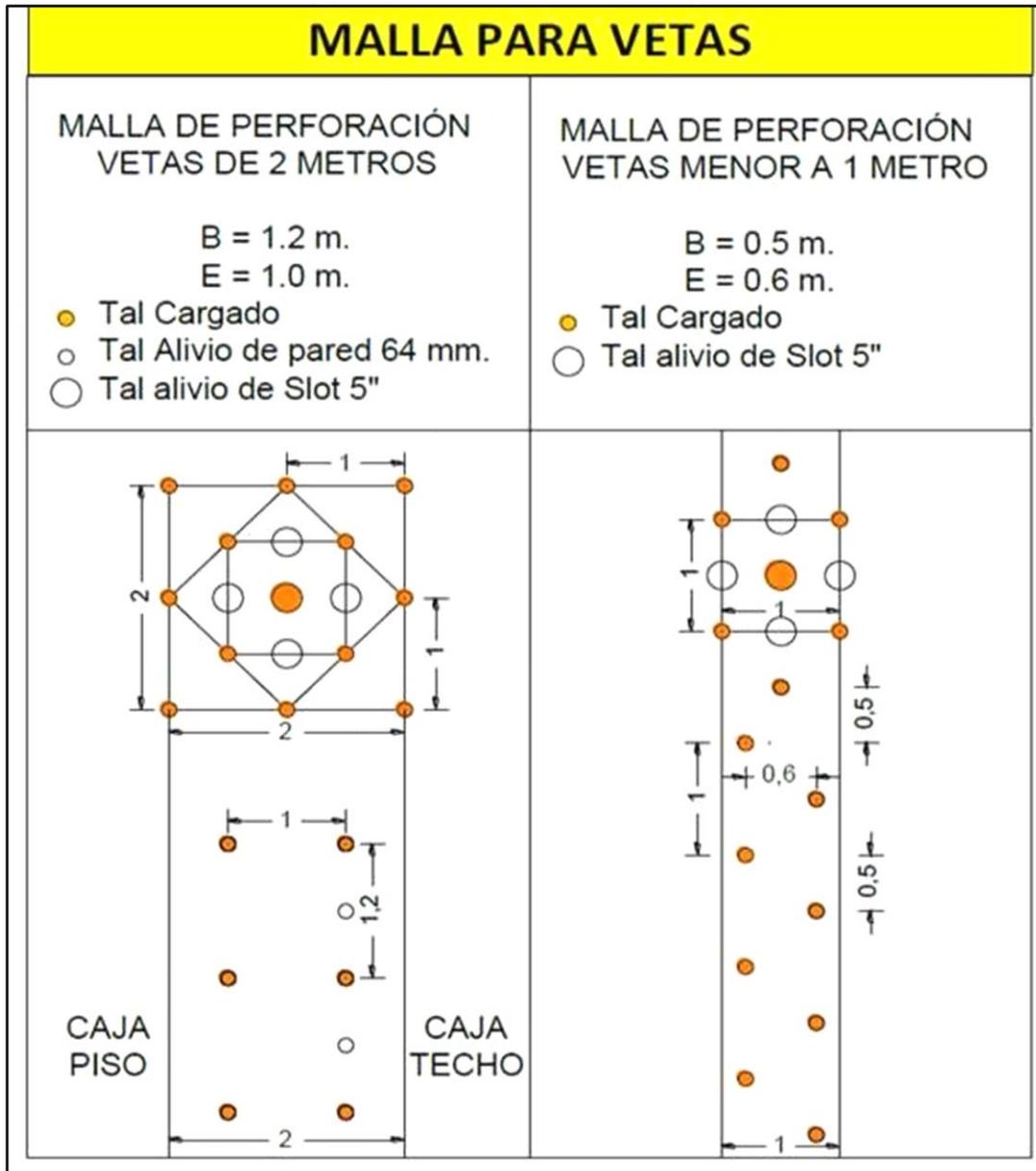
## 2. Perforación en taladros largos

- ✚ En el subnivel superior de perforación, debe instalarse las "colas de chancho", para asegurar el cable de acero y éste debe unir la caja techo y la caja piso a una altura de 1.50 m. Este

será usado por el operador y ayudante del equipo de taladros largos como línea de vida.

- ✚ Contar con iluminación en los subniveles superior e inferior.
- ✚ Contar los planos de perforación según el diseño realizado por el área de Planeamiento, donde incluye longitud de taladro, inclinación, ubicación del inicio de cada taladro
- ✚ Debe haber 05 filas perforadas acumuladas, respecto al área disparada para reducir la exposición a caída de persona.
- ✚ La malla de perforación será en función a los factores geológicos y explosivo a usar.
- ✚ Al término de perforación de cada guardia, el acceso hacia el área explotada debe quedar bloqueada con malla electrosoldada. (Baldeon, 2021).

Figura N° 16. Malla para vetas.



Fuente: Miguel Angel Baldeon Lazaro, 2021.

### 3. Voladura

#### Diseño de la Voladura

- ✚ La malla de perforación debe considerar taladros de alivio en los contornos del tajeo, para reducir el daño al macizo rocoso.

- ✚ Los explosivos a utilizarse son: Dinamita 65% x 1 1/2"x12" y anfo.
- ✚ Los accesorios de voladura se usarán: fulminante antiestático no eléctrico, pentacord, mecha rápida y armada de mecha lenta.

### **Proceso de Carguío de Taladro**

- ✚ Los cargadores utilizarán obligatoriamente el arnés de seguridad con doble línea de anclaje, quienes se sujetarán en el cable de acero, previamente instalado.
- ✚ Preparar el número de "cebos" previamente en función al número de taladros a disparar. El número de filas pueden ser 1, 2 o 3, dependiendo de las condiciones geológicas del macizo rocoso.
- ✚ Colocar un tapón en la parte inferior del taladro, luego rellenar 0.70m con detritus.
- ✚ Ubicar el "cebo 1" a 9m del taladro y vaciar el anfo hasta 4.50 m.
- ✚ Luego colocar el "cebo 2" a 4.50m y vaciar anfo hasta 1 m. Finalmente completar con detritus hasta llenar el taladro.

Figura N° 17. Proceso de carguío en taladros largos.

Carguío del taladro rimado central de 5" Ø del SLOT	Carguío de taladro que no requiere ser entubado de 2.5" Ø	Carguío de taladro tubo pvc de 2" Ø	Carguío de taladro caja techo tubo pvc de 1.5" de Ø
LONG. 10 m. Rompe boca Ø = 5"	LONG. 10 m. Rompe boca Ø = 5"	LONG. 10 m. ENTUBADO - TUBO PVC DE Ø = 2"-	LONG. 10 m. ENTUBADO - TUBO PVC DE Ø = 1.5"-
Densidad lineal = 10.77 kg/m	Densidad lineal = 2.73 kg/m	Densidad lineal = 1.70 kg/m	Densidad lineal = 0.97 kg/m
86.1 Kg Explosivo/tal	86.1 Kg Explosivo/tal	13.92 Kg Explosivo/tal	7.76 Kg Explosivo/tal
<b>LEYENDA :</b> SEMEXSA 1 1/2" x 12"     EXAMON P			

Fuente: Miguel Angel Baldeon Lazaro, 2021.



metros por día), con una optimización en perforación favorable debido a las condiciones favorables del equipo sin demoras y/o seguimiento de mantenimiento mecánico para la solución de las fallas mecánicas que pueda presentar.

### **Limpieza**

- ✚ Debe contar con refugios para ubicación del operador de scoop.
- ✚ Debe contar con iluminación por el subnivel superior e inferior.
- ✚ La ventilación debe ser suficiente como para mantener la presencia de gases por debajo de los límites máximos permisibles (LMP); CO 25PPM, CO<sub>2</sub> 5000PPM, NO<sub>x</sub> 5PPM, O<sub>2</sub> 19.5 %.
- ✚ Las emisiones de gases del scoop a control remoto deberá estar por debajo de los límites máximos permisibles (CO 500 PPM y NO<sub>x</sub> 500 PPM).

### **Proceso de limpieza**

- ✚ El scoop debe verificarse su operatividad antes de iniciar con la limpieza de mineral.
- ✚ El scoop será de 2.2 yd<sup>3</sup> de capacidad.
- ✚ El operador maniobrara manualmente hasta el echadero o cámara de acumulación.

### **Relleno**

- ✚ Debe contar con iluminación por el subnivel superior
- ✚ Debe asegurarse de contar con ventilación forzada o natural.
- ✚ EL relleno puede ser detrítico (desmote de labores de avance) o relleno consolidado (mezcla de agregado y cemento).

### **Proceso de relleno**

- ✚ Antes de iniciar con el relleno, se colocará un dique con desmote en el subnivel inferior, para controlar el relleno dentro del área explotada.
- ✚ El relleno se hará en avanzada por el subnivel superior, colocando previamente un dique en el borde del tajeo para evitar que el scoop pase a la zona explotada.
- ✚ Al finalizar el relleno, el ciclo de minado se repetirá; perforación, voladura, limpieza y relleno.

### **Precisiones**

- ✚ La sobre dilución se incrementó 7% durante el periodo 2020. Este mayor incremento de la dilución está relacionado directamente al cambio del método de minado más selectivo como el cut and fill a métodos semi masivos como el sublevel stoping y sus variantes.
- ✚ La duración de llantas de equipos de carguío y acarreo se incrementaron durante el periodo, esta mayor vida operacional está relacionado a un mejor diseño y control de mantenimiento de vías

como gradientes y resistencia a la rodadura desde los puntos de carguío de mineral y desmonte hasta los puntos de descarga.

- ✚ En la unidad minera se vienen realizando trabajos de seguimiento y control para mejorar la productividad en el minado de sublevel stoping.
- ✚ Mediciones de taladros perforados es de acuerdo con el diseño programado. (Baldeon, 2021).

#### 4.4. *Discusión de resultados*

- ✚ Los efectos alcanzados al establecer el esquema y secuencia de perforación de taladros largos a implementar en la técnica de Sublevel Stoping, en función a la muestra del Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa – M, se obtiene un burden practico de 1.20 m. y un espaciamiento practico 1.00 m.
- ✚ En la semana se concluyó satisfactoriamente con la perforación paralela y en abanico con la perforación de 4,920 m. Siendo esta una optimización en perforación favorable para la empresa, y esto fue permitido por las condiciones favorables del equipo, no hubo demoras y/o seguimiento de mantenimiento mecánico para la solución de las fallas mecánicas que pudieran presentarse
- ✚ Los nuevos parámetros de diseño de malla son:
  - ❖ Burden de 1.20 m.
  - ❖ Espaciamiento de 1.00 m.

✚ Factor de potencia = 3.84 Kg Anfo / Ton.

#### 4.5. *Aportes del tesista*

Se contribuyó a apoyar al departamento de ingeniería con aportes teóricos para la implementación del método de explotación Sublevel Stopping con taladros largos en el tajo piloto del Nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020.

## CONCLUSIONES.

1. Se implementó del método de explotación Sublevel Stopping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020, el cual permitió el incremento de la producción en un 30%, mejorando la rentabilidad de la operación.
2. Se determinó las condiciones geológicas y geomecánicas encontradas en el tajo piloto para la implementación del método de explotación Sublevel Stopping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020.
  - ✚ vetas Arequipa “M”, con un azimut N 55° E.
  - ✚ La mineralización Au-Ag-Pb-Zn-Cu.
  - ✚ Tipo hidrotermal vetiforme de sulfuración intermedia a baja, y se ha originado por relleno de fracturas posiblemente en diferentes pulsos relacionados con la actividad magmática de la Cordillera Blanca.
  - ✚ La ganga incluye tres generaciones de cuarzo (blanco, hialino y gris), pirita, arsenopirita, calcita, baritina, azufre, epidota, turmalina, silomelano.
  - ✚ RMR bueno de 60 a 65, porque este dominio se constituye litológicamente por una asociación de minerales constituidos de “sulfuros primarios, sulfuros secundarios, óxidos, carbonatos y cuarzo” emplazados en una buena matriz.
  - ✚ Estructuralmente se tipifican como un material fracturado (RQD 50-75).
3. Se determinó las variables técnicos - económicos para la implementación del método de explotación Sublevel Stopping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020.

- ✚ El método de minado sublevel stoping en vetas, se realizó en bancos de 10 metros, pero se tuvo el inconveniente de la desviación de taladros a la vez generando sobre dilución en el minado.
  - ✚ El método de minado es que se emplea en vetas con un promedio de 1.20 metros, que buzan 70° a 85° al SW, luego de las pruebas en la implementación del método de minado se logró determinar una variante muy importante al método de sublevel stoping para hacerlo productivo.
4. Se implementó el método de explotación Sublevel Stoping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020, el cual incremento la productividad.
- ✚ Mejor productividad de minado.
  - ✚ Recuperación de mineral por encima del 90%.
  - ✚ Reducir la exposición de personal al riesgo de caída de rocas.
  - ✚ El método de minado empleado en la unidad minera Arequipa M. permite tener una producción constante al poder realizar un ciclo de minado continuo por la cantidad de blocks a minar.
5. Se redujo los costos de operación por el mayor tonelaje producido, esta reducción de costos tuvo una incidencia directa en la reducción de costos de mina en el periodo del año 2020.
6. La explotación de Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa – M, mediante el método de tajeo por subniveles con taladros largos no presentara ningún riesgo de

estabilidad para los blocks de 50.0 m de longitud y 15.0 m de altura de banco sin sostenimiento, siendo la altura total entre los subniveles de 20.0 m

7. La malla de perforación nos permitirá homogenizar la fragmentación y la mejora de la resistencia de los hastiales en función a los nuevos parámetros de diseño:

- ✚ Burden de 1.20 m.

- ✚ Espaciamiento de 1.00 m.

- ✚ Factor de potencia = 3.84 Kg Anfo / Ton.

8. Con la homogenización de la fragmentación se redujo los de bancos en los disparos de Sublevel Stopping, programando la perforación de 5 filas por guardia, en vez de 4 filas por guardia, y así disminuir el consumo de explosivos; permitiendo obtener un alto rendimiento económico y productivo

## RECOMENDACIONES

1. Para mejorar el diseño de malla de perforación y voladura de taladros largos con equipos raptor y así cumplir los objetivos trazados por la compañía, se debe de establecer que las labores de preparación estén totalmente estandarizadas para la perforación.
2. Para tener una buena optimización se debe considerar el uso de tubos tag, para las barras de perforación e igualmente se recomienda el uso de los tubos guía para reducir la desviación de taladros según el esquema.
3. Hay que considerar que los aceros deben de estar en rotación permanente para evitar el desgaste prematuro y a la vez alargar la vida útil de las mismas
4. Se recomienda seguir realizando estudios de geomecánica a nivel para que se siga profundizando la explotación de las diferentes estructuras mineralizadas y relacionar las variables de diseño de malla de perforación con su densidad asociada, y definir la influencia de la variabilidad geológica en la voladura.
5. Continuar evaluando económicamente el costo de producción para seguir optimizando los costos de mina.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alata, W. (2019). *Implementación del método sub Level Stopping con taladros largos para el minado del Tajo 012 veta Ximena – zona Oroya – Cía minera Casapalca*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalurgia. Escuela Profesional de Ingeniería de Minas.
- Baldeon, M. . (2021). *Aplicación del método de explotación taladros largos en vetas angostas sin By Pass - Veta Ramal Alianza de Minera Argentum*. (Tesis de pregrado). Universidad Continental. Facultad de Ingeniería. Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas. Huancayo, Perú. .
- Cortés, D. (2011). *Recopilación de información para futuro estudio técnico - económico en la explotación de mantos de baja potencia en mina Rafaela*. (Tesis de pregrado). Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas Departamento de Ingeniería de Minas. Santiago de Chile, Chile.
- Departamento de la Geología. (2020). *Compañía Minera AC agregados S:A. Informe de geología 2020*. Marcará, Perú.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2006). • *Hernández Sampieri Roberto, FernMetodología de la Investigación*. México: Editorial Mc Graw Hill, Cuarta Edición. México.
- <https://www.monografias.com>. (s.f.). *metodos - tesis*.
- León, D. (2017). *Aplicación del tajeo por subniveles con taladros largos para optimizar recursos en la mina Caridad, compañía minera Huancapeti S.A.C*. Universidad Nacional “Santiago Antúnez De Mayolo”. Facultad De Ingeniería De Minas, Geología Y Metalurgia. Escuela Académico Profesional De Ingeniería De Minas. Huaraz, Perú.

- López, C. . (1993). *Manual de Perforación y Voladura. ITGE. Ministerio de Industria y Energía de España*. Madrid, España.
- Moran, J. (2008). *Análisis técnico económico para explotar por taladros largos el tajeo 775 en la Unidad de Uchucchacua de la Compañía de Minas Buenaventura S. A. A.* (Tesis de pregrado), Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de ingeniería Geológica, Minera y Metalurgia. Lima, Perú.
- Sulca, R. (2015). *Evaluación técnico económica del minado por sub-niveles con taladros largos en mantos-en la U.E.A. Colquijirca - Sociedad Minera el Brocal S.A.A.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga. Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil. Ayacucho – Perú.

# ANEXOS



**ANEXO N° 01: MATRIZ DE CONSISTENCIAS**

<b>PROBLEMA</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPOTESIS</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>POBLACION</b>
<p align="center"><b>Problema General</b></p> <p>¿Cómo implementar el método de explotación Sublevel Stoping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M - 2020?</p>	<p align="center"><b>Objetivo General</b></p> <p>Implementar el método de explotación Sublevel Stoping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020.</p>	<p align="center"><b>Hipótesis General</b></p> <p>La implementación del método de explotación Sublevel Stoping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020, incrementa la producción.</p> <p align="center"><b>Hipótesis Nula.</b></p> <p>La NO implementación del método de explotación Sublevel Stoping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020, NO incrementa la producción.</p>	<p align="center"><b>Tipo</b></p> <p>El tipo de investigación es APLICADA, porque se buscará las soluciones para la implementación del método de explotación Sublevel Stoping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020.</p> <p align="center"><b>Nivel de la investigación.</b></p> <p>El nivel será de investigación descriptiva.</p> <p align="center"><b>Método.</b></p> <p>Se empleará el método científico.</p>	<p align="center"><b>Población y Muestra</b></p> <p><b>Población</b> La población está compuesta por todos los tajos de la Mina Arequipa M, en el año 2020.</p> <p><b>Muestra</b> La muestra será conformada por el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa – M, en el año 2020</p>
<p align="center"><b>Problemas específicos</b></p> <p>¿Cuáles son las condiciones geológicas y geomecánicas encontradas en el tajo piloto para la implementación del método de explotación Sublevel Stoping con taladros largos en el Tajo Piloto del</p>	<p align="center"><b>Objetivos específicos</b></p> <p>Determinar las condiciones geológicas y geomecánicas encontradas en el tajo piloto para la implementación del método de explotación Sublevel Stoping con taladros largos en el Tajo Piloto del</p>	<p align="center"><b>Hipótesis específicos</b></p> <p>Se determina las condiciones geológicas y geomecánicas del tajo piloto de la mina Arequipa - M – 2020.</p>		

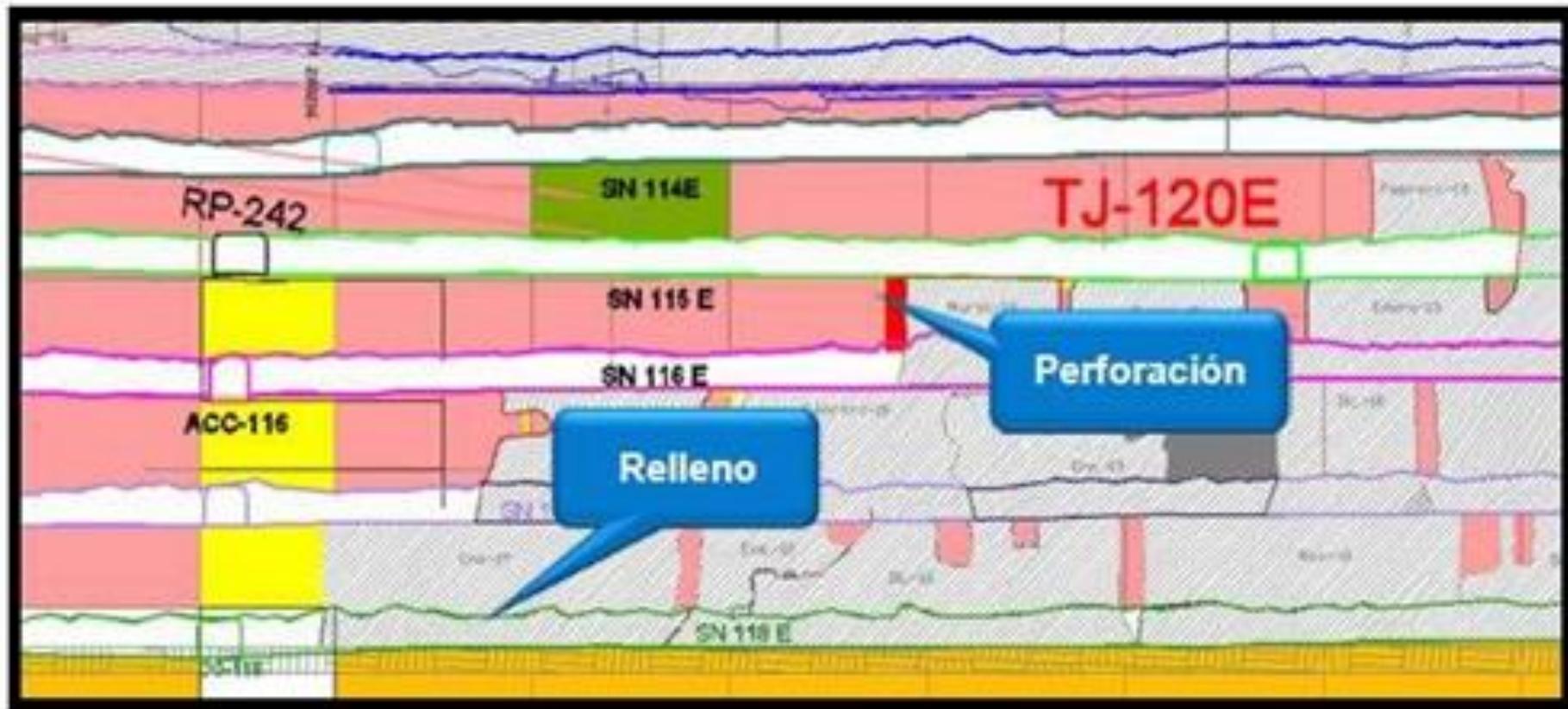
nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020?	nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020.			
¿Cuáles son las variables técnicas - económicos para la implementación del método de explotación Sublevel Stoping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020?	Determinar las variables técnicas - económicos para la implementación del método de explotación Sublevel Stoping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020.	Se determina las variables técnicas - económicos para la explotación del Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020.		
¿Cómo la implementación del método de explotación Sublevel Stoping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020, incrementara la productividad?	Implementar el método de explotación Sublevel Stoping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020, incrementara la productividad.	Se implementa el método de explotación Sublevel Stoping con taladros largos en el Tajo Piloto del nivel 2, de la mina Arequipa - M – 2020, para incrementar la productividad.		

Fuente: Elaboración propia



## ANEXO N° 02: MÉTODO DE MINADO SUBLEVEL STOPING

Figura N° 19: Método de minado sublevel stoping



Fuente: Departamento de Planeamiento unidad minera de Morococha. Citado por Miguel Ángel Baldeon Lázaro, 2021.