

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Optimización de la perforación y voladura para
el método de minado por bench and fill en la
Unidad Minera Carahuacra**

Jhovany Max Carlos Cossio
Aaron David Cuellar Baldeon

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



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

ASESOR

Ing. Jesús Fernando Martínez Idefonso

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme el conocimiento necesario para cumplir este objetivo profesional. A mis padres por su dedicación, enseñanzas y recomendaciones, para formarme profesionalmente.

A la universidad Continental, por brindarme una formación integral y de calidad.

A los docentes de la EAP de Ingeniería de Minas, por darme los conocimientos necesarios, para mi formación profesional.

DEDICATORIA

Le dedicamos este trabajo a nuestros padres por su apoyo incondicional, a nuestro asesor que con su conocimiento y experiencia ha aportado a nuestra investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	I
ASESOR	II
AGRADECIMIENTO.....	III
DEDICATORIA.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS	V
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
INTRODUCCIÓN	XIII
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	14
1.1 Planteamiento y Formulación del Problema.....	14
1.1.1 Planteamiento del problema	14
1.1.2 Formulación del problema	15
1.2 Objetivos	16
1.2.1 Objetivo general.....	16
1.2.2 Objetivos específicos	16
1.3 Justificación e importancia	16
1.3.1 Justificación práctica.....	16
1.3.2 Justificación teórica	16
1.3.3 Justificación metodológica	17
1.4 Hipótesis	17
1.4.1 Hipótesis general	17
1.4.2 Hipótesis específicas	17
1.5 Identificación de variables.....	18
1.5.1 Variable independiente	18
1.5.2 Variable dependiente	18
1.5.3 Matriz de operacionalización de variables	18
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	19
2.1 Antecedentes del problema	19
2.1.1 Antecedentes nacionales.....	19

2.2 Generalidades de la Unidad Minera Carahuacra	23
2.2.1 Ubicación y accesibilidad.....	23
3.1 Geología regional.....	24
3.2 Geología local.....	25
3.3 Geología estructural.....	29
3.4 Geología económica	31
2.3 Bases teóricas	34
2.3.1 Método de explotación por <i>sub level stopping (bench and fill)</i> en la unidad minera Carahuacra	34
2.4 Ciclo de minado perforación y voladura unidad minera Carahuacra.....	36
2.4.1 Perforación y voladura	37
2.4.2 Voladura de tajeos y frentes unidad minera Carahuacra.....	37
2.3.2 Control de la perforación y voladura por medio de la herramienta del diagrama de Ishikawa.	40
CAPÍTULO III MÉTODO DE DESARROLLO DEL PROYECTO	49
3.1. Método y alcances de la investigación.....	49
3.1.1 Métodos de la investigación.....	49
3.1.2 Alcances de la investigación	49
3.2. Diseño de la investigación	50
3.3. Población y muestra	50
3.3.1 Población	50
3.3.2 Muestra.....	50
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	50
3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos	50
3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos.....	50
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	51
4.1 Evaluación la optimización de la perforación y voladura para el método de minado por <i>bench and fill</i> en la unidad minera Carahuacra	51
4.1.1 Evaluación de la optimización de la voladura de tajeos.....	51
4.2 Análisis de los resultados de la perforación y voladura en el método de minado por <i>bench and fill</i> de la unidad minera Carahuacra	53
4.2.1 Control y análisis en tajeos	57
4.3 Análisis del control de los parámetros de perforación y voladura para el método de minado por <i>bench and fill</i> en la unidad minera Carahuacra	59

4.4 Evaluación técnica económica de la perforación y voladura en el método de minado por <i>bench and fill</i> en la unidad minera Carahuacra	65
CONCLUSIONES.....	74
RECOMENDACIONES	75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
ANEXOS	78

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables.....	18
Tabla 2. Accesibilidad de la unidad minera Carahuacra	23
Tabla 3. Criterio de clasificación de la masa rocosa según RMR.....	53
Tabla 4. Resumen de calidad RMR del macizo rocoso – Veta Mary.....	53
Tabla 5. Sensores incorporados en el equipo	67
Tabla 6. Optimización del metraje de avance de los tajeos de la veta Mary	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Plano de ubicación y accesibilidad de la unidad minera Carahuacra.....	24
Figura 2. Mapeo geológico de la unidad minera Carahuacra	25
Figura 3. Correlación de columna estratigráfica generalizada de la unidad minera Carahuacra	26
Figura 4. Plano geológico estructural de la unidad minera Carahuacra	31
Figura 5. Plano de sección geológica compuesta de la unidad productora Carahuacra.....	32
Figura 6. Modelo de mineralización de la veta unidad productora Carahuacra del domo de Yauli	33
Figura 7. Plano de las vetas mineralizadas de la unidad minera Carahuacra...	33
Figura 8. Secuencia de minado <i>bench and fill</i> unidad minera Carahuacra	35
Figura 9. Método de minado <i>bench and fill</i>	36
Figura 10. Diseño del típico de actividad de limpieza.....	38
Figura 11. Ciclo de taladros largos método AVOCA	40
Figura 12. Diagrama de Ishikawa.....	41
Figura 13. Descripción del diagrama de Ishikawa.....	42
Figura 14. Descripción del 4M/1H del diagrama de Ishikawa.....	43
Figura 15. Recomendación en temas de calidad en el diagrama de Ishikawa	43
Figura 16. Recomendación para temas administrativos del diagrama de Ishikawa	44
Figura 17. Desarrollo del diagrama de Ishikawa	45
Figura 18. Diagrama de Ishikawa tipo análisis de variabilidad	46
Figura 19. Diagrama de Ishikawa tipo análisis de procesos por etapas.....	47
Figura 20. Diagrama de Ishikawa tipo análisis para el proceso.....	48
Figura 21. Dilución en el método de minado por <i>bench and fill</i> unidad minera Carahuacra	54
Figura 22. Diagrama de Ishikawa de la perforación y voladura en el método de minado por <i>bench and fill</i> unidad minera Carahuacra	55
Figura 23. Taladros con desviación.....	56

Figura 24. Factores que influyen en la sobredilución en la unidad minera Carahuacra	57
Figura 25. Carguío de los accesorios y explosivo emulnor 3000 y 1000 en los taladros largos	57
Figura 26. Disminución de la intensidad de onda tajeo 120, veta Mary	58
Figura 27. Diseño de carga y malla de perforación y voladura para taladros largos	59
Figura 28. El emboquillado se realiza demasiado rápido – en alta	60
Figura 29. Deficiencia en el stinger al estirarlo a su máxima capacidad y así no ancla hacia el techo de la labor.....	60
Figura 30. Marcado de la malla de perforación de taladros largos - proyección de los puntos del taladro del techo al piso	61
Figura 31. Deficiencias en el marcado de malla de perforación y voladura por la mala perforación y voladura.....	62
Figura 32. Pintado de las secciones.....	63
Figura 33. Estado del clinómetro.....	63
Figura 34. Medición del ángulo de inclinación y cálculo de desviación	64
Figura 35. Granulometría de mineral tras la voladura con emulnor 3000.....	65
Figura 36. Desviación hacia el eje x positivo.....	65
Figura 37. Desviación hacia el eje X negativo.....	66
Figura 38. Desviación hacia el eje Y positivo	66
Figura 39. Desviación hacia el eje Y negativo.....	66
Figura 40. Clara desviación - taladros muy pegados	67
Figura 41. Tablero electrónico del equipo Simba S7D	67
Figura 42. Identificación del problema bosquejo del diagrama Ishikawa.....	69
Figura 43. Diagrama de Ishikawa mejorado después de lo observado en mina y acordado en reunión	69
Figura 44. Referencia del pintado de secciones de la mina Chungar para el correcto anclado del brazo del Simba S7D.....	70
Figura 45. Metraje de los avances de tajeos de los años 2017, 2018, 2019 y 2020.....	72

RESUMEN

En los trabajos en la veta Mary tajo 120 E-W del nivel 1400 para el minado por taladros largos resulta favorable generar una abertura en vertical de 16 metros, del cual 8 son de pilar techo o banco y 8 m en los subniveles. El factor de seguridad es de 1.26 a 1.5, factor considerado como mínimo en una explotación, el mismo que permanece abierto como máximo 12 horas (tiempo de autosoporte) durante el tiempo de plastificación masiva del macizo rocoso, por lo cual se procede a rellenar en el menor tiempo posible al tiempo de autosoporte indicado en el tajeo respectivamente. El uso de retardos continuos tiene como objetivo atenuar de la manera más ordenada las ondas, minimizando sus efectos de daños a las cajas. Se puede lograr reducir el factor de potencia por el esquema de carguío ayudan a tener un buen control en la fragmentación del macizo rocoso.

Se debe de realizar un estándar para los trabajos de perforación de los taladros largos, ya que el estándar con el que Volcan cuenta es demasiado general para este tipo de operaciones y no se incluyen muchos detalles que son de suma importancia para la mejora en el tema de la disminución de la sobredilución en taladros largos.

La diferencia entre estos dos valores es de 3°. Este valor si lo proyectamos a 18 metros generará en el subnivel inferior una desviación de 82 cm ocasionando perforación a la caja techo. Esto, a su vez, producirá mayores vibraciones al macizo rocoso y en consecuencia el tiempo de autosoporte de las cajas serán menores generando desprendimiento de las cajas y con esto la mezcla del mineral con roca no económica.

Se tiene una optimización de avance lineal para los tajeos de 1,000 metros para el año 2020, en relación al año 2019.

Palabras clave: optimización de la perforación y voladura para el método de minado por *bench and fill* en la unidad minera Carahuacra.

ABSTRACT

In Peru at present, drilling and blasting work is being carried out without a technical criterion to improve, due to the simple fact that the rock as we go deeper is changing and therefore an adjustment of the explosive to be used must be made to avoid over drilling that would lead to secondary work that would limit time and losses in the increase in the cost of mining and a lower linear advance, nowadays, monitoring and evaluation are carried out in blasting as well as in drilling both in the works of pits and fronts.

The vein Mary pit 120 E-W of level 1300, for mining by long holes, it is favorable to generate a vertical opening of 16 meters of which 8 meters of roof or bench pillar and 8m in the sublevels; whose safety factor of 1.26 to 1.5, a factor considered as a minimum in an operation, remaining open for a maximum of 12 hours (self-support time), during the time of massive plasticization of the rocky massif, proceeding to fill in the shortest possible time at the time of self-support indicated in the tajeo respectively. For mining by Breasting, the cutting advance fronts reach a safety factor of 0.95 in both casings, being a controllable condition by the operating parameters, both are feasible.

The use of continuous delays aims to attenuate the waves in the most orderly way, minimizing their effects of damage to the boxes, it is possible to reduce the power factor by the loading scheme, they help to have a good control in the fragmentation of the rocky massif.

The blast analysis in the pits we can conclude with the P80 (80% of the pile) passing through an average mesh of 4 to 5 in. The work carried out on vein Mary pits 120 level 13000, is defined after the good results of the blasting with the use of emulnor 1000 and 3000 for pits and advance fronts. There is a linear advance optimization for the 1,000 pits and 3,387 meters for the advance fronts for the year 2020, in relation to the year 2019.

Keywords: Optimization of blasting of pits and fronts using Emulnor explosive.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, en el Perú la mayor producción de mineral proviene del método de minado es de *sub level stoping*, para este método juega un papel importante la perforación y la voladura. Una ineficiencia lleva encarecer los costos operativos.

Haciendo un seguimiento, evaluando y comprobando el uso correcto y eficiente de los explosivos se distinguieron algunas deficiencias comunes en el carguío de taladros largos, un número significativo de estas fallas son fundamentalmente corregibles ya que en su la mayoría son por las malas prácticas de los trabajadores.

En la unidad minera Carahuacra se observan deficiencias en la perforación y voladura. Existe presencia de sobre rotura de las cajas, debido a los siguientes factores: el mal uso de explosivo en la cantidad de carga, el inadecuado diseño de malla de perforación, malas prácticas de los trabajadores de perforación y voladura. Este problema está generando mucha dilución en el mineral, lo cual afecta a nuestra rentabilidad, porque se incrementa los costos de mina, como de planta, se procesa mineral que no tiene mucho valor y no sería factible minar con leyes de mineral muy bajas; por ello, es que se debe mejorar la operación unitaria de perforación y voladura.

La optimización de la perforación y voladura ejecutada por el método de minado *bench and fill* incluye la evaluación de los factores y parámetros de perforación y voladura para disminuir el consumo de explosivos innecesario y darle una apropiada distribución de carga explosiva para no afectar las cajas techo o la caja piso de la labor mineralizada, porque hay un alto nivel de bancos en la voladura; resultado de las malas distribuciones de cargas que afectan y debilitan las cajas del piso y el techo.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y Formulación del Problema

1.1.1 Planteamiento del problema

A la fecha, toda empresa minera a nivel mundial busca reducir el costo de las operaciones unitarias para los métodos de minado, lo que nos obliga a encontrar nuevas alternativas de mejora en las operaciones unitarias. Existen diversos factores que condicionan a mejorar como la baja del precio de los metales. Desde el año 2012, se viene mejorando y aplicando el método de minado *sub level stoping* a fin de tener más tonelaje a extraer y poder justificar el costo por tonelada.

En la actualidad, en el Perú la mayor producción de mineral proviene del método de minado es de *sub level stoping*, para este método juega un papel importante la perforación y la voladura. Una ineficiencia lleva encarecer los costos operativos.

Haciendo un seguimiento, evaluando y comprobando el uso correcto y eficiente de los explosivos se distinguieron algunas deficiencias comunes en el carguío de taladros largos, un número significativo de estas fallas son fundamentalmente corregibles ya que en su la mayoría son por las malas prácticas de los trabajadores.

En la unidad minera Carahuacra se observan deficiencias en la perforación y voladura. Existe presencia de sobre rotura de las cajas, debido a los siguientes factores: el mal uso de explosivo en la cantidad de carga, el inadecuado diseño de malla de perforación, malas prácticas de los trabajadores de perforación y voladura. Este problema está generando mucha dilución en el mineral, lo cual afecta a nuestra rentabilidad, porque se incrementa los costos de mina, como de planta, se procesa mineral que no tiene mucho valor y no sería factible minar con leyes de mineral muy bajas; por ello, es que se debe mejorar la operación unitaria de perforación y voladura.

La optimización de la perforación y voladura ejecutada por el método de minado *bench and fill* incluye la evaluación de los factores y parámetros de perforación y voladura para disminuir el consumo de explosivos innecesario y darle una apropiada distribución de carga explosiva para no afectar las cajas techo o la caja piso de la labor mineralizada, porque hay un alto nivel de bancos en la voladura; resultado de las malas distribuciones de cargas que afectan y debilitan las cajas del piso y el techo.

1.1.2 Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Cómo influye la optimización de la perforación y voladura para el método de minado por *bench and fill* en la unidad minera Carahuacra?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo influye el diseño de perforación y voladura para el método de minado por Bench and Fill en la unidad minera Carahuacra?
- ¿Cómo influye el control de los parámetros de perforación y voladura para el método de minado por Bench and Fill en la unidad minera Carahuacra?
- ¿Cómo será la evaluación técnica económica de la perforación y voladura en el método de minado por Bench and Fill en la unidad minera Carahuacra?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Determinar la optimización de la perforación y voladura para el método de minado por *bench and fill* en la unidad minera Carahuacra

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar el diseño de perforación y voladura para el método de minado por *bench and fill* en la unidad minera Carahuacra.
- Determinar el control de los parámetros de perforación y voladura para el método de minado por *bench and fill* en la unidad minera Carahuacra.
- Determinar la evaluación técnica económica de la perforación y voladura para el método de minado por *bench and fill* en la unidad minera Carahuacra

1.3 Justificación e importancia

1.3.1 Justificación práctica

Esta investigación se realizó en la unidad minera Carahuacra, que viene teniendo deficiencias en la perforación y voladura; puesto que, existe presencia de sobre rotura de las cajas debido a los siguientes factores: el mal uso de explosivo en la cantidad de carga, la deficiencia del diseño de malla de perforación, malas prácticas de los trabajadores de perforación y voladura. Este problema está generando mucha dilución en el mineral lo cual afecta a nuestra rentabilidad, porque se incrementa los costos de mina, como de planta. Además, se procesa mineral que no tiene mucho valor y no sería factible minar con leyes de mineral muy bajas; por ello, es que se debe mejorar la operación unitaria de perforación y voladura respectivamente.

1.3.2 Justificación teórica

Para aplicar un diseño de malla de perforación y voladura se evalúa el tipo de rocas. Por razones de tarea esencial para la unidad minera Carahuacra se considera el análisis de la caracterización del macizo rocoso para la reducción de los costos operativos, razón por la cual se realiza esta investigación. La

cantidad de taladros, la distribución del método de minado por *bench and fill*, la medida de energía necesaria para adquirir un volumen específico de material volado, así como la fragmentación que se necesita la planta de beneficio permitirán la disminución de costos y mayor seguridad en las actividades de operación.

1.3.3 Justificación metodológica

En la unidad minera Carahuacra, para la optimización de la perforación y voladura con el método de minado por *bench and fill* se debe evaluar los factores y parámetros de perforación y voladura para mejorar y disminuir el consumo de explosivos innecesarios y darle una apropiada distribución de carga explosiva; además de no afectar las caja techo o la caja piso de la labor mineralizada, porque hay un alto nivel de bancos en la voladura; resultado de las malas distribuciones de cargas que afectan y debilitan las cajas del piso y el techo.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

La optimización de la perforación y voladura será factible y viable para el método de minado por *bench and fill* en la unidad minera Carahuacra

1.4.2 Hipótesis específicas

- El diseño de perforación y voladura será factible y viable para el método de minado por *bench and fill* en la unidad minera Carahuacra
- El control de los parámetros de perforación y voladura será factible para el método de minado por *bench and fill* en la unidad minera Carahuacra
- La evaluación técnica económica de la perforación y voladura será factible y viable para el método de minado por *bench and fill* en la unidad minera Carahuacra

1.5 Identificación de variables

1.5.1 Variable independiente

Optimización de la perforación y voladura

1.5.2 Variable dependiente

Método de minado por *bench and fill*

1.5.3 Matriz de operacionalización de variables

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Dimensión	Indicadores
V.I.: Optimización de la perforación y voladura.	Es la mejora de la operación unitaria de la perforación y voladura en las labores de los tajeos, utilizando el explosivo emulnor 3000 y 1000, para el control de la caja techo y caja piso, para el control y evaluación de la carga explosiva para estos tipos de trabajo.	Evaluación de la caracterización del macizo rocoso. Análisis del diseño de la malla de perforación y voladura en tajeos.	<ul style="list-style-type: none"> • Clasificación geomecánica de Bieniawsky. • RMR. • Espaciamiento (m) • Numero de taladros • Longitud de avance (m). • Burden (m) • Factor de carga • Numero de explosivos • Cantidad de accesorios de voladura
V.D.: Método de minado por Bench and Fill	Viene a ser el método de minado de gran volumen aplicada a cuerpos de mayor expansión con buzamiento casi vertical con geometría regular, en un tipo de roca que permita la explotación del cuerpo mineralizado mediante banqueo, ejecutado por equipos de carguío como, el scooptram. para el transporte de material desbrozado, y en la perforación I equipos que perfora taladros de 64 mm en producción y rimado con 127 mm, con longitudes de 8 a 30 metros.	Evaluación del equipo de perforación Evaluación del costo de perforación y voladura	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones de las labores de extracción. • Tipo de equipos de perforación. • Costo de mano de obra. • Costo de aceros de perforación. • Costos de equipo. • Costo de equipos de protección personal y Herramientas

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

2.1.1 Antecedentes nacionales

a) Tesis titulada "*Mejora en los parámetros de perforación y voladura para optimizar costos operacionales en la Compañía Minera Santa Luisa S.A. - Unidad Pallca*". El objetivo de la revisión es mejorar los parámetros de perforación y voladura para optimizar costos operacionales en la compañía minera Santa Luisa S. A. – unidad Pallca. (1)

Además, el sistema tiene las siguientes características: (1)

- ✓ Al diseñar una nueva malla de perforación y voladura se mejoró el factor de carga de 3.51 Kg/m^3 a 2.38 kg/m , generando así un menor consumo de explosivo y ahorrando 15 US\$ por disparo. (1)

- ✓ Para que los jumberos cumplan con el adecuado diseño de malla de perforación se hizo un seguimiento y control operativo de las actividades unitarias realizadas haciendo que pintaran sus mallas a realizar. Esto se realizó con la finalidad de tener un buen paralelismo entre taladros, buena rectitud de perforación, espaciamiento, entre otros. (1)

- ✓ Se obtuvo un mejor control en el uso de explosivos, entregando a los cargadores hojas impresas con la distribución adecuada de las cargas explosivas que serán

llenadas en los taladros. Junto con el maestro disparador y sus ayudantes se hizo un correcto carguío y poner taco (cartón mojado) a los taladros. (1)

- ✓ Se optimizaron los costos de avance en las labores: M684 para un avance de 3.49 m se gana 14.95 US\$ por metro, G1151 para un avance de 3.42m se gana 13.29 US\$/por metro y en K1060 se obtuvo una ganancia de 8.82 US\$/por metro para un avance de 3.45m. (1)

b) Tesis denominada "*Optimización de los estándares en perforación y voladura de taladros largos, para el incremento de la productividad y la reducción de los costos de operación en la Cia. Minera Ares SAC U.O. Inmaculada*". El objetivo es dar un enfoque de prueba adecuado para mejorar las normas de perforación e impacto de barrenos largos para el incremento de la eficiencia y la disminución de los gastos de trabajo en la Unidad Operativa Inmaculada. (2)

Asimismo, el sistema tiene las cualidades siguientes: (2)

- ✓ La eficiencia se ha ampliado con: (a) un plan satisfactorio de las redes de penetración y disparo según los cálculos del diseño y las potencias minerales, evitando así la perforación de aberturas de perforación adicionales debido a la dispersión impotente y la desviación del equivalente, además hay un mejor control de los contenedores con una sucesión de resultados superior con un disparo controlado que disminuye el debilitamiento del 25% a valores por debajo del 18%. (b) Como resultado del perfeccionamiento de las herramientas de perforación retráctiles, el rendimiento de las preparaciones se ha ampliado en un 12% para ambos segmentos de perforación (T38 y T45). c) con la observación y el examen de las vibraciones para el percusión del espacio y del canal, queda en el aire que es práctico hacer el percusión anteriormente mencionado en una etapa solitaria, considerando que las constantes de disminución son inferiores a 580 y que el VPP determinado fue de 2.755 mm/s, un valor que agrieta la construcción y no aborda un peligro para las cajas, de esta manera adquiriendo un portero en el percusión y tratando de no perforar taladros de mejora y enmienda. (2)

- ✓ La mejora de los principios de penetración e impacto ha disminuido los gastos directos de trabajo en 0,83 \$/tonelada para las evaluaciones de potencia no exactamente o equivalente a 2,1m, 0,69 \$/tonelada para las evaluaciones de potencia de 2. 2m a 4,1m, 0,69 \$/tonelada para la potencia de 4,2m a 6,0m, 0,75 \$/tonelada para la potencia de 6,1m a 7,9m, 0,58 \$/tonelada para la potencia de 8,0m a 10,0m y 0,38 \$/tonelada para la potencia de metal más prominente que 10m. (2)

c) Tesis titulada “*Diseño de la malla de perforación para optimizar la fragmentación en el tajeo 6662 nivel 3780 veta Lilia en la Mina Socorro– Unidad Minera Uchucchacua – Compañía de Minas Buenaventura S.A.A.*”. El objetivo es dar un enfoque de prueba adecuado para demostrar que la malla de perforación y voladura mejora la fragmentación en el tajeo de producción 6662.

Además, la metodología tiene las siguientes características: (3)

- ✓ La implementación del modelo matemático de Langefors juntamente con el análisis y cálculo de la carga operante por metro lineal $Q= 1.56 \text{ kg/m}$ aplicada en nuestra malla de perforación mejora considerablemente la fragmentación (P80) de la voladura. (3)
- ✓ Se logró mejorar el diseño de malla de perforación, ya que los resultados del cuadro comparativo obtenidos después de la aplicación del modelo matemático de Langefors son favorables considerando que el factor de potencia tenía una variación entre 0.23 kg/tm a 0.99 kg/tm. Ahora el factor de potencia es de 0.50 kg/tm con una variación mínima. (3)
- ✓ Respecto a nuestra fragmentación se realizó en análisis granulométrico con el uso del programa WipFrag, obteniendo la curva acumulativa que indica el 80% del material pasante por el tamiz promedio 7.95 pulg., equivalente a (20.19 cm) el cual es óptimo para el desarrollo de las operaciones. (3)
- ✓ En el tajeo 6662 se realizó el análisis granulométrico con porcentaje pasante p80 = 7.95 pulg. promedio (20.19 cm). Lo cual, se analiza de una voladura de 12

taladros disparados correspondiente a 6 filas, el burden = 0.87 m. y el espaciamiento = 0.94 m. (3)

d) Tesis titulada "*Reducción y optimización de costos en perforación y voladura implementando barrenos de 16 pies para labores de desarrollo en la U.O. Inmaculada - Sociedad Minera Ares S.A.C.*". El objetivo de la revisión es dar un procedimiento de ensayo adecuado para realizar una mejora técnica - económica en el diseño de la malla de perforación y voladura para labores de desarrollo, aplicando barrenos de 16 pies en la U.O. Inmaculada - Sociedad Minera Ares S.A.C. (4).

Además, la metodología tiene las siguientes características: (4)

- ✓ Es viable el diseño de una malla de perforación y voladura para una malla de 16 pies, aplicando este diseño en labores de desarrollo realizadas en la U.O. Inmaculada. Las dimensiones para la labor fueron de 4.0 mts x 4.0 mts, dando como resultado un número de 52 taladros. (4)
- ✓ El tipo de roca predominante de la Mina Inmaculada la cual pertenece a la Sociedad Minera Ares SAC, es de tipo Regular (III-B) con alta presencia de lavas andesíticas. (4)
- ✓ En la zona donde se desarrolla el proyecto el macizo rocoso cumple con la siguiente característica con un GSI de 40 a 60 en promedio. (4)
- ✓ Como un adicional en la zona donde se desarrolló el proyecto contamos con un RQD de 80 con un número de fracturas de 8/m. en promedio. (4)

e) Tesis titulada "*Modelo matemático de Langefors para optimizar el diseño de mallas de perforación y voladura de taladros largos - Unidad Yauliyacu*". El objetivo de la revisión es dar un procedimiento exploratorio adecuado para decidir en qué medida el modelo numérico de Langefors permite avanzar en el diseño de malla de perforación y voladura de taladros largos en la Unidad de Yauliyacu.

Además, el procedimiento tiene las siguientes características: (5)

- ✓ La ejecución de un modelo numérico, por ejemplo, el modelo Borj Langefors, mejora del diseño de malla de perforación y voladura en la Mina Yauliyacu y permite realizar el examen de factibilidad con un programa adecuado. (5)
- ✓ El modelo numérico de Langefors considera los límites, por ejemplo, el elemento de ajuste y el componente de tendencia que son significativos como resultado de la naturaleza, la forma y el tamaño del depósito, al igual que la geomecánica de la masa de piedra. (5)
- ✓ Tras la utilización del modelo de Langefors, el factor de potencia equivalente a 0,35 kg/TM y el factor de energía equivalente a 1,32 MJ/TM son menores que antes, cuando las calidades eran de 0,62 kg/TM, y el factor de energía equivalente a 2,34 MJ/TM. (5)

2.2 Generalidades de la Unidad Minera Carahuacra

2.2.1 Ubicación y accesibilidad

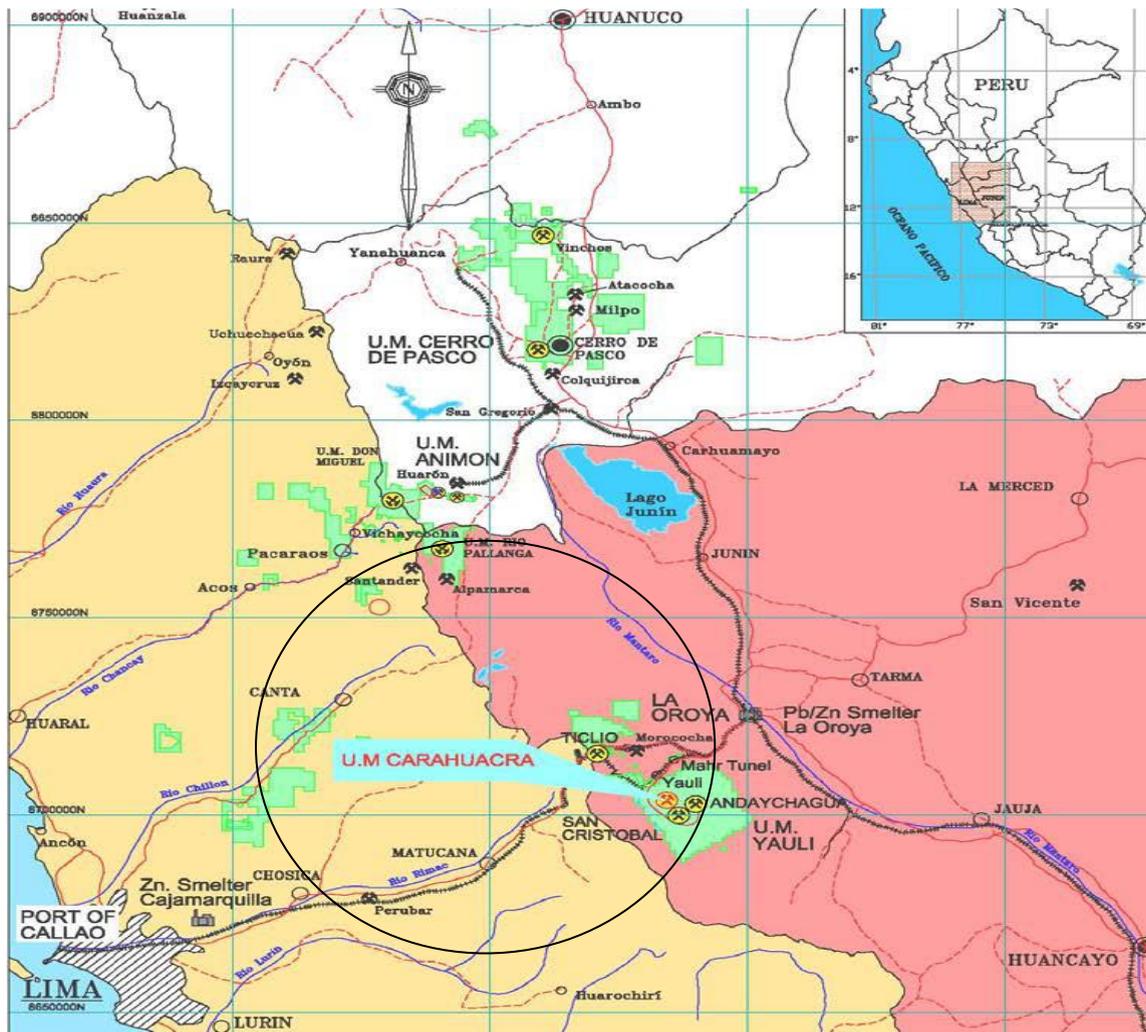
La unidad minera Carahuacra una de las unidades minera de Volcan Compañía Minera S. A. A. se ubica en el distrito y provincia de Yauli, departamento de Junín

Tabla 2. Accesibilidad de la unidad minera Carahuacra

Ruta	Distancia (km)	Carretera	Tiempo aproximado(h)
Ruta de Lima a la Oroya	110 km	Salida de la ciudad de Lima en línea recta por la carretera central hasta llegar ciudad de la Oroya.	Se tiene un viaje aproximadamente de cinco horas.
Ruta de la Oroya a la unidad minera Carahuacra	18 km	Salida de la ciudad de la Oroya por la carretera central, se halla un desvío cerca de la localidad de Pachachaca,	El tiempo de viaje es aproximadamente de 45 minutos, en llegar a la unidad minera Carahuacra.

La unidad minera Carahuacra tiene una altitud de 4550 metros sobre el nivel del mar con las siguientes coordenadas geográficas: (6)

- ✓ 76° 05' de longitud oeste
- ✓ 11° 43' de latitud sur

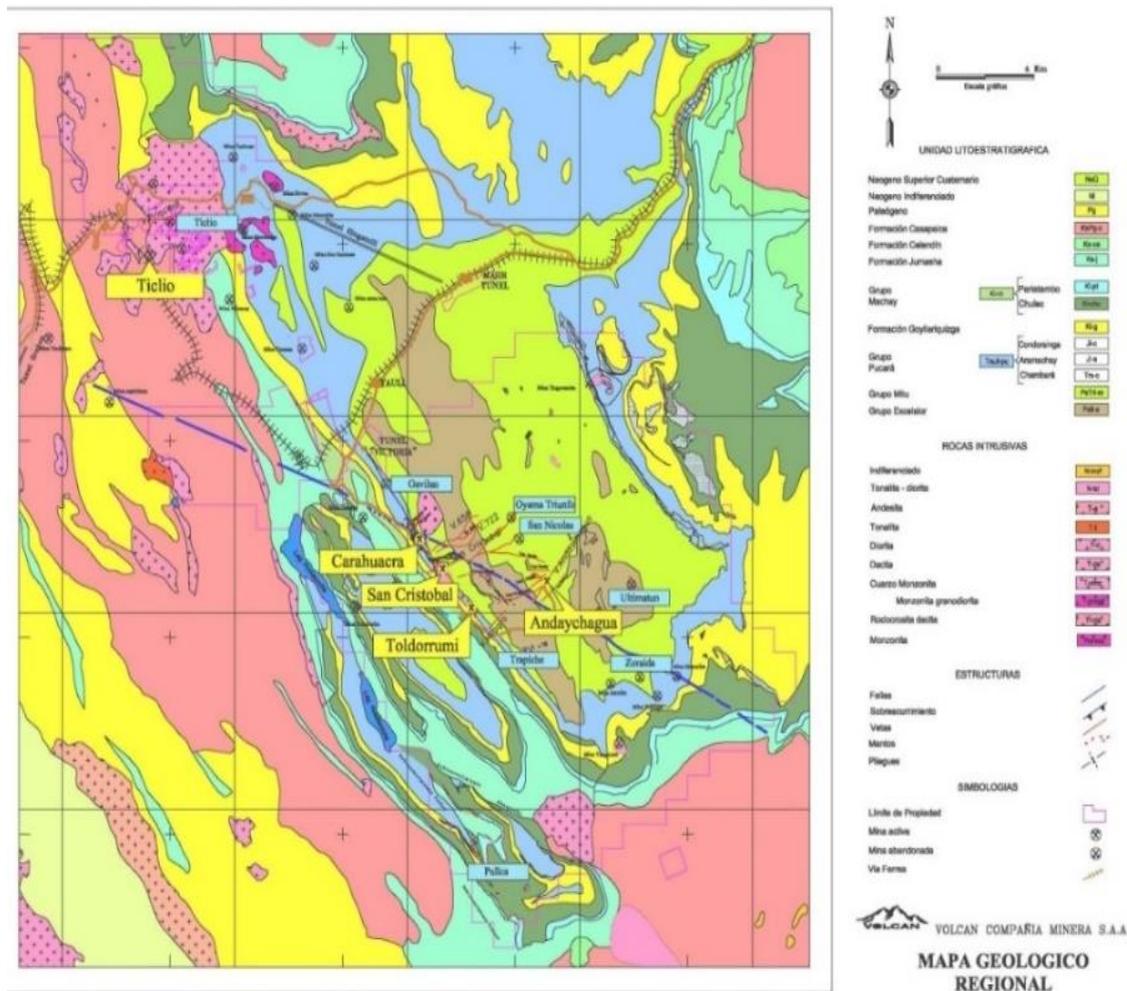


**Figura 1. Plano de ubicación y accesibilidad de la unidad minera Carahuacra
Tomado de Área de Geología de la unidad minera Carahuacra 2020**

3.1 Geología regional

La geología de la unidad minera Carahuacra de Volcan Compañía Minera S. A. A. tiene una ubicación en el flanco occidental del anticlinal Yauli, que es un diseño territorial expansivo de naturaleza tipo bóveda, el complejo Domal de Yauli, que aborda una ventana de desarrollos Paleozoicos de arreglos mesozoicos. (6)

El Paleozoico tiene dos pisos, el inferior formado por el racimo Excelsior y el superior por el racimo Mitú; el Excelsior aflora a lo largo del anticlinal de Chumpe en el tramo occidental de la bóveda y en el anticlinal hacia el este; el Mitu afloramientos en la mayor parte del arco. (6)



**Figura 2. Mapeo geológico de la unidad minera Carahuacra
Tomado de Área de Geología de la unidad minera Carahuacra 2020**

3.2 Geología local

3.2.1. Secuencia litológica

Cuenta con una secuencia litológica de la unidad minera Carahuacra de Volcan Compañía Minera S. A. A. con extensión desde el Paleozoico hasta el Cretácico Superior.

ERA	SISTEMA	EPOCA	EDADES PISOS	UNIDAD LITOLÓGICA	GRAFICO	FORMACION SEDIMENTARIA	FORMACION IGNEA	MINERALIZACION
CENOZOICO	CUATERNARIO					Sedimentos no consolidados		
		TERCIARIO		CAPAS ROJAS CASAPALCA		Discordancia erosional Conglomerados calcáreos Calizas Lutitas Calcareas Calizas arcillosas arenosas	Intrusivos intermedios Cuatro-Dioritas Intrusivo Ácido tipo Chumpe Granitos	
MESOZOICO	CRETACEO	INFERIOR	COMANCHEADO	FORMACION JUMASHA		Calizas masivas y Dol. poco fossilíferas Basalto	Cuellos de Basaltos a través de todas las Formaciones	Mineralización estratoligada de Fe, Ba, Zn, Pb, Ag, Cu.
		NEOCOMICO (EOCRET.)		GRUPO MACHAY FORMACION PARIATAMBO FORMACION CHULEC		Alternancia de Cal. Bit. con nódulos de iberit Calizas y Dolomías		
	JURASICO	INFERIOR O EOGURASICO (LIAS)	NEOCOMIANO TOARCLANO PLEIENSACHLIANG HETTANGIANO	GRUPO PUCARA FORMACION CONDORSINGA FORMACION ARAMACHAY		Calizas gris claras, y dol Blancas amarillentas Basalto Montero Ba. Calcareas Chert, Dol Calizas con Yeso	Diorita + Gabro	Mineralización estratoligada de Fe, Ba, Zn, Pb. con sobreimpresión de Mineralización Hidrotermal forma de cuerpos y mantos.
	TRIASICO	SUPERIOR O MESOTRIASICO	RETIANO NORIANO	FORMACION CHAMBARA		Calizas y Dolomías		
PALEOZOICO	PERMICO	ERTRIOSICO SUPERIOR	OCHOA	GRUPO MITU		Discordancia erosional Lentes de arenosas y conglomerados rojizas	Intrusivo intermedio tipo Carahuacra Cuatro-Monzonítica	Mineralización estratoligada de Zn, Pb, Fe, Cu, Ba, Mo.
		MEDIO: 229 y 246	GUADALUPE LEONARDO			Discordancia erosional	Volcánicos Volcanoclasticos morados	Mineralización Hidrotermal en Vetas de W, Sn, V, Bi, Cu, Zn, Pb, Ag, Sb.
	DEVONICO	SUPERIOR	CHAUTAUQUAN	GRUPO EXCELSIOR		Filitas		Mineralización estratoligada de Ni, Co
MEDIO	ERIAN (HAMILTON) ULSTER		Mármoles fosfiteros Cuarzitas		Volcanicas verdes	Mineralización estratoligada de Cu, Zn, Pb, Fe		

Figura 3. Correlación de columna estratigráfica generalizada de la unidad minera Carahuacra Tomado de Área de Geología de la unidad minera Carahuacra 2020

a) Devónico-Excelsior - Grupo Silúrico-

El grupo Excelsior está compuesto por rocas excepcionalmente antiguos que surgen en las cercanías y forman el núcleo del anticlinal de Chumpe, está compuesto por filitas con presencia de intercalaciones de cuarzitas, vulcanitas verdes y bancos calcáreos. (6)

Comparable al control, se estableció una potencia aproximada de 1800 metros, en el agrupamiento secuencial de Tarma. Su mineralización ocurre en pliegues, acumula dos tipos de manto en la mina nombrados como oferta final compuesta por Fe, Zn, Pb, Ag; y la otra capa estrictamente conectada situada en el anticlinal, de Ni, Co, As (Sb), Fe, S. (7)

b) Grupo Permian-Mitú

Sobre las rocas del grupo Excelsior hay una progresión volcánica, formada por rocas andesíticas y dacíticas disipadas, breccas, aglomerados y tobas. Además, la mineralización para esta reunión se encuentra de manera sobresaliente en el domo de Yauli, como pliegues y dispersos. (7)

Presenta una potencia completa irregular en este encuentro, hacia el oeste de la unidad minera Carahuacra, la potencia de los volcanes Catalina es de alrededor de 800 metros. La edad del Grupo Mitú fue vista como el Carbonífero Superior y luego asignada al Pérmico. (7)

c) Grupo Triásico Superior Liásico-Pucara

Este encuentro es un encuentro de facies calcáreas. Se ubica en la discordia sobre el grupo Mitú, este encuentro se divide en tres desarrollos: Chambará, Aramachay y Condorsinga. Se identifican con la mineralización monetaria del lugar. (7)

• Formación Chambará (Triásico Superior)

Está formada por calizas, dolomías, calizas dolomíticas, aisladas por capas calcáreo-arcillosas y tobas de un par de centímetros, las rocas calcáreas tienen un tono claro tenue a oscuro, con un mayor nivel de materia natural. (7)

• Formación Aramachay (Liassic: Hetangian-Sinemurian)

Está hecho de lutitas limosas, seguido de areniscas de grano fino, piedra caliza y pedernal en capas. Las calizas se introducen en bancos de 20 a 50 centímetros, gran parte del tiempo lenticulares, o en protuberancias discoidales dependientes de un metro de medida, igualmente se observan capas vulcano-detriticas. (7)

• Formación Condorsinga (Liassic Toarcian)

Generalmente está compuesto oolítico o bioclástico en la mitad inferior del desarrollo. Las intercalaciones tufáceas tenues claras, de grano fino a medio, son normales. Las calizas cambian de color gris claro a gris oscuro, son de grano fino, hay zonas donde están fuertemente breccadas. (7)

d) Grupo Goyllarisquizga (Cretácico Inferior)

El grupo de Goyllarisquizga se encuentra en igual desunión sobre el grupo de Pucará, que se mantuvo en dos etapas progresivas, el inicialmente formado por depósitos de granulometría fina a excepcionalmente fina, facies de llanura aluvial con pelitas rojas y pocas intercalaciones de areniscas de facies de desbordamiento, salvó en un clima climático semi - reseco que se manifiesta en la oxidación sólida de las pelitas” (7). “Durante la segunda etapa se produce un cambio brusco en la principal, almacenando areniscas medianas a excepcionalmente gruesas y niveles de agregados con troncos de árboles actualmente silicificados, en un clima pegajoso e importante movimiento de fundición confirmado por cornisas de basalto, en la Unidad Minera Carahuacra, su fuerza llega a los 100 metros, el grupo de Goyllarisquizga ha sido acreditado al Cretácico Inferior-Valanginiano-Aptiano. (7)

e) Grupo Machay (Cretácico Medio)

- **Formación Chúlec**

Esta formación es completamente carbonatada, litológicamente se ajusta por un desplazamiento de roca caliza y margas de las facies de la etapa externa; es excepcionalmente fosilífero y comprende el principal arreglo cretácico efectivamente fechado de los Andes centrales, toda la serie en general está fuertemente bioturbada. se desliza de 250 m sólo al SO de Morococha a 350 m en Carahuacra, la fundación del arreglo de Chúlec se ve como la fundación del horizonte calcáreo primario sobre las areniscas de cuarzo del encuentro de Goyllarisquizga y data del Albiano Medio. (7)

- **Formación Pariatambo**

Esta formación es difícil de ubicar en la escena debido a su tinte oscuro característico, la baja protección contra la desintegración y la litología lúgubre, se compone de una variación de margas-calizas de bancos poco claros y tenues, en su mayor parte extremadamente bituminosos, establecidos aparte por un olor rancio excepcionalmente articulado, los niveles razonables son lutitas con empaquetaduras calcáreas-dolomíticas en algunos casos marginalmente silíceas. los bancos opacos son margas calcáreas-dolomíticas excepcionalmente bituminosas, este desarrollo

almacenado en una etapa algo profunda y segregada contiene varias amonitas divididas mínimas y el pescado permanece. (7)

- **Formación Jumasha**

Concordante con el desarrollo de Pariatambo es el arreglo de Jumasha. Litológicamente es el más homogéneo de los desarrollos del Cretácico descubierto en el Domo de Yauli, comprende en su mayor parte de una gigantesca serie de carbonatos dolomíticos de baja fosilización con pocas areniscas y piedras focales puntos, mantenidos en un escenario poco profundo y marginalmente restringido. Las amonitas encontradas tienen un lugar con el Alto Albiano-Turoniano. (7)

3.3 Geología estructural

3.3.1. Plegamiento

La unidad minera Carahuacra se ubica en el flanco occidental de la construcción territorial predominante del domo de Yauli, que se ensancha longitudinalmente por aproximadamente 35 kilómetros, desde San Cristóbal a Morococha, y 10 kilómetros dinámicamente; la dirección normal de este diseño es N 40 °W. Se encuentra desviado, su flanco este se hunde entre 30 ° y 40 ° mientras que su flanco oeste se hunde entre 60 ° y 80 °; está compuesto por algunos anticlinales y sinclinales, de los cuales los anticlinales más significativos son Chumpe y Yauli; sus *tomahawks* tienen un rumbo que difiere entre N 35 ° y 40 ° W. (7)

El anticlinal de Chumpe está en el escandaloso oeste, su flanco occidental se hunde 55 ° SW, mientras que el lado este se hunde 30 ° NE; el núcleo de este anticlinal está enmarcado por rocas del grupo Excelsior; el flanco occidental está hecho de calizas Pucará y areniscas de Goyllarisquizga; en el flanco oriental las piedras del grupo de Mitu se extienden unos kilómetros y sobre estas las del grupo de Pucará. Es considerado como el escandaloso suroeste del domo de Yauli, donde ha hecho su lugar el mejor movimiento de colapso. (6)

Se perciben dos tiempos primarios de tectónica en la localidad; el primero del Pérmico Inferior, llamado Tectónica Tardihercínica, que provocó un colapso grave de las filitas Excelsior; el período posterior llamado Tectónica Andina, que básicamente

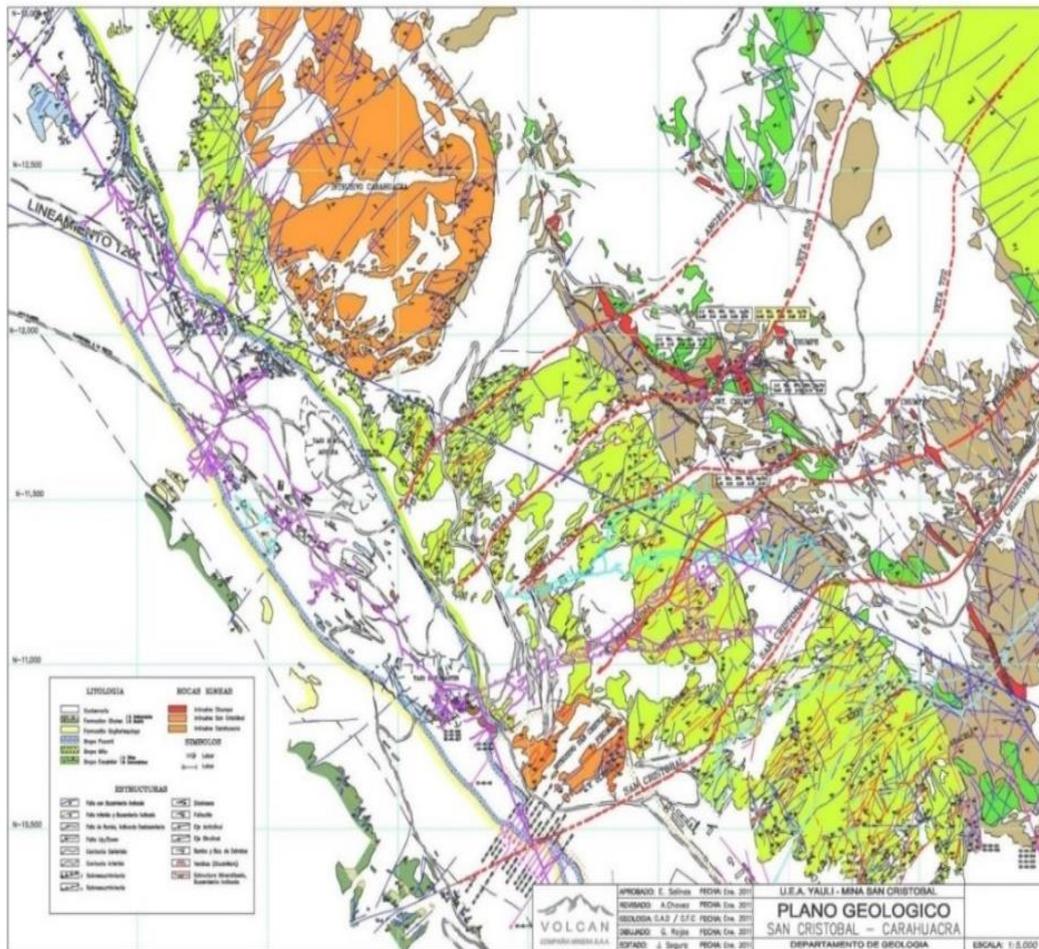
colapsó las rocas mesozoicas, comenzó hacia el final del Cretácico y mantenido durante el inicio y centro del Terciario, percibiéndose tres etapas de colapso en la Cordillera de los Andes; el peruano hacia el final del Cretácico, y antes del enunciado de las capas rojas; el Inca hacia el inicio del Terciario, fue el más excepcional y fue seguido por una época de movimiento volcánico, por último el "Quechua" en el Terciario. (6)

3.3.2. Fracturamiento

La rotura en la región de la unidad minera Carahuacra tiene todas las características de ser la consecuencia de las fuerzas de compresión e intrusivas que impulsaron el desarrollo del domo de Yauli. Lo más probable es que hacia el final del Cretácico, el derrumbe de la dirección NE-SO comenzaron a desaparecer. moldearon el anticlinal de Chumpe, ya que los poderes de presión se expandieron el plegamiento incaico, las capas inferiores de roca caliza se deslizaron sobre el volcán subyacente. (7)

Las fuerzas tensionales, cuando las fuerzas de presión cesaron rápidamente, llevaron a la disposición de roturas longitudinales correspondientes al eje del anticlinal de Chumpe, las cuales fueron posteriormente rellenas por los diques de Alaskite que suceden en el núcleo de dicho anticlinal, al continuar las fuerzas de presión. conducen al desarrollo de las fisuras de cizallamiento de rumbo EO, la veta principal la unidad minera Carahuacra y San Cristóbal y la veta Virginia al pasar a las filitas, la veta Prosperidad. (7)

La complejidad geográfica del área ha provocado la disposición de una variedad de depósitos de minerales que generalmente se distribuyen como se muestra en la tabla a continuación.



**Figura 4. Plano geológico estructural de la unidad minera Carahuacra
Tomado de Área de Geología de la unidad minera Carahuacra 2020**

3.4 Geología económica

Después de la última fase del plegamiento "Quechua" y la disposición de las grietas por tensión llegó el momento de la mineralización; los arreglos de mineralización sobrante probablemente comenzaron a partir de las reservas de monzonita de cuarcifera, atacaron la región provocando el desarrollo de vetas, mantos y cuerpos, es importante explicar el comienzo de los mantos y cuerpos, estos fueron rellenos o reemplazados indistintamente por soluciones hidrotermales. (7)

3.4.1. Vetas

Las vetas o pliegues se formaron básicamente mediante el relleno de roturas, mineralizadas son las que se crean a lo largo de las fisuras por presión. Además, los defectos de cizalla contienen una gran cantidad de panizo y no están todos mineralizados o inadecuadamente mineralizados. Están situados a lo largo de la zona minera de la unidad, la mayoría creados en el grupo volcánico Mitu. (6)

3.4.2. Mantos

Los mantos se sitúan en el flanco oeste del anticlinal, en la zona de la caliza Pucará. Desde el contacto con los volcánicos Mitu, se encuentran todo el tiempo con delineación. (7)

3.4.3. Cuerpos

Al igual que los mantos, se sitúan en el flanco oeste del anticlinal, en la zona de la caliza Pucará. Su disposición se debe a la asociación de unos mantos o al cruce de una vena con un manto. (7)

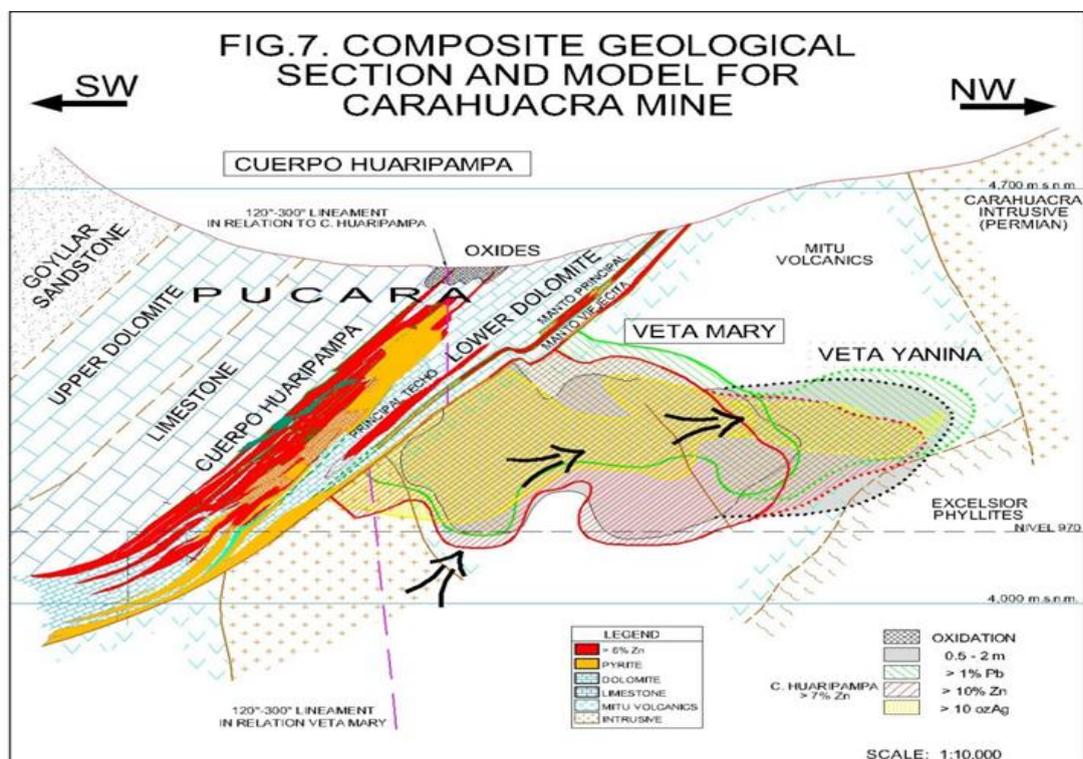


Figura 5. Plano de sección geológica compuesta de la unidad productora Carahuacra Tomado de Área de Geología de la unidad minera Carahuacra 2020

3.4.4. Sistema de vetas Carahuacra

El sistema de vetas Carahuacra está conformado por las siguientes vetas acompañantes: Mary, Ramal Mary, Yanina, ML, Ruth, Carmen, Lourdes, Penélope, etc., las más grandes son las vetas Mary y ML, que se han mineralizado a lo largo de unos 600m y 500 m, por separado. (7)

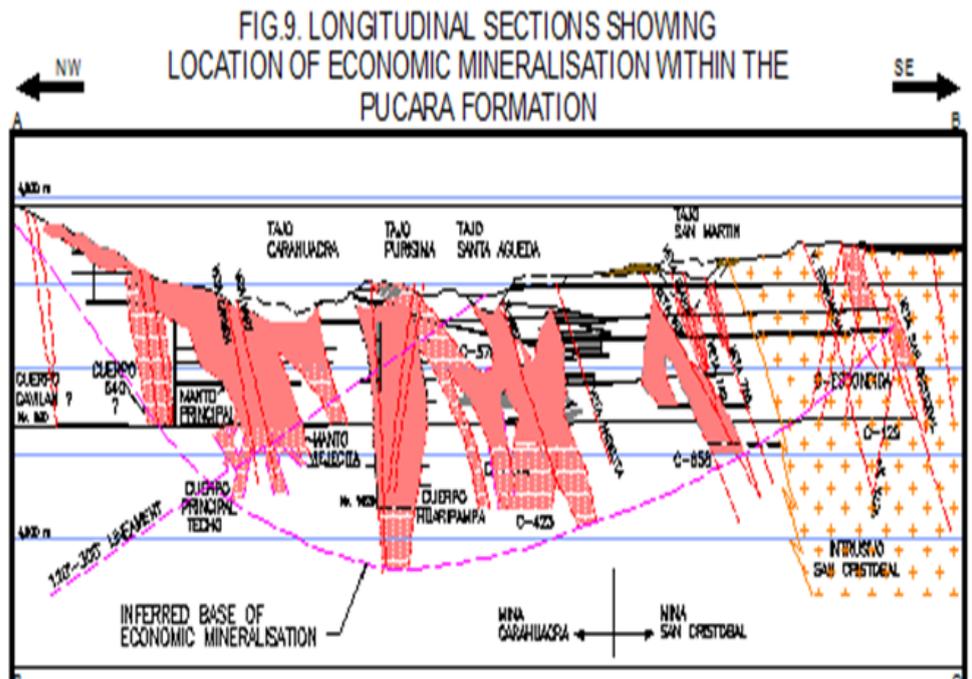


Figura 6. Modelo de mineralización de la veta unidad productora Carahuacra del domo de Yauli
Tomado de Área de Geología de la unidad minera Carahuacra 2020

El ancho de las vetas es variable en los distintos tipos de rocas a lo largo de todo su aumento, las vetas tienen una fuerza que varía de un par de centímetros a 8,00m, en su mayor parte se introducen en el tipo Rosario. (7)

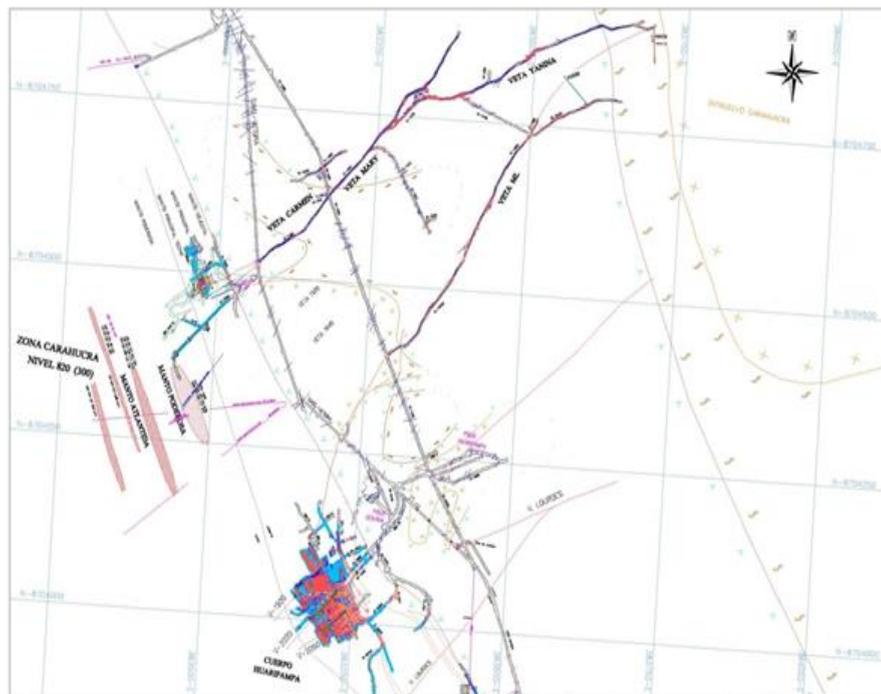


Figura 7. Plano de las vetas mineralizadas de la unidad minera Carahuacra
Tomado de Área de Geología de la unidad minera Carahuacra 2020

2.3 Bases teóricas

2.3.1 Método de explotación por *sub level stopping (bench and fill)* en la unidad minera Carahuacra

La unidad minera Carahuacra, viene aplicando el método de minado por *bench and fill*, para la explotación de mineral. (6)

Este método es denominado también hundimiento por subniveles, la perforación es realizada con equipos simbas en taladros largos, para la etapa de limpieza de mineral se realiza en retroceso y la etapa de relleno es detrítico. (6)

Para la unidad minera Carahuacra se ajustó la variedad *Avoca back fill* que comprende minar en forma de abajo hacia arriba continuamente para ser rellena por material detrítico vertical. El diseño paralelo a la estructura de extracción de mineral con accesos de forma perpendiculares a la mineralizado conservando una distancia equivalente entre mismos de 100 metros, la extensión se ejecuta a través del tajeo situado consistentemente en la caja del piso de la labor. (8)

Los bloques de minado están seccionados en una estructura de 100 metros de longitud con una secuencia ascendente de 3 bancos con una altura de 15 metros separados por 3 niveles en la perforación y un puente de 5 metros tras la voladura se realiza el relleno detrítico (Back Fill) con una longitud máxima de abertura (LMA) de 30 metros horizontales según la clasificación geomecánica (RMR). (8)

Para las vetas Mary los bancos constan de 12 metros de altura, el diseño de los accesos se hace en forma de rombo para dar más eficiencia en la actividad. (8)

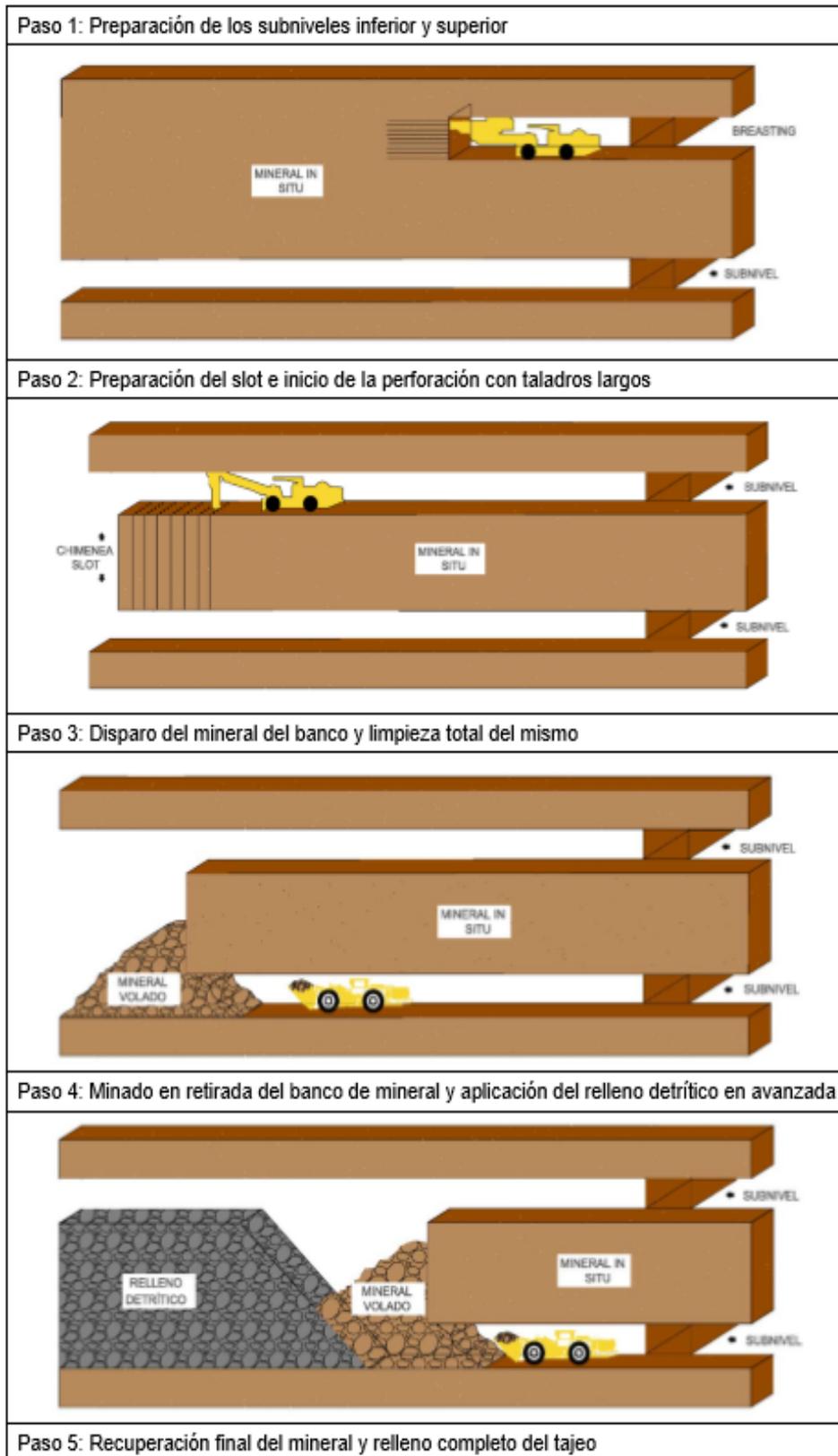


Figura 8. Secuencia de minado bench and fill unidad minera Carahuacra Tomado de Área de Geología de la unidad minera Carahuacra 2020

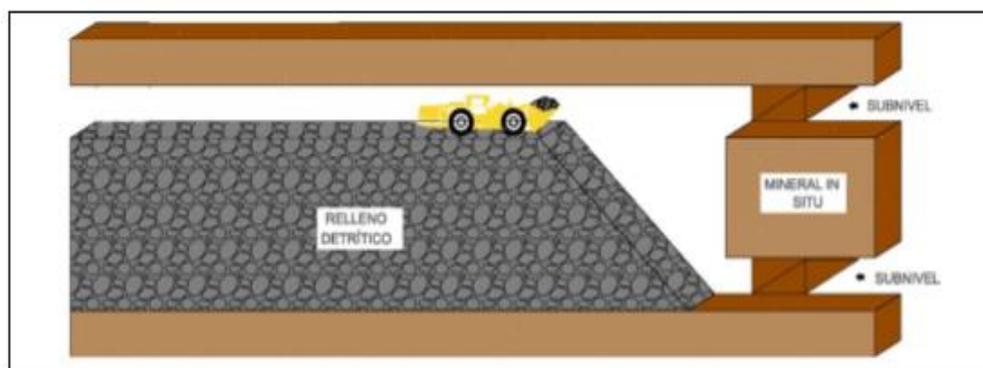
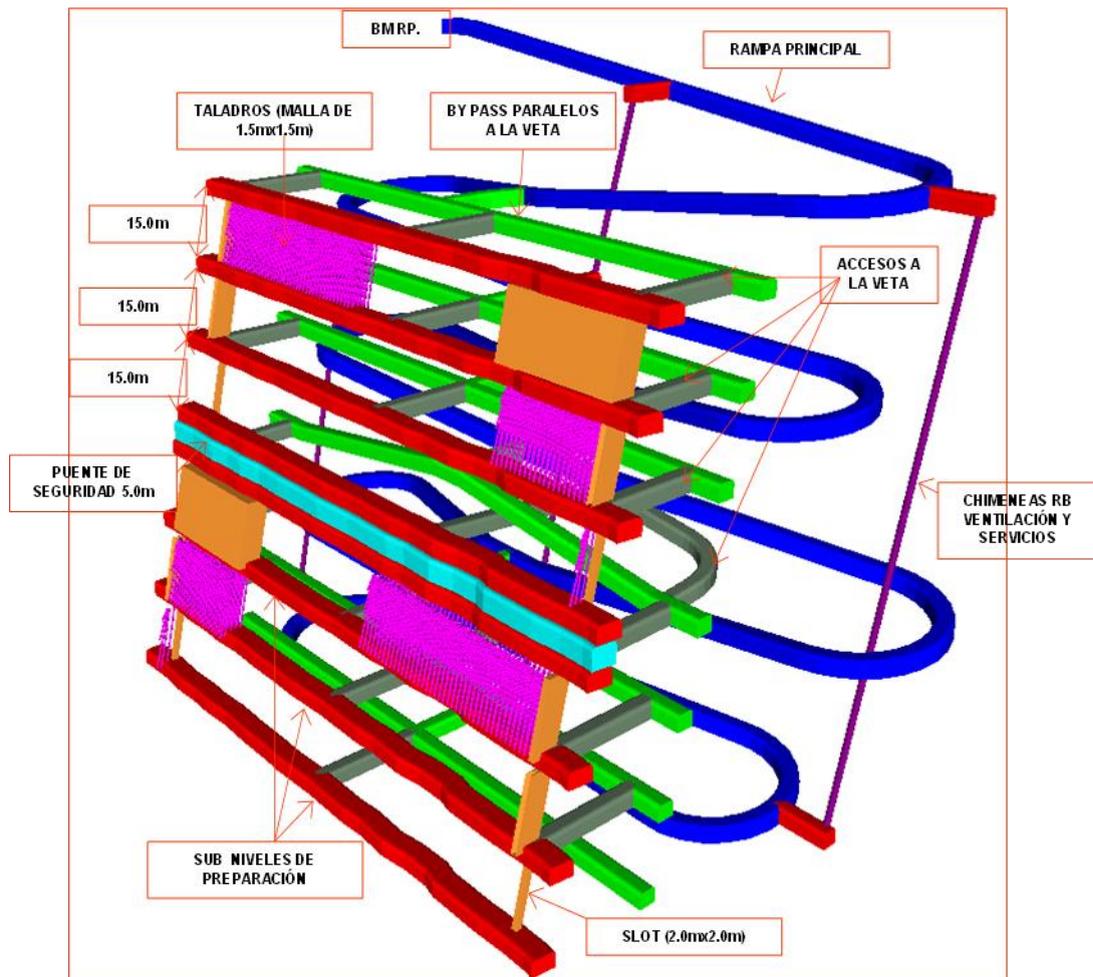


Figura 9. Método de minado bench and fill
 Tomado de Área de Geología de la unidad minera Carahuacra 2020

2.4 Ciclo de minado perforación y voladura unidad minera Carahuacra

La rentabilidad del método de explotación va depender del cómo se optimiza el ciclo de minado para el método de minado por *bench and fill*, como es: perforación, voladura, limpieza, transporte y relleno detrítico. (8)

2.4.1 Perforación y voladura

En la perforación se realizan con simbas electro-hidráulicos diseñados para perforar taladros, cuentan con un juego de 10 barras y de longitud de 5 pies, en la unidad minera carahuacra, se tiene un rendimiento de 90 metros en cada guardia en promedio. (8)

En la voladura se utilizan explosivos Emulsión 1.1/2 "X8" 1.12g/cm³, como accesorios cordón detonante 5p, cordón detonante N°5 normal 5g/m 7000m/s, detonador no eléctrico 18.0 M, retardador 25MS, y cable rápido. (8)

2.4.2 Voladura de tajeos y frentes unidad minera Carahuacra

a) Voladura de tajeos unidad minera Carahuacra

El método de minado de *bench and fill* en la veta Mary tajeo 120 de 10 metros de altura presenta el siguiente ciclo de minado. (8)

- 1. Voladura;** la apertura del slot se realiza mediante método VCR estándar 2.2x2.2, y la posterior apertura de la zanja a lo largo de la potencia de la estructura a minar mediante taladros ayuda. Culminado la apertura de cara libre se inicia con la voladura de secciones en producción, de acuerdo a la longitud de carga operante y factor de potencia entregada por el área de P&V, nunca debe ser cagados los taladros de alivio. (8)
- 2. Perforación;** se centra en el diseño de mallas de perforación inicia con la generación del solido de estructura a minar, posterior caracterización geomecánica y posterior replanteo en campo de las secciones a perforar; el diseño de secciones deberá considerar la presentación de caja techo y piso de la estructura y evitar la presencia de carga suspendida, la perforación de taladros largos se realiza con equipo de perforación modelo Simba H1257 marca Epiroc o similar. (8)
- 3. Limpieza;** esta actividad se enfoca de la limpieza y extracción de mineral se realiza mediante scooptrams diesel de 6.0 yardas cúbicas de capacidad utilizando telemando, no exponer el operador al tajo vacío, en los puntos de carguío se realiza el carguío a los volquetes de 10 m³, que transportan mineral desde interior mina hacia el echadero 384 o 535 ubicados en Nv 820. (8)

4. Relleno; la fase de relleno inicia al culminar la apertura de 5 metros excedente al límite del LMA (longitud máxima de abertura) calculado y recomendado por el área de geomecánica, relleno en avanzada hasta cumplir con el LMA. (8)

El relleno del tajeo culmina al cumplimiento del LMA recomendado, e inicia nuevamente las actividades unitarias de voladura 5 m adicional al LMA e inicio nuevamente de la fase relleno hasta el cumplimiento del LMA recomendado, continuar voladura y relleno hasta la culminación del tajo programado.

Previo a las voladuras (3 filas = 5.0m adicional de abertura o mayor longitud de acuerdo a disposición de relleno) se instalará geo membrana a lo largo del talud formado por el relleno con objetivo de evitar la contaminación del mineral con el relleno detrítico a la altura del banco tiene un ángulo de reposo de 50° .

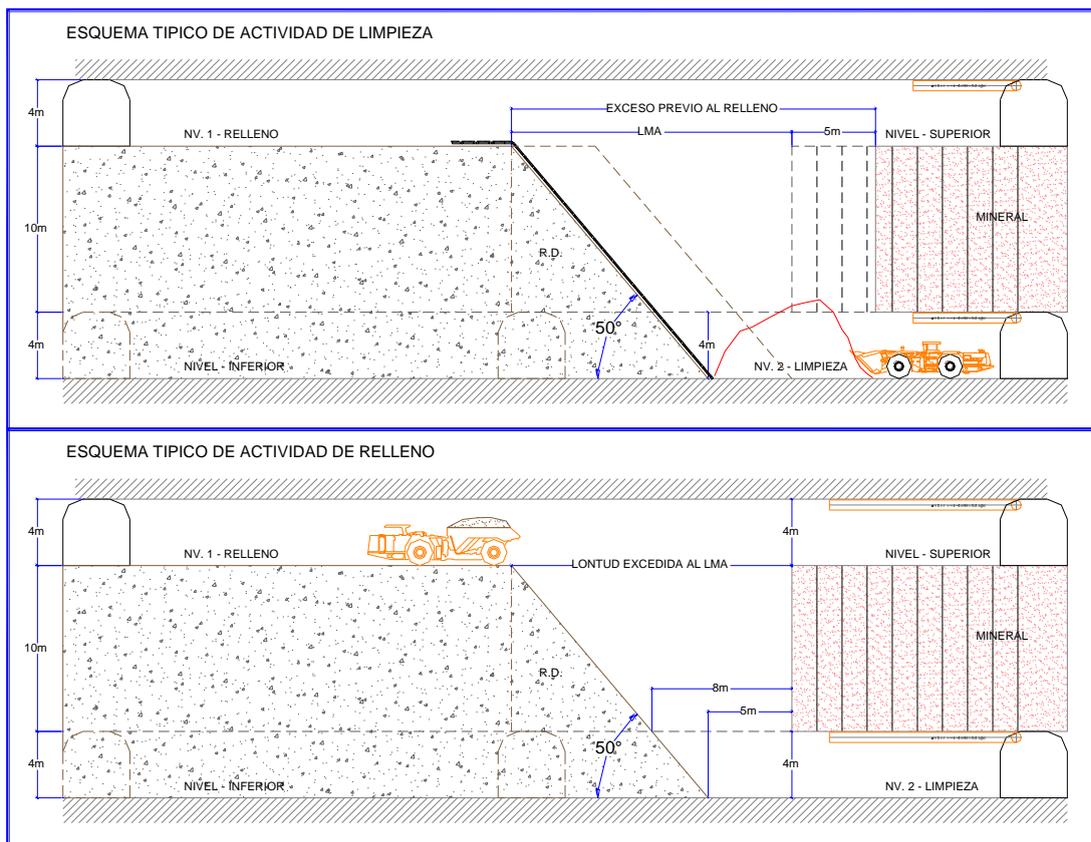


Figura 10. Diseño del típico de actividad de limpieza
Tomado del Departamento de Planeamiento - Unidad Minera Carahuacra, 2019

b) Parámetros del método por diseño

Conforme a lo expuesto líneas arriba tenemos las siguientes características de diseño:

1. Accesos de perforación y relleno
2. Subnivel superior de perforación, así como también servirá para el relleno del piso inferior, siendo parte del ciclo en forma ascendente para los cortes siguientes se convertirá en subnivel de limpieza
3. Longitud abierta del tajo considerando el relleno y el mineral *in situ* (cara libre).
4. Relleno detrítico acumulado generado por el ciclo
5. Angulo de reposo de la carga (promedio de pendiente calculado de mediciones en campo 50°)
6. Abertura inicial de limpieza que forma la pendiente del relleno (50°) con el subnivel de limpieza (sin considerar las 3 filas de avance)
7. Taladros proyectados de producción con espaciamiento y *burden* de 1.5 m
8. Mineral *in situ*
9. Acceso y subnivel de limpieza (subnivel inferior)
10. Abertura proyectada del tajo entre el relleno y la mineral *in situ* considerando el disparo de las 3 filas (5.0m)
11. Proyección de las filas (3 filas) en relación a la ratio de avance (5.0m)
12. Capa de geo membrana que cubrirá el relleno, esto para no contaminar el mineral al momento de realizar el avance del tajo
13. Abertura total de limpieza que forma la pendiente del relleno (50°) con el subnivel de limpieza (considerando las 3 filas de avance)
14. Abertura total del Tajo entre el relleno y el mineral *in situ* considerando el disparo de las 3 filas (5.0m)
15. Longitud proyectada de relleno por cada 3 filas de disparo realizadas en mineral (estas longitudes son equidistantes 5.0m)
16. Marca o señal de limpieza para ser considerada por el operador del scoop (establecida a 8.0m para cualquier caso de los bancos ya sea de 10, 12 o 15m)
17. Longitud que forma el talud del relleno de acuerdo al ciclo de minado

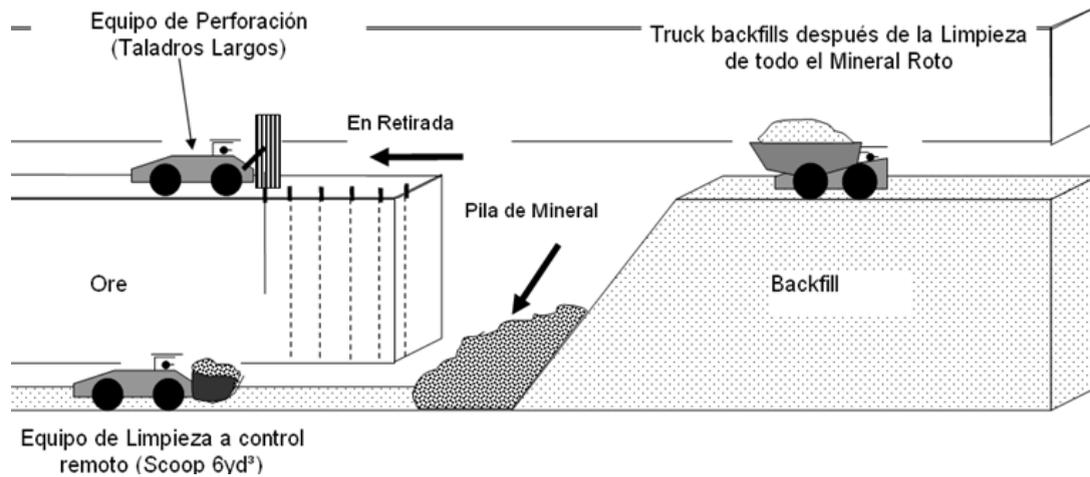


Figura 11. Ciclo de taladros largos método AVOCA
Tomado del Área de Planeamiento de la Unidad Minera Carahuacra, 2019

2.3.2 Control de la perforación y voladura por medio de la herramienta del diagrama de Ishikawa.

El diagrama de Ishikawa o el diagrama de causa y efecto tiene una importancia y ventaja a nivel organizacional y en los diferentes tipos de diagrama que existen el diagrama de Ishikawa ayuda a tener un panorama de evaluación del hombre, maquina, entorno, material, método y medida características fundamentales para toda organización lo cual se ajusta a nuestro tema de evaluación de la perforación y voladura en la unidad minera Carahuacra.

- **Diagrama de Ichikagua**

El diagrama causa y efecto que también muestra la relación sistemática entre un resultado fijo y sus causas, el diagrama causa-efecto es una técnica de análisis en la resolución de problemas para explicar cómo diversos factores que afectan un proceso pueden ser clasificados y relacionados de cierta manera esto quiere decir que este tipo de diagrama son los idóneos para motivar el análisis y la discusión grupal de manera que cada equipo de trabajo pueda ampliar su comprensión acerca del problema visualiza las razones y motivos o factores principales secundarios identificar posibles soluciones tomar decisiones y organizar planes de acción en la siguiente figura se muestra la estructura del diagrama de Ishikawa. (9)

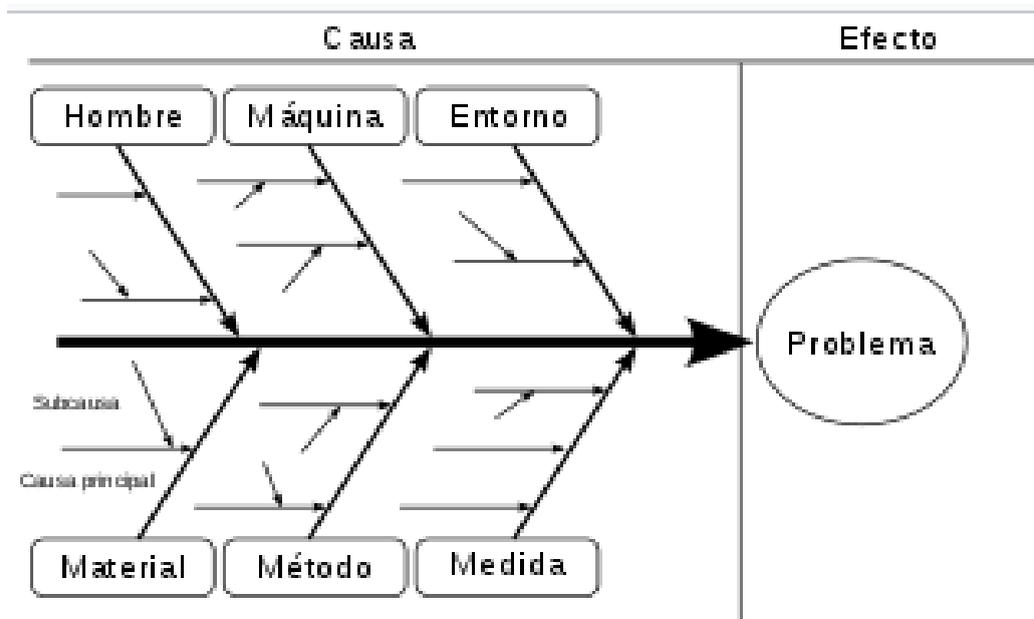


Figura 12. Diagrama de Ishikawa
Tomado de Pacheco Trujillo, Leonardo - Diagrama de Ishikawa

Fue desarrollado por el profesor Kaoru Ishikawa de la universidad de Tokio en el año 1943 fue un experto en dirección de empresas interesado en mejorar el control de la calidad quien lo utilizó con un grupo de ingenieros en una planta de Kawasaki She Works también llamado el diagrama de causa y efecto o el diagrama espina de pescado por su forma característica semejante a un esqueleto de un pez. (9)

Este diagrama en primer lugar favorece el intercambio de técnicas y experiencia entre los miembros del equipo de trabajo cada uno de los cuales ganará un nuevo conocimiento ya sea al realizar el diagrama o al estudiar un determinado problema el diagrama puede ser utilizado para el análisis de cualquier problema ya que sirve tanto para identificar los diversos factores que afectan un resultado como para clasificarlos y relacionarlos entre sí. (9)

Ayuda también a determinar el tipo de datos a obtener ya que también con esto se permite confirmar si dos factores relacionados fueron realmente la causa del problema el diagrama se puede emplear para prevenir otros problemas pues proporciona una visión de conjunto bien sea de los factores de una determinada característica calidad o bien sea de las fases que integran el proceso cuando se detectan causas potenciales de un problema éstas pueden prevenirse si se adoptan controles apropiados y por último muestra la habilidad profesional que posee el

personal encargado del proceso entre más alto sea el nivel mejor será el diagrama resultado. (9)

Esta relación de causa y efecto que tiene este diagrama el resultado fijo es la definición que comúnmente se le da a lo que llamamos como efecto el cual representa un área de mejora ya sea un problema resolver un proceso o una característica de calidad una vez que el problema de efecto es definido se identifican los factores que contribuyen a estas causas por ejemplo veamos de manera general estos ejemplos de la relación causa y efecto por ejemplo causa un llenado incorrecto de formas de pedido mercancías cuál será el efecto pues que no llegue la mercancía cliente. (9)



**Figura 13. Descripción del diagrama de Ishikawa
Tomado de Pacheco Trujillo, Leonardo - Diagrama de Ishikawa**

Las diferencias en el procedimiento seguido para ello consecuencia de efecto las diferencias en el tiempo que tarda en procesar una solicitud de crédito otro ejemplo la falta de entrenamiento de los empleados cuál puede ser el efecto propio y se el aumento del número de quejas recibidas y por lo tanto hay una relación directa entre las causas y el efecto entre las causas y el problema ahora cómo funciona el diagrama de Ishikawa o el diagrama causa y efecto veamos lo siguiente: (9)

En primer lugar, hay que definir claramente cuál es el efecto o síntomas cuyas causas han de identificarse encuadrar el efecto hacia la derecha y dibujar una línea gruesa central apuntando. (9)

En el segundo paso, hacemos uso del Brain Storm o una lluvia de ideas para procurar un enfoque racional para identificar las posibles causas distribuir y unir las causas principalmente a la línea central mediante líneas de unos 70 grados de

inclinación ahora respecto a esto hay una clasificación general de causas digamos estandarizadas de acuerdo al problema o al enfoque que se le esté dando son tres:

Primero, la relación que se conoce como la 4M/1H de más sobre 1 h que es recomendada cuando el problema tiene que ver con la producción que se relaciona o cuáles son las causas generales que se relacionan el hombre o sea el personal la maquinaria o la tecnología el método que son los procedimientos el material que son las materias primas y en medio ambiente o sea todo lo que rodea al problema esta es la primera clasificación estándar a una de las que más se utiliza pero eso no quiere decir que no se puedan utilizar otro tipo de causas ya que depende del problema que se esté presentando o de defecto que se esté presentando en el momento. (9)

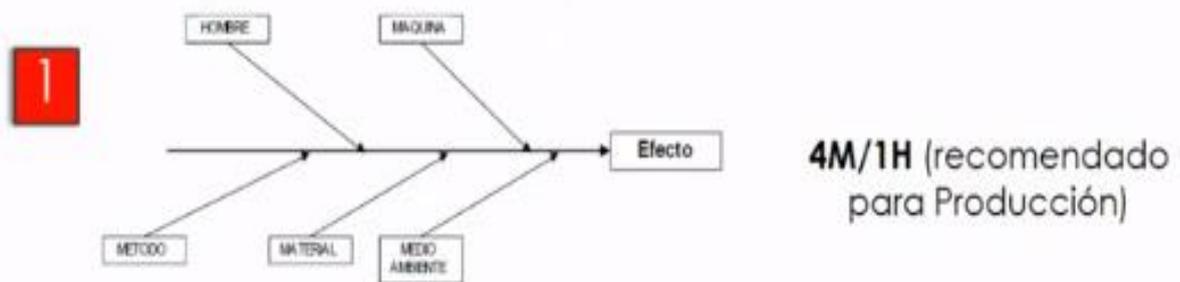


Figura 14. Descripción del 4M/1H del diagrama de Ishikawa
Tomado de Pacheco Trujillo, Leonardo - Diagrama de Ishikawa

En segundo lugar, la clasificación estándar es esta de estas causas es recomendada para los temas de calidad recursos comunicación capacitación conducción está una clasificación general recomendada para los temas de calidad. (9)



Figura 15. Recomendación en temas de calidad en el diagrama de Ishikawa
Tomado de Pacheco Trujillo, Leonardo - Diagrama de Ishikawa

En la tercer lugar, clasificación general en es la recomendada para temas administrativos cuáles son las causas generales las políticas los procedimientos la planta el personal vuelvo ya claro son recomendaciones de clasificaciones generales desde el punto de vista de las causas pero eso no quiere decir que pueda ser muy eficaz ya que pues cada problema tendrá su particularidad al momento de ser analizado lo importante de estas causas es que el personal el equipo de trabajo haga una lista de todas las posibles causas que cada uno considere en una lluvia de ideas se hace una extracción de esas principales causas. (9)

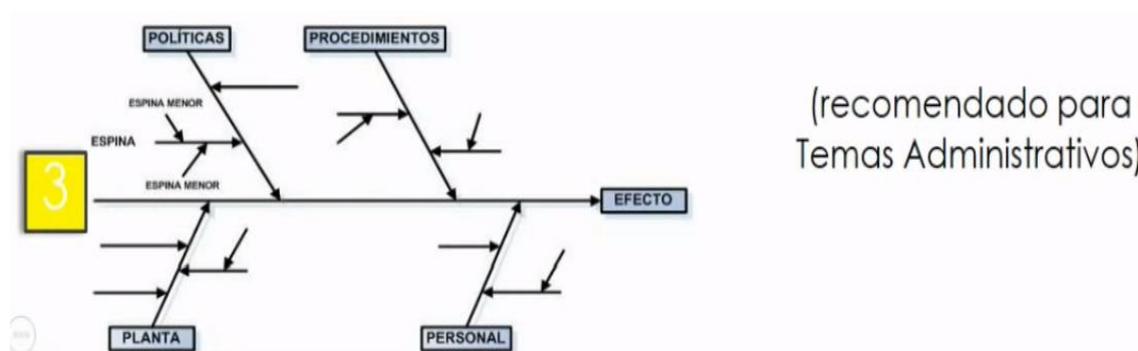


Figura 16. Recomendación para temas administrativos del diagrama de Ishikawa Tomado de Pacheco Trujillo, Leonardo - Diagrama de Ishikawa

Interpretación:

Se llega a la conclusión de cuál son las que en verdad todo el grupo considera que son las causas principales también tenemos las sub causas cuáles son las causas son aquellas que se le añaden a las causas principales a lo largo de estas niñas inclinadas con esto se busca descender de nivel hasta llegar a lo más profundo a la causa raíz a la fuente original del problema es decir hacerlo lo más profundo posible lo más claro posible el análisis llega hasta donde más se pueda para poder comprender tanto las causas como el efecto y por último la comprobación lógica de esta cadena que hemos mostrado hay que comprobar la integridad de la estructura del diagrama sus ramas sus sub causas es decir hacerlo lo más verídico y lo más acercado posible a la realidad que se está analizando. (9)

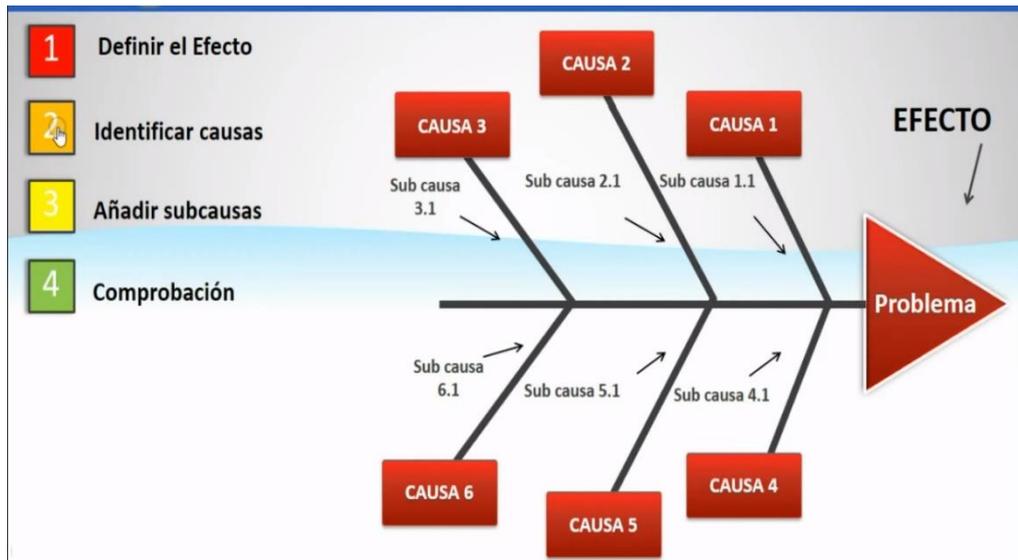


Figura 17. Desarrollo del diagrama de Ishikawa
Tomado de Pacheco Trujillo, Leonardo - Diagrama de Ishikawa

- **Tipos de diagramas de Ishikawa**

Existen tres tipos de diagramas: el análisis de la variabilidad que son más comunes que también es conocido como el de dispersión de una característica de calidad, el análisis de procesos por etapas y en análisis par del proceso vamos a analizar cada uno de ellos empezamos con el programa de análisis de variabilidad (9).

a) Análisis de variabilidad

Primero se traza una línea gruesa de izquierda a derecha y se escribe a la derecha de la punta el efecto que vamos a analizar en este caso para este ejemplo vamos a escoger inconformidad del cliente luego se anotan los principales factores causales del problema y se relaciona con el efecto mediante las flechas que caen sobre la flecha principal cada una de estas causas se puede subdividir que lo que vamos a analizar primero entonces en estos dos pasos ya hemos definido el efecto del problema que es inconformidad del cliente y de acuerdo al estudio o el caso que se ha analizado se han detectado o el grupo de trabajo. (9)

Se concluye cuatro causas principales productos vendidos en mano de obra procedimientos entre a mercancía transporte, luego de esto se puede subdividir en sus causas que se agrupan como pequeñas ramas o espinas en torno a las ramas principales, en la siguiente figura se muestra las causas de productos venidos de productos faltantes en el procedimiento entrega mercancía por los procedimientos

son desconocidos por los empleados o son conocidos pero no son aplicados o si existen pero están incompletos en la parte de transporte está la programación es ruta que puede haber dificultades los camiones que es el medio transporte y un aumento de entrega dependiendo de las temporadas y en la mano de obra puede ser lo que se ha detectado que son poco amables los trabajadores o está mal capacitada o es insuficiente. (9)

Una vez determinado las sub causas de estas cuatro causas principales sin embargo cada una de estas tanto causas como las sus causas potencialmente pueden ser analizadas aún más y se puede llegar a una subdivisión de cada una de éstas por ejemplo en el golpeado que es una sub causa de la causa producto vendido encontramos que hay una falta de procedimiento estándar en el manejo del producto vendido en faltante pues en una falta de revisión de contenidos. (9)



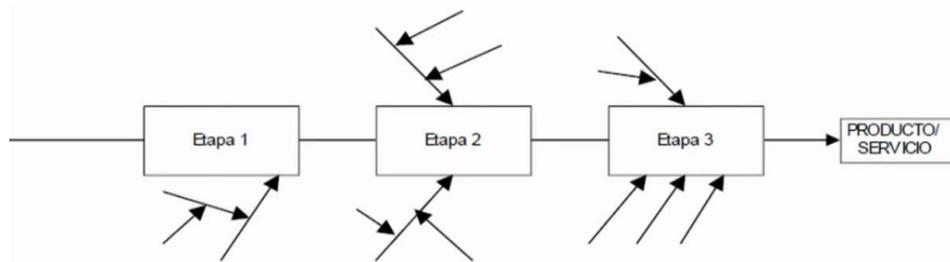
Figura 18. Diagrama de Ishikawa tipo análisis de variabilidad
Tomado de Pacheco Trujillo, Leonardo - Diagrama de Ishikawa

Otro ejemplo por el podemos decir que es acá en la programación de las rutas en la causa transporte que en la sub causa programaciones rutas se encontró que hay rutas que son inadecuadas o ineficientes en la sub causa camiones tenemos que hay un mantenimiento deficiente de los vehículos y en poca capacidad de almacenamiento o de transporte de volumen y por último tenemos lo que es la comprobación el equipo debe comprobar que todo esto se ha realizado con gran detenimiento y que se han llegado a estas conclusiones. (9)

Lo importante en este tipo de análisis es que cada una de las causas potenciales que has identificado pueden ser potencialmente examinadas de un modo más detallado preguntando a cada una lo siguiente por ejemplo ¿quién?, ¿qué?, ¿dónde?, ¿cuándo? y ¿por qué? la meta que se persigue es y al corazón del mismo problema. (9)

b) Análisis del proceso por etapas

Esta es una forma de drama causa y efecto se usa cuando existe una serie de eventos o pasos de un proceso crea un problema de producto o servicio y no está claro cuál evento o cuál paso es la causa mayor del problema por lo tanto cada categoría o su proceso es examinada para ver si hay causas posibles después que las causas de cada etapa son descubiertas se seleccionan y verifican las causas significativas del problema en el diagrama causa y efecto análisis del proceso por etapas facilita la comunicación entre las operaciones y puede ser utilizado para prevenir problemas en el proceso por ejemplo unas preguntas características sería que los problemas de calidad podrían ocurrir en esta fase del proceso. (9)



Maldonado, J. (2011). Gestión de procesos. Recuperado a partir de <http://www.eumed.net/libros-gratis/2011e/1094/index.htm>

¿Qué problemas de calidad podrían ocurrir en esta fase del proceso?

Figura 19. Diagrama de Ishikawa tipo análisis de procesos por etapas
Tomado de Pacheco Trujillo, Leonardo - Diagrama de Ishikawa

c) Análisis para el proceso

Resulta de la combinación del diagrama causa y efecto que hemos visto con un modelo ya sea escala un dibujo o una fotografía de proceso señalando las diversas causas que impactan en cada uno o en cada una de sus partes por ejemplo que tenemos el dibujo de una camioneta y nos estamos dando cuenta que hay algunas causas en este caso. Por ejemplo tenemos que hay un problema que hay un mal

funcionamiento del motor pero ese mal funcionamiento del motor es un efecto y ese efecto tiene una causa aquí hay otro problema en señala que el bamboleo de las llantas tienen su causa es decir que este tipo de ramas puede combinar diferentes tipos de problemas en un solo producto o servicio con cada una de sus respectivas causas o sub causas esto nos da un panorama mucho más amplio para analizar cuando el problema es muy complejo es decir cuando en un mismo producto se presentan varios problemas por lo tanto tienen que ser analizados en su conjunto los problemas con sus respectivas causas y sus causas para poder llegar a una toma de decisiones. (9)

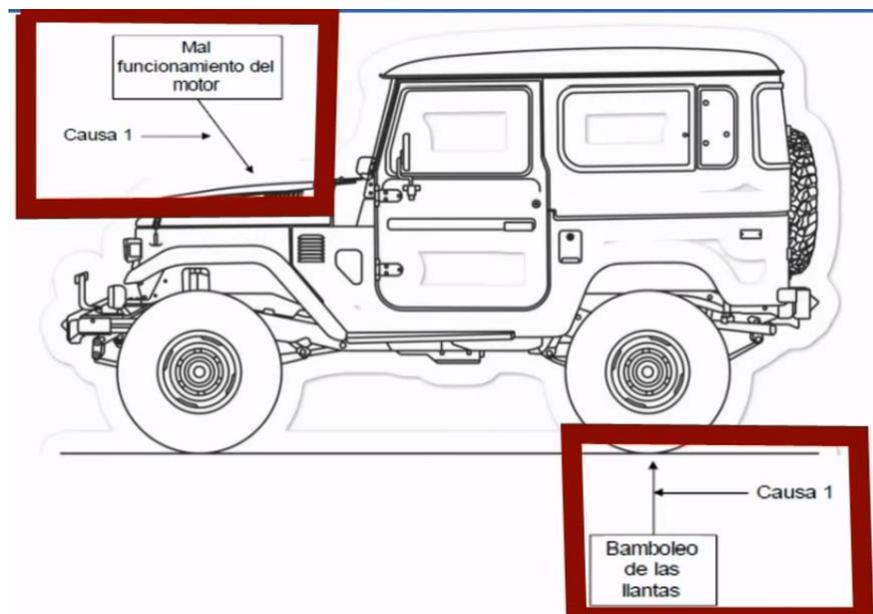


Figura 20. Diagrama de Ishikawa tipo análisis para el proceso Tomado de Pacheco Trujillo, Leonardo - Diagrama de Ishikawa

CAPÍTULO III

MÉTODO DE DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1. Método y alcances de la investigación

3.1.1 Métodos de la investigación

a) Método general

Como regla general se utilizará el método científico, debido a que se construye en función de la información en campo de las actividades de perforación y voladura para el mejoramiento de la perforación y voladura para el método de minado de *bench and fill*.

b) Método específico

El método específico a utilizar es el método experimental inductiva. Se encuentra que después de la mejora de la perforación y voladura para el método de minado de Bench and Fill, se disminuirá la dilución del mineral producido.

3.1.2 Alcances de la investigación

a) Tipo de investigación

La presente investigación cuenta con un diseño experimental, debido a que el objetivo de la investigación es optimizar la perforación y voladura para el método de minado de *bench and fill* en la unidad minera Carahuacra.

b) Nivel de investigación

La presente investigación es descriptiva, ya que se trata de esclarecer la optimización de la perforación y voladura para el método de minado de Bench and Fill en la unidad minera Carahuacra.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es experimental.

3.3. Población y muestra

3.3.1 Población

Todos los tajeos de explotación de la unidad minera Carahuacra.

3.3.2 Muestra

El tajeo de la veta Mary tajo 120 E-W del nivel 1400 de la unidad minera Carahuacra.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos

Esta investigación recolectó información en campo mediante la técnica observacional y el procesamiento de datos pasados y actuales de las operaciones mineras de perforación y voladura.

Para la recopilación de información de perforación y voladura se utilizaron informes diarios, informes mensuales y anuales, teoría, libros, índices de hardware de perforación y PC para el manejo de la información y los registros adjuntos:

- Informe de metros perforados del equipo simbas.
- Registración y consistencia del método de minado por Bench and Fill
- Informe de equipos simbas
- Informe de actividad diaria
- Informe de abastecimiento
- Informe de rotura (VCR, apertura y disparo de columnas)
- Informe marginal y mineral
- Informe geomecánico y otros

3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos

Para la investigación se utilizará como instrumento de campo: cuaderno de notas, planos, reporte de operaciones de perforación y voladura de la unidad minera Carahuacra.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Evaluación la optimización de la perforación y voladura para el método de minado por *bench and fill* en la unidad minera Carahuacra

4.1.1 Evaluación de la optimización de la voladura de tajeos

En el análisis geomecánico del macizo rocoso detallado de la veta Mary como alternativa para realizar la explotación mecanizada por *bench and fill* con taladros largos desde la veta Mary tajo 120 E-W del nivel 1400 hacia los niveles inferiores se realizó con subniveles separadas por alturas determinadas; las misma que es la razón de nuestro estudio geomecánico.

4.1.1.1. Metodología de análisis

Este análisis se efectuó utilizando el modelamiento numérico para determinar la altura de banqueo o llamado también Pilar Techo de nuestros subniveles. La finalidad de este método de minado es optimizar nuestra producción, minimizando los riesgos, por la exposición del personal y equipos.

Además, para tener una medida global del diseño, se ha establecido como estado valido que el Factor de Seguridad (FS) sea equivalente a 1,3 en las todas las labores de desarrollo y preparación y 1,2 en las labores de minado.

4.1.1.2. Parámetros geomecánico para el análisis

- **Clasificación geomecánica del macizo rocoso unidad minera Carahuacra**

Para la caracterización de la masa rocosa se utilizó el índice de clasificación geomecánica "GSI" (Geological Strength Index), así como la clasificación geomecánica RMR de 89 (Rock Mass Rating).

A partir de ahora, con estos dos modelos, las zonas geomecánicas de la veta al igual que en las rocas encajantes se encuentran en el interior:

- **Veta Mary presenta lo siguiente:**

- ✓ Estado estructural: presenta macizo rocoso fracturado F (6 a 11 roturas) y además Muy Fracturada: MF (de 12 a 19 grietas por cada metro en línea recta).

- ✓ Estado superficial del macizo rocoso: En cuanto a dureza presenta de Regular a pobre (R a P), esta condición superficial de la parte mineralizada es similar a las encajonantes.

- **Caja techo y caja piso:**

- ✓ Estado estructural de la masa pétreo: desde Fracturado F: (6 a 11 grietas por cada metro lineal) hasta Muy Fracturado MF: (12 a 19 roturas por cada metro directo), en todas las valoraciones se contemplan los planos de deficiencia (grietas <1mm cargadas de mineral sin aberturas), que por impactos de golpeo en el desenterramiento promulgarán muy a menudo, conformando desconchados, en los rellenos pétreos.

- ✓ Estado Superficial macizo rocoso: como matriz rocosa ofrece una resistencia de Regular a pobre y en tramos puntuales presenta una condición superficial buena, R a P:(son rugosas y tienen una resistencia compresiva de 85 a 100 Mpa.

- ✓ Adicionando a estas condiciones presentan formación de cuñas por tener orientación perpendicular a la veta. Como tipo de terreno, se determina de la siguiente manera: F/P, MF/R, F/R; con un RMR= 45 a 50.

Tabla 3. Criterio de clasificación de la masa rocosa según RMR

Tipo de Roca	Rango RMR	Calidad Según RMR
II	> 60	Buena
IIIA	50 - 60	Regula A
IIIB	41 - 50	Regula B
IVA	31 - 41	Mala A
IVB	21 - 30	Mala B
V	< 21	Muy Mala

Tomado del Área de Geomecánica unidad minera Carahuacra

Tabla 4. Resumen de calidad RMR del macizo rocoso – Veta Mary

Litología	Rango RMR	RMR Promedio	Calidad
Veta	40 - 48	44	Regular B
Caja Techo	45 - 50	48	Regular B
Caja Piso	45 - 50	48	Regular B

Tomado del Área de Geomecánica unidad minera Carahuacra

4.2 Análisis de los resultados de la perforación y voladura en el método de minado por *bench and fill* de la unidad minera Carahuacra

Se realizó un análisis de la perforación y voladura para plantear cual es el problema para analizar y detectar las causas raíces. Este problema es “el elevado porcentaje de sobre dilución en la unidad minera Carahuacra”.

En la siguiente figura de los últimos meses, la dilución se fue incrementando de 18 % hasta ahora 31 %. Con un rango de sobredilución de 4 % -8 %

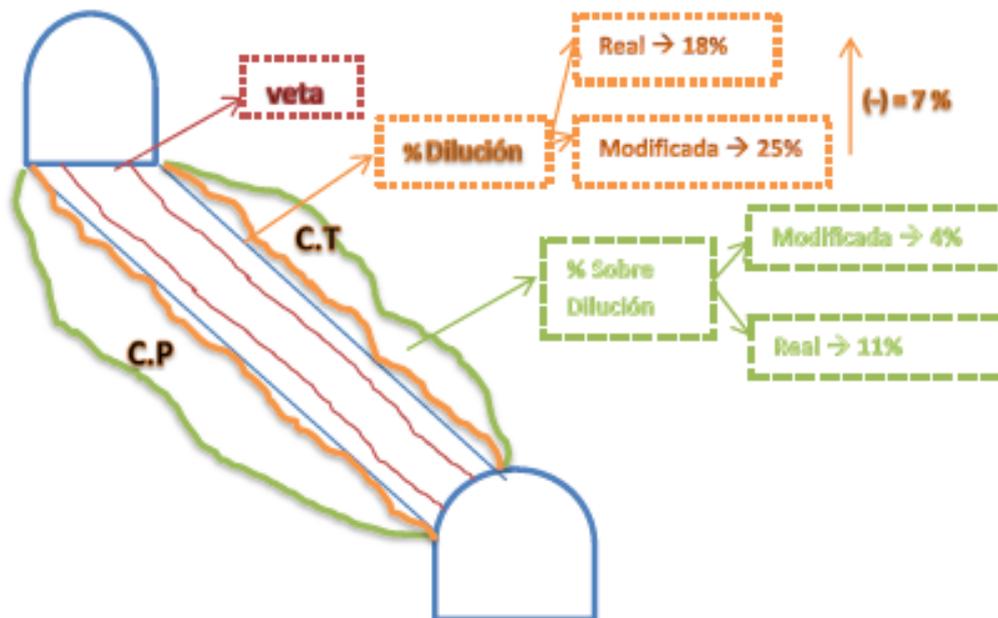


Figura 21. Dilución en el método de minado por bench and fill unidad minera Carahuacra

Observación: sí, se está manejando el tema de la sobre dilución aumentando la dilución aceptable para mina y con ello disminuyendo la sobre dilución que se generará, se debe de implementar un control para obtener los datos correctos del % de sobre dilución que se está obteniendo.

Sin embargo, el rango de sobredilución se incrementó en 4 %, lo cual implica la necesidad de implementar una medida de control para ver por qué no se está modificando la dilución aceptable máxima; ya que, si es así la sobre dilución se habría incrementado notablemente.

Observación: sí se está manejando el tema de la sobre dilución aumentando la dilución aceptable para mina y con ello disminuyendo la sobre dilución que se generará, se debe de implementar un control para obtener los datos correctos del % de sobre dilución que se está obteniendo.

Después de haber establecido el problema, se dejó un boceto rápido de las posibles causas que están haciendo que el exceso de dilución debido a los problemas de los equipos. Estos se fueron representados en un diagrama de Ishikawa como se muestra a continuación.

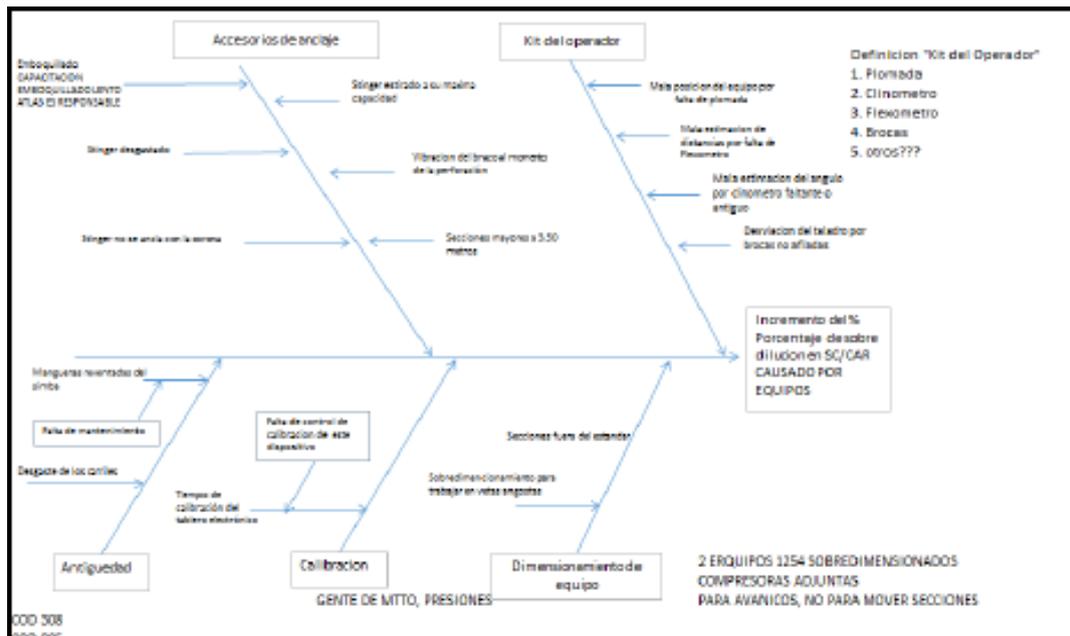


Figura 22. Diagrama de Ishikawa de la perforación y voladura en el método de minado por bench and fill unidad minera Carahuacra

En el Ishikawa se evaluó 5 parámetros importantes de los cuales se obtendrán los problemas estos son:

- Accesorios de anclaje

Se evaluará en su mayor parte el estado del stinger del brazo Simba. En caso de que se mantenga adecuadamente o en caso de que se desgaste.

- Kit de operador

Se evaluará en su mayor parte en el caso de que el administrador tiene las herramientas necesarias y en buenas condiciones para llevar a cabo una adecuada de perforación. Las herramientas señaladas con, por ejemplo, plomada, flexómetro, clinómetro, salpicadero.

- Antigüedad

Se evaluará en su mayor parte las horas de vida útil operativa del equipo simba, su tiempo de mantenimiento y el estado de conservación.

Por otro lado, se coordinó con secretaria de mina para la obtención de los estándares y procedimientos para perforación de taladros largos. Esto se hizo con el fin de analizar cómo deberían los trabajadores realizar la perforación en

taladros largos. Sin embargo, el estándar que se encontró trata de la perforación y cuenta con detalles muy generales.

Una vez que ya se tiene un bosquejo de los posibles problemas se coordinó con el ing. Eloy Rojas para ir a mina al tajo 80 y observar cómo están trabajando los operadores de simba y realizar un comparativo con el estándar establecido para perforación en taladros largos.



Figura 23. Taladros con desviación

En la figura se puede observar que hay una desviación del taladro, principal factor que genera la sobre dilución. A continuación, se explicará las causas por las cuales se dan las desviaciones de los taladros en la unidad minera Carahuacra y se planteará una mejora para minimizar este problema. Recordar que en toda perforación va existir una desviación; sin embargo, la desviación permisible es hasta un máximo de 2 % respecto a la longitud del taladro mundialmente establecido.

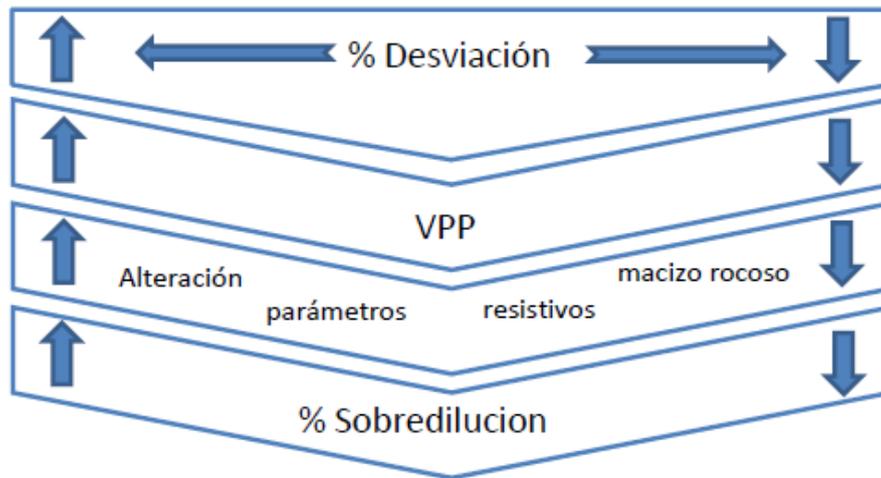


Figura 24. Factores que influyen en la sobredilución en la unidad minera Carahuacra

4.2.1 Control y análisis en tajeos

Se realizaron monitoreos a las voladuras de taladros largos, considerando mantener la malla que actualmente se viene utilizando. El desarrollo de esta, en el mejor de los casos cuando se trata de abrir los *slots*, se realiza en dos tramos de 6.5m de un total de 8 m como altura de banco.

Posteriormente, la voladura se resuelve en su totalidad de 12.0 metros haciendo uso de Fanel periodo largo y Emulnor 3000 para los taladros de producción y Emulnor 1000 para controlar las cajas.



Figura 25. Carguío de los accesorios y explosivo emulnor 3000 y 1000 en los taladros largos

Sismograma realizado al *slot* del Tj. 120 – piso 03, primer tramo 6.50 m. El indicador con líneas punteadas muestra la intensidad y el tiempo prolongado en una de las ondas aéreas, en este caso dio como resultado 116.840 mm/s, a 16 m del disparo.

Normalmente, la intensidad de las ondas medidas en Herzios no debe exceder los 10 Hz en un radio nominal no mayor a 4 veces la longitud del taladro, sin embargo, a pesar del buen resultado de la voladura, con indicadores óptimos en la fragmentación se debe considerar importante reducir la carga en los taladro o caso contrario optimizar con una adecuada selección de retardos por cada taladro a detonar.

Quiere decir que, si se logra atenuar o minimizar las ondas expansivas con tiempos diferentes en un taladro orientando secuencias consecutivas uno respecto del otro, se logrará bajar la intensidad de la onda, de no considerar esta sugerencia, las cajas de las áreas voladas sufrirán agrietamiento sumado al esfuerzo de las cajas.

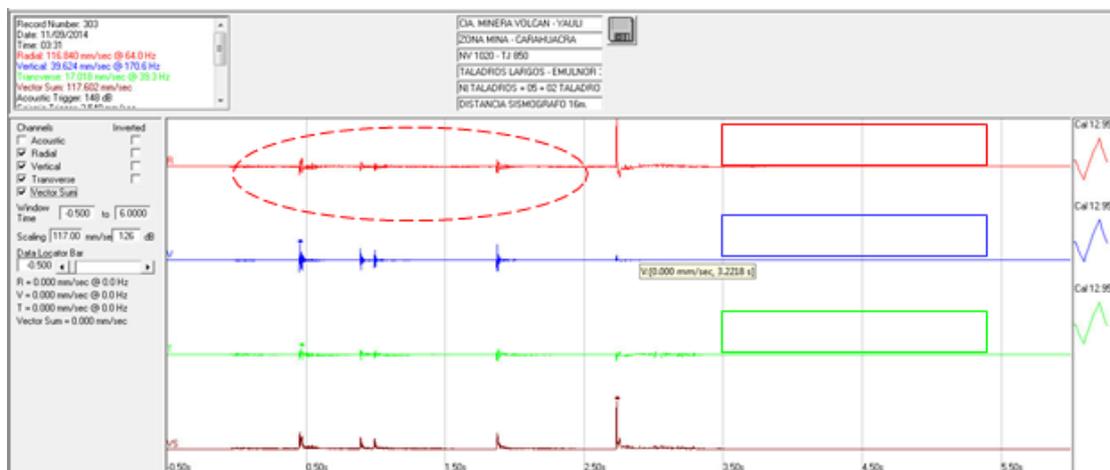


Figura 26. Disminución de la intensidad de onda tajeo 120, veta Mary

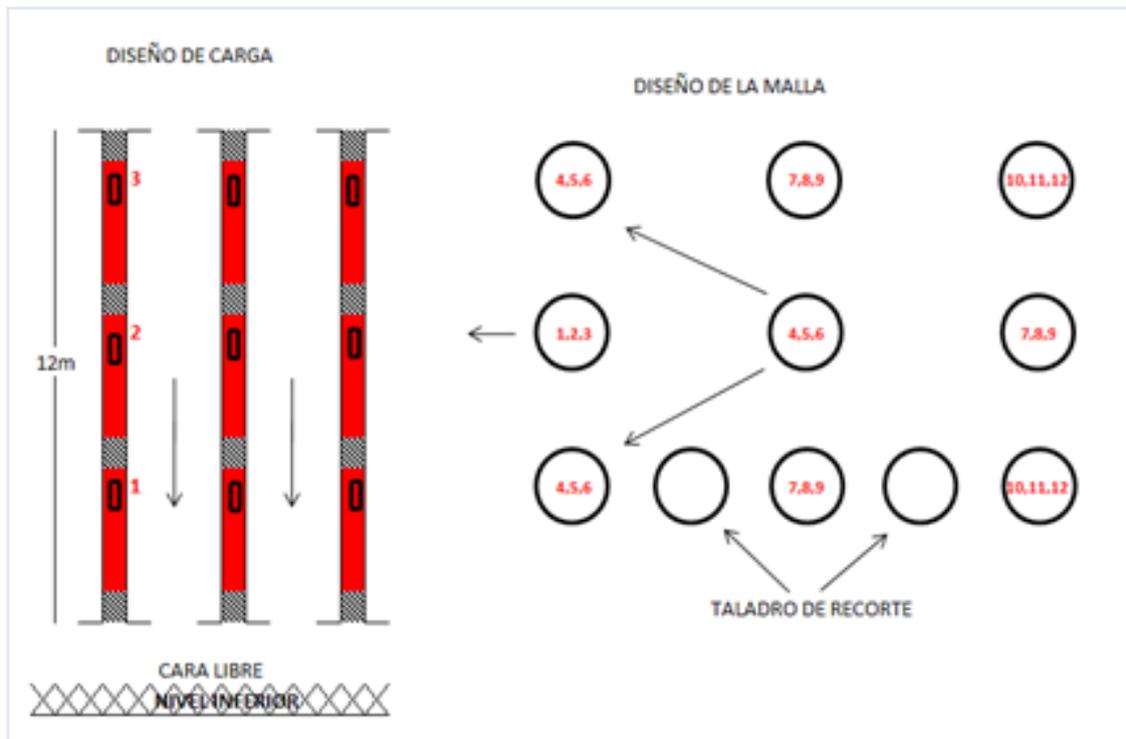


Figura 27. Diseño de carga y malla de perforación y voladura para taladros largos

Interpretación:

Una de las formas de distribuir la secuencia de retardos por taladro sería la que se indica en la ilustración. El uso de retardos continuos tiene como objetivo atenuar de la manera más ordenada las ondas minimizando sus efectos de daños a las cajas, se puede lograr reducir el factor de potencia por el esquema de carguío.

4.3 Análisis del control de los parámetros de perforación y voladura para el método de minado por *bench and fill* en la unidad minera Carahuacra

- La desviación de taladros de perforación y su impacto en la sobredilución, el emboquillado se realiza demasiado rápido – en alta



Figura 28. El emboquillado se realiza demasiado rápido – en alta

- El problema del *stinger* es que al estirarse en su capacidad máxima del equipo simba de perforación, no ancla hacia el techo de la labor.

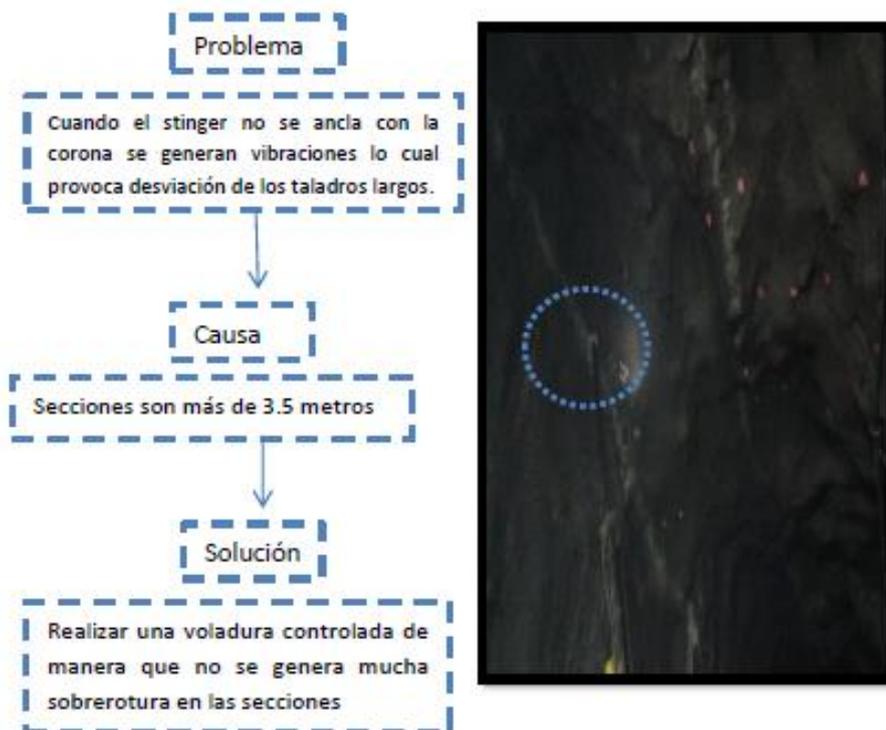


Figura 29. Deficiencia en el stinger al estirarlo a su máxima capacidad del equipo simba de perforación y no ancla hacia el techo de la labor

- No cuentan con flexómetro, plomada en el área de trabajo - malas prácticas operativas

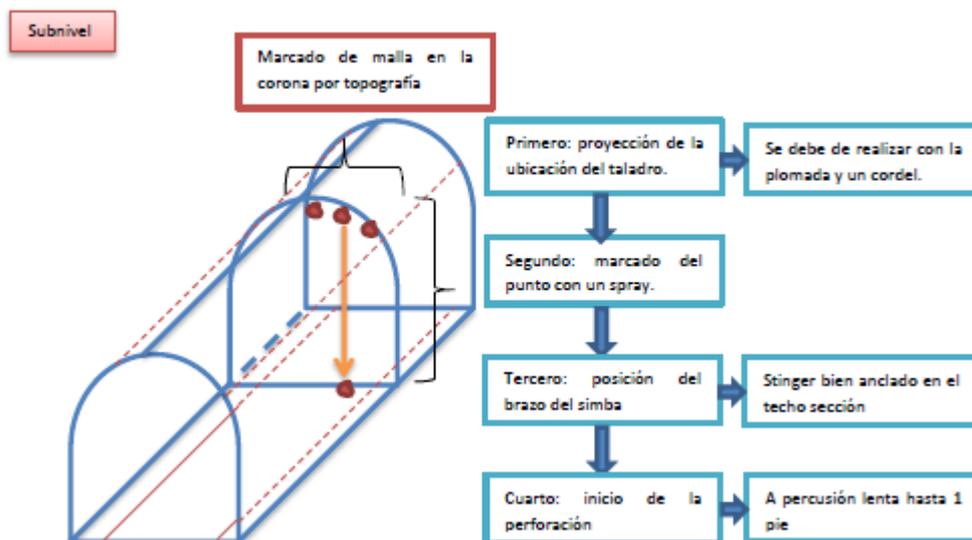


Figura 30. Marcado de la malla de perforación de taladros largos - proyección de los puntos del taladro del techo al piso

- Marcado de malla en la parte de la corona

Al momento de iniciar con la perforación de los taladros se observó que el marcado de malla que se realiza por topografía no se adecua a la sección del subnivel y a las dimensiones del equipo, ya que las marcas de los taladros se pintaron hasta la parte de la mitad del hastial como se observa en la imagen.

Esto dificulta la proyección del punto al piso para iniciar la perforación y además los operadores al ver estas condiciones empiezan a realizar su trabajo según su criterio de manera que las perforaciones no sales de manera efectiva.



Figura 31. Deficiencias en el marcado de malla de perforación y voladura por la mala perforación y voladura

- Estándar de pintado de secciones de perforación



Como se observa en la imagen en todas las labores en general el estándar de pintado de las secciones de perforación se realiza solamente en los hastiales. Esta técnica necesita ser mejorada ya que los equipos están diseñados para un posicionamiento laser del equipo en si mas no para un adecuado posicionamiento del brazo mecánico del Simba. El posicionamiento y alineamiento de la viga requiere del uso de la plomada y de un adecuado pintado de secciones que permita alinear al brazo mecánico de manera correcta y precisa.

Figura 32. Pintado de las secciones

- No hay uso del clinómetro y se requiere cambiar el clinómetro

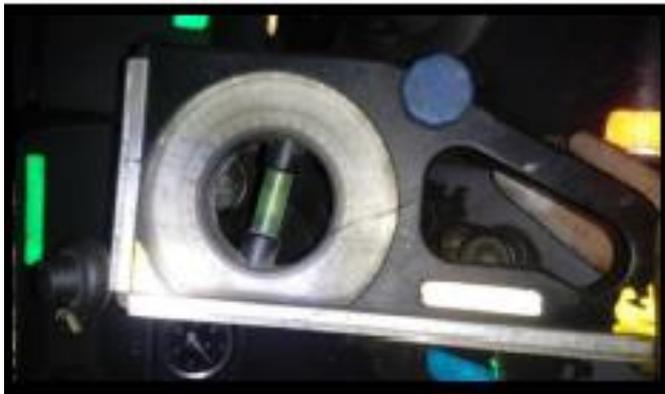


Figura 33. Estado del clinómetro

Medición del ángulo de inclinación y cálculo de desviación

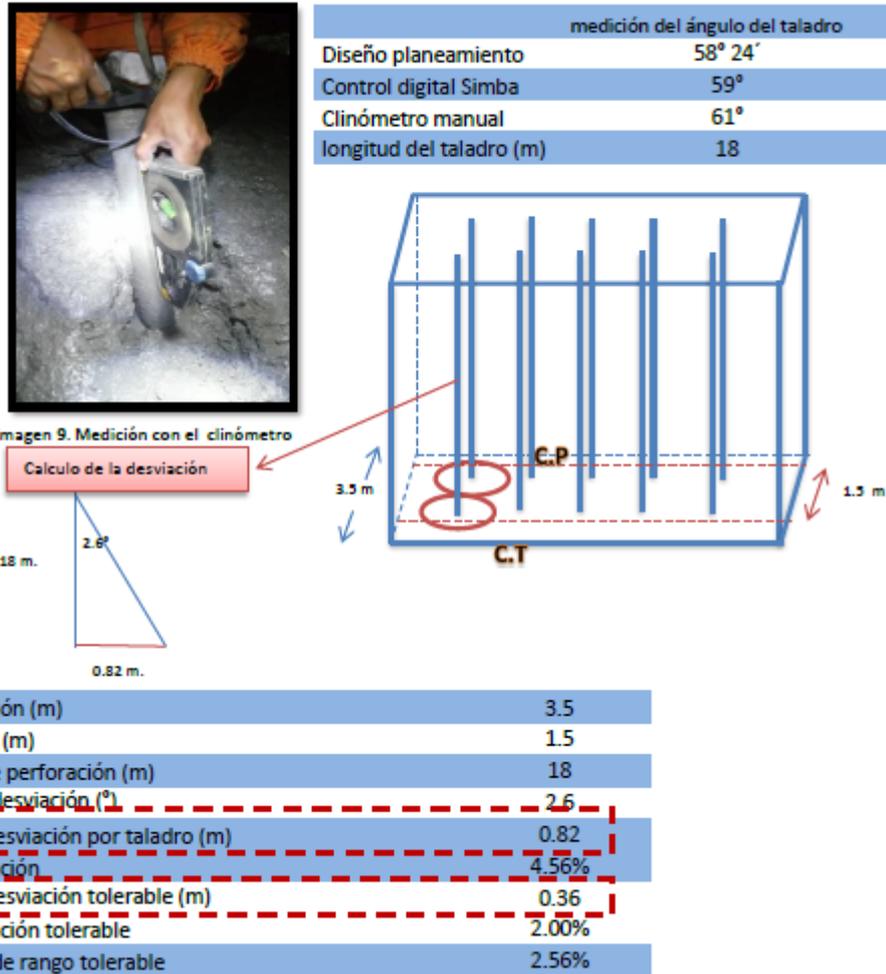


Figura 34. Medición del ángulo de inclinación y cálculo de desviación

Interpretación:

Según los cálculos realizados se obtiene que por una desviación de 2.6 grados en una longitud de perforación de 18 metros se obtiene una desviación de 0.82 metros y lo tolerable es 0.36 metros. Por lo tanto, hay un error de 46 centímetro hacia la caja techo incrementando más la probabilidad de descaje por efecto del explosivo.

4.3.1 Control de las vibraciones del macizo rocoso en tajeos - veta Mary

Adicional a estos análisis, se verificó con cálculos aproximados el tamaño de los fragmentos, vale decir el resultado predictivo de la granulometría de la voladura de tajeos. Considerando los parámetros como se muestra en la figura siguiente.

Densidad explosivo (gr/cc)	δ_{exp}	1.1
Potencia en peso	RWS	67.78
Diam. taladro (pulg)	\varnothing	2
Altura banco (m)	H	12.00
Burden (m)	B	1.50
Espaciamiento (m)	E	1.50
Sobre perforación (m)	s	0.00
Taco (m)	T	3.00
Desviación de la perforación (m)	Dv	0.10
Factor de roca	Fr	4
Densidad roca (gr/cc)	δ_{roca}	3.58
Altura carga de fondo (m)	L _f	0
Parametros calculados		
Altura carga de columna (m)	L _c	9.00
Altura total columna expl. (m)	L	9.00
toneladas rotas/taladro (t/tal)		97
Carga explosiva por taladro (Kg)	Q _t	20
Factor de carga (Kg/m ³)	Q _f	0.74
Factor de potencia (Kg/t)	F _p	0.21
Tamaño medio roca fragmentada (mm)	X ₅₀	117.20
Coefficiente de uniformidad	n	1.72
Tamaño característico (mm)		145
Tamaño crítico (mm)		1200

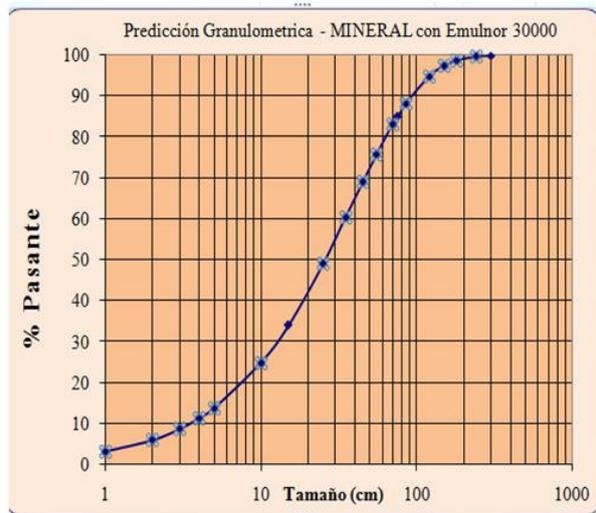


Figura 35. Granulometría de mineral tras la voladura con emulnor 3000

Interpretación:

Según este análisis predictivo se puede concluir con el P80 (80% de la pila) pasa por una malla promedio de 4 a 5 pulg.

Los trabajos realizados en la veta Mary tajeo 120 nivel 13000, queda por definir parámetros en función a pruebas con monitoreo de vibraciones e ir simplificando las variables hasta lograr estándares que definan un buen resultado independientemente al tipo o característica de roca solo queda definir la energía necesaria para fragmentar la roca.

4.4 Evaluación técnica económica de la perforación y voladura en el método de minado por *bench and fill* en la unidad minera Carahuacra

Consecuencias que ocurre cuando se desvía el taladro:

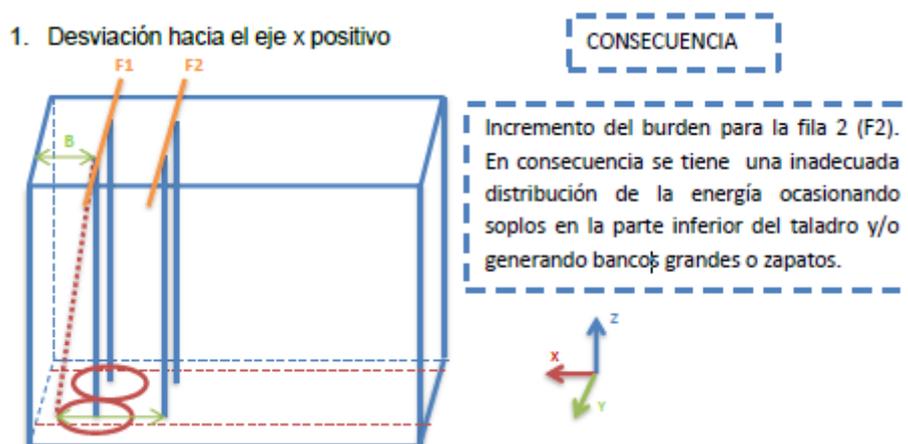
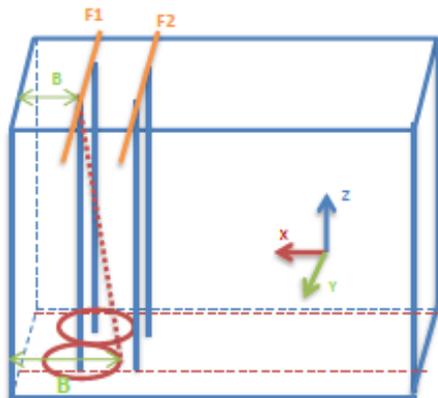


Figura 36. Desviación hacia el eje x positivo

2. Desviación hacia el eje X negativo

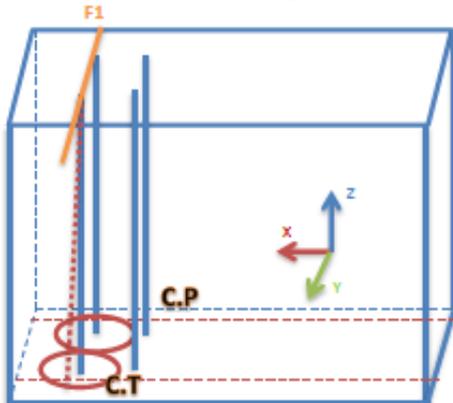


CONSECUENCIA

Incremento del burden para la fila 1 (F1) con relación a la cara. Esto generará que la geometría del diseño de malla varíe y además el cálculo del burden sale de acuerdo al diámetro del taladro. Por lo tanto ese burden nuevo no es para esa dimensión de diámetro y fallará al momento de realizar la voladura quedando bancos grandes y/o zapatos. Así mismo, en la fila dos (F2) se generará dead pressing por efecto de taladros adyacentes entre la F1 y F2.

Figura 37. Desviación hacia el eje X negativo

3. Desviación hacia el eje Y positivo

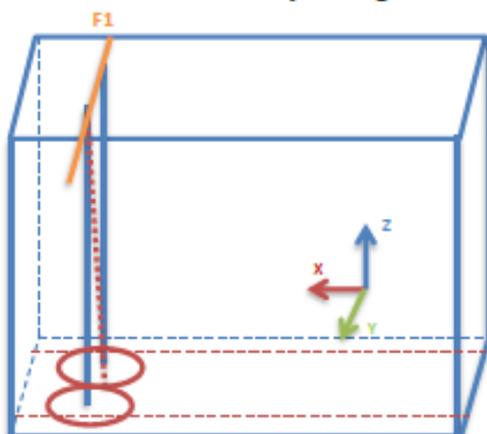


CONSECUENCIA

El taladro perforado ya no está en el rango de la dimensión de la veta sino ya salió por la caja techo. Este detalle es uno de los principales causantes de la sobredilución en vetas angostas ya que al momento de realizar la voladura las ondas liberadas tendrán mayor impacto en la caja piso generando daño al macizo rocoso y con ello la mezcla de mineral con roca no económica.

Figura 38. Desviación hacia el eje Y positivo

4. Desviación hacia el eje Y negativo



CONSECUENCIA

El espaciamiento entre taladros de una misma fila disminuye y se genera dead pressing porque en la fila 1 (F1) los dos taladros están secuenciados con tiempos diferentes.

Figura 39. Desviación hacia el eje Y negativo



Figura 40. Clara desviación - taladros muy pegados

Descalibración del tablero del equipo el cual mide ángulos



Figura 41. Tablero electrónico del equipo Simba S7D

Como se puede observar en la imagen 11 el simba S7D J - 304 cuenta con un tablero electrónico, el cual te mide ángulos y el nivel de estabilidad del equipo. Este tablero es guiado por los 4 sensores incorporados en el equipo. Un sensor grande y los otros tres son pequeños.

Tabla 5. Sensores incorporados en el equipo



El sensor que más va a influir en la desviación de taladros, si no está calibrado, es el sensor por ángulo del brazo ya que me indica la dirección del buzamiento de los taladros y debe de coincidir con la dirección de buzamiento de la veta establecida por planeamiento.

Estos sensores eléctricos se descalibran por factores que existen en interior mina como: el agua, la humedad, el polvo, la temperatura, entre otros. Además, el operador de simba no tiene conocimiento cada cuanto tiempo se realiza la calibración de los sensores y si estos están marcando los ángulos indicados por planeamiento.

Sin embargo, según lo observado en mina los operadores se guían más del sensor de ángulo que tiene el simba en vez de utilizar un clinómetro manual. Por otro lado, se consultó con la empresa Atlas Copco si se tenía un control establecido de la calibración de sensores y la respuesta fue de que no hay un control fijo del mantenimiento de los sensores del Simba.

- **Falta de estándar y procedimiento para taladros largos**

Se ha identificado que no se cuenta con un estándar para perforación de taladros largos, así como el procedimiento. Ambos son dispositivos clave para el control y la comprobación del ciclo de perforación de taladros largos.

4.4.1. Visión macro modelo Ishikawa

Después de las insuficiencias encontradas, se continuó a replantear el diagrama de Ishikawa y se hizo una investigación de las causas principales y luego se introdujo en las reuniones realizadas con los especialistas de la mina, planeamiento, productividad, empresa contratista Famesa, entre otros.

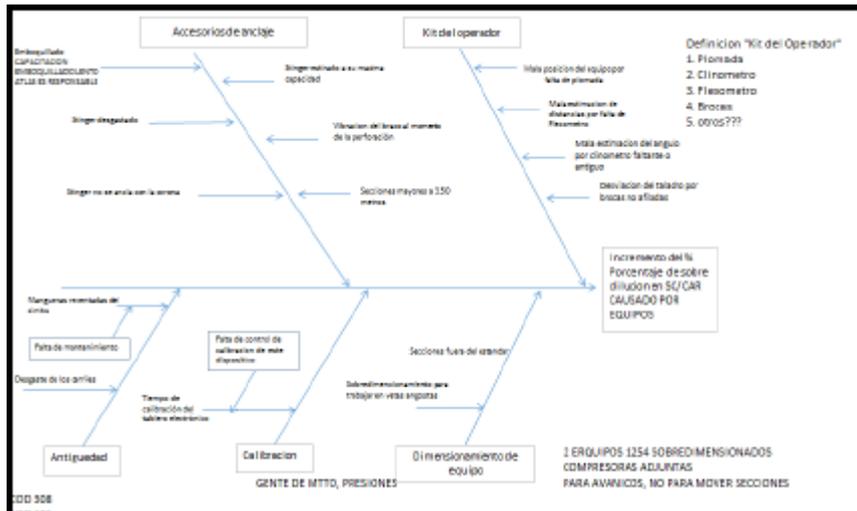


Figura 42. Identificación del problema bosquejo del diagrama Ishikawa

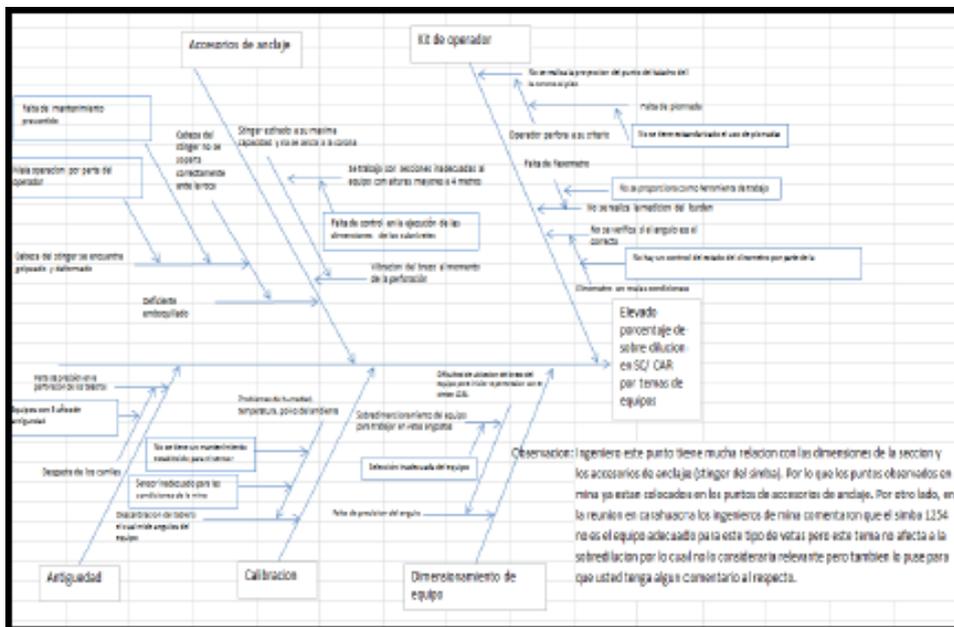


Figura 43. Diagrama de Ishikawa mejorado después de lo observado en mina y acordado en reunión

4.4.2. Plan de acción por priorización

Teniendo en cuenta la circunstancia negativa a afectar descrita en los apartados anteriores, se ejecutarán planes de contingencia en los focos centrales referidos para lograr una mejora funcional. Esto será de acuerdo a lo siguiente:

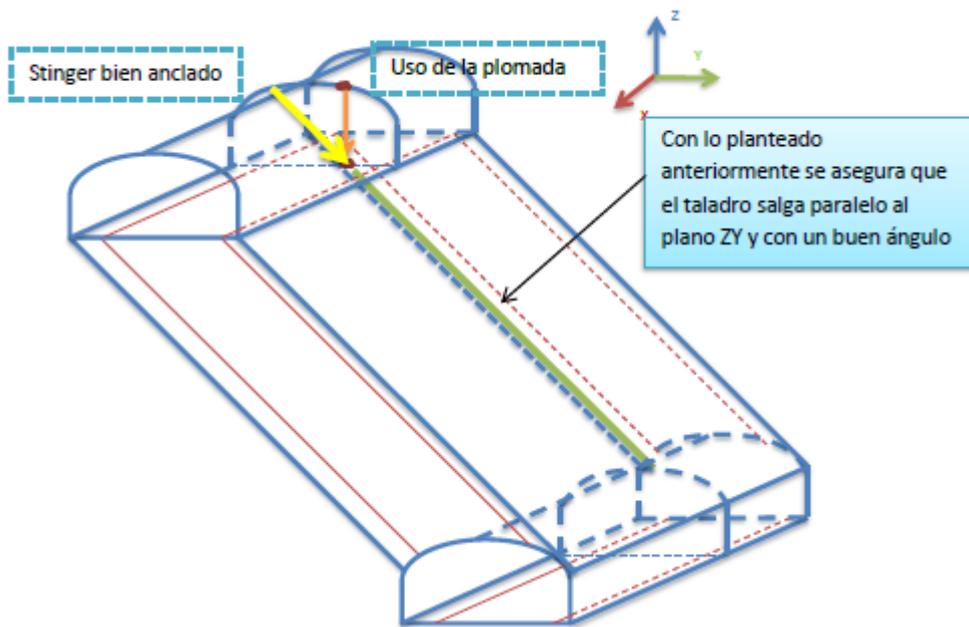
1. Se debe realizar un estándar de perforación de taladros largos, decidiendo los instrumentos adecuados a utilizar. Así como un sistema de trabajo seguro.

2. Todas las secciones en las que se vaya a realizar la perforación deberán ser pintadas con precisión para garantizar que los taladros estén alineados con la sección del subnivel marcado y, además, con el plano transversal de la cara libre. Responsable plazo:



Figura 44. Referencia del pintado de secciones de la mina Chungar para el correcto anclado del brazo del Simba S7D y una adecuada perforación

3. Los segmentos modificados para los subniveles de los taladros largos se deben ser eficientes obtener un anclado correcto del stinger con la corona. De lo contrario, el stinger se dejará notar por todas partes y se producirán vibraciones a la hora de perforar y de esta manera habrá desviación de la perforación.
4. Se debe realizar la plomada para garantizar una proyección correcta del lugar subyacente de los talaros largos que se aparta en la corona de la labor. Además, debe ejecutarse para avanzar en el emplazamiento y la disposición del eje. Debido a esto se logrará trabajar en la verticalidad de las aberturas de perforación en el área longitudinal para que se logre un paralelismo suficiente con respecto al burden, en todo caso es uno de los impulsores fundamentales de las causas principales correspondiente.



5. Los clinómetros manuales antiguos y en mal estado de los equipos de perforación en zona longitudinal deben ser cambiados, para que el trabajador pueda trabajar con instrumentos adecuados.
6. Realizar seguimiento en campo de que el personal cumpla con el procedimiento del correcto emboquillado.
7. Se debe de establecer la frecuencia de calibración del sensor de ángulo de los equipos Simba para garantizar la ubicación correcta y precisa de la viga con respecto al ángulo.
8. Se debe solicitar a Atlas Copco en revisar y mejorar la calidad del sistema del sensor de ángulo del Simba para que trabaje en condiciones de interior mina.

4.4.3. Mejora del avance lineal en metros de los tajeos de producción

Se realizó el comparativo de los últimos 4 años de los metros de avance de los tajeos con la distribución de carga para una voladura controlada en los hastiales de la labor

En la siguiente figura se muestra el metraje de avance de tajeos de los últimos 4 años.

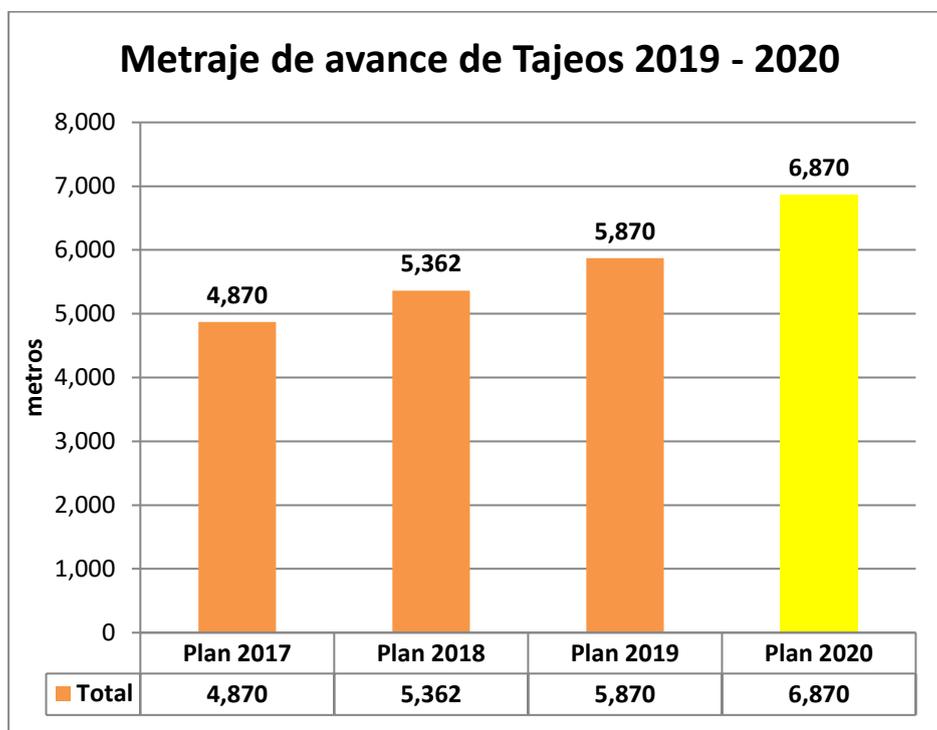


Figura 45. Metraje de los avances de tajeos de los años 2017, 2018, 2019 y 2020

Interpretación: de la figura se observa los siguiente:

- Para el año 2017 se tiene 4870 metros lineales en frentes de avance con el uso de explosivo emulnor 3000.
- Para el año 2018 se tiene 5362 metros lineales en frentes de avance con el uso de explosivo emulnor 3000.
- Para el año 2019 se tiene 5870 metros lineales en frentes de avance con el uso de explosivo emulnor 3000.
- Para el año 2020 se tiene 6870 metros lineales en frentes de avance con el uso de explosivo emulnor 1000 y 3000.

El uso del Emulnor 3000 para los taladros de producción y Emulnor 1000 para controlar las cajas.

Tabla 6. Optimización del metraje de avance de los tajeos de la veta Mary

	METRAJE DE AVANCE DE TAJEOS (m)
Plan del año 2019 - avance lineal (m)	5,870
Plan del año 2020 - avance lineal (m)	6,870
Optimización del avance lineal (m)	1,000

Interpretación: de la tabla se tiene lo siguiente:

- Se tiene una optimización de avance lineal para tajeo de 1,000 metros para el año 2020 en relación al año 2019.

CONCLUSIONES

1. En la veta Mary tajo 120 E-W del nivel 1400 para el minado por taladros largos resulta favorable generar una abertura en vertical de 16 metros, del cual 8 son de pilar techo o banco y 8 m en los subniveles. El factor de seguridad es de 1.26 a 1.5, factor considerado como mínimo en una explotación, el mismo que permanece abierto como máximo 12 horas (tiempo de autosoporte) durante el tiempo de plastificación masiva del macizo rocoso, por lo cual se procede a rellenar en el menor tiempo posible al tiempo de autosoporte indicado en el tajeo respectivamente.
2. El uso de retardos continuos tiene como objetivo atenuar de la manera más ordenada las ondas minimizando sus efectos de daños a las cajas, se puede lograr reducir el factor de potencia por el esquema de carguío ayudan a tener un buen control en la fragmentación del macizo rocoso.
3. Se concluye que se debe de realizar un estándar para la perforación de los taladros largos, ya que el estándar con el que Volcan cuenta es demasiado general para este tipo de operaciones y no se incluyen muchos detalles que son de suma importancia para la mejora en el tema de la disminución de la sobredilución en taladros largos.
4. La diferencia entre estos dos valores es de 3°. Este valor si lo proyectamos a 18 metros se tendrá en el subnivel inferior una desviación de 82 cm ocasionando perforación a la caja techo. Esto a su vez generara mayores vibraciones al macizo rocoso y a consecuencia de ello el tiempo de autosoporte de las cajas serán menores generando desprendimiento de las cajas y con esto la mezcla del mineral con roca no económica.
5. Se tiene una optimización de avance lineal para los tajeos de 1,000 metros para el año 2020, en relación al año 2019.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda evitar dejar los tajos sin completar el relleno, por ser este aliado principal controlando la propagación de las grandes deformaciones, y evitar en cierta manera el desequilibrio del macizo rocoso en las profundidades superiores a los 600 metros.
2. Es importante controlar los parámetros que influyen en la elaboración de las mallas de perforación cualquiera sea el diseño de malla a utilizar para la voladura de frentes y tajos, de no considerar esta parte importante en el proceso no se obtendrá los resultados deseados
3. Se debe pintar la sección completa y es clave para que el taladro a perforar no tenga demasiada desviación, porque el stinger se podrá ubicar en la sección correcta y el operador ya no tendrá que estar realizando la perforación según su criterio. Por otro lado, el marcado de malla y uso de la plomada ayuda para la correcta ubicación del taladro.
4. Se debe perforar con las mejoras mencionadas anteriormente analizadas en el diagrama de ichikagua logrando minimizar la desviación de taladros y así no afectar a la dimensión a las cajas al momento de la voladura. Cabe resaltar que el 70 % de toda la operación del método de explotación *bench and fill* va a depender de cómo está la perforación.
5. Es por ello que se debe dar importancia al trabajo operativo de la perforación y cuáles son los estándares y procedimientos con los que cuenta la empresa. Por ejemplo, al momento de medir con el clinómetro un taladro ya perforado de un ángulo de 58° paso a un ángulo de 61° en el tajo 80- zona 1 - unidad minera Carahuacra.
6. Es importante el diagnóstico, control y optimización del proceso de voladura. se analizó en esta investigación un potencial en términos de alcanzar substantivas mejoras técnico-económicas, aumentando rendimientos y minimizando costos operacionales asociados a esta etapa de la explotación minera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. OTRILLA, Gofrey y ROMERO, José. Mejora en los parámetros de perforación y voladura para optimizar costos operacionales en la Compañía Minera Santa Luisa S.A. - Unidad Pallca. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Cajamarca : Universidad Privada del Norte, 2018, 110 pp.
2. MERMA, Alex. Optimización de los estándares en perforación y voladura de taladros largos, para el incremento de la productividad y la reducción de los costos de operación en la Cía. Minera Ares Sac U. O Inmaculada. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Puno : Universidad Nacional del Altiplano, 2018, 143 pp.
3. DURAND, Gabriel y BARRIENTOS, Ruben. Diseño de la malla de perforación para optimizar la fragmentación en el tajeo 6662 nivel 3780 veta Lilia en la Mina Socorro– Unidad Minera Uchucchacua – Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Arequipa : Universidad Continental, 2018, 101 pp.
4. CONCHA, Randal y TARIFA, Edwin . Reducción y Optimización de Costos en Perforación y Voladura Implementando Barrenos de 16 Pies para Labores de Desarrollo en la U.O. Inmaculada - Sociedad Minera Ares S.A.C. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Arequipa : Universidad Tecnológica del Perú, 2020, 88 pp.
5. CHOQUE, Juan. Modelo Matemático de Langefors para optimizar el diseño de mallas de perforación y voladura de taladros largos – Unidad Yauliyacu. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo : Universidad Nacional de Centro del Perú, 2019, 149 pp.
6. DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA Y PLANEAMIENTO DE LA UNIDAD MINERA CARAHUACRA. *Estudio de las reservas y recursos minerales*. Yauli : Compañía Minera Volcan S.A.A, 2019.

7. BACA TOVAR, Mirko Paolo y HINOSTROZA ALVINO, Jack Bryan. Diseño de la malla de perforación y voladura para el control y estabilidad del macizo rocoso en la unidad minera San Cristóbal. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo : Universidad Continental, 2021, 94 pp.

8. AREA DE PLANEAMIENTO. *Informe de estudio de los metodos explotacion utilizados en la Unidad Minera Carahuacra*. Yauli : Unidad MInera Carahuacra, 2020.

9. PACHECO, Leonardo. Diagrama de Ishikawa. *Administracion 101*. [En línea] 22 de 10 de 2015. [Citado el: 12 de 09 de 2021.] <https://administracion101.wixsite.com/administracion101>.

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de consistencia

Optimización de la perforación y voladura para el método de minado por *bench and fill* en la unidad minera Carahuacra

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general
¿Cómo será la evaluación técnica económica de la perforación y voladura en el método de minado por Bench and Fill en la unidad minera Carahuacra?	Determinar la optimización de la perforación y voladura para el método de minado por Bench and Fill en la unidad minera Carahuacra	La optimización de la perforación y voladura será factible y viable para el método de minado por Bench and Fill en la unidad minera Carahuacra
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas
<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo influye el diseño de perforación y voladura para el método de minado por Bench and Fill en la unidad minera Carahuacra? • ¿Cómo influye el control de los parámetros de perforación y voladura para el método de minado por Bench and Fill en la unidad minera Carahuacra? • ¿Cómo influye la evaluación técnica económica de la perforación y voladura para el método de minado por Bench and Fill en la unidad minera Carahuacra? 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar el diseño de perforación y voladura para el método de minado por Bench and Fill en la unidad minera Carahuacra • Determinar el control de los parámetros de perforación y voladura para el método de minado por Bench and Fill en la unidad minera Carahuacra • Determinar la evaluación técnica económica de la perforación y voladura para el método de minado por Bench and Fill en la unidad minera Carahuacra 	<ul style="list-style-type: none"> • El diseño de perforación y voladura será factible y viable para el método de minado por Bench and Fill en la unidad minera Carahuacra • El control de los parámetros de perforación y voladura será factible para el método de minado por Bench and Fill en la unidad minera Carahuacra • La evaluación técnica económica de la perforación y voladura será factible y viable para el método de minado por Bench and Fill en la unidad minera Carahuacra.

Anexo 2

Detalle de la perforación y voladura en la unidad minera Carahuacra



Anexo 3

Trabajos de la perforación y voladura en el método de minado por *bench and fill* en la unidad minera Carahuacra



Anexo 4

Supervisión de los trabajos de perforación y voladura en el método de bench and fill, unidad minera Carahuacra



- 1.No se estuvo engrasando las uniones roscadas por avería de bomba de engrase, tampoco se hizo de forma manual.
- 2.La buena práctica de rotar la posición de las barras en la columna de perforación trata de mantener uniforme el desgaste de todas las



Anexo 5

Capacitación del personal de trabajo del área de perforación y voladura en la unidad minera Carahuacra TJ 120 nivel 1300 veta Mary

VOLCAN COMPANIA MINERA S.A.A.

ACTA DE ASISTENCIA

Nº Cert:

OBJETO: Capacitación de personal Volcan, Personal de Cargas y Ayudante

ESPONSORES: Volcan S.A.A. / Ministerio de Energía y Minas

DIR: 1300 - 120 / HORA INICIO: 8:30 p.m.

LUGAR: 1300 - 120 / HORA TERMINO: 6:00 p.m.

1300 - 120

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES Sólo con cargo con sus iniciales	Nº DE RCH	IDENTIFICACION	FIRMA	ESPECIALIDAD
1	<u>Comandante Domingo Sosa</u>	<u>Volcan</u>	<u>MARQUEZ</u>	<u>[Firma]</u>	<u>Min. E.M.</u>
2	<u>INGENIERO ASESORADO LUIS</u>	<u>Volcan</u>	<u>TERESA</u>	<u>[Firma]</u>	<u>Min. E.M.</u>
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					

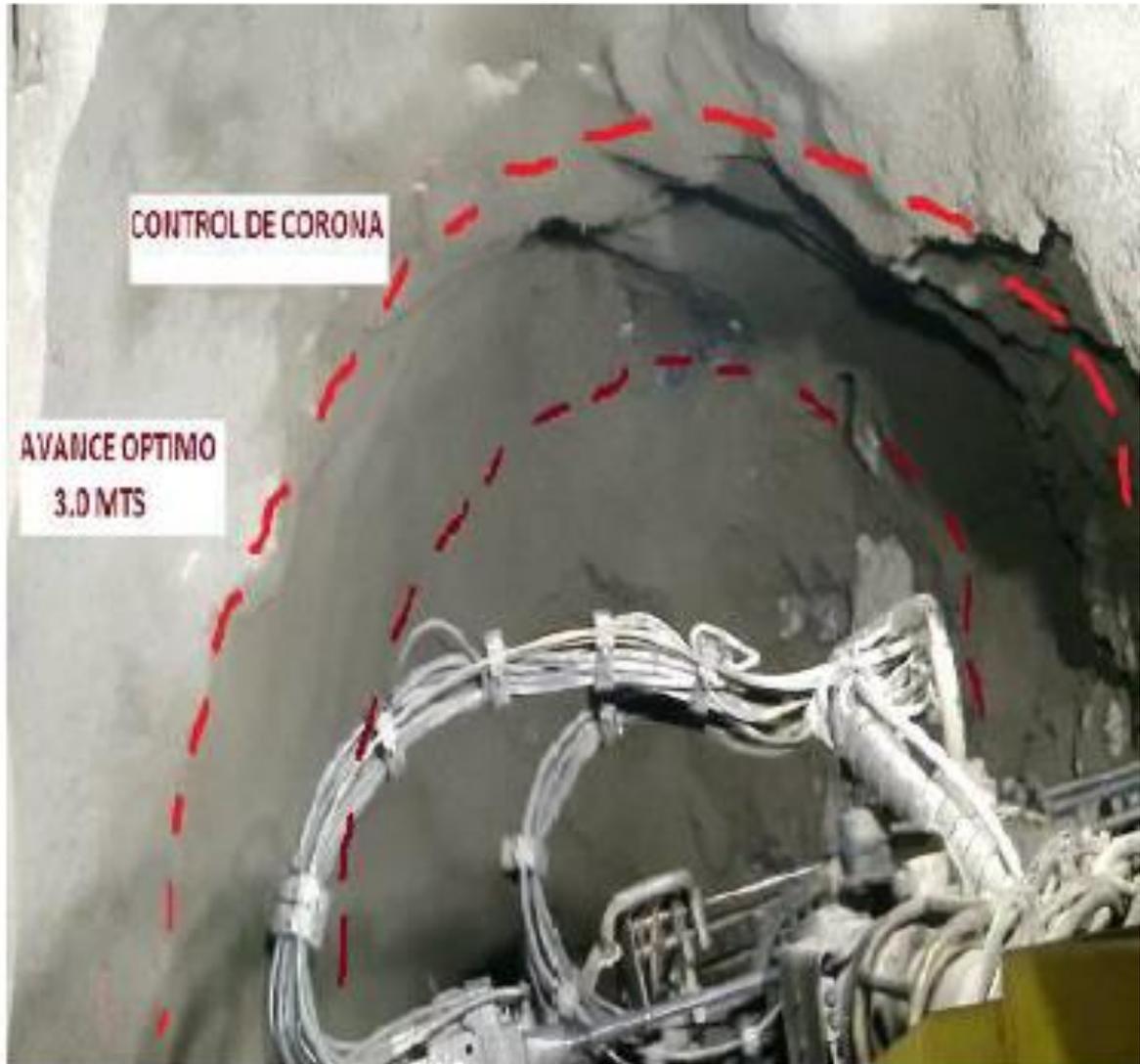
[Firma]
Ing. Juan Antonio F.
Gerente Operaciones S.A.A.
Volcan S.A.A.

Capacitaciones en la labor, cargador y ayudante, **Volcan SAA.**



Anexo 6

Detalle de la perforación y voladura en los frentes de avance de la unidad minera Carahuacra.



Anexo 6

Equipo sismógrafo de marca White utilizada para evaluar las vibraciones producto de la voladura.



Tomado de INTRIAL- Equipos Industriales