

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



T E S I S

**Capacitación en el proceso de perforación y voladura para incrementar las
variables de avance en los subniveles de preparación de la U.E.A.**

Carahuacra

Para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. Wilder Jhony BARDALES MATIAS

Asesor:

Mg. Luis Alfonso UGARTE GUILLERMO

Cerro de Pasco - Perú – 2025

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



T E S I S

**Capacitación en el proceso de perforación y voladura para incrementar las
variables de avance en los subniveles de preparación de la U.E.A.**

Carahuacra

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Agustin Arturo AGUIRRE ADAUTO
PRESIDENTE

Mg. Teodoro SANTIAGO ALMERCO
MIEMBRO

Ing. Julio Cesar SANTIAGO RIVERA
MIEMBRO



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

Facultad de Ingeniería de Minas

Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas

"Año de la Recuperación y Consolidación de la Economía Peruana"



Firmado digitalmente por CONDOR SURICHAGUI Santa Silvia FAU 20154605046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
31.11.2025 15:07:37 -05:00



INFORME DE ORIGINALIDAD N° 054-2025

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

Presentado por:

Bach. BARDALES MATIAS Wilder Jhony

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería de Minas

Tipo de trabajo:

Tesis

Título del trabajo

"Capacitación en el Proceso de Perforación y Voladura para Incrementar las Variables de Avance en los Subniveles de Preparación de la U.E.A. Carahuacra"

Asesor:

Mg. Luis Alfonso UGARTE GUILLERMO

Índice de Similitud: **13 %**

Calificativo

APROBADO

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

Cerro de Pasco, 26 de noviembre de 2025.

Sello y Firma del responsable
de la Unidad de Investigación

DEDICATORIA

A nuestro Divino Creador, por darme sabiduría y me ilumina en el camino de la vida; a mis padres, por el apoyo incondicional en mi formación profesional y a toda mi familia, ellos son siempre la razón del transcurso de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Al Alma Mater de mi formación profesional, al equipo de catedráticos del Programa Profesional de Ingeniería de Minas; por compartir sus experiencias y conocimientos para poder lograr la base de mi profesión.

A los técnicos y profesionales de la Unidad Económica Administrativa Carahuacra, por su valioso apoyo y asesoramiento, que hizo posible cristalizar esta investigación y a todas las personas que compartieron una parte de sus conocimientos.

RESUMEN

El trabajo de investigación “Capacitación en el Proceso de Perforación y Voladura para Incrementar las Variables de Avance en los Subniveles de Preparación de la U.E.A. Carahuacra”. Se ha desarrollado con el objetivo de contribuir al incremento de las variables de avance en el proceso de la perforación y voladura de los subniveles de preparación de la minera en mención. La evaluación se realiza mediante el apoyo del Área de Preparación y desarrollo de la Unidad Minera Carahuacra. Se plantea un programa de capacitación sobre la calidad en el proceso de perforación y voladura, con el objetivo de mejorar las variables de avance en los subniveles de preparación; ya que al realizar monitoreos en la zona de operaciones se ha observado el desconocimiento en otros el incumplimiento de los operadores de estándares de calidad en el proceso; por lo que los avances de los subniveles son relativamente bajos; la información de los resultados se han tomado datos de la línea base para luego relacionar con los resultados después de efectuar un programa de capacitación.

Aplicado el programa de capacitación se nota significativamente el incremento en los resultados del avance lineal, sin capacitación en promedio se tenía 3.52 m. y con la capacitación se incrementa a 3.64 m. en promedio como también; en el factor de carga sin capacitación se tenía de 2.34 kg. / m³. y con la capacitación se optimizo a 1.93 kg. / m³ en promedio por cada voladura. Asimismo, en la sobre excavación sin capacitación se tenía 26.20 cm. En promedio, en el contorno del subnivel y con la capacitación se controla significativamente llegando a un promedio de 1.4 cm. En el perfil del frente. La población está conformada por los subniveles de preparación de los diferentes niveles de la U.E.A. Carahuacra como el nivel 970, nivel 1020, nivel 1070 y el nivel 1220. La muestra es en el subnivel SN_821W, del nivel 1 070 de la U.E.A. Carahuacra.

Palabras Claves: Capacitación, incremento, variables, subniveles.

ABSTRACT

The research project “Training in the Drilling and Blasting Process to Increase Progress Variables in the Preparation Sublevels of the Carahuacra Mining Unit” was developed with the objective of contributing to an increase in progress variables in the drilling and blasting process of the preparation sublevels of the mine. The evaluation is being carried out with the support of the Preparation and Development Area of the Carahuacra Mining Unit. A training program on quality in the drilling and blasting process is proposed, with the objective of improving progress variables in the preparation sublevels. Monitoring in the operations area has revealed a lack of knowledge among some operators and non-compliance with quality standards in the process; therefore, the progress of the sublevels is relatively low. The results were obtained from baseline data and then compared with the results after the training program was implemented.

After implementing the training program, a significant increase in linear advance results was observed. Without training, the average advance was 3.52 m, and with training, it increased to an average of 3.64 m. Similarly, the load factor, without training, was 2.34 kg/m³, and with training, it was optimized to an average of 1.93 kg/m³ per blast. Likewise, over-excavation, without training, averaged 26.20 cm around the sublevel perimeter, and with training, it was significantly controlled, reaching an average of 1.4 cm in the face profile.

The population consists of the preparation sublevels of the different levels of the Carahuacra Mining Unit (U.E.A.), specifically levels 970, 1020, 1070, and 1220. The sample is from sublevel SN_821W, level 1070 of the U.E.A. Carahuacra.

Keywords: Training, increase, variables, sublevels.

INTRODUCCIÓN

El objetivo del proyecto de investigación: “Capacitación en el Proceso de Perforación y Voladura para Incrementar las Variables de Avance en los Subniveles de Preparación de la U.E.A. Carahuacra”, es mejorar el avance lineal, el factor de potencia y controlar la sobre excavación del contorno del frente del subnivel en la minera; con programas de capacitación se optimiza las variables del proceso de la calidad de perforación y voladura.

En el capítulo uno se detalla el planteamiento del problema, delimitación de la investigación, objetivos de la investigación, justificación y limitaciones de investigación

En el capítulo dos se detalla el marco teórico mediante los antecedentes del trabajo, fundamentos de la perforación y voladura de frentes, el capítulo es importante para el conocimiento científico que permita el proceso de la investigación.

En el capítulo tres se describe el tipo de investigación, diseño de la investigación, el método de investigación, nivel de la investigación, la población y muestra, técnicas e instrumentos de la recolección de datos, validación y confiabilidad de los instrumentos, tratamiento estadístico, la orientación ética y otros.

En el capítulo cuatro se detalla el trabajo de campo analizando la calidad del proceso de perforación y voladura describiendo las variables y los resultados; finalmente se realiza el análisis y discusión de resultados, relacionando los resultados e indicadores obtenidos en línea base y con la información de resultados después de aplicar el programa de capacitación.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.2. Delimitación de la investigación.....	5
1.2.1. Unidad económica administrativa Carahuacra.....	5
1.3. Formulación del problema	26
1.3.1. Problema general.....	26
1.3.2. Problemas específicos	26
1.4. Formulación de objetivos.....	27
1.4.1. Objetivo general	27
1.4.2. Objetivos específicos	27
1.5. Justificación de la Investigación	28
1.6. Limitaciones de la investigación.....	29

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio.....	30
2.2. Bases teóricas científicas	33
2.2.1. Perforación y voladura	33

2.2.2. Factores que provocan la sobreexcavación	34
2.2.3. Factores que considerar para el manejo de explosivos	35
2.2.4. Mecánica de la fragmentación de la roca	40
2.2.5. Labores de frentes de desarrollo y preparación.....	45
2.2.6. Parámetros para el Diseño de Malla de Perforación y Voladura	46
2.2.7. Agentes de voladura	51
2.3. Definición de términos básicos	53
2.4. Formulación de hipótesis	55
2.4.1. Hipótesis general	55
2.4.2. Hipótesis específicas	55
2.5. Identificación de variables	56
2.6. Definición Operacional de variables e indicadores.....	57

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación	58
3.2. Nivel de investigación.....	58
3.3. Métodos de investigación.....	59
3.4. Diseño de Investigación	59
3.5. Población y muestra	59
3.5.1. Población.....	59
3.5.2. Muestra.....	60
3.6. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	60
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	61
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	61
3.9. Tratamiento estadístico	61

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica	62
---	----

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	63
4.1.1. Seguimiento de la perforación y voladura en los subniveles	63
4.1.2. Parámetros de la perforación y voladura antes de la capacitación	66
4.1.3. Parámetros de perforación y voladura después de la capacitación	70
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados	74
4.2.1. Datos de perforación y voladura sin capacitación.....	74
4.2.2. Datos de perforación y voladura después de la capacitación	77
4.2.3. Análisis de datos antes y después de la capacitación	79
4.3. Prueba de hipótesis.....	83
4.3.1. Hipótesis general	83
4.3.2. Hipótesis específicas	84
4.4. Discusión de resultados.....	89

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Promedio de avance por disparo	2
Figura 2. <i>Causas y consecuencias de la eficiencia de la perforación y voladura</i>	4
Figura 3. <i>Ubicación de la U.E.A. Carahuacra</i>	6
Figura 4. <i>Plano de la geología regional U.E.A. Carahuacra</i>	8
Figura 5. <i>Plano de la Geología local U.E.A. Carahuacra</i>	11
Figura 6. <i>Columna Estratigráfica U.E.A. Carahuacra</i>	16
Figura 7. <i>Veta Mary U.E.A. Carahuacra</i>	20
Figura 8. <i>Veta María Luisa U.E.A. Carahuacra</i>	21
Figura 9. <i>Método de corte y relleno ascendente, corte transversal</i>	23
Figura 10. <i>Método de corte y relleno ascendente, corte en perfil</i>	23
Figura 11. <i>Preparación de subniveles</i>	24
Figura 12. <i>Preparación de subniveles 2-3</i>	25
Figura 13. <i>Preparación de subniveles 4-5</i>	25
Figura 14. <i>Método de subniveles en breasting</i>	26
Figura 15. <i>Mecanismo de fragmentación del macizo rocoso</i>	41
Figura 16. <i>Primera. fase, fracturas radiales</i>	43
Figura 17. <i>Segunda fase, empuje hacia adelante</i>	44
Figura 18. <i>Tercera fase, trituración</i>	45
Figura 19. <i>Estructura del Anfo Pesado</i>	52
Figura 20. <i>Malla de perforación 1</i>	66
Figura 21. <i>Malla de perforación 2</i>	71
Figura 22. <i>Avance efectivo sin capacitación</i>	75
Figura 23. <i>Factor de carga sin capacitación</i>	75
Figura 24. <i>Sobre rotura del contorno sin capacitación</i>	76
Figura 25. <i>Metros cúbicos rotos sin capacitación</i>	76
Figura 26. <i>Avance efectivo por voladura con capacitación</i>	77

Figura 27. <i>Factor de carga con capacitación</i>	78
Figura 28. <i>Sobre rotura de contorno con capacitación</i>	78
Figura 29. <i>Metros cúbicos rotos con capacitación</i>	79
Figura 30. <i>Diferencia en relación de avances lineales</i>	80
Figura 31. <i>Diferencia en relación al factor de carga</i>	81
Figura 32. <i>Diferencia en relación a la sobre excavación</i>	82
Figura 33. <i>Diferencia en relación al volumen roto por voladura</i>	82
Figura 34. <i>Número de taladros por ciclo de perforación</i>	83
Figura 35. <i>Prueba de la primera hipótesis específica</i>	85
Figura 36. <i>Prueba de la segunda hipótesis específica</i>	86
Figura 37. <i>Prueba de la tercera hipótesis específica</i>	88
Figura 38. <i>Análisis estructural en subniveles</i>	96
Figura 39. <i>Zona plastificada en subniveles</i>	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Accesos a la U.E.A. Carahuacra</i>	6
Tabla 2. <i>Densidades de los explosivos</i>	38
Tabla 3. <i>Resistencia al agua de los explosivos</i>	39
Tabla 4. <i>Tamaño de partículas de los explosivos.</i>	53
Tabla 5. <i>Operacionalización de variables</i>	57
Tabla 6. <i>Parámetros de perforación y voladura antes de la capacitación</i>	65
Tabla 7. <i>Parámetros de calidad de la perforación y voladura antes de la capacitación</i>	69
Tabla 8. <i>Parámetros de perforación y voladura después de la capacitación</i>	70
Tabla 9. <i>Parámetros de calidad de la perforación y voladura después de la capacitación</i>	74
Tabla 10. <i>Avance efectivo por voladura sin capacitación</i>	74
Tabla 11. <i>Avance efectivo por voladura después de la capacitación</i>	77
Tabla 12. <i>Diferencia en la relación de resultados por capacitación</i>	89

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

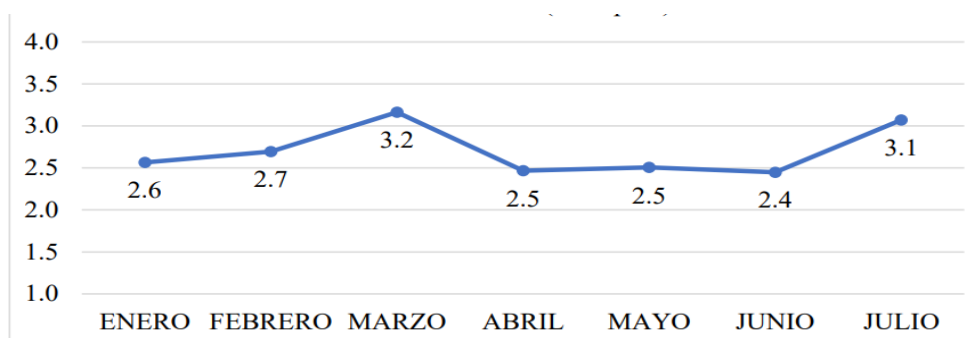
1.1. Identificación y determinación del problema

Actualmente, la unidad minera de Carahuacra utiliza tres estrategias de explotación: corte y relleno ascendente, tajeo por subniveles y explotación de subniveles con breasting. Cuando la inclinación de la veta es inferior a 50° , se aplica la técnica de corte y relleno ascendente. La preparación de un subnivel inferior que atraviesa la estructura mineralizada es el primer paso. A continuación, se corta el tajo, se rellena el hueco o espacio vacío resultante y se desarrolla y explota el subnivel superior. El ciclo se repite en orden ascendente hasta alcanzar el número deseado de cortes, dejando un puente hacia el nivel superior para mantener la estabilidad de la masa rocosa en la zona de trabajo. El método de tajeo por subniveles se utiliza en vetas con inclinaciones superiores a 50° . Este método consiste en crear subniveles superior e inferior y, posteriormente, realizar voladuras con barrenos largos desde el subnivel superior. El mineral fracturado se extrae del subnivel inferior y una vez extraído, se inicia el relleno y se reanudan las actividades en orden

ascendente. El método de subniveles con breasting se ejecuta en mantos y cuerpos casi horizontales, dejando cuerpos espaciados para mantener la estabilidad del cuerpo mineralizado, concluido el primer subnivel se rellena y se continua de manera ascendente.

En estos últimos años ha incrementado la explotación de los tajos y se ha aumentado la producción, para cumplir justamente con los objetivos del programa de producción. Por tal razón se tiene pocos tajos de taladros largos por lo que es muy necesario programar la continuidad de la exploración, desarrollo y preparación de la mina; considerar proyectos de rampas, accesos y subniveles a un corto plazo para continuar con la producción y la profundización. Sin embargo, en el proceso de todos estos métodos de explotación los resultados de los avances por disparos del proceso de perforación y voladura no son eficientes; la minera cuenta con tres jumbos de frentes con una capacidad de perforación de 14 pies; el avance por disparo en promedio debe de ser como mínimo 4.0 metros, Pero de acuerdo con los datos de las mediciones topográficas y de reportes diarios de voladura se obtiene los resultados presentados en la figura 1.

Figura 1. *Promedio de avance por disparo*



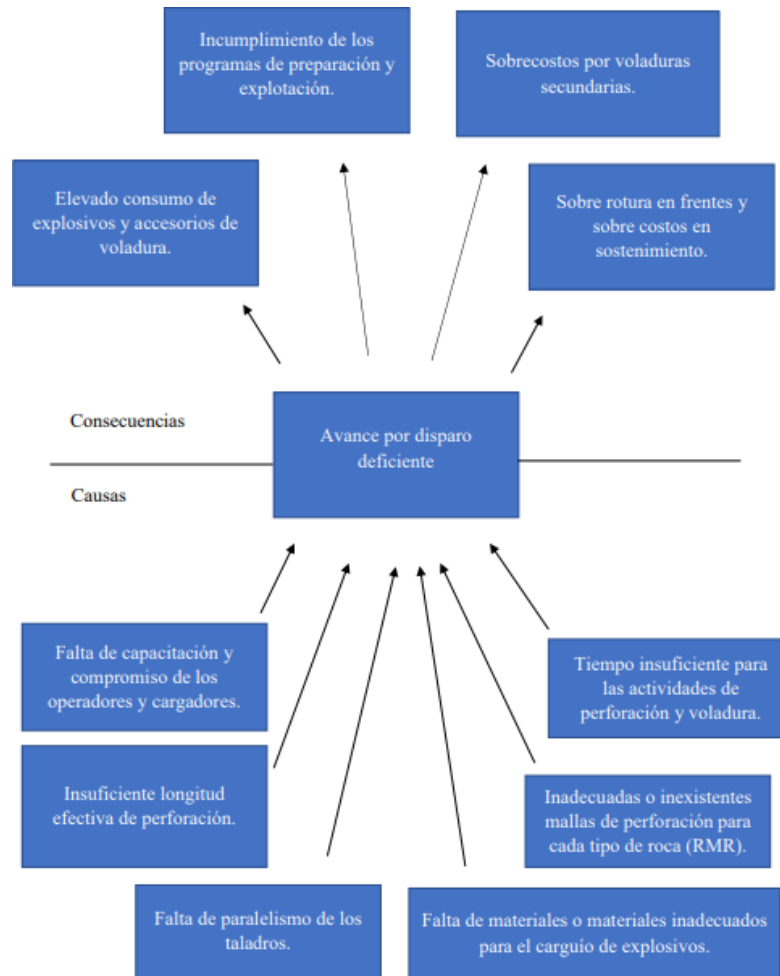
Fuente: Área de topografía de la minera

De la figura se puede notar fácilmente que no se logra un avance eficiente por cada disparo, se puede concluir que se requiere una mejora en estos resultados; por lo que podemos formular la siguiente pregunta para la investigación:

¿Cómo incrementar las variables de avance por disparo en los subniveles de preparación?

Este problema detectado se ha relacionado con diversas variables. Entre las más importantes se encuentran la capacitación insuficiente y la falta de compromiso, tanto por parte de los operadores de equipos como de los cargadores de explosivos, para determinar con precisión la longitud real de perforación, así como las desviaciones y la falta de paralelismo en la operación de perforación asimismo no hay control en el carguío de explosivos, materiales inadecuados en el carguío de explosivos y el tiempo es insuficiente para tener una eficiencia del desarrollo en las actividades de perforación y voladura. Todo esto se puede apreciar en la siguiente fig. 2.

Figura 2. Causas y consecuencias de la eficiencia de la perforación y voladura



Fuente: Elaboración Propia

Estas causas son las variables independientes, mientras que los indicadores como el avance por disparo y el factor de avance son las variables dependientes. La variable independiente más importante es el control de calidad en los procedimientos de perforación y carga de explosivos. El enfoque sugerido consiste en maximizar la eficiencia de estos procesos mediante la implementación de controles de calidad que mejoren el desempeño de esta variable independiente.

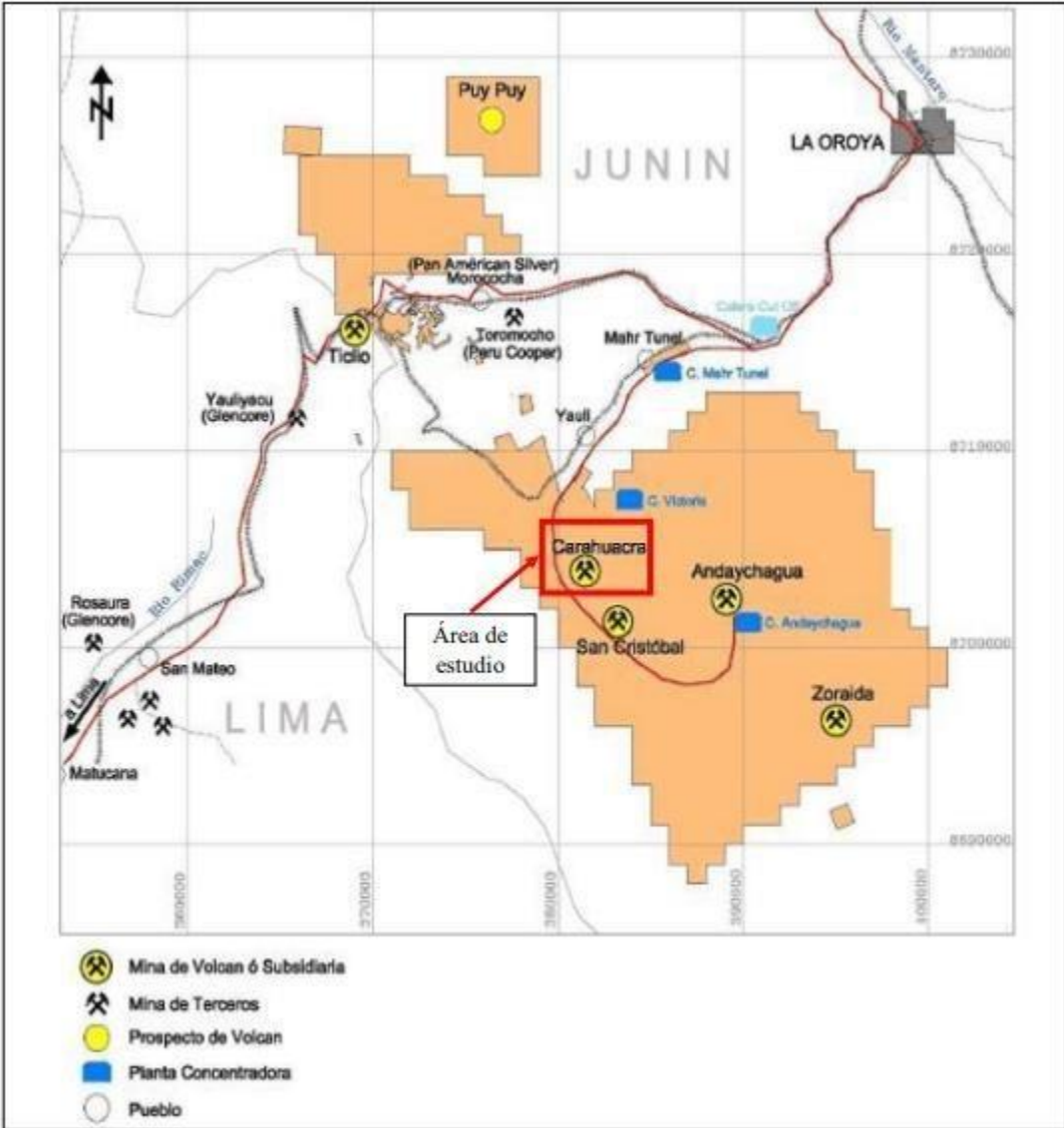
1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Unidad económica administrativa Carahuacra

A. Ubicación geográfica y accesibilidad

La unidad minera Carahuacra se ubica a unos 112 kilómetros de Lima, en el distrito de Yauli, provincia de Yauli, departamento de Junín, en la vertiente oriental de la cordillera occidental de los Andes. Con una altitud media de 4550 metros sobre el nivel del mar, sus coordenadas geográficas son 75° 06' de longitud oeste y 12° 44' de latitud sur. La Carretera Central conduce al kilómetro 155, cerca del horno de cal y la báscula para camiones conocida como “Cut-Off”. Desde allí, se llega al pueblo de Yauli por una carretera pavimentada que corre paralela a la vía férrea. A continuación, sigue un tramo de trocha afirmada que llega a la mina Carahuacra a una distancia de 19 km. Las rutas de acceso y los tiempos de viaje asociados se muestran en la Tabla 1. El mapa de ubicación de la mina Carahuacra se muestra en la Figura 3.

Figura 3. *Ubicación de la U.E.A. Carahuacra*



Fuente: Área de geología de la unidad Carahuacra

Tabla 1. *Accesos a la U.E.A. Carahuacra*

DESPLAZAMIENTO	TRANSPORTE	TIEMPO	TIPO DE VÍA
Lima – Calera Cut Off	Bus	5 hr	Carretera Asfaltada
Calera Cut Off - Yauli	Bus	20 min	Pista Asfaltada
Yauli – UEA Carahuacra	Bus	30 min	Trocha Afirmada

Fuente: Elaboración propia

B. Geología Regional

La mina Carahuacra se ubica en el lado occidental del anticlinal de Yauli, una gran estructura geológica en forma de domo. El complejo del domo de Yauli incluye estratos paleozoicos de la zona intraandina.

El paleozoico posee 2 pisos, el superior por el grupo Mitú, el inferior formado por el grupo Excelsior que aflora al oeste del domo, a lo largo del anticlinal de Chumpe, y hacia el este, a lo largo del anticlinal de Ultimátum.

En el domo aflora el Grupo Mitú. El Grupo Pucará, el Grupo Machay, el Grupo Goyllarisquizga y la Formación Jumasha son las formaciones mesozoicas que conforman el margen. Las capas extrusivas y los cuerpos intrusivos son indicios de actividad ígnea en la región.

[illegible]

8

C. Geología local

La geología local posee las principales formaciones que dieron origen a la mineralización:

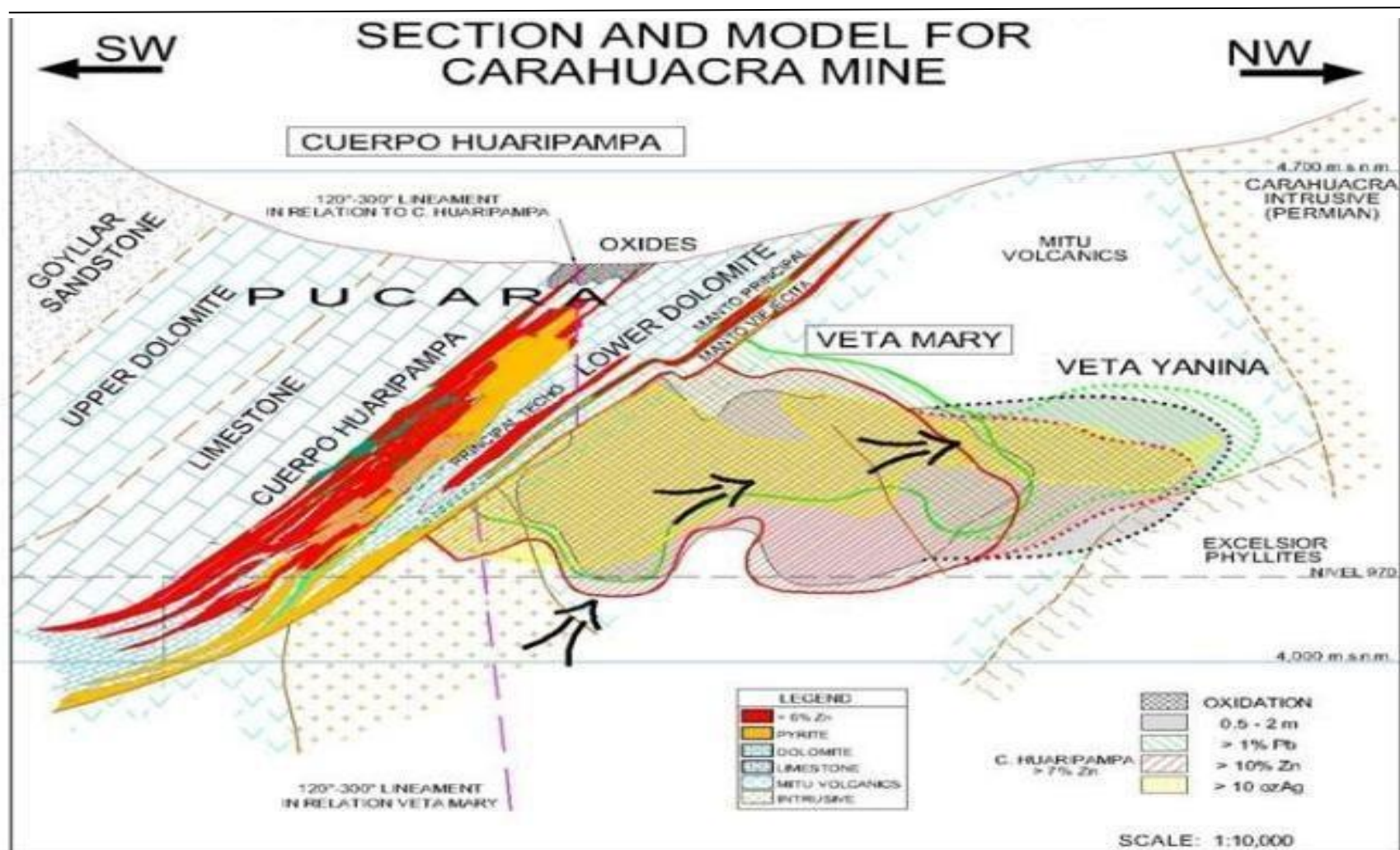
- Grupo Excelsior: Está compuesto de filitas con bajo grado de fracturación superficial y vetillas de cuarzo, pirita y material arcilloso; las partes con mayor grado de fracturación presentan menor oxidación. Aflora en las regiones central y occidental de la zona.
- Metavolcánicos: Corresponde transición entre el grupo Excelsior y el grupo Mitu. Compuesto en secuencias volcánicas con un metamorfismo de bajo grado y poseen una textura de brechas, fracturas débiles a moderado con presencia de venillas de calcita y mineralización de sulfuros.
- Grupo Mitu: Presenta rocas volcánicas andesíticas con fracturación de grado moderado a bajo en algunas zonas. En estas regiones se observan vetillas y cavidades mineralizadas con sulfuros y alto contenido de óxidos. En los tramos con bajo grado en fractura se tiene zonas de textura de brechas con venillas mineralizadas con sulfuros, venillas de calcita y algunos niveles arcillosos, pero con poca presencia de óxidos.
- Grupo Pucará: compuesto de calizas con fracturas de moderado a alto. Están rellenas de vetillas de calcita con mínima oxidación en la región donde la fractura es leve. Una parte de la alteración hidrotermal es visible en la región con un alto grado de

fracturación; la calcita presenta vetillas de color gris oscuro y ocasionalmente alterna con lutitas de color gris púrpura.

- Grupo Goyllarisquizga: Formado por areniscas cuarcíticas blanquecinas intercaladas con de lutitas y limonitas rojizas con areniscas calcáreas en la parte superior. La mayoría de las fracturas presentan un grado moderado de fracturación, y en ellas se observan vetillas de sílice y sulfuros diseminados.
- Rocas intrusivas: Se observan microdioritas de color verde parduzco y tonalitas muy fracturadas con vetas de óxido de hierro y calcita. Los restos sedimentarios, emplazados en diferentes épocas, están representados por las rocas intrusivas que sobresalen. Estas conforman el grupo de intrusiones batolíticas, disperso en una franja en el centro de la sierra, y afloran en el cuadrángulo de Huarochirí.

A lo largo del anticlinal de Yauli se observan pequeños diques de monzonita y andesita, así como depósitos de diabasa. Un dique de diabasa en Carahuacra corta la apófisis septentrional del intrusivo de Carahuacra. Estas formaciones son visibles al este de la mina; son alargadas, con orientación norte-sur, y miden 1150 m de largo por 850 m de ancho, con una apófisis de 540 m de longitud en el lado norte.

Figura 5. Plano de la Geología local U.E.A. Carahuacra



Fuente: Área de Geología U.E.A. Carahuacra

D. Estratigrafía

En la minera Carahuacra la secuencia litológica se proyecta del paleozoico hasta el cretácico superior. Los estratos las siguientes:

- Grupo Excélsior (Silúrico – Devoniano): Simbolizado por rocas antiguas, compuesto de areniscas finas estratificadas, filitas negruzcas y lutitas. El núcleo del anticlinal presenta las lentes de cuarzo más gruesas y metamorfismo zonal. Al sureste de San Cristóbal, capas de caliza marmórea se alternan con filita. Estas rocas presentan estructuralmente anticlinales de orientación SE-NW, entre una franja con afloramiento del área Yauli, Carahuacra y San Cristóbal. Todo el grupo está muy plegado, con la formación.
- Grupo Mitu (Pérmico): Del grupo se puede observar alrededor de Morococha también en el domo de Yauli - San Cristóbal. Es discordante con las rocas del grupo Excélsior y formada en la parte inferior de rocas clásticas rojizas y por la parte superior por el Volcánico Catalina, se puede notar areniscas y conglomerados, mientras que el inferior formado por derrames lávicos de dacita y andesita, por intemperismo toma el color marrón.

En la parte superior del grupo se observa aglomerados volcánicos y al noreste una serie de roca sedimentaria. La mineralización del grupo es reconocida en todo el Domo de Yauli, principalmente con filones y diseminados. La edad del grupo Mitu pertenece al Carbonífero Superior y asignada al

Pérmico.

- Grupo Pucará (Triásico superior – Liásico): Yace discordantemente en el grupo clástico del Grupo Mitu. Se extiende hasta la zona de Oroya desde la parte noreste de la región de Matucana. Está compuesto por una serie de estratos delgados de calizas gris claro que alternan con calizas dolomíticas, margas, areniscas calcáreas y lutitas gris púrpura. Este grupo se ubica debajo de la capa arenosa del Grupo Goyllarisquizga. Se divide en tres estratos: Chambará, Condorsinga y Aramachay, y se le ha atribuido una edad del Triásico Tardío-Liásico.
 - Formación Chambará (Triásico superior): La serie calcárea, compuesta por calizas, calizas dolomíticas y estratos calcáreo-arcillosos, sigue a la serie terrígena. Debido a su composición orgánica, las rocas calcáreas tienen un aspecto gris pálido.
 - Formación Aramachay (Liásico: Hetangiano – Sinemuriano): Representada por pizarras limosas, areniscas de grano fino y de chert en capas. Las calizas son bancos de 20 a 50 cm, frecuentemente lenticulares.
 - Formación Condorsinga (Liásico Toarciano): Es calcárea, junto con intercalaciones de tobas grises de grano fino a medio con secciones fuertemente brechadas, las calizas son principalmente eólicas y ricas en sílex.

- Grupo Goyllarisquizga (Cretácico inferior): Aflora en los flancos del pliegue, en el sector occidental del anticlinal Chumpe, consiste en areniscas cuarcíticas intercalados de lutitas y limonitas con areniscas calcáreas en la parte superior.

Yacen sobre el Grupo Pucará este grupo se depositó en dos fases, La primera en un depósito de granulometría fina con llanura aluvial con escasas intercalaciones de areniscas de facies depositadas en un ámbito climático semiárido. Durante la segunda fase hay un cambio brusco, depositándose areniscas medianas a gruesas con troncos de árboles silicificados, con importante actividad ígnea de sills de basalto. El grupo Goyllarisquizga pertenece al Cretácico Inferior.

- Formaciones Chúlec, Pariatambo y Jumasha: Este grupo aflora al sureste y están conformadas por piroclásticos de color beige, con relieves suaves, con rocas moderadamente argilizada y algunos afloramientos muestran crestones de silicificación. Acompañado de pirita diseminada. Tienen características litológicas, faunísticas, estas secuencias calcáreas cretáceas forman parte de las estructuras al suroeste del anticlinal de Morococha hasta la Divisoria Continental de Ticlio. Al suroeste de la laguna Huayllaycocha se nota caliza gris en capas medianas.
- Formación Chúlec: Este grupo totalmente carbonatada, conformada litológicamente por calizas y margas;

pertenece a la formación cretácica de los Andes Centrales, es la base del primer horizonte calcáreo.

- Formación Pariatambo: Se reconoce por su coloración negra claros y oscuros generalmente bituminosos con un olor fétido, algunas veces ligeramente limosos. Los bancos oscuros son margas calcáreas.

La parte superior de la formación se distingue por la presencia de sílex, que en ocasiones se encuentra en cantidades tan grandes que forma bancos de varios decímetros de espesor con dolomitas dispersas. La formación se sitúa sobre una plataforma profunda y aislada.

- Formación Jumasha: Se encuentra sobre la formación Pariatambo, su litología es la más homogénea de la formación cretácica, se ubica en el domo de Yauli. Conformada en una serie carbonatada dolomítica masiva con escasos lentes de areniscas, depositada en una plataforma confinada con poca profundidad.

- Depósitos cuaternarios: Los depósitos cuaternarios se encuentran registrados en el flanco occidental de la región, que está situada en la zona elevada de la cordillera occidental:

- Depósitos glaciares: Estos depósitos morrénicos, que cubren el fondo hasta los 4200 metros sobre el nivel del mar, se encuentran cerca de la cabecera de los valles glaciares y su antigüedad varía desde la antigua hasta la

contemporánea.

- Depósitos Fluvioglaciares: Se asocia al proceso de erosión provocado por las fases de los glaciares y se forma por el material transportado por los ríos en ambas vertientes de la zona andina. En las riberas de los ríos, crean terrazas de material aluvial; con el tiempo, se han producido inundaciones que han provocado la acumulación de depósitos de lodo.
- Depósitos Coluviales y de Deslizamiento: depósitos de grava con trozos limosos subangulares que se descubrieron en la base de las laderas como material de escombros.

Figura 6. *Columna Estratigráfica U.E.A. Carahuacra*

ERA	SISTEMA	UNIDADES ESTRATIGRÁFICA	ROCAS INTRUSIVAS	SIMBOLOGÍA
Cenozoico	Cuaternario	Dep. aluviales		
		Dep. Glaciares		
		Dep. fluvioglaciares		
		Dep coluviales		
	Terciario		Mz/granod.	
Mesozoico	Cretáceo	Fm Jumasha	Diorita	
		Fm Pariatambo		
		Fm Chúlec		
		Grupo Goyllanisquizga		
	Triásico-Jurásico	Grupo Pucará		
Paleozoico	Pérmico-Triásico	Grupo Mitú		
	Devoniano	Grupo Excélsior		

Fuente: Área de Geología U.E.A. Carahuacra

E. Geología estructural

El domo de Yauli, una estructura tectónica de hasta 15 km de ancho y 30 km de largo, es la unidad estructural regional que contiene la zona minera, con una orientación andina NW- SE. En el núcleo del domo se superponen las tectónicas andinas que afectan al grupo Excélsior hasta Casapalca.

Goyllarisquizga se encuentra afectada por grandes y alargados pliegues con fallas inversas sobre escurrimientos mediante esfuerzos compresivos. El sistema de fracturas predomina al NE, tiene azimuts entre N 45° y 75° E, con promedio N 60° E. Este sistema comprende las principales vetas del distrito minero de Carahuacra. Las vetas y cuerpos del sistema Carahuacra son ejemplos de mineralización hidrotermal. Las vetas en estudio se encuentran en el manto y basamento de Excélsior, en las calizas de Pucará. Otras vetas descubiertas se ubican en los estratos sedimentarios de Mitu y se describen como vetas delgadas con tramos horizontales de decenas de metros, con mineralización de metales base y un espesor de entre 0,2 y 0,8 metros.

En cuanto al plegamiento, los anticlinales de Chumpe y Yauli cuyos ejes varían de N 35° a 40° W son los más importantes del domo de Yauli. En la zona se produjeron dos procesos tectónicos principales. La primera es del Pérmico Inferior y se llama Tectónica Tardihercínica, mientras que la segunda se llama Tectónica Andina, comenzó a fines del Cretácico y continuó a mediados del Terciario, reconociéndose tres etapas de plegamiento en la Cordillera de los

Andes. Sin embargo, las fuerzas compresivas e intrusivas que dieron origen al Domo de Yauli al final del Cretácico son las que causaron las fisuras. El anticlinal de Chumpe se formó por el pliegue peruano, creado por presiones compresivas con orientación NE-SW. Se desarrollaron grietas longitudinales paralelas al eje del anticlinal de Chumpe cuando cesaron brevemente las presiones compresivas. Bajo esfuerzos compresivos, se formaron fracturas de cizalla con orientación E como resultado del relleno de estas fracturas por diques de Alaska. El mapeo geotécnico de la unidad minera Carahuacra permitió identificar las siguientes características de la disposición estructural de la masa rocosa:

- Fallas: Tanto el bloque superior como el inferior presentan fallas paralelas en ambos contactos de la veta Mary. El lado oeste de la veta Mary, donde las fallas son casi transversales a las rocas encajantes, presenta la zona de mayor espesor. El cuerpo de la veta también presenta discontinuidades. Las fallas se desarrollan paralelas a las capas de caliza en las zonas de contacto volcánico; ocasionalmente también se encuentran fallas transversales.
- Discontinuidades: Cada tipo de veta y cuerpo mineralizado (veta ML, veta Mary) presenta una dirección particular. La perforación se ha visto afectada por fallas paralelas y transversales en los frentes de trabajo de la zona, lo que ha provocado desviaciones en los barrenos y atascos en la sarta de perforación. Las vetas también incluyen geodas. La roca se ha

clasificado como de tipo regular, con un RMR entre 30 y 45, según las mediciones de la masa rocosa.

F. Geología económica

La geología del distrito presenta un alto grado de complejidad, el proceso ha formado una gran variedad de depósitos minerales que se encuentran ampliamente en toda la zona. En el último proceso del plegamiento "quechua" con la integración de las fracturas de tensión, se generó el período de mineralización, dio lugar a la formación de vetas. Los cuerpos y mantos fueron rellenados diferentemente con soluciones hidrotermales mediante canales alimentadores.

Las vetas se formaron esencialmente por el relleno de fracturas, con una mejor mineralización.

Las fallas de cizalla que contienen mucho panizo no tuvieron mineralización o es pobre en minerales. Las vetas se localizan en toda la zona minera, con mayor desarrollo en volcánicos del grupo Mitu. Los Mantos están ubicados en el flanco oeste del anticlinal; La estratificación es constante desde el punto de contacto con el complejo volcánico de Mitu. Los cuerpos mineralizados, formados por la fusión de otros yacimientos, se sitúan entre la caliza de Pucara en el borde occidental del anticlinal. La presencia simultánea de plomo y zinc en vetas y cuerpos mineralizados sugiere que la mineralización polimetálica es epigenética.

G. Mineralización

Los sistemas de vetas, los cuerpos mineralizados y las capas son las tres formas de mineralización que se encuentran en la mina

Carahuacra. Yanina, Ruth, Mary, Ramal Mary, Carmen, Penelope y Lourdes son algunos de los sistemas de vetas; la veta Mary, que actualmente se encuentra en explotación, es la más importante. El cuerpo Huaripampa se ubica en la segunda veta. La veta Mary es una fractura transversal en la capa regional que se extiende de noreste a suroeste sobre la roca volcánica dacítica. Su rumbo oscila entre 36° N y 51° E y su buzamiento entre 50° y 75° SE, aunque en algunos puntos puede descender hasta 47° . Tiene 600 metros de longitud y 500 metros de altura, con un espesor de 2,5 metros, que en ocasiones alcanza los 12 metros. Entre los minerales presentes se encuentran galena, tetraedrita, esfalerita, pirita, cuarzo, barita y carbonatos. Estos minerales se presentan en bandas intercaladas con sílice, sirita y clorita, componentes de la roca volcánica. La figura 7 muestra una imagen de la veta.

Figura 7. Veta Mary U.E.A. Carahuacra



Fuente: Área de geología Carahuacra

Al sureste de la veta Mary y paralela a ella, la veta María Luisa rellena una fractura transversal. Con filitas dispuestas al este y al oeste, atraviesa la roca volcánica de noreste a suroeste. Su intersección se encuentra entre los 55° S y los 60° E en el lado este y entre los 30° N y los 55° E en el lado oeste. Su inclinación varía entre 70° y 80°, llegando en ocasiones a los 60°. Presenta potencias de 0.5 m. a 2.0 m., algunos llegan a 5 m. con 600 m. de largo por 300 m. de alto. Presenta contenido de galena, esfalerita, marcasita, baritina, tetraedrita, pirita, cuarzo, siderita con alteración hidrotermal, en silice, sirita y clorita. En la figura 8 se observa una fotografía de la veta.

Figura 8. *Veta María Luisa U.E.A. Carahuacra*



Fuente: Área de geología Carahuacra

Los mantos conocidos como Cuerpo Huaripampa corresponden a una secuencia de capas mineralizadas intercaladas con estratos de caliza. Presentan potencias que varían entre 3.5 m y 12 m, longitudes del orden de 170 m a 200 m y una altura aproximada de 600 m. En

determinados sectores, esta secuencia desarrolla cuerpos con potencias que alcanzan cerca de 50 m.

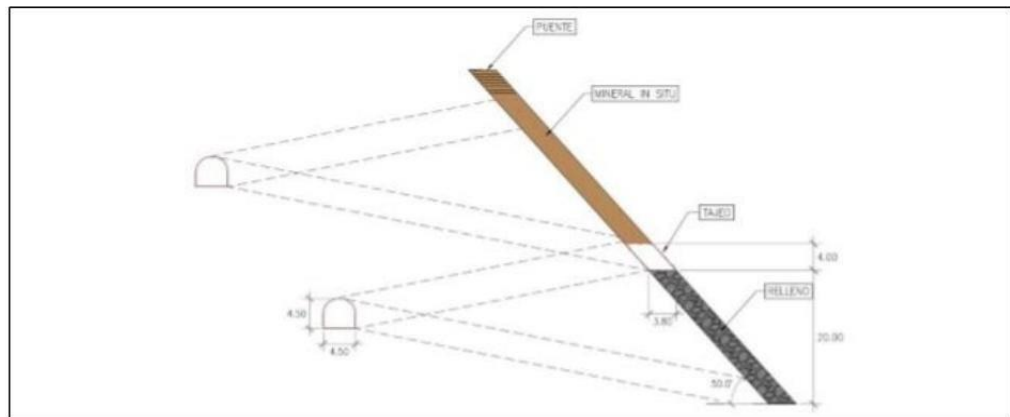
H. Método de corte y relleno ascendente

Este método se utiliza para pendientes inferiores a 50°, así como en yacimientos con estratos de mineral estéril, que requieren mayor selectividad. La preparación comienza con una rampa espiral desde el suelo de la estructura. De esta rampa emergen subniveles con una pendiente del -15% hacia la estructura. Una vez superada la estructura, se forman galerías de diversas longitudes según el límite del tajo.

Para mantener la estabilidad en la clave, se excavan pozos horizontales (breasting). Se utiliza relleno mecánico para avanzar al siguiente nivel, que posteriormente se nivela y cuyos huecos se rellenan con relleno hidráulico.

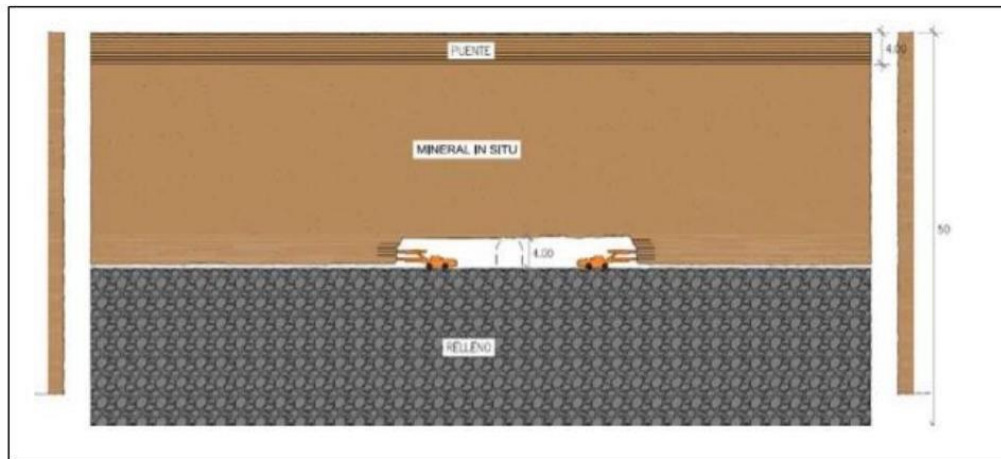
A continuación, se realiza el desate de rocas de la parte superior del frente de trabajo para iniciar el nuevo corte ascendente. Este método se utiliza en vetas más gruesas y rocas de ley moderada a baja. En la mina Carahuacra, se emplea en la veta Diana y en el yacimiento Huaripampa. Las figuras 8 y 9 muestran vistas transversales y longitudinales del proceso de extracción.

Figura 9. Método de corte y relleno ascendente, corte transversal



Fuente: Área de geología Carahuacra

Figura 10. Método de corte y relleno ascendente, corte en perfil



Fuente: Área de geología Carahuacra

I. Método de tajeo por subniveles

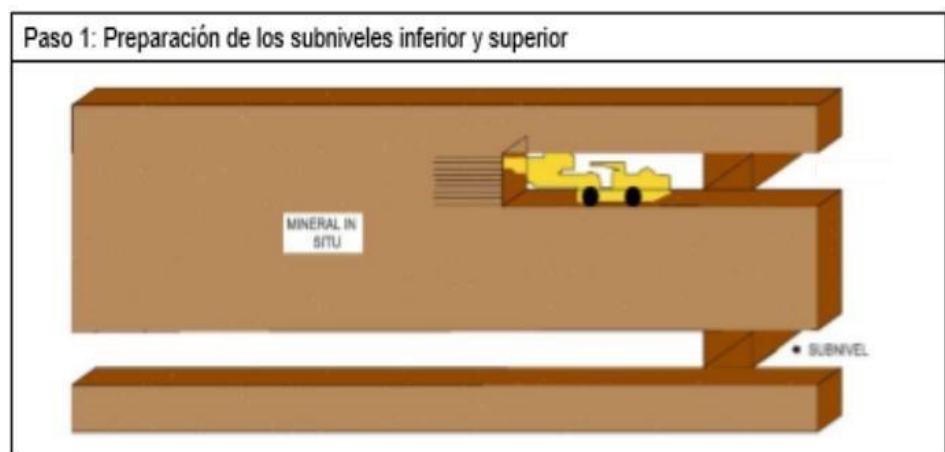
Este método se utiliza en vetas con inclinaciones superiores a 50° y consiste en extraer el mineral mediante el hundimiento de subniveles. Esto implica perforar barrenos largos en el subnivel superior y extraer el mineral del subnivel inferior en retroceso. Posteriormente, se estabiliza la roca circundante mediante relleno detrítico. En la minera Carahuacra se adecuó una variación Avoca Back Fill, que es una explotación de la veta por tramos con un límite máximo de abertura, se continua con el relleno detrítico, el ciclo se

repite de manera ascendente por subniveles. Las labores de extracción se planifican paralelas a la estructura mineralizada, con labores perpendiculares espaciadas a 100 m. La explotación se realiza mediante una rampa principal orientada hacia el muro inferior de la estructura.

La secuencia de explotación se construye longitudinalmente, dividiendo la estructura en bloques de 100 m de longitud. Se utiliza una secuencia ascendente con tres bancos de 15 m de altura separados por tres subniveles para la perforación.

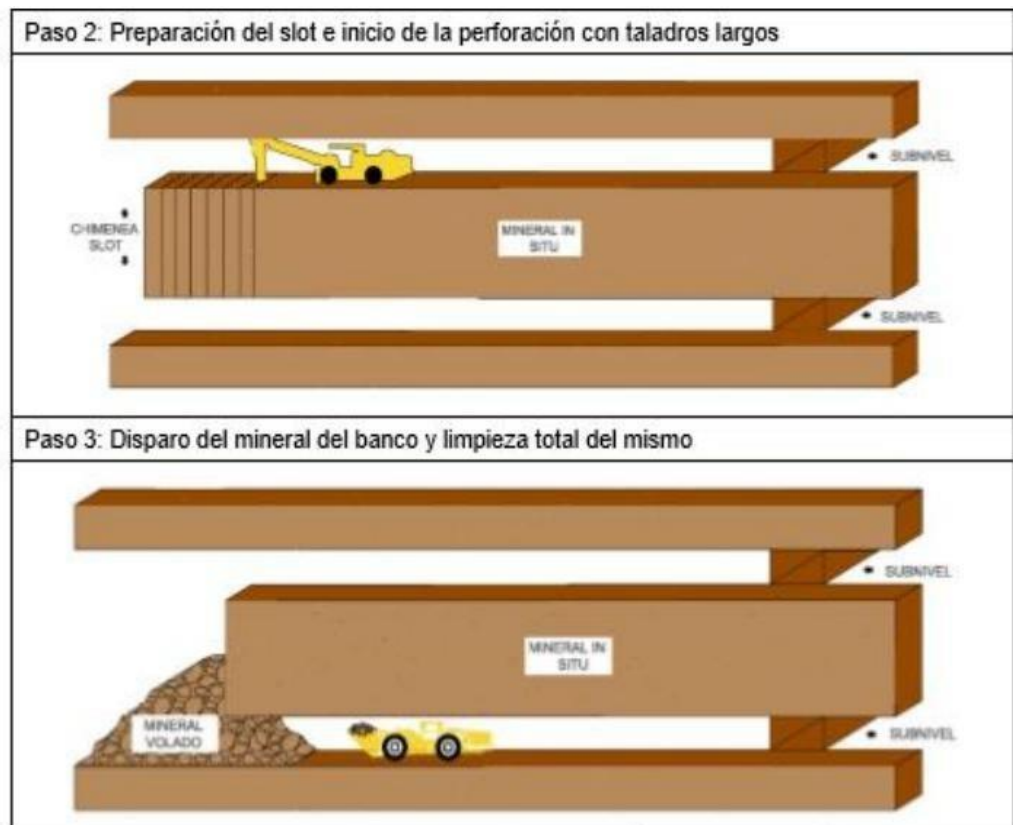
Con respecto a la limpieza se realiza en retirada se continua con relleno detrítico mecanizado con una longitud máxima de abertura de 30 m. esto varía de acuerdo con la clasificación de roca RMR. El método se aplica en veta ML, veta Mary, y veta Melissa. La secuencia se observa en la figura 11, 12 y 13.

Figura 11. *Preparación de subniveles*



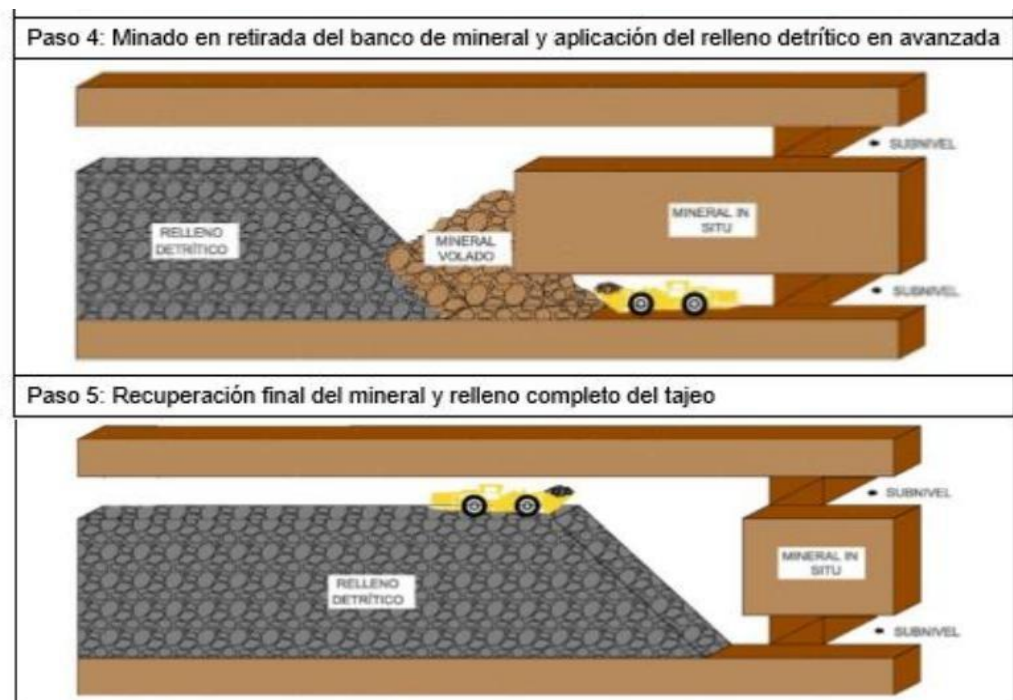
Fuente: Área de geología Carahuacra

Figura 12. Preparación de subniveles 2-3



Fuente: Área de geología Carahuacra

Figura 13. Preparación de subniveles 4-5



Fuente: Área de geología Carahuacra

J. Método de subniveles en breasting

El método de subniveles con breasting se utiliza en mantos horizontales o semi horizontales dejando cuerpos espaciados laterales para mantener la estabilidad del cuerpo mineralizado. Finalizada la explotación de un subnivel, el área del tajeo en vacío se completa con relleno hidráulico y luego se continua con breasting de forma ascendente desde el acceso. Se puede observar en la figura 14.

Figura 14. *Método de subniveles en breasting*



Fuente: Área de geología Carahuacra

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Es posible incrementar las variables de avance en los subniveles de preparación de la U.E.A. Carahuacra con la capacitación en el proceso perforación y voladura?

1.3.2. Problemas específicos

- a) ¿La capacitación en el proceso de perforación y voladura permitirá

incrementar el avance lineal de los subniveles de preparación en la U.E.A. Carahuacra?

- b) ¿La capacitación en el proceso de perforación y voladura permitirá mejorar el factor de potencia en el avance de los subniveles de preparación de la U.E.A. Carahuacra?
- c) ¿La capacitación en el proceso de perforación y voladura permitirá controlar la sobre excavación en el avance de los subniveles de preparación de la U.E.A. Carahuacra?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Incrementar las variables de avance de los subniveles de preparación en la U.E.A. Carahuacra con la capacitación en el proceso de perforación y voladura.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Incrementar el avance lineal en los subniveles de preparación de la U.E.A. Carahuacra con la capacitación en el proceso de perforación y voladura.
- b) Mejorar el factor de potencia en el avance de los subniveles de preparación de la U.E.A. Carahuacra con la capacitación en el proceso de perforación y voladura.
- c) Controlar la sobre excavación en el avance de los subniveles de preparación de la U.E.A. Carahuacra con la capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura.

1.5. Justificación de la Investigación

La implementación de mediciones destinadas al control permanente de los procesos de perforación y voladura viene siendo ejecutada en diferentes mineras donde se ha logrado obtener resultados favorables, que han sido demostrado por Villanueva, Narro, Apaza, Arotaipe y Palomino en sus respectivos estudios, logrando mejorar los avances en las voladuras, menorar la sobre rotura y reducir el factor de potencia. La unidad económica de administración Carahuacra tiene las condiciones y resultados similares a los casos anteriores en lo que respecta en el proceso de perforación y voladura, por lo que es totalmente muy factible aplicar los objetivos del presente proyecto para el caso en particular. El proyecto permitirá incrementar el avance por disparo y mejorar las demás variables, lograr los objetivos de la empresa en términos de avance previsto utilizando menos recursos, materiales, mayor producción y menos tiempo; por esta razón, se realiza una comparación de los resultados obtenidos antes y después de la capacitación. En la actualidad las deficiencias en el proceso de perforación y voladura son una realidad en las diferentes mineras subterráneas del país, ya que es una de las etapas muy principales en las operaciones de minado y que afectan directamente a las etapas pre-operaciones y las previas. Un mal resultado puede provocar retrasos operativos en las etapas de ventilación, limpieza, desincrustación y soporte, así como cambios en los períodos previstos para la perforación y la carga de explosivos, lo que restringe el uso de controles de calidad para obtener resultados eficientes. Además, la planificación no siempre tiene en cuenta los recursos como materiales y herramientas, así como las condiciones mineras como la calidad de la masa rocosa, la presencia de agua, la temperatura, etc. A ello se añade la limitada

disposición y el escaso compromiso demostrados por los distintos estamentos de la empresa por la limitación de conocimiento, también por los perforistas y cargadores, quiénes desconocen que son los resultados efectivos y eficientes, o desconocen cómo lograrlos. Los deficientes resultados operativos es causa principal de los 3 factores mencionados, que desde otro punto de vista se puede resumir en saber, querer y poder. Saber es el tener los conocimientos necesarios, querer es desarrollar un proceso de acuerdo a los estándares y poder es contar con los recursos y el tiempo suficiente.

Entre los problemas comunes en el control de la perforación se incluyen la falta de señalización del patrón de perforación, el diseño de patrones inadecuados para el tipo de roca, la desviación de los barrenos y la simetría insuficiente. De igual manera, en la carga explosiva, son típicos el confinamiento deficiente del explosivo, las secuencias de retardo inapropiadas, la falta de conocimiento sobre la voladura de contorno controlada y el uso indebido de material inerte.

1.6. Limitaciones de la investigación

Las limitaciones del proyecto en cuanto a la obtención de datos sobre las variables de avance lineal, factor de potencia, sobreexcavación y producción de gas fueron mínimas porque las instalaciones fueron proporcionadas por el departamento de planificación, desarrollo y preparación de la U.E.A Carahuacra; toda la información recopilada hizo posible implementar la capacitación orientada a los procesos de perforación y voladura.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

a. Antecedentes nacionales

- Diaz, E. (2017), Tesis de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, “Optimización de la perforación y voladura de rocas para maximizar utilidades en la mina Panulcillo de Minera Cruz Ltda.-2016” Investigar la evolución de la perforación y la voladura para mejorar este ciclo de explotación, una actividad continua en una empresa minera que busca aumentar la producción, principalmente los gastos asociados con la perforación y la voladura. En el análisis concluye que se tiene deficiencias en los resultados de la voladura teniendo un incremento de los costos, por el incumplimiento de estándares en el carguío de taladros, las actividades de los operadores constantemente no lo cumplen en el desarrollo de la perforación; se tiene una desviación de taladros por la rapidez al momento de perforar y una mala actitud, se tiene un mal

confinamiento de la carga, etc. La tesis en su hipótesis propone eliminar el incumplimiento de los estándares del proceso de la operación de perforación y voladura. Finalmente obtiene como resultado del estudio, que se mejora el cumplimiento de los estándares de la perforación de los parámetros considerados, incidiendo en los costos y eficiencias de perforación que mejoró en un 2% y el consumo de Brocas y aceros se logró un ahorro de 1.98% logrando la productividad del ciclo en cuanto a las utilidades del año en la mina Panulcillo.

- Berrospi, V. (2019), Tesis de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, “Optimización de la perforación y voladura para mejorar la zona de profundización en la mina Andaychagua de la Cía. minera Volcan S.A.A.”, demuestra en el estudio que cumpliendo las técnicas de la voladura se obtiene resultados de una excavación bien definidas, un perfil bastante homogéneo, una buena fragmentación y mínimas sobre roturas; concluye que se obtiene excavaciones más estables y mejora el tiempo del ciclo del frente reflejándose muy claramente en la menoría de los costos en el proceso del sostenimiento, utilización de equipos, explosivos y tareas. Para lograr el cumplimiento de estos factores estudia el ciclo de perforación y voladura que finalmente con los programas de capacitación desarrolladas y col cambio del tipo de explosivo a una emulsión bombeable demuestra su hipótesis propuesta. Finalmente, descubre que, siguiendo los procesos de perforación y voladura, se obtienen resultados eficientes y productivos.

b. Antecedentes internacionales

- Caguana, A. & Tenorio, M. (2016), Tesis de la Universidad Nacional de Cuenca, Ecuador, en cuyo estudio “Optimización de los Parámetros de Perforación y Voladura en la Cantera de las Victorias”. En su estudio demuestra que es muy importante el análisis de métodos de una reconsideración de la operación a partir de los resultados de la perforación y voladura para mejorar los factores de los resultados de la fragmentación del macizo rocoso de la cantera las Victorias. En esta investigación concluye que al adicionar la carga explosiva en cada uno de los taladros la dimensión del producto de la voladura disminuye, también observa que al realizar perforaciones a medida que aumenta la distancia entre taladros en toda la malla de perforación, el tamaño del material resultante de la voladura se incrementa de manera considerable. Del mismo modo, se identifica que el barreno con un diámetro de 36 mm no proporciona el desempeño requerido, resultando insuficiente, inadecuado y poco recomendable para este tipo de perforaciones en el frente; con todas estas observaciones y luego de un análisis exhausto logra optimizar los parámetros de perforación y voladura. Finalmente determina que el método analítico de cálculos en perforación y voladura el más confiable es el de López Jimeno que se puede utilizar para generar un patrón de voladura.
- Sánchez, V. (2014). El estudio “Optimización en los procesos de perforación y voladura para minimizar los costos de explotación en la mina Bethzabeth”. Determina que el análisis del patrón de perforación utilizado para fragmentar el mineral en las vetas Sucre y Tres Diablos de la concesión Bethzabeth reveló deficiencias en el

número de barrenos, el factor de carga, la velocidad de detonación y el tiempo de perforación y fragmentación, lo que generó altos costos operativos. El estudio concluyó que modificando la malla de perforación y la carga explosiva mejora todas las características de perforación y voladura de la mina.

2.2. Bases teóricas científicas

2.2.1. Perforación y voladura

El avance y desarrollo de la sección de un frente está condicionado por varios factores, entre los cuales destacan:

- El equipo de perforación utilizado.
- El tiempo disponible para la ejecución del proyecto.
- Las propiedades geomecánicas de la roca.
- La configuración de la malla de perforación.
- El diámetro de los taladros.

Si la roca es de alta calidad, se pueden extraer secciones menores de 12 m² mediante perforación y voladura de sección completa. Para la construcción de grandes túneles se utiliza una excavación por etapas cuando la sección es lo suficientemente ancha como para ser cubierta por el equipo de perforación o cuando las propiedades geomecánicas de las rocas impiden la excavación de sección completa.

La perforación subterránea se caracteriza por la ausencia de una cara libre para la extracción, quedando únicamente el frente de trabajo. Basándose en el principio de transferencia de energía mecánica a la roca mediante el método de

impacto o percusión más eficaz, la ejecución consiste en crear un hueco cilíndrico libre con las barrenas de arranque y detonar las cargas restantes de la sección. La superficie de este barreno suele oscilar entre 10 y 20 cm², aunque puede alcanzar 1 m² con diámetros de perforación mayores. La mayor parte de la sección está cubierta por barrenos dispuestos en abanico.

Debido a errores de perforación, un espacio cilíndrico reducido con respecto al eje de avance, una menor relación entre cargas adyacentes y el efecto negativo de la gravedad en algunas zonas, como los barrenos de arrastre, el consumo específico de explosivos en la sección restante es de cuatro a diez veces mayor que en comparación con la voladura en bancos.

Los taladros de contorno determinan la geometría final de la labor, por lo que se emplazan con un espaciamiento reducido y orientados hacia el interior del macizo, a fin de generar el margen necesario para el emboquille y la correcta maniobra de las perforadoras.

En el arranque influyen factores como la proyección del escombros, el grado de fragmentación y la cantidad de taladros requeridos. Entre las configuraciones posibles: en rincón, centrada superior y centrada inferior suele preferirse la primera, debido a que evita la caída libre del material, genera un perfil de escombros más tendido y menos compacto, y produce una fragmentación más favorable. (Piñas, 2007).

2.2.2. Factores que provocan la sobreexcavación

Los factores que se consideran determinantes para la sobreexcavación y la caída de rocas en las labores de la mina son los siguientes:

a. Mala dimensión de las áreas a excavar

En algunos proyectos, las medidas de los pilares y puentes de soporte, así como la altura, anchura y longitud de los frontones, están planificadas de forma inadecuada.

b. Voladura sobre dimensionada

La roca circundante a las labores mineras se deteriora debido a la excesiva energía de las voladuras y a la alta densidad de las mismas.

La orientación inadecuada de las actividades mineras con respecto al rumbo y buzamiento de la estructura geológica dominante en la región (fallas, diaclasas y planos de estratificación) agrava aún más este problema.

c. Diseño de malla de perforación inapropiada

Diseño deficiente de los barrenos de arranque, distribución simétrica de los barrenos y de la carga explosiva, secuencias de salida no relacionadas con el grado de severidad de las fracturas estrechas, medianas y dispersas.

d. Inapropiada selección del explosivo

Dependiendo de la calidad de la roca.

- Velocidad de detonación.
- Relación entre deflagración y tenacidad del explosivo.
- Factor de carga empleado.
- Capacidad energética del explosivo en comparación con su volatilidad.

2.2.3. Factores que considerar para el manejo de explosivos

En términos generales, los explosivos se dividen en dos categorías fundamentales: explosivos químicos y explosivos nucleares.

El explosivo químico actúa por una reacción química que detona por efecto de una onda de choque. Generalmente están compuestos por nitrados los que son de uso común en la minería.

Los explosivos nucleares se usan para la desintegración de otras materias como plutonio y uranio 230, estos explosivos desprenden enorme cantidad de energía, se emplea en el campo militar y en la investigación.

Algunos no se clasifican como explosivos, son productos especiales que generan una explosión física sin detonar previamente, que se produce por la expansión de gases inertes como el CO₂. Su empleo se limita en ambientes con presencia de grisú que se tienen en minas de carbón, también se emplea como explosivo convencional.

Entre los explosivos químicos más utilizados:

A. Dinamitas

Explosivo industrial que contiene principalmente la nitroglicerina de acuerdo con la proporción a la mezcla y por los aspectos de su uso, se clasifican en:

- **Gelatinas**

La gelatina especial 75BN y 75, la gelatina especial 90BN y 90, y la gelignita explosiva son solo algunos de los muchos explosivos con diversas características. Su velocidad de detonación oscila entre 5001 y 6501 m/s, y su densidad entre 1,2 y 1,5 g/cm³. Tiene una consistencia plástica, es muy eficaz para fragmentar rocas duras y es altamente resistente al agua cuando está sumergida.

- **Semi gelatinas**

Explosivo con presentación de semexsa 45, semexsa 60, semexsa 65 y

semexsa 80, con una densidad de 1,07 a 1,21 g/cm³, con una velocidad de detonación de 3 501 a 4 501 m/s, posee una consistencia granular, se utilizan en rocas semiduras y húmedas.

- **Pulverulentas**

Explosivo de menor potencia como el Exadit 45, Exadit 60 y Exadit 65, como densidad posee de 1,01 a 1,06 g/cm³, con velocidad de detonación de 3401 a 3 601 m/s, también tiene una consistencia granular fina, se emplea en rocas disgregadas o de baja competencia, preferentemente en taladros secos.

- **Especiales**

Los explosivos de corte se aplican en operaciones de voladura controlada, mientras que el geodit se utiliza en trabajos de sísmica.

B. Explosivos acuosos

- **Explosivos hidrogel**

Está compuesto por una solución acuosa que contiene sales oxidantes a temperatura ambiente, la cual se gelatiniza mediante gomas solubles en agua de fase continua con una dispersión de gotitas líquidas y partículas sólidas; si la composición pertenece al grupo de las emulsiones de aceite en agua, se trata de un líquido disperso.

- **Emulsión explosiva**

Son compuestos inversados en agua en aceite, conteniendo las dos fases líquidas, como base tiene una mezcla de hidrocarburos y otra dispersa, constituye microgotas de solución acuosa con sales oxidantes, como componente principal tiene el nitrato de amonio.

En la voladura de rocas detonan por una reacción fisicoquímica en una

combustión muy rápida mediante tres componentes: sensibilizador, oxidante y combustible. Por lo que se clasifican en cuatro grupos.

C. Propiedades de los explosivos

- **Densidad**

La densidad se calcula utilizando el peso del explosivo por unidad de volumen y se expresa en gramos por centímetro cúbico; por ejemplo, el ANFO tiene una densidad de 0,85 g/cm³. Cuando la densidad es inferior a 1,0 g/cm³, flota en el agua. La densidad es un factor crucial para estimar el tamaño de la carga; cuanto mayor sea la densidad del explosivo, mayor será su eficacia, lo que implica que el barreno fragmentará una mayor cantidad del explosivo. La siguiente tabla muestra las densidades:

Tabla 2. *Densidades de los explosivos*

Tipo de explosivo	Densidad	Observaciones
Gelatina 75	1.38	Para roca muy dura
Semexsa 65-emulnor 3000	1.12	Para roca dura
Semexsa 45-emulnor 1000	1.08	Para roca semi dura
Exadit 65	1.04	Para roca suave
Exadit 45	1.00	Para roca muy suave

Fuente: Elaboración propia

- **Sensibilidad**

Esta propiedad se refiere a la facilidad con que un explosivo puede ser iniciado mediante un detonador cuya potencia sea la mínima requerida para su activación, que varía por la composición del explosivo, presión del ambiente, diámetro, temperatura.

1. La dinamita es sensible al cordón detonante y al fulminante

detonador de potencia N°8.

2. Un agente explosivo, no es sensible al fulminante detonador N° 8, requiere de un booster o un cebo que es la dinamita.

- **Resistencia al agua**

Todo explosivo tiene una capacidad de resistencia expuesta al agua sin perder sus propiedades de sensibilidad o eficiencia expresada en términos cuantitativos, un tipo de explosivo varía en su capacidad de resistencia al agua. Como ejemplo, el anfo no resiste al agua; la emulsión, acuagel es muy resistente a la humedad. En la tabla siguiente se presentan las distintas resistencias al agua.

Tabla 3. *Resistencia al agua de los explosivos*

Tipo de explosivo	Densidad	Resistencia al agua
Gelatina 75	1.38	Buena
Semexsa 65- emulnor 3000	1.12	Moderada
Semexsa 45- emulnor 1000	1.08	Baja
Exadit 65	1.04	Pobre
Exadit 45	1.00	Muy Pobre

Fuente: Elaboración propia

- **Estabilidad química**

Un explosivo tiene la capacidad de mantener su estabilidad y químicamente se mantiene estable durante el tiempo de su almacenamiento mediante sus condiciones especificadas, los parámetros que influyen en la estabilidad química del explosivo es la temperatura, humedad, contaminación, la instalación del almacenamiento y envases. Un signo de deterioro puede ser el

incremento de la densidad: aumento de viscosidad y cristalización.

- **Características de humos**

Un explosivo cuando detona genera humos no-tóxicos como el CO₂, H₂O y los tóxicos NO, NO₂ y CO, parámetros que se incrementan al momento de la detonación del explosivo debido al control de tiempos inadecuados, composición inapropiada de la roca por un carbonato o mineral de sulfuro generan gases tóxicos, también puede ser por una inapropiada prima, falta de confinamiento, humedad.

2.2.4. Mecánica de la fragmentación de la roca

La trituración del macizo rocoso por la detonación es la acción de un explosivo y como consiguiente la respuesta de la roca circundante, mediante los factores de tiempo, energía termodinámica, mecánica de rocas, ondas de presión, etc. en un rápido y complejo mecanismo de interacción.

Este mecanismo todavía no está bien definido, se cuenta con varias teorías que explican entre ellas tenemos:

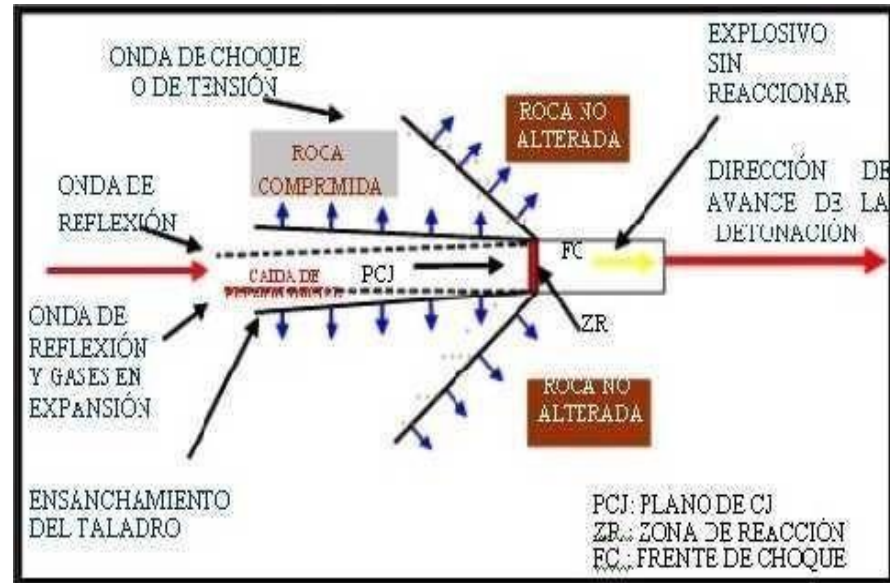
A partir de las principales teorías que explican el mecanismo de rotura del macizo rocoso, se tiene lo siguiente:

- Por reflexión, la teoría asociada a las ondas de tensión que se reflejan en la cara libre.
- Por ruptura flexural, la teoría vinculada a la expansión de los gases de detonación.
- Por torque, la teoría basada en los esfuerzos de torsión o cizallamiento.
- La teoría de la craterización.
- Por energía en los frentes, la teoría de ondas de compresión y tensión.
- Por liberación, la teoría de descarga súbita de esfuerzos.

- Por nucleación, la teoría que describe la generación de fracturas en fallas y discontinuidades.

En la figura 15 se aprecia el mecanismo de fragmentación del macizo rocoso.

Figura 15. *Mecanismo de fragmentación del macizo rocoso*



Fuente: López Jimeno

Una teoría sencilla, bastante aceptada, que se considera entre los conceptos considerados, considera que el proceso se da en varias etapas que se generan casi simultáneamente en un tiempo muy corto, de milisegundos, en este intervalo se produce la detonación completa de la carga confinada, iniciándose el proceso que abarca desde la fragmentación inicial hasta el desplazamiento del material triturado. Sus etapas principales son las siguientes:

El primer paso consiste en detonar el explosivo y generar una onda de choque. Esta onda de choque se propaga por la roca, provocando su fractura.

En la segunda etapa se introducen y expanden gases a alta temperatura y presión, lo que fractura y desplaza aún más la roca.

Como resultado, la roca fracturada se mueve, creando un montículo de escombros. Distribución de energía, acción de la fuerza compresiva-tensiva, reflexión de ondas de choque desde la cara libre, todos estos procesos de corte y cizallamiento del movimiento torsional entre taladros, presión del gas sobre la masa rocosa y liberación de cargas, ruptura del material sólido por flexión, creación de microfracturas en fisuras y fallas, colisión de fragmentos en el aire: todas estas teorías se basan en investigaciones de laboratorios especializados y campos de prueba, así como en modelos matemáticos y físicos, pruebas experimentales realizadas mediante fotografía de alta velocidad y monitoreo sísmico, entre otros métodos.

A. Etapas del fracturamiento

R. Frank Chiappetta señala que el proceso de fragmentación de las rocas se desarrolla de manera secuencial, distinguiéndose las siguientes etapas:

E1 = Detonación.

E2 = Propagación de la onda de choque o compresiva. E3 = Expansión de la presión de los gases de detonación. E4 = Movimiento del macizo rocoso, entre otras etapas.

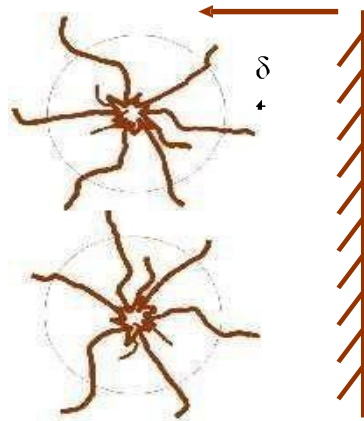
Todos los investigadores coinciden en que el proceso de fragmentación de la roca causado por la acción de la mezcla explosiva se produce en tres etapas principales:

- ✓ Primera fase, fracturas radiales, brisance
- ✓ Segunda fase, empuje hacia adelante, heave
- ✓ Tercera fase, trituración.

- **Primera fase**

La mezcla explosiva cargada dentro del taladro detona y genera ondas de choque. La magnitud y configuración de estas ondas compresivas, que se propagan a velocidades que van de 3,000 a 5,000 m/s., dependerá del tipo de la carga explosiva, tipo de roca, número y posición del fulminante, longitud de carga, el diámetro del taladro, así como las velocidades de detonación y propagación de la onda del explosivo a través de la roca.

Figura 16. *Primera. fase, fracturas radiales*



Fuente: López Jimeno

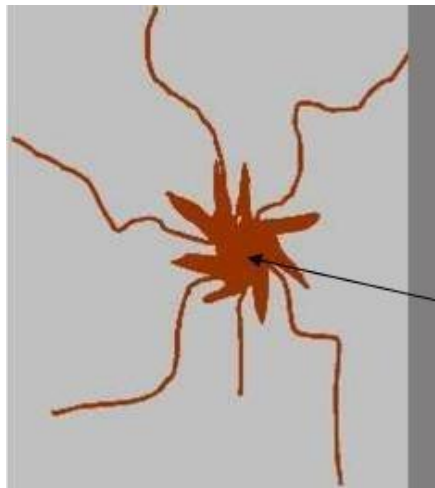
- **Segunda fase**

Las ondas de choque se producen por altas presiones de gas y se reflejan. Las ondas de tensión se crean cuando estas ondas cambian de dirección. Cuando las ondas de compresión entran en contacto con una superficie libre, un cambio en la densidad de la roca, planos estructurales o fallas geológicas, experimentan esta metamorfosis.

La fractura de la roca comienza en la cara libre o discontinuidad donde se reflejan las ondas. La roca se fractura cuando las ondas de compresión regresan desde la cara libre o cualquier discontinuidad

estructural y cambian de dirección para formar ondas de tensión. Generalmente la resistencia tensional dinámica de cualquier macizo rocoso es menor de su resistencia compresiva dinámica. Las ondas tensionales generan el empuje hacia delante de la roca en la zona cercana a la cara libre, entre demás factores dependen del tipo de roca, la malla de perforación y voladura, cantidad y tipo de la mezcla explosiva diseñada para la voladura.

Figura 17. *Segunda fase, empuje hacia adelante*



Fuente: López Jimeno

- **Tercera fase**

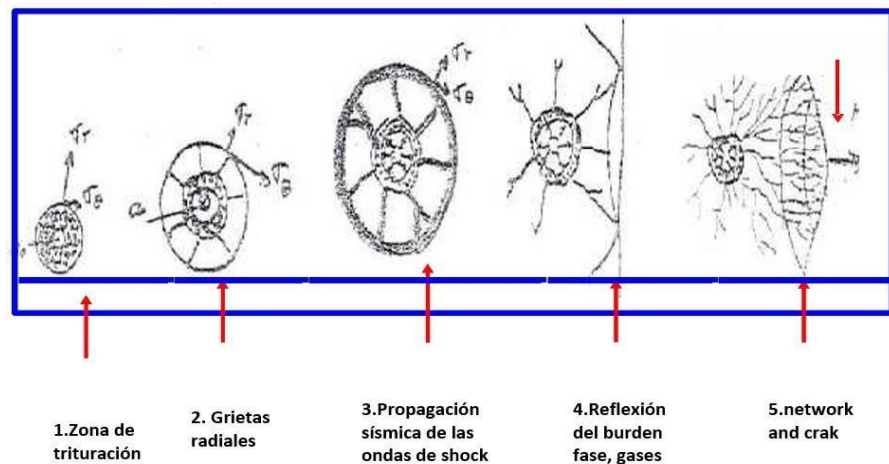
La roca ha quedado totalmente pulverizada. Según Johansson, cuando detona una combinación explosiva, las fuertes presiones de gas provocan que las primeras fracturas radiales se ensanchen, que la cara libre se derrumbe y que esta se desplace hacia el frente.

Las ondas de choque generadas por las ondas de compresión se reflejan en la superficie recién expuesta cuando la porción inicial de la masa rocosa es impulsada hacia adelante.

Cuando la roca se ha fragmentado lo suficiente por estas ondas de tensión, finaliza el proceso de trituración.

Algunos investigadores sustentan que, la fragmentación es muy importante sirve para evaluar los resultados de una voladura considerando el aspecto técnico – económico y ecológico. La trituración es la variable que relaciona la operación de mina – proceso metalúrgico que son las fases de una extracción del mineral.

Figura 18. Tercera fase, trituración



Fuente: López Jimeno

2.2.5. Labores de frentes de desarrollo y preparación

By pass

Es una labor subterránea casi horizontal que una de sus secciones es de 3.0 m. x 3.5 m., normalmente se construye paralelo a la galería con un pilar aproximado de 14 metros dependiendo de la calidad de la roca, la función principal es para el acarreo y transporte de mineral y desmonte, también para los servicios auxiliares de aire, agua y ventilación.

Rampas

Con secciones de 3,8 m x 4,0 m y 4,0 m x 4,5 m, se trata de una explotación subterránea con pendiente variable, de aproximadamente 12% positivo a 12% negativo. Las rampas, de 3,8 m x 4,0 m, se utilizan para acceder a

la estructura mineralizada y para conectar los niveles superior e inferior. El mineral se transporta desde la mina hasta la superficie mediante rampas de 4,0 m x 4,5 m.

Galerías

En esta zona de la excavación subterránea con una pendiente muy leve. de 3.5 m. x 3.5 m., que tiene como función generar un nivel de la explotación o preparar una estructura mineralizada.

Ventanas

Excavación subterránea que tiene pendientes con sección de 3.0 m. x 3.0 m. que permite el acceso hacia las galerías o tajos desde un by pass que luego se puede bloquear para iniciar la explotación.

Ore pass

Es una labor subterránea de orientación vertical, con una sección mínima de 1.5 m × 1.5 m o superior, cuya función es servir como echadero de mineral proveniente de diversos puntos de alimentación.

2.2.6. Parámetros para el Diseño de Malla de Perforación y Voladura

1. Calidad de la roca

Los siguientes elementos se tienen en cuenta al diseñar la malla de perforación, como uno de los parámetros es la calidad de la roca:

Físicas

- **La densidad**, que varía de 1,1 a 4,4, es la relación entre la masa y el volumen de la roca.
- **Tenacidad**. resistencia que presenta la roca o el mineral frente a su triturado o fragmentación.
- **Dureza**, La dureza es la capacidad de una roca para resistir la

penetración de otro objeto. De forma similar, la dureza se refiere a la resistencia de un mineral a ser rayado por otros minerales o materiales.

- **Porosidad.** Se trata de cavidades microscópicas que se encuentran en las rocas y que están llenas de soluciones gaseosas o acuosas; la roca es más débil en estas situaciones.
- **Abrasividad.** Se trata de una roca totalmente granulada que aplica una fuerza mecánica a otro material para provocar un desgaste o pulido prematuro.
- **Grado de alteración,** la roca experimenta un proceso de meteorización física que genera su disgregación y fracturamiento, favoreciendo además la apertura de fracturas preexistentes.
- **Resistencia** Es la compresión simple de la roca con esfuerzo medido sobre la misma de forma técnica, es un parámetro común que define el criterio de rotura y comportamiento geo mecánico de la roca.

La condición geológica

La roca es un medio discontinuo, anisotrópico y heterogéneo formado por una colección de bloques de matriz rocosa con diversas discontinuidades que afectan a la masa rocosa; mecánicamente, se considera como la resistencia a la tracción nula de la estructura.

2. Parámetros del Explosivo

Es un factor muy importante de conocer las propiedades de un explosivo, se pueden conocer con los modelos modernos, también la

empresa fabricante del explosivo tiene toda la información técnica del explosivo como física, química, velocidad de detonación, la densidad, sensibilidad a la iniciación, transmisión, simpatía, presión en el taladro, calidad de humos, resistencia al agua, energía y volumen de gases.

3. Parámetros de carga

El diámetro y la longitud del orificio de perforación, el acoplamiento, la densidad y la longitud de la carga, el tipo y la ubicación del cebado, los intervalos de iniciación y el confinamiento y taponamiento de los orificios de perforación mediante tapones de arcilla húmeda para retener los gases y la energía dentro del orificio son todas variables controlables en el diseño del patrón de perforación y voladura.

4. Número de taladros

El número de perforaciones que se requiere para una voladura está en función del tipo de roca, del grado de fragmentación requerido, el número de barrenos, determinado teóricamente, viene definido por estas características. También se elige la clase de explosivo y el modo de iniciación.

- Tipo de roca. Para determinar la cantidad de barrenos es importante saber la dureza de la roca puede ser muy frágil o dura.
- Grado de fragmentación. Estas características especifican el número teórico de barrenos. El tamaño de la roca fragmentada variará según la capacidad del equipo y de la trituradora

primaria en la planta metalúrgica. La escala de la minería subterránea es menor que la de la minería a cielo abierto. También se seleccionan la técnica de inicio y el tipo de explosivo. Por lo que deducimos que el diseño de la malla de perforación es variable por el método de explotación.

- Grado de confinamiento. En el diseño de la malla de perforación se considera el grado de confinamiento de la roca, en labores subterráneas solo se dispone de una cara libre, por lo que la roca permanece altamente confinada y ofrece una mayor resistencia a la trituración. En cambio, en el diseño de la malla de perforación para explotación a cielo abierto, el macizo rocoso presenta un menor nivel de confinamiento por contar con mayor cantidad de caras libres por lo que se requiere menor cantidad de taladros.
- Diámetro de perforación de las brocas, dependiendo de las características de la roca, un diámetro de broca mayor requiere menos agujeros de perforación, mientras que un diámetro de broca menor requiere más.

Se calcula el número de taladros aproximadamente con la fórmula empírica.

$$N^{\circ} \text{ tal} = 10 \times \sqrt{(A \times H)}$$

Donde:

H: altura de sección A: ancho de sección

O, de manera más precisa, mediante la siguiente fórmula.

$$N^{\circ} \text{ tal} = (P/dt) + (C \times S)$$

Donde:

dt: distancia entre taladros (m). P: perímetro de la sección (m).

S: área de la sección (m²).

C: constante de roca (m).

$$P= 4\sqrt{(A)}$$

5. Cantidad de carga

La cantidad de explosivo a utilizar depende del tamaño del frente de trabajo y de la dureza de la roca. También se consideran el diámetro y la longitud de la perforación, el número de barrenos y el tipo de explosivo y detonador empleados. Debe tenerse en cuenta la cantidad de explosivo por metro cuadrado de área de trabajo; esta cantidad aumenta con la dureza de la roca y disminuye con el aumento de la sección transversal del frente. Generalmente se utiliza un kilogramo de explosivo por metro cúbico de roca. En minería, este valor oscila entre 300 y 800 g/m³.

6. Concentración de carga lineal del explosivo

Se fundamenta de que los barrenos cercanos a los barrenos de expansión el carguío del explosivo debe ser muy cuidadoso, una concentración de carga muy baja no puede provocar la rotura de la roca y una carga extremadamente grande puede provocar una eyección muy violenta de la roca triturada hacia el lado opuesto del barreno de expansión, lo que permite que se comprima en lugar de ser expulsada a través del barreno vacío.

7. Distancia entre taladros

La cantidad de barrenos y el área de la cara a dinamitar influyen directamente en el proceso. Para facilitar la perforación y evitar la

sobre excavación, la separación entre barrenos suele variar entre 61 y 91 cm, y la distancia a la cara libre entre 51 y 71 cm. Para asegurar que los topes mantengan la misma sección transversal en la nueva cara libre, los barrenos se perforan con una ligera desviación del eje de trabajo.

2.2.7. Agentes de voladura

Un agente explosivo es un explosivo que requiere un detonador para iniciar su detonación, ya que no es sensible al fulminante número 8.

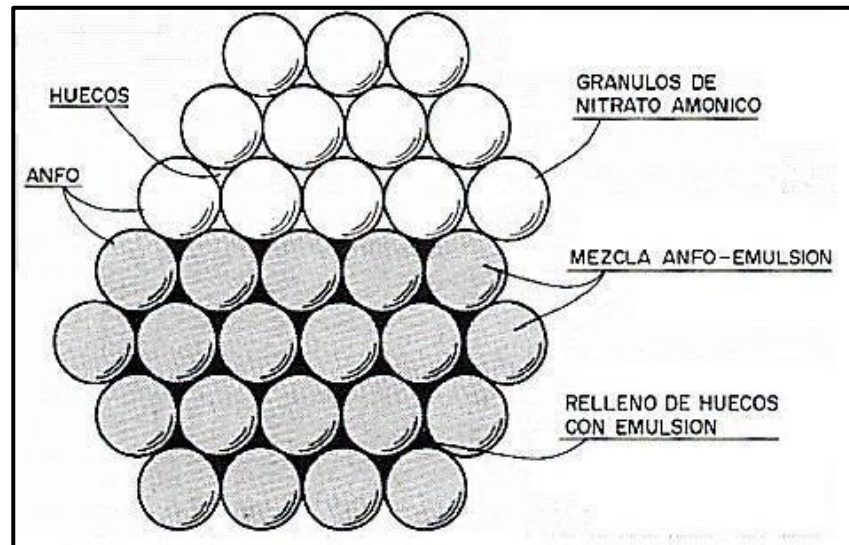
Anfo

El ANFO, un agente explosivo industrial, se compone de aproximadamente un 95 % de nitrato de amonio y un 5 % de combustible. El nitrato de amonio se genera en forma de gránulos porosos que permiten una absorción suficiente de combustible y se utiliza ampliamente en minería, ya que, en estado puro, es una sal inorgánica no explosiva. Su principal inconveniente es que no se puede utilizar en perforaciones húmedas o con fugas debido a su falta de resistencia al agua.

Anfo pesado

El agente explosivo conocido como "ANFO pesado" está compuesto por dos cantidades distintas de ANFO y la emulsión matriz, que rodea los gránulos de ANFO para crear una matriz energética con ciertas características.

Figura 19. Estructura del Anfo Pesado



Fuente: Du Pont,

Emulsión

Es un agente de voladura llamado agua en aceite, la otra fase oleosa es un combustible líquido inmiscible con agua del tipo hidrocarburo, generalmente diésel 2, mientras que la fase acuosa está compuesta por sales inorgánicas oxidantes disueltas en agua.

El tamaño de las partículas que conforman la mezcla oxidante-combustible influye directamente en la velocidad de detonación del explosivo.

Cuando es pura no es un explosivo que detona, por lo que no es sensible ni a un booster por tener una densidad muy alta. Para hacerlo sensible, la técnica física empleada consiste en la creación de burbujas de gas. Estas burbujas, al ser comprimidas adiabáticamente, actúan como puntos calientes, lo que favorece el inicio y la propagación de la detonación. Los agentes gasificantes son microesferas de poliestireno expandido o de vidrio.

También se aplica la sensibilización química mediante una solución gasificante como el nitrito de sodio.

Tabla 4. *Tamaño de partículas de los explosivos.*

Explosivo	Tamaño (mm)	Estado	VOD (km/s)
Anfo	2	Sólido	3.2
Dinamita	0.2	Sólido	4.0
Hidrogel	0.2	Sólido/líquido	3.3
Emulsión	0.001	Líquido	5.0 - 6.0

Fuente: Bampfield & Morres.

2.3. Definición de términos básicos

a. Altura de hastial

Distancia entre la posición inicial del piso y punto de arranque de la bóveda.

b. Amplitud

Desplazamiento máximo de una partícula al vibrar el terreno

c. Atacador

Utilizando esta herramienta se compactan los cartuchos explosivos y la sustancia inerte del embalaje.

d. Avance lineal

Distancia volada en un frente cualquiera.

e. Burden

Se mide de manera perpendicular a la línea de pozos que define la dimensión lineal de la cara libre, y corresponde a la distancia existente entre la primera hilera de perforaciones y dicha cara libre.

f. Espaciamiento

Es la distancia que separa a los taladros que detonan dentro de una misma fila, ya sea con un mismo retardo o con retardos sucesivos asignados para cada línea. Su valor se determina en proporción a la longitud de la carga.

g. Carga lineal

Cantidad de explosivo, expresada en kilogramos por metro, distribuida a lo largo de un taladro. Este valor no se ve influenciado por el diámetro del pozo.

h. Carga espaciada

Explosivos que se cargan de manera instantánea o progresiva luego de haber sido retirados de una sustancia inerte o expuestos al aire.

i. Factor de carga

Es la cantidad de explosivo requerida para fragmentar un volumen o una masa específica de roca, expresada en kg/m^3 .

j. Cebado axial

Sistema que emplea un cordón detonante a lo largo de toda su longitud para iniciar una carga explosiva.

k. Carga operante

Se considera que la carga explosiva completa detona en un lapso inferior a 8 milisegundos, es decir, prácticamente de manera instantánea.

l. Carga de fondo

Una explosión generada en la zona inferior de un taladro de perforación, generalmente de alta potencia.

m. Cebado puntual

En un sistema de iniciación, el cebo suele ubicarse en la parte superior o inferior de la columna de explosivo.

n. Cebo

El iniciador se encuentra incorporado en una carga explosiva sensible de alta potencia, cuya función es potenciar el rendimiento de los demás explosivos empleados en la voladura.

o. Confinamiento

El nivel de profundidad al que se ubica una carga explosiva dentro del orificio de perforación.

p. Contorno

Superficie o perfil final proyectado sobre el frontón.

q. Detonación

Una reacción explosiva en la que una onda de choque se propaga a través del material, generando una reacción química que libera grandes volúmenes de gases a elevadas temperaturas y presiones.

r. Malla

Un conjunto de taladros a perforarse dentro de una cara previamente definida se dispone siguiendo una configuración geométrica establecida.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La capacitación en el proceso de perforación y voladura permite incrementar las variables de avance en los subniveles de preparación de la U.E.A. Carahuacra.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a) Se incrementa el avance lineal con la capacitación en el proceso de perforación y voladura en los subniveles de preparación en la U.E.A. Carahuacra.

- b) Se mejora el factor de potencia con la capacitación en el proceso de perforación y voladura en el avance de los subniveles de preparación en la U.E.A. Carahuacra.
- c) Se controla la sobre excavación con la capacitación en el proceso de perforación y voladura en el avance de los subniveles de preparación en la U.E.A. Carahuacra.

2.5. Identificación de variables

- **Variable Independiente**

X: Capacitación en el proceso de perforación y voladura en el avance de los subniveles de preparación en la U.E.A. Carahuacra

- **Variables Dependientes**

Y: Incrementar **las variables de** avance en los subniveles de preparación de la U.E.A. Carahuacra.

2.6. Definición Operacional de variables e indicadores

Tabla 5. Operacionalización de variables

TIPO DE VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	
VARIABLE INDEPENDIENTE	X: Capacitación en procesos de perforación y voladura en la U.E.A. Carahuacra	La capacitación en el proceso de perforación y voladura permite incrementar las variables de avance en subniveles; se logra cuando el personal está debidamente capacitado en el conocimiento de perforar taladros paralelos, una misma profundidad, control del burden y espaciamento, en la voladura control de retardos en detonadores, energía, confinamiento, densidad y menor sobre excavación.	proceso de Perforación	Profundidad de taladros	metros
				Paralelismo de taladros	metros
				Desviación de taladros	metros
				Simetría de taladros	metros
			Proceso en el manejo de explosivo	Desacoplamiento	gr/cm ³
				Confinamiento	Kg
				Retardos	segundos
VARIABLE DEPENDIENTE	Y: Incrementar las variables de avance en los subniveles de preparación de la U.E.A. Carahuacra	Cuando se logra cumplir las técnicas en el proceso de perforación y voladura se incrementa los parámetros de avance en la ejecución de un frente; se tendrá un mejor avance lineal, una reducción del consumo de explosivos por metro cubico, mínima sobre excavación y una reducción de gases producto de la voladura.	Variables de avance	Avance lineal	metros
				Factor de potencia	Kg. /m ³ .
				Sobre excavación	Metros

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

Los objetivos planteados en la investigación, orientados a los niveles descriptivo, correlacional y explicativo, permiten clasificarla como un estudio de carácter aplicado.

En su obra “Metodología de la Investigación”, Sampieri, H. y Collado, F. (2014) presentan un ejemplo de las distintas modalidades de investigación, señalando que la primera fase consiste en comprender un fenómeno para posteriormente intervenir y resolver problemas de naturaleza práctica mediante el uso del método científico, propio de los estudios explicativos.

3.2. Nivel de investigación

Este estudio puede clasificarse como una investigación de nivel descriptivo. Con el propósito de optimizar el desempeño del barreno SN821W en la U.E.A Carahuacra, se desarrolló un procedimiento integral que incorporó actividades de capacitación en técnicas de perforación y voladura. La

información obtenida se presenta mediante promedios y frecuencias, lo que permite caracterizar y estimar los parámetros evaluados.

3.3. Métodos de investigación

Se distinguen esencialmente dos grandes grupos de métodos de investigación: el método lógico y el método empírico. El método empírico se apoya en el conocimiento derivado de la experiencia directa, incluyendo la observación, mientras que el método lógico se sustenta en el razonamiento mediante principios de deducción, análisis y síntesis (R. Custodio, 2019).

Sobre la base de lo anterior, se establece que en esta investigación se aplicará el enfoque empírico mediante la observación investigativa, complementado con los métodos lógicos: inductivo, sintético y analítico.

3.4. Diseño de Investigación

El diseño de la investigación implica un estudio cuantitativo, no experimental, transversal, descriptivo y correlacional. Los resultados del método de perforación y voladura se describieron en un conjunto de datos de referencia. Tras la capacitación, se realizaron pruebas y los resultados de la comparación entre perforación y voladura en túneles se utilizaron para un análisis descriptivo.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Conformado por los subniveles de preparación de los diferentes niveles de la U.E.A. Carahuacra:

- Subniveles de preparación del nivel 970
- Subniveles de preparación del nivel 1 020
- Subniveles de preparación del nivel 1 070 y 1 220

3.5.2. Muestra

Subnivel SN_821W, del nivel 1 070, de la U.E.A. Carahuacra

3.6. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

➤ Técnicas empleadas

✓ Toma de información

Los datos se recopilaron inmediatamente a partir de las operaciones de perforación y voladura en las galerías de la mina.

✓ Observación directa

Antes y después de la capacitación fue posible observar directamente, en campo, los resultados obtenidos en las operaciones de perforación y voladura.

✓ Información bibliográfica

Se empleó el método de lectura de bibliografías textuales para mejorar la comprensión de los procedimientos de perforación y voladura en galerías.

➤ Instrumentos de recolección de datos

✓ Materiales

- Informe de características del macizo rocoso del nivel 5000
- Plan de análisis estructural de subniveles
- Estrategia de evaluación de la zona plástica en subniveles
- Registro de informes de perforación de subniveles
- Registro de informes de voladura de subniveles

✓ Equipos

- Laptop
- Equipo de captación de gases

- Picota
- Celular
- Flexómetro
- Software
- Microsoft Excel.
- SPSS 25

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

Los informes recopilados durante el proceso de recolección de datos constituyeron la fuente de los datos de campo utilizados en esta tesis.

Los informes de voladura entregados al departamento de perforación y voladura de la empresa minera se utilizaron para validar los resultados relativos al avance lineal, el factor de potencia, la sobreexcavación y otros criterios. Se consultó al departamento correspondiente sobre estos resultados.

Dado que los datos se recopilaron in situ y en tiempo real, se garantiza su fiabilidad. Los hallazgos y conclusiones de cada estudio se coordinaron con las áreas pertinentes de preparación y desarrollo.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento de datos se utilizaron formatos de datos de campo; todos estos datos se organizaron mediante promedios y frecuencias a través de la transcripción. Posteriormente, se utilizó el programa Excel para iniciar el análisis de los datos con el fin de crear una base de datos, organizar los números y generar tablas y gráficos dinámicos.

3.9. Tratamiento estadístico

Para el análisis estadístico, se aplica un primer nivel de estudio basado en métodos de estadística descriptiva, como el cálculo de frecuencias relativas y

promedios, además de la elaboración de tablas de contingencia e histogramas. Estas herramientas permiten organizar y examinar adecuadamente los datos de campo.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

El presente estudio es original y se sustenta en informes provenientes de diversos repositorios empleados para recopilar el marco teórico, los cuales se citan a lo largo de la tesis. La bibliografía incluye también la información contextual necesaria. Asimismo, el análisis, la discusión y las conclusiones se apoyan en hechos verificables. Cabe señalar que este trabajo se desarrolla a partir de la experiencia adquirida en la U.E.A Carahuacra.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. Seguimiento de la perforación y voladura en los subniveles

El proyecto se inicia primeramente con la observación, monitoreo del ciclo de perforación y voladura en los diferentes sub niveles del nivel 1020, nivel 1070 y nivel 1220, una vez realizado las observaciones de las diferentes labores se toma la decisión de realizar una base de datos de los resultados del sub nivel SN_821W, ubicada en el nivel 1070 por ser un subnivel de preparación que recién se estaba iniciando con fines de explotación del mineral de la zona conformado por las vetas contiguas, el mismo que tendrá una longitud de 900 m. Para el análisis del proyecto se optó por tomar como muestra este subnivel por observar deficiencias en el proceso de perforación del frente ya que el operario desconoce la importancia de ejecutar un buen proceso de la perforación como deben de ser paralelos entre sí, deben tener una misma longitud, no debe haber desviación y deben de ser simétricos de acuerdo con el diseño de la malla de perforación. Como también para el proceso de carguío el operario desconocía la gran importancia del cebo del explosivo, desacople del explosivo, confinamiento del explosivo, numero de retardo de los detonadores; por todo ello se tenía

como resultado baja eficiencia en los resultados del proceso de perforación y voladura. Para mejorar esta baja eficiencia se programa capacitaciones a todo el personal del área en todos los estándares de una buena perforación y voladura. Para programar las capacitaciones se tomó la información de los resultados de la perforación y voladura asimismo se tomó la información de los resultados de la perforación y voladura después de haber ejecutado las capacitaciones para luego realizar el analices de toda la información tomada con el objetivo de demostrar que cumpliendo con los estándares del proceso se obtiene mejores resultados y mayor eficiencia con un personal que tiene conocimiento del proceso.

Habiendo observado que a los operarios le falta el conocimiento de estándares en el proceso de perforación y voladura se programó siete capacitaciones uno en el auditorio y seis en el campo como seguimiento, se consideró:

- Los taladros perforados deben ser paralelos
- Los taladros perforados no deben tener desviación
- Los taladros perforados deben tener una misma profundidad
- Los taladros perforados deben de tener Simetría
- En el carguío se debe considerar el confinamiento del explosivo
- En el carguío se debe considerar el retacado de los taladros
- En el carguío se debe considerar el desacoplamiento de explosivos
- En el carguío se debe considerar el tiempo de los retardos del detonador
- Se debe considerar las propiedades de los explosivos, entre otros a fin.
- Uso de tacos de arcilla en todos los taladros perforados

Para analizar los resultados se ha tomado información de la perforación y voladura antes de la

capacitación del Subnivel de preparación SN_821W para evaluar la eficiencia, para luego relacionar los resultados de la voladura antes y después de la capacitación. En la siguiente tabla se presenta la información:

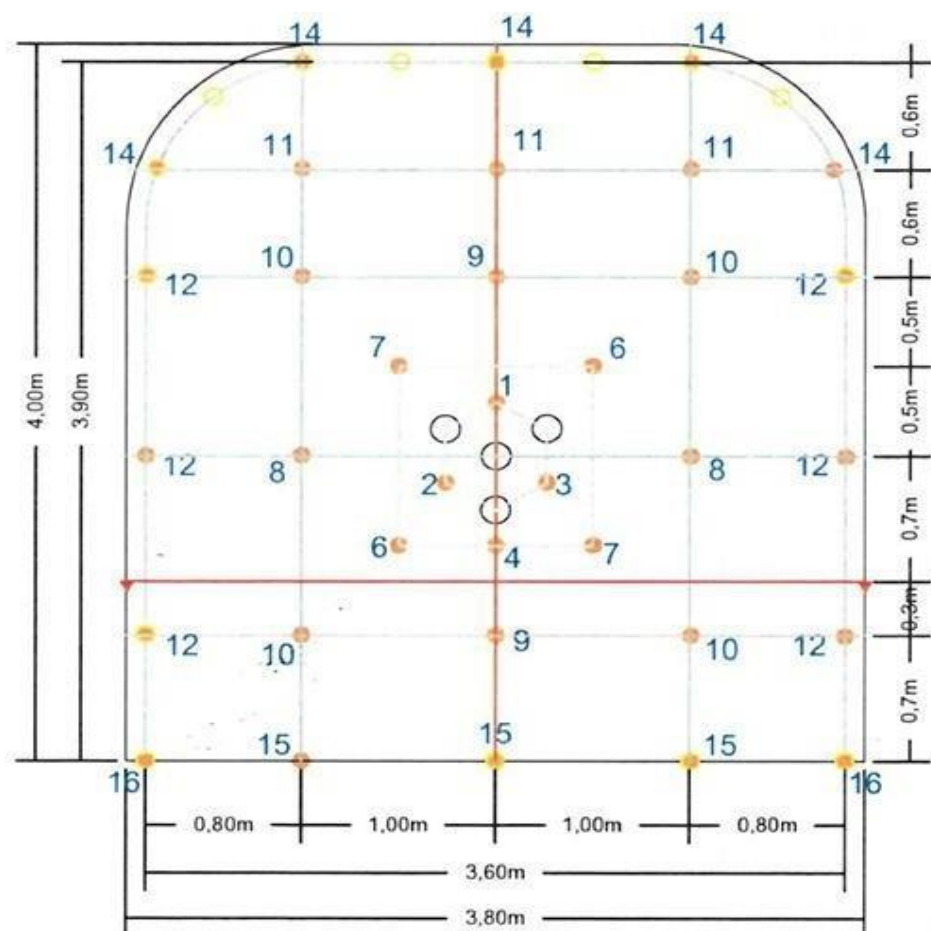
Tabla 6. *Parámetros de perforación y voladura antes de la capacitación*

Operación:	Perforación y voladura de frentes
Lugar: Subnivel de preparación	Nivel 1070 – SN_ 821W
Ancho de sección: (m.)	3.80
Altura de sección: (m.)	4.00
Información de campo	
Parámetros	
Equipo	Jumbo de dos brazos DS 321
Número de taladros Diámetro	43 (cargados 35, rimado 4, alivio contorno 4)
del Taladro Longitud del	45 mm. (rimado 101.6 mm.)
barreno	14 pies (4.20 m.)
Long. Efectiva de perforación	3.70 m.
Eficiencia de perforación Eficiencia	88.0 %
de voladura	86.5 %
PARAMETRO DE EXPLOSIVO	
Explosivo	Emulnor 3000
Densidad	1.12 gr/cm ³
Velocidad de detonación	4210 m/sg.
Diámetro de explosivo	1 1/2"
Longitud de explosivo Peso	12"
del emulnor	390 gramos
N° de cartuchos por taladro	10 cartuchos/taladro
PARÁMETRO DE LA ROCA	
Roca	Tipo III – B
Densidad	3.2 ton/m ³
Resistencia a la compresión	95.56 Mpa.

Fuente: Elaboración propia

Malla de perforación

Figura 20. Malla de perforación 1



Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Parámetros de la perforación y voladura antes de la capacitación

R1: (G.A)

Explosivo: 125.00 kg

Volumen: 53.20 m³.

Avance: 3.5 m.

Factor de Carga: 2.35 Kg. / m³.

Exceso de excavación: 35 cm. R2 (G.B)

Explosivo: 125.00 kg

Volumen: 53.96 m³.

Avance: 3.55 m.

Factor de Carga: 2.32 Kg. / m³. Exceso de excavación: 30 cm.

R3 (G.A)

Explosivo: 125.00 kg

Volumen: 54.72 m³.

Avance: 3.60 m.

Factor de Carga: 2.28 Kg. / m³. Exceso de excavación: 24 cm.

Volumen: 52.44 m³.

Avance: 3.45 m.

Factor de Carga: 2.38 Kg. / m³. Exceso de excavación: 25 cm.

R5 (G.A)

Explosivo: 125.00 kg

Volumen: 53.50 m³.

Avance: 3.52 m.

Factor de Carga: 2.34 Kg. / m³. Exceso de excavación: 20 cm.

R6 (G.B)

Explosivo: 125.00 kg

Volumen: 53.00 m³.

Avance: 3.48 m.

Factor de Carga: 2.36 Kg. / m³. Exceso de excavación: 29 cm.

R7 (G.A)

Explosivo: 125.00 kg

Volumen: 53.35 m³.

Avance: 3.51 m.

Factor de Carga: 2.34 Kg. / m³. Exceso de excavación: 26 cm.

R8 (G.B)

Explosivo: 125.00 kg

Volumen: 53.81 m³.

Avance: 3.54 m.

Factor de Carga: 2.32 Kg. / m³. Exceso de excavación: 24 cm. 99 (G.A)

Explosivo: 125.00 kg

Volumen: 53.66 m³.

Avance: 3.53 m.

Factor de Carga: 2.33 Kg. / m³. Exceso de excavación: 20 cm.

Explosivo: 125.00 kg

Volumen: 52.90 m³.

Avance: 3.48 m.

Factor de Carga: 2.36 Kg. / m³. Exceso de excavación: 29 cm.

Calidad de perforación y voladura

Tabla 7. *Parámetros de calidad de la perforación y voladura antes de la capacitación*

Calidad de PV	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10
Taladros paralelos	No	no	si	no	no	no	si	no	no	no
Taladros con misma longitud	No	no	no	si	si	no	no	no	no	no
Simetría de taladros	No	si	si	no	no	no	no	si	no	No
Desviación de taladros	si	si	no	si	si	si	si	no	si	Si
Control de retardos	no	no	no	si	no	si	no	no	no	No
Desacoplamiento	no	no	no	no	no	no	no	no	no	no
Confinamiento	no	no	no	si	si	no	no	no	si	No

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Parámetros de perforación y voladura después de la capacitación

Información:

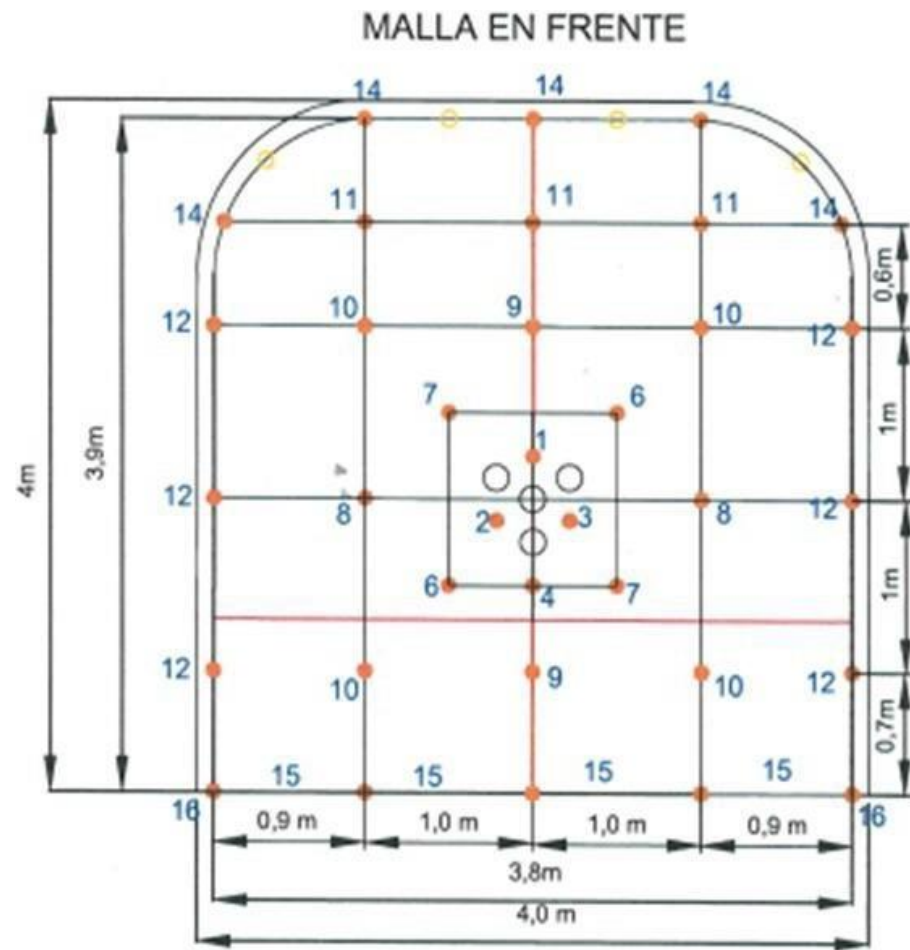
Tabla 8. *Parámetros de perforación y voladura después de la capacitación*

Operación:	Perforación y voladura de subniveles
Zona:	Nivel 1070 – SN_821W
Ancho de sección:	4:00 m.
Altura de sección:	4.00 m.
Campo	
Datos de perforación	
Equipo de Perforación	Jumbo de dos brazos DS 321
Número de taladros	46 (cargados 35, rimados 4, alivios de contorno 7)
Diámetro del Taladro	45 mm. (rimado 101.6 mm.)
Longitud del barreno	14 pies (4.20 m.)
Perforación efectiva Ef.	3.90 m.
En la perforación Ef. En	92.8 %
la voladura	95 %
Características del explosivo	
Explosivo	Emulnor 3000 - 1000
Densidad	1.12 gr/cm ³
VOD	4210 m/sg.
Diámetro	1 ½” pulgada
Longitud	12 pulgadas
Peso del explosivo	390 gramos y 270 gramos
Cartuchos por taladro	9 -10 cartuchos/taladro de producción (emulnor 3000) 7 cartuchos taladros de alzas y caja sup. (emulnor 1000)
CALIDAD DE ROCA	
Roca Densidad	Tipo III-B
Resistencia a la compresión	3.2 ton/m ³ 95.56 Mpa.

Fuente: Elaboración propia

Malla de perforación

Figura 21. Malla de perforación 2



Fuente: Elaboración propia

R1 (G.A)

Explosivo: 112.5 kg

Volumen: 58.40 m³.

Avance: 3.65 m.

Factor de Carga: 1.93 Kg. / m³. Exceso de excavación: 2 cm.

R2 (G.B)

Explosivo: 112.5 kg

Volumen: 59.20 m³.

Avance: 3.70 m.

Factor de Carga: 1.90 Kg. / m³. Exceso de excavación: 1 cm.

R3 (G.A)

Explosivo: 112.5 kg

Volumen: 57.60 m³.

Avance: 3.60 m.

Factor de Carga: 1.95 Kg. / m³. Exceso de excavación: 2 cm.

R4 (G.B)

Explosivo: 112.5 kg

Volumen: 58.08 m³.

Avance: 3.63 m.

Factor de Carga: 1.94 Kg. / m³. Exceso de excavación: 1 cm.

R5 (G.A)

Explosivo: 112.5 kg

Volumen: 58.72 m³.

Avance: 3.67 m.

Factor de Carga: 1.92 Kg. / m³. Exceso de excavación: 1.5 cm.

R6 (G.B)

Explosivo: 112.5 kg

Volumen: 56.80 m³.

Avance: 3.55 m.

Factor de Carga: 1.98 Kg. / m³. Exceso de excavación: 1 cm.

R7 (G.A)

Explosivo: 112.5 kg

Volumen: 58.88 m³.

Avance: 3.68 m.

Factor de Carga: 1.91 Kg. / m³. Exceso de excavación: 1 cm.

R8 (G.B)

Explosivo: 112.5 kg

Volumen: 57.44 m³.

Avance: 3.59 m.

Factor de Carga: 1.96 Kg. / m³. Exceso de excavación: 2 cm.

R9 (G.A)

Explosivo: 112.5 kg

Volumen: 57.28 m³.

Avance: 3.58 m.

Factor de Carga: 1.96 Kg. / m³. Exceso de excavación: 1 cm.

R10 (G.B)

Explosivo: 112.5 kg

Volumen: 59.36 m³.

Avance: 3.71 m.

Factor de Carga: 1.88 Kg. / m3. Exceso de excavación: 1.5 cm.

Parámetros de perforación y voladura

Tabla 9. *Parámetros de calidad de la perforación y voladura después de la capacitación*

Calidad de PV	PV1	PV2	PV3	PV4	PV5	PV6	PV7	PV8	PV9	PV10
Taladros paralelos	si	si	si	si	No	si	si	si	si	si
Taladros con misma longitud	si	si	No	si	si	si	si	si	si	si
Simetría de taladros	si	si	Si	si	No	si	si	si	si	si
Desviación de taladros	si	si	Si	si	si	si	No	si	si	si
Control de retardos	No	si	Si	si	si	si	si	si	si	si
Desacoplamiento	si	si	Si	si	si	si	si	si	si	si
Confinamiento	si	si	Si	si	si	si	si	si	si	si

Fuente: Elaboración propia

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

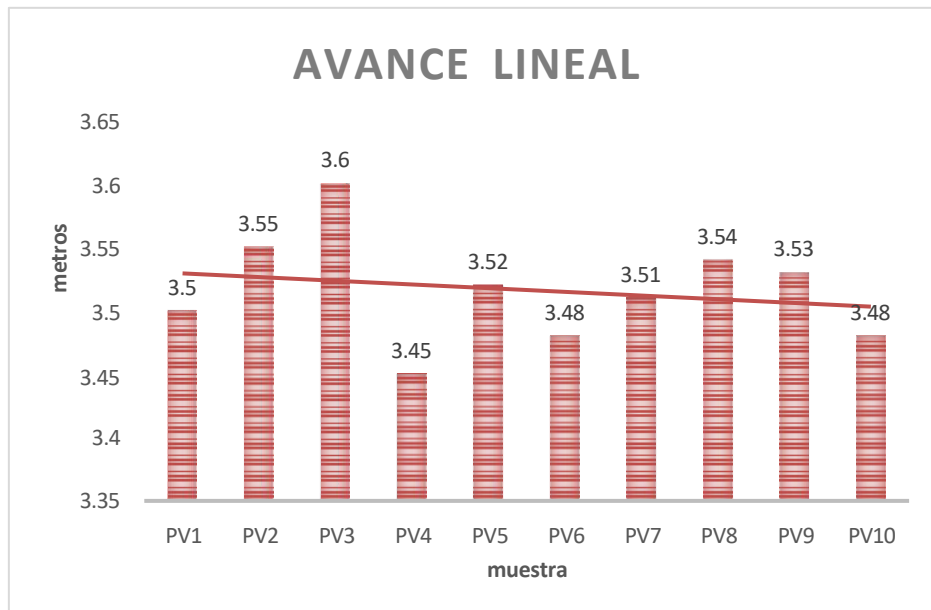
4.2.1. Datos de perforación y voladura sin capacitación

Tabla 10. *Avance efectivo por voladura sin capacitación*

Voladura	Avance Efectivo (m.)	Factor de carga Kg. / m3.	Sobre rotura cm.	M3 Rotos
1	3.50	2.35	35	53.20
2	3.55	2.32	30	53.96
3	3.60	2.28	24	54.72
4	3.45	2.38	25	52.44
5	3.52	2.34	20	53.50
6	3.48	2.36	29	53.00
7	3.51	2.34	26	53.35
8	3.54	2.32	24	53.81
9	3.53	2.33	20	53.66
10	3.48	2.36	29	52.90
Promedio	3.52	2.34	26.20	53.45

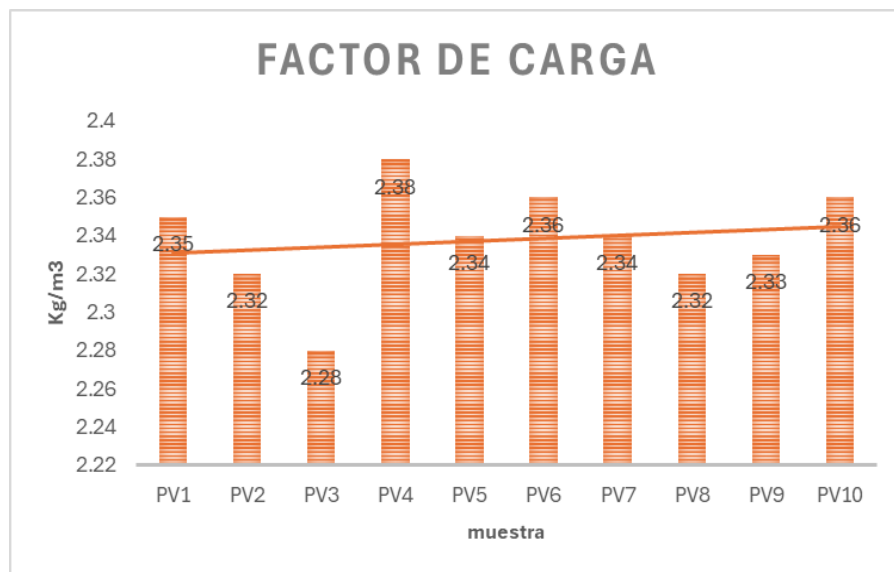
Fuente: Elaboración propia

Figura 22. *Avance efectivo sin capacitación*



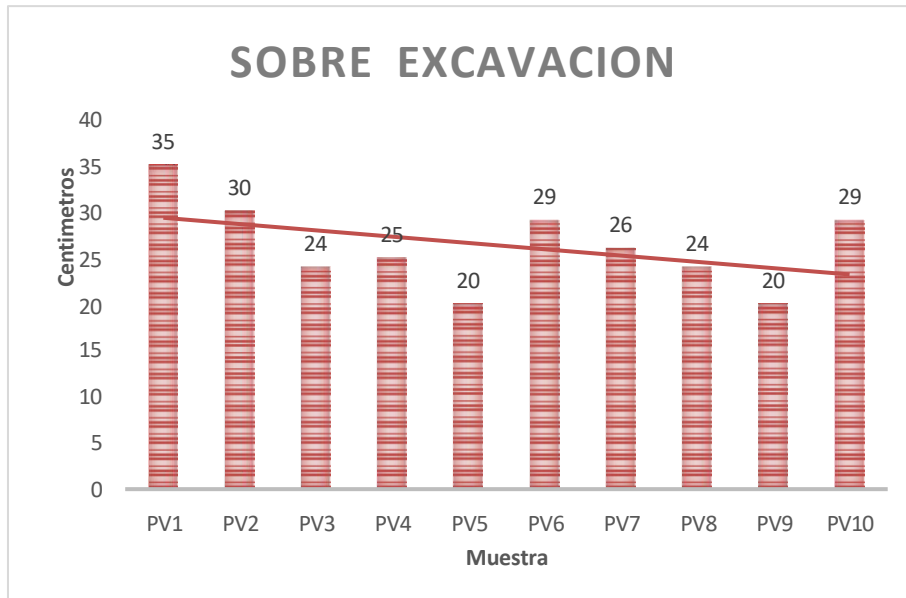
Fuente: Elaboración propia

Figura 23. *Factor de carga sin capacitación*



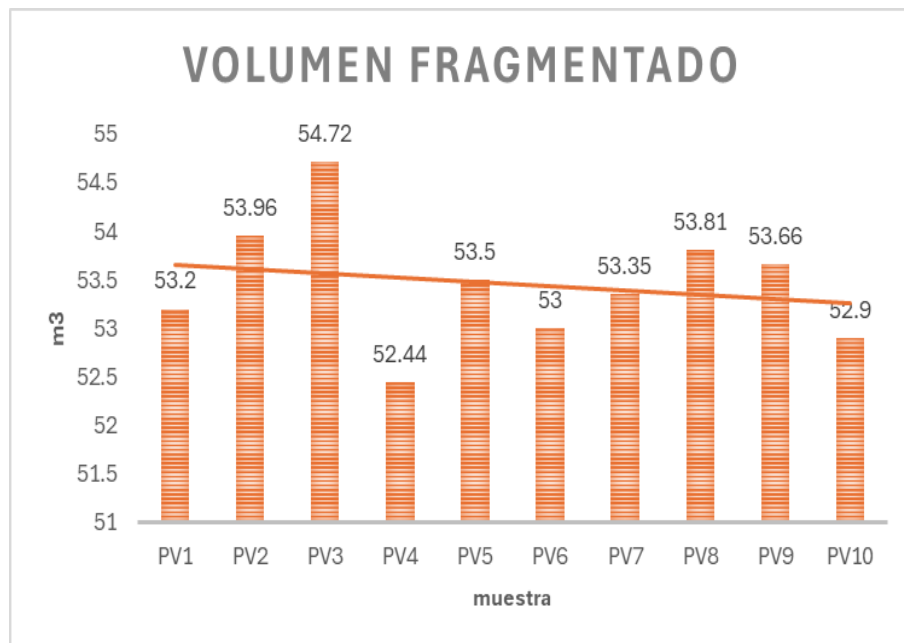
Fuente: Elaboración propia

Figura 24. *Sobre rotura del contorno sin capacitación*



Fuente: Elaboración propia

Figura 25. *Metros cúbicos rotos sin capacitación*



Fuente: Elaboración propia

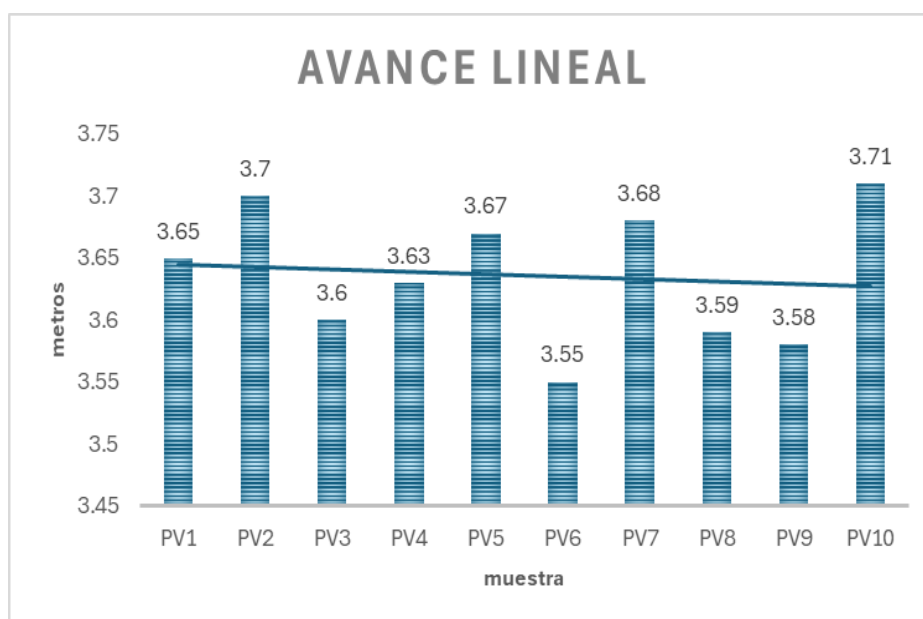
4.2.2. Datos de perforación y voladura después de la capacitación

Tabla 11. Avance efectivo por voladura después de la capacitación

<i>Muestra</i>	<i>Avance Efectivo (m.)</i>	<i>Factor de carga Kg. / m3</i>	<i>Sobre rotura cm.</i>	<i>M3 Rotos</i>
V1	3.65	1.93	2	58.40
V2	3.70	1.90	1	59.20
V3	3.60	1.95	2	57.60
V4	3.63	1.94	1	58.08
V5	3.67	1.92	1.5	58.72
V6	3.55	1.98	1	56.80
V7	3.68	1.91	1	58.88
V8	3.59	1.96	2	57.44
V9	3.58	1.96	1	57.28
V10	3.71	1.88	1.5	59.36
Promedio	3.64	1.93	1.4	58.18

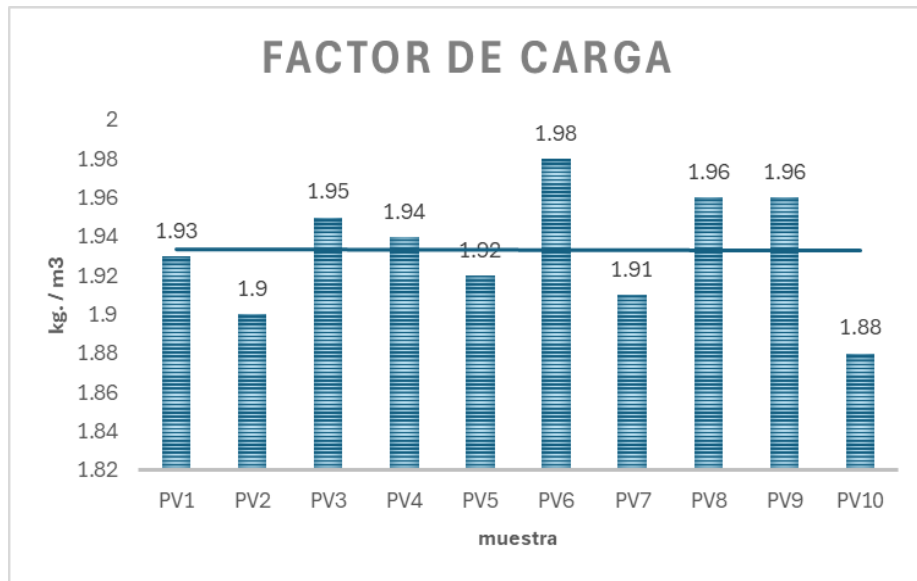
Fuente: Elaboración propia

Figura 26. Avance efectivo por voladura con capacitación



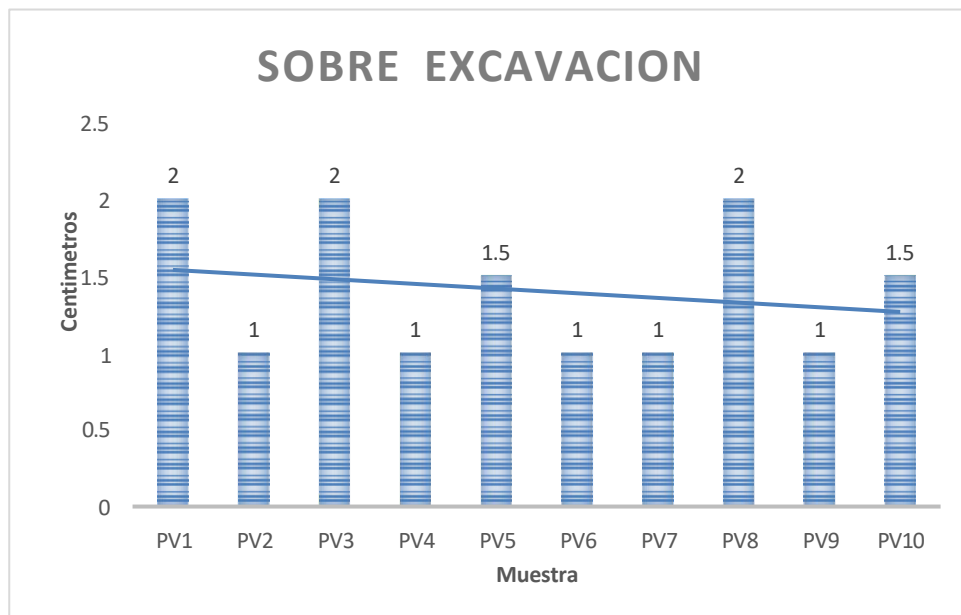
Fuente: Elaboración propia

Figura 27. *Factor de carga con capacitación*



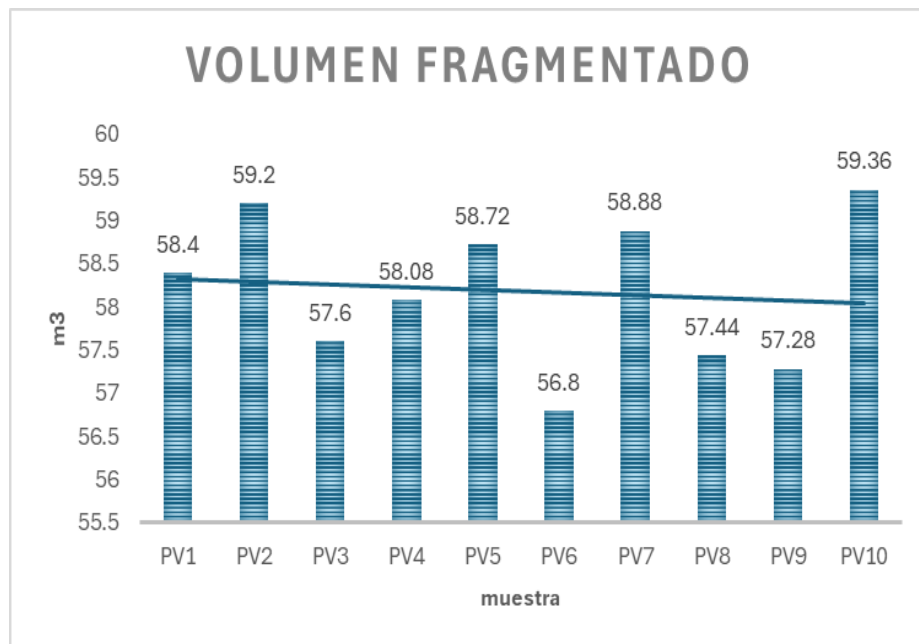
Fuente: Elaboración propia

Figura 28. *Sobre rotura de contorno con capacitación*



Fuente: Elaboración propia

Figura 29. Metros cúbicos rotos con capacitación



Fuente: Elaboración propia

4.2.3. Análisis de datos antes y después de la capacitación

La evaluación de promedios en el proceso de perforación y voladura sin capacitación se obtuvo:

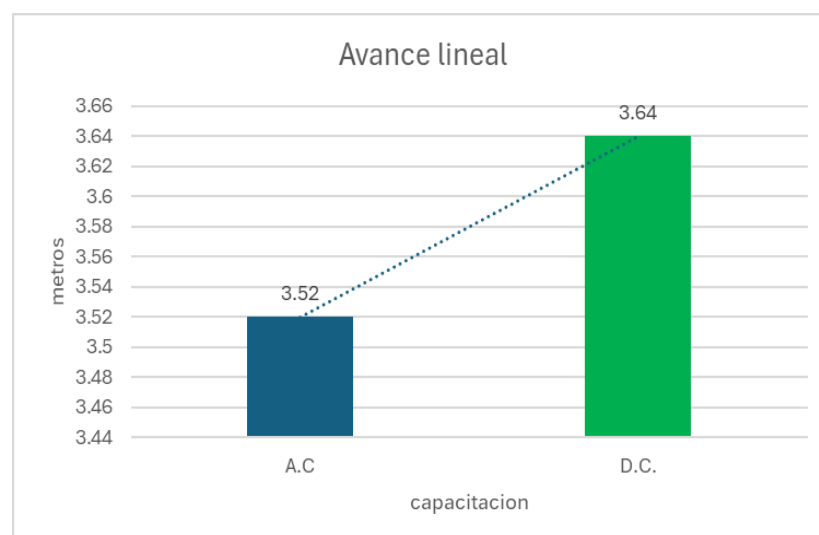
- El número de taladros de la malla de perforación es 43 taladros, barreno utilizado es de 14 pies, con 35 taladros cargados, 4 taladros de alivio del contorno y 4 taladros rimados con mayor diámetro igual a 101.6 mm.
- El avance lineal efectivo en promedio es 3.52 metros por voladura.
- En promedio el factor de carga es 2.34 kilogramos por metro cubico por cada voladura del frente.
- La sobre rotura en promedio es de 26.20 centímetros por voladura
- El volumen fragmentado por voladura en promedio de 53.45 metros cúbicos.

En la evaluación de la perforación y voladura después de la capacitación en promedio se obtuvo:

- El número de taladros de la malla de perforación es 46, el barreno utilizado es de 14 pies, con 35 taladros cargados, 7 taladros de alivio de contorno y 4 taladros rimados con mayor diámetro igual a 101.6 mm.
- El avance lineal efectivo en promedio es 3.64 metros por voladura.
- En promedio el factor de carga es 1.93 kilogramos por metro cubico por voladura.
- La sobre rotura en promedio es de 1.4 centímetros por voladura
- El promedio del volumen fragmentado por es de 58.18 m3.
- Interpretación de los resultados sin y con capacitación

De la figura 30, se observa que el avance efectivo por voladura sin la capacitación es menos en relación con los resultados que se obtuvo luego de la capacitación; se tiene 0,12m. más de avance efectivo. Si por día se realiza 2 voladuras por frente, entonces en un mes se tiene un avance efectivo de 6.00 m. más mensualmente.

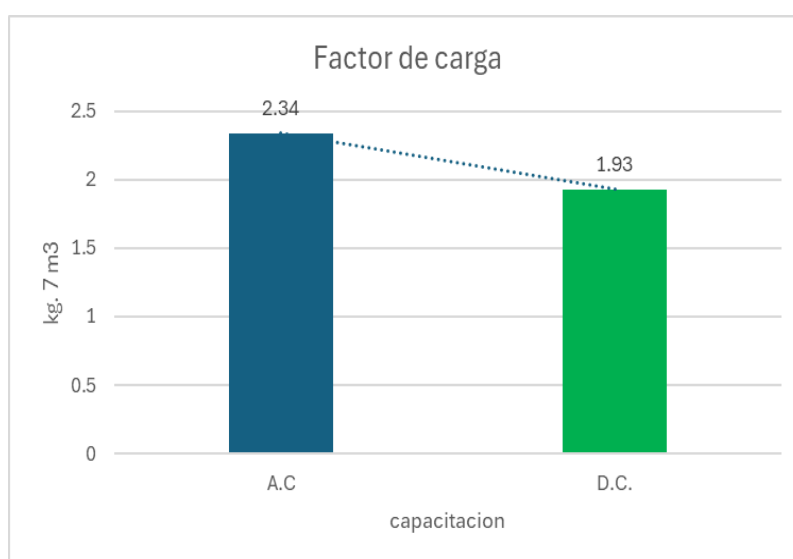
Figura 30. Diferencia en relación de avances lineales



Fuente: Elaboración propia

En la ilustración de la figura 31, se observa que el factor de carga promedio antes de la capacitación por cada voladura es de 2.34, luego de la capacitación el factor de carga promedio es 1.93, el cual disminuye el consumo en 0.41 kilogramos por voladura, por lo que, en 25 días y dos voladuras diarias, se tiene un consumo menor de 20.5 kilogramos por mes.

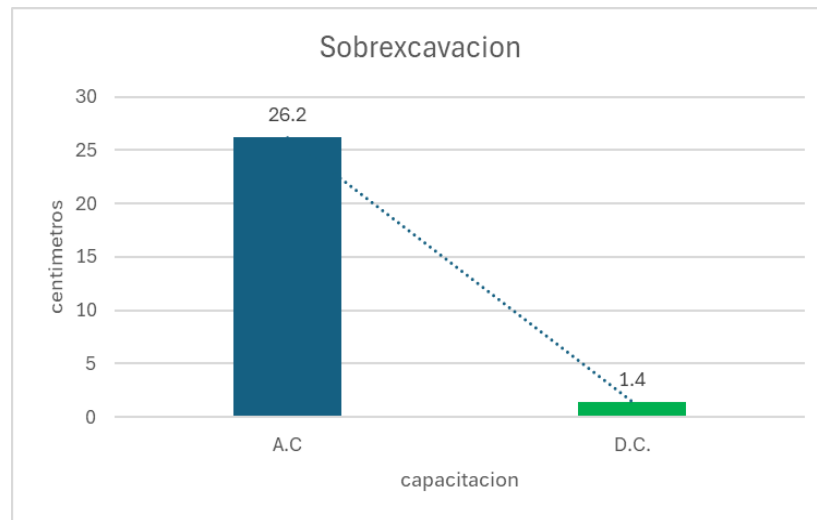
Figura 31. *Diferencia en relación al factor de carga*



Fuente: Elaboración propia

En la ilustración de la figura 32 se observa que antes de la capacitación la sobre excavación del contorno del frente es 26.20 centímetros y luego de la capacitación se obtiene una sobre excavación 1.4 centímetros. Por lo que se concluye que por voladura se obtiene 24.80 centímetros menos en sobre excavación. El resultado es muy significativo ya que el perfil de la labor es más homogéneo.

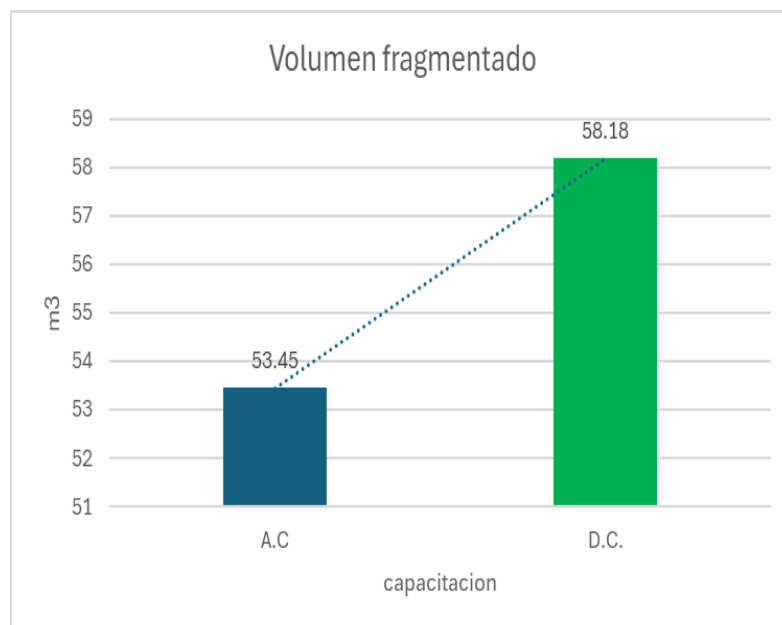
Figura 32. *Diferencia en relación a la sobre excavación*



Fuente: Elaboración propia

En la ilustración de la figura 33 se observa que la relación del volumen fragmentado por voladura se tiene 53.45 m³. antes de la capacitación y se obtiene 58.18 m³. después de la capacitación; obteniendo 4.73 m³. más por voladura. Realizando la evaluación mensual se obtiene 236.50 metros cúbicos más por mes, considerando dos voladuras diarias por 25 días.

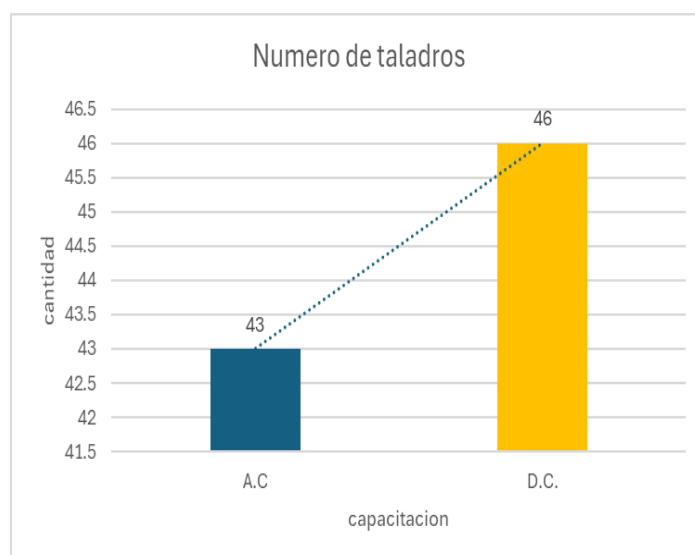
Figura 33. *Diferencia en relación al volumen roto por voladura*



Fuente: Elaboración propia

También cabe hacer notar en cuanto a la malla de perforación antes de la capacitación se perfora 43 taladros por cada voladura, se perfora 39 taladros de 45 mm. de diámetro y 4 taladros rimados de 64 mm. de diámetro; después de la capacitación se perfora 46 taladros por cada voladura, se perfora 42 taladros de 45 mm. de diámetro y 4 taladros rimados de 64 mm. de diámetro; se concluye que se mejora los parámetros solo con la capacitación en el proceso de perforación y voladura.

Figura 34. *Número de taladros por ciclo de perforación*



Fuente: elaboración propia

4.3. Prueba de hipótesis

4.3.1. Hipótesis general

Se tiene como hipótesis “La capacitación en el proceso de perforación y voladura permite incrementar los parámetros de avance en los subniveles de preparación de la U.E.A. Carahuacra.”. Por los resultados obtenidos de las evaluaciones realizadas se obtiene una disminución en el factor de carga y sobre excavación, más se produce un incremento en los parámetros de avance lineal y el volumen fragmentado por cada voladura; obteniendo una eficiencia muy

significativa en los parámetros de producción tal como se muestran en las figuras 30, 31, 32 y 33 respectivamente. Quedando demostrado la hipótesis propuesta.

4.3.2. Hipótesis específicas

a) Prueba de la primera hipótesis específica

La primera hipótesis específica plantea: “Se incrementa el avance lineal con la capacitación en el proceso de perforación y voladura en los subniveles de preparación en la U.E.A. Carahuacra.”. La relación de la información tomada de los resultados de la línea base en perforación y voladura antes de la capacitación y seguidamente de la información tomada de resultados después de la capacitación. Que seguidamente se realizó las evaluaciones correspondientes se demostró que, antes de la capacitación se tenía en promedio el avance lineal de 3.52 m. y luego de la capacitación se llega a un promedio de 3.64 m.; por lo que se concluye que se tiene un incremento muy significativo en relación con el avance lineal.

- **Prueba estadística con la aplicación del SPSS**

Mediante la T de Student relacionando los datos independientes, esta distribución de probabilidad continua se utilizó por tener una muestra pequeña menor a 30, se considera el de significancia $p < 0.05$. Se analizo con el paquete SPSS de la data registrada en perforación y voladura sin y con la capacitación de avance lineal.

Ho: La capacitación técnica en perforación y voladura no mejora el avance lineal. H1: La capacitación técnica en perforación y voladura mejora el avance lineal.

En la figura 35 se detalla los resultados:

Figura 35. Prueba de la primera hipótesis específica

Estadísticas de muestras emparejadas

		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	Fragmentacion	6,400	10	,8756	,2769
	Fragmentacion	4,200	10	,2582	,0816

Correlaciones de muestras emparejadas

		N	Correlación	Sig.
Par 1	Fragmentacion & Fragmentacion	10	-,025	,946

Prueba de muestras emparejadas

Diferencias emparejadas

		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	Fragmentacion - Fragmentacion	2,2000	,9189	,2906	1,5426	2,8574	7,571	9	,000

Activar Windows

Fuente: Elaboración propia

De la figura anterior se interpreta que el avance mejora de una manera significativa con la capacitación técnica en perforación y voladura, antes se obtiene una media de 6.40; un error de estándar de 0.2769 y con la capacitación técnica de perforación se obtiene una media de 4.20; un error estándar de 0.0816; $t(9) = 7.571$; $p = 0.000 < 0.05$.

Por los resultados obtenidos se concluye que la hipótesis nula se descarta (H_0).

b) Prueba de la segunda hipótesis específica

La segunda hipótesis específica plantea: “Se mejora el factor de carga con la capacitación en el proceso de perforación y voladura en el avance en los subniveles de preparación en la U.E.A. Carahuacra”. La relación de la información tomada de los resultados de la línea base en perforación y voladura antes de la capacitación y seguidamente de la

información tomada de los resultados después de la capacitación. Que seguidamente se realizó las evaluaciones correspondientes se demostró que, antes de la capacitación se tenía en promedio un factor de carga de 2.34 Kg. /m³. y luego de la capacitación se llega a un promedio de 1.93 Kg. /m³.; por lo que se concluye que se tiene una mejora muy significativa en relación con el factor de carga.

- **Prueba estadística con la aplicación SPSS**

Mediante la T de Student relacionando los datos independientes, esta distribución de probabilidad continua se utilizó por tener una muestra pequeña menor a 30, se considera el de significancia $p < 0.05$. Se analizo con el paquete SPSS de la data registrada en perforación y voladura sin y con la capacitación del factor de carga.

Ho: La capacitación técnica en perforación y voladura no mejora el factor de carga. H1: La capacitación técnica en perforación y voladura mejora el factor de carga. En la figura 36 se detalla los resultados:

Figura 36. Prueba de la segunda hipótesis específica

Estadísticas de muestras emparejadas						
		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	
Par 1	Factor de potencia	,3260	10	,01350	,00427	
	Factor de potencia	,2510	10	,01287	,00407	

Correlaciones de muestras emparejadas			
	N	Correlación	Sig.
Par 1	Factor de potencia & Factor de potencia	,218	,546

Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas		95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	Sig. (bilateral)
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	Inferior	Superior		
Par 1	Factor de potencia - Factor de potencia	,07500	,01650	,00522	,06320	,08680	14,375
							9
							,000

Fuente: Elaboración propia

De la figura anterior se interpreta que el factor de carga mejora de una manera significativa con la capacitación técnica en perforación y voladura, antes se obtiene una media de 0.3260; error estándar de 0.00427 y con la capacitación técnica de perforación se obtiene una media de 0.2510; error estándar 0.00407; $t(9) = 14.375$; $p = 0.000 < 0.05$).

Por los resultados obtenidos se concluye que la hipótesis nula se descarta (H_0).

c) Prueba de la tercera hipótesis específica

La tercera hipótesis específica plantea: “Se controla la sobre excavación con la capacitación en el proceso de perforación y voladura en el avance en los subniveles de preparación en la U.E.A. Carahuacra.”. La relación de la información tomada de los resultados de la línea base en perforación y voladura antes de la capacitación y seguidamente de la información tomada con los resultados después de la capacitación. Que seguidamente se realizó las evaluaciones correspondientes se demostró que, antes de la capacitación se tenía una sobre excavación del contorno de la labor en promedio de 26.20 cm. y luego de la capacitación se llega a un promedio de 1.4 cm.; por lo que se concluye que se tiene un mejor control muy significativo en relación a la sobre excavación.

- **Prueba estadística con la aplicación SPSS**

Mediante la T de Student relacionando los datos independientes, esta distribución de probabilidad continua se utilizó por tener una

muestra pequeña menor a 30, se considera el de significancia $p < 0.05$. Se analizo con el paquete SPSS de la data registrada en perforación y voladura sin y con la capacitación referente a la sobre excavación.

Ho: La capacitación técnica en perforación y voladura no mejora la sobre excavación del contorno del frente.

H1: La capacitación técnica en perforación y voladura mejora la sobre excavación.

En la figura 37 se detalla los resultados:

Figura 37. Prueba de la tercera hipótesis específica

Estadísticas de muestras emparejadas					
		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	Toneladas rotas	49,3380	10	1,79422	,56738
	Toneladas rotas	60,4800	10	1,39427	,44091

Correlaciones de muestras emparejadas			
		N	Sig.
Par 1	Toneladas rotas & Toneladas rotas	10	,206

Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas					
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		
					Inferior	Superior	t
Par 1	Toneladas rotas - Toneladas rotas	-11,14200	1,72466	,54538	-12,37574	-9,90826	-20,430
							9
							Sig. (bilateral)
							,000

Fuente: Elaboración propia

De la figura anterior se interpreta que la sobre excavación mejora de una manera significativa con la capacitación técnica en perforación y voladura, antes se obtiene una media de 49.3380; un error estándar de 0.56738 y con la capacitación técnica de perforación se obtiene una media de 60.4800; un error estándar de 0.44091; $t(9) = -20.430$; $p = 0.000 < 0.05$.

Por los resultados obtenidos se concluye que la hipótesis nula se rechaza (H_0).

4.4. Discusión de resultados

En concordancia al título de la investigación “Capacitación en el Proceso de perforación y Voladura para Incrementar las Variables de Avance en los Subniveles de Preparación de la U.E.A. Carahuacra”, se obtiene resultados muy significativos en referencia al incremento de las variables del avance lineal, factor de potencia y la sobre excavación del contorno del frente, las mejoras se pueden observar en la tabla 12.

Tabla 12. *Diferencia en la relación de resultados por capacitación*

Parámetro	Antes de la capacitación	Después de la capacitación
Numero de taladros (unidad)	43	46
Avance lineal/voladura (metros)	3.52	3.64
Factor de carga (Kg. / m ³ .)	2.34	1.93
Sobre excavación del perfil(cm.)	26.20	1.4
Volumen roto por voladura (m ³ .)	53.45	58.18

Fuente: Elaboración propia

A partir de las evaluaciones realizadas en la investigación, de la tabla 12 concluimos:

Con la capacitación en el proceso de la perforación y voladura en los subniveles de la U.E.A. Carahuacra, en cuanto a la variable del avance lineal por voladura se tiene un incremento muy significativo de 0.12 cm., Por lo tanto, se va a incrementar los avances lineales por cada mes mejorando el cumplimiento de los programas.

Con la capacitación en el proceso de perforación y voladura en los subniveles de la U.E.A. Carahuacra, en la variable del factor de potencia también se reduce muy significativamente el consumo de explosivo de 0.41 Kg.

/m3. por cada voladura en relación con el resultado de la línea base, esto va a incidir en la reducción de costos directos muy significativo en los avances de estas labores.

Con la capacitación en el proceso de perforación y voladura en los subniveles de la U.E.A. Carahuacra, en la variable de sobre excavación del contorno de la sección del frente por cada voladura también se logra reducir muy significativamente en 24.8 cm. En relación a los resultados de la sobre excavación de la línea base, desde ya se tiene una mejor eficiencia que va incidir en los resultados de la productividad, logrando un techo más seguro, por lo que se va a tener menores costos en el sostenimiento.

CONCLUSIONES

1. Con la capacitación en el proceso de la perforación y voladura en los subniveles de la U.E.A. Carahuacra se incrementa los parámetros de la voladura en cuanto al avance lineal, en los resultados iniciales se tenía un avance promedio de 3.52 m. con luego de efectuar la capacitación se incrementa a un promedio de 3.64 metros.
2. Con la capacitación en el proceso de la perforación y voladura en los subniveles de la U.E.A. Carahuacra se mejora el parámetro de voladura referente al factor de carga, reduciendo el consumo de kilogramos de explosivo por metro cubico fragmentado, inicialmente sin capacitación se obtiene un promedio de 2.34 kg. / m³. Con la capacitación se obtiene un promedio de 1.93 kg. / m³.
3. Con la capacitación en el proceso de la perforación y voladura en los subniveles de la U.E.A. Carahuacra se reduce significativamente el parámetro de la voladura referente a la sobre excavación. Los resultados de la línea base en promedio se tenía 26.20 centímetros en el contorno de la labor y con la capacitación se logra un promedio de 1.4 cm.
4. Con la capacitación en el proceso de la perforación y voladura en los subniveles de la U.E.A. Carahuacra se incrementa el parámetro referente al volumen fragmentado por voladura, los resultados sin capacitación se obtienen en promedio de 53.45 m³. Con la capacitación se incrementa a 58.18 m³. Lo que significa que se tiene mayor volumen en material estéril para el transporte y relleno detrítico.
5. Con la capacitación en el proceso de la perforación y voladura en los subniveles de la U.E.A. Carahuacra se logró incrementar los parámetros de perforación y voladura se optimizo la eficiencia y productividad.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda considerar la evaluación del cambio explosivo como la emulsión ya que genera menos gas nitroso y es de menor costo.
2. Se recomienda reconsiderar un nuevo diseño de la malla de perforación para seguir mejorando los parámetros de la voladura.
3. Se recomienda realizar un programa de capacitación permanente en el proceso de perforación y voladura para seguir con la mejora en resultados de los frentes de la voladura.
4. Considerar el seguimiento permanente, el registro de información y la evaluación del proceso de la voladura para mejorar la variable de la granulometría; para continuar mejorando la productividad.
5. Se debe desarrollar una investigación de costos y los beneficios económicos al realizar las capacitaciones de operaciones de perforación y voladura con el objetivo de relacionar los costos de resultados de antes y después de la capacitación al personal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Berrospi, V. (2019), Tesis de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, “Optimización de la perforación y voladura para mejorar la zona de profundización en la mina Andaychagua de la Cía. minera Volcan S.A.A.”.
- Calderón J. (2021). *Control estructural para el emplazamiento de vetas y stock monzodiorítico en el distrito minero de Acobambilla*, Perú.
- Chipana, M. (2015). *Tesis Diseño de Perforación y Voladura para Reducción de Costos en el Frente de la Galería Progreso de la Contrata Minera Cavilquis* Corporación Minera Ananea S.A. Puno, Perú: Universidad del Altiplano.
- Díaz, E. (2017), Tesis de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, “Optimización de la perforación y voladura de rocas para maximizar utilidades en la mina Panulcillo de Minera Cruz Ltda.-2016”.
- EACH CHUNGAR, E. (de 2014). *Cartilla de Perforación y Voladura*. Lima, Perú.
- Enaex S.A. (2001). *Curso de Manejo de Explosivos*. Santiago, Chile.
- EXSA S.A. (2015). *Manual Práctico de Voladura*. Lima, Perú: Departamento Técnico de EXSA S.A.
- Famesa Explosivos SAC. (2016). Obtenido de: <http://www.famesa.com.pe/productos/altos-explosivos/emulnor/>
- FAMESA, E. (2019). *Manual de Perforación y Voladura*. Lima, Perú: Editorial COSAS.
- López, C. (2005). *Ingeniería de Túneles*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- López, C. (2012). *Manual de Perforación y Voladura de Rocas*. Madrid: Tercera Edición.
- Mamani, C. (2016). *Tesis Diseño de Perforación y Voladura y su Incidencia en los*

Costos Unitarios en el Balcón III de la Compañía Minera Ananea S.A. Puno, Perú.

Piano, E. (2021). *Plan de Minado*. Unidad Minera Carahuacra. Informe anual.

Puchoc, D. (2021). *Método de explotación corte y relleno ascendente*. Unidad Minera Carahuacra. Informe anual.

Rodriguez R. (2008). *El sistema de fallas Chonta: morfología, cinemática y distribución de yacimientos minerales*, Lima: Sociedad Geológica del Perú, 6 p.

Silvestre, G. (2018). *Aplicación del Método de Explotación por Subniveles en la Unidad Minera Carahuacra*. Junín, Perú: Universidad Continental.

Tolentino, V. (2012). *Métodos de Excavación de Túneles Perforación y Voladura*. UNI-Perú.

Wiese J. & Noble D. (2001). *El sistema de fallas Chonta del Perú Central*, Sociedad Geológica del Perú. Boletín, Vol. 92, p. 29-41.

ANEXOS

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

CARACTERÍSTICAS DEL MACIZO ROCOSO

Características en geomecánica

Las características en geomecánica del macizo rocoso se obtienen de labores existentes, en niveles inferiores.

Cuadro N°01.- Características en geomecánica subnivel. 220W, Nivel 970

Ítem	Estructura	Valoración de la masa rocosa				Descripción
		RMR (1989)	Tipo	GSI	Índice Q	
01	Caja techo	48	III-B	43	0.736	Regular B
02	Caja piso	51	III-A	46	1.166	Regular A
03	Estructura	42	III-B	37	0.293	Regular B

Fuente: U.E.A. Carahuacra

Estado de esfuerzos in-situ del macizo rocoso

La característica geomecánica de la zona rocosa ha sido obtenida de labores existentes, en niveles inferiores.

Cuadro N°02.- Esfuerzos in-situ subnivel 220W, Nv.970

Ítem	Característica		Medida	Unidades
1	Profundidad	Mínima	95.6	m
		Máxima	135.2	m
2	Densidad de roca		2.6	t/m3
3	Gravedad		9.8	m/s2
4	Esfuerzo vertical	Mínima	2.44	MPa
		Máxima	3.44	MPa
5	Relación de poisson		0.3	-
6	Módulo de elasticidad		11.9	GPa
7	Esfuerzo horizontal	Mínima	1.04	MPa
		Máxima	1.48	MPa

Fuente: U.E.A. Carahuacra

Máxima abertura de la excavación

Para determinar la máxima abertura de excavación se ha utilizado el modelo de Barton por la calidad de la masa rocosa y con la estimación del Span se dimensionan las labores mineras, para el sostenimiento o fortificación.

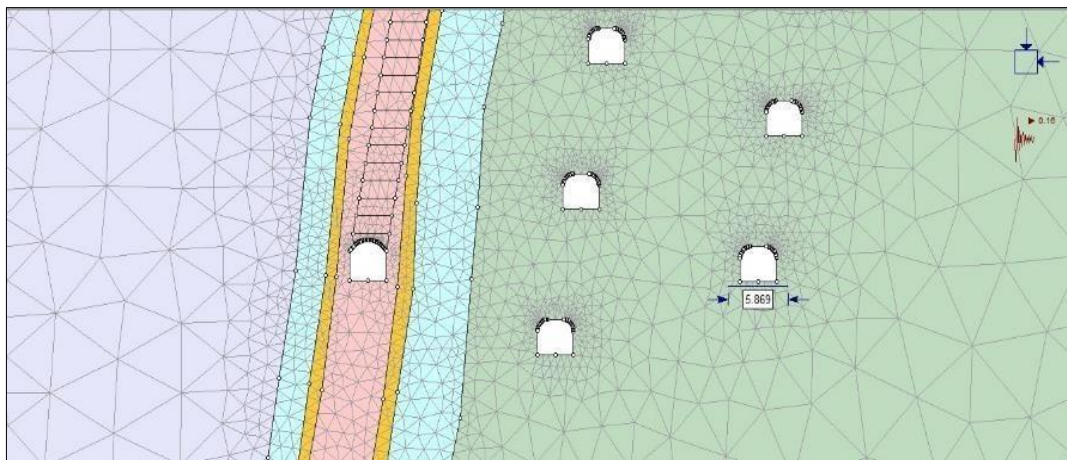
Máxima abertura de la excavación

Cuadro N°03.- Subnivel. 220W, Nivel 970

Tipo de labor	Calidad de roca		Tipo de labor	ESR	Sección (m)	
	RMR	Índice Q			Máxima	Diseño
Rampa	52	2.36	Permanente	1.6	4	4.0 a 4.0
Crucero	48	1.74	Temporal	3	7	3.5 a 3.5
Galería	42	1.29	Temporal	3	6	3.5 a 4.0
Tajo	42	1.29	Temporal	3	6	3.5 a 5.0

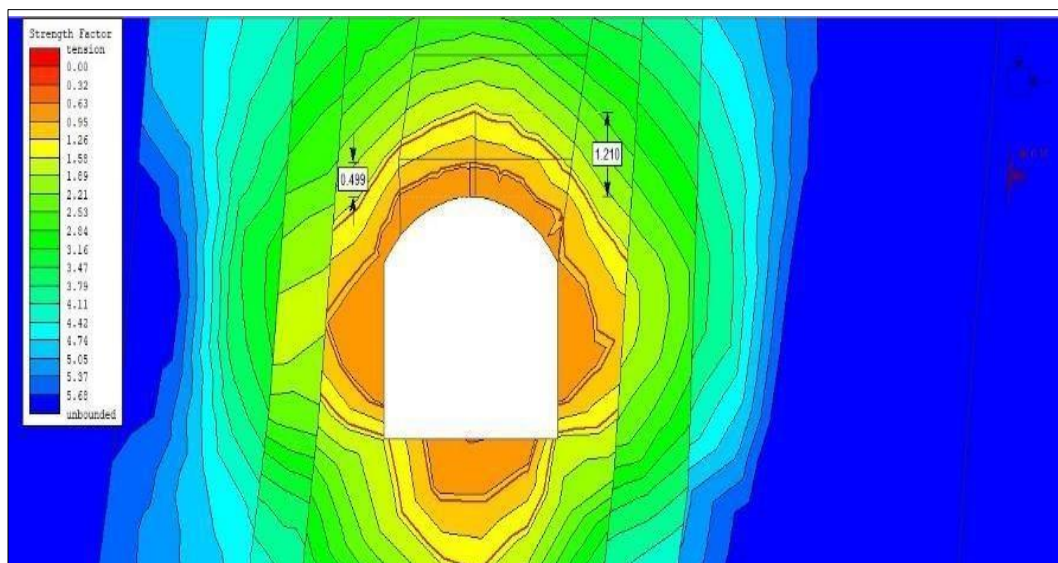
Fuente: U.E.A. Carahuacra

Figura 38. *Análisis estructural en subniveles*



Fuente: U.E.A. Carahuacra

Figura 39. *Zona plastificada en subniveles*



Fuente: U.E.A. Carahuacra

REGISTRO DE DATOS DE LA PERFORACIÓN Y VOLADURA SIN CAPACITACIÓN

Nº de tal. unidad	<i>Avance Efectivo (m.)</i>	<i>Factor de carga Kg. / m3.</i>	<i>Sobre rotura cm.</i>	<i>M3 Rotos</i>
43	3.50	2.35	35	53.20
43	3.55	2.32	30	53.96
43	3.60	2.28	24	54.72
43	3.45	2.38	25	52.44
43	3.52	2.34	20	53.50
43	3.48	2.36	29	53.00
43	3.51	2.34	26	53.35
43	3.54	2.32	24	53.81
43	3.53	2.33	20	53.66
43	3.48	2.36	29	52.90

REGISTRO DE DATOS DE LA PERFORACIÓN Y VOLADURA CON CAPACITACIÓN

Nº de tal. unidad	<i>Avance Efectivo (m.)</i>	<i>Factor de carga Kg. / m3</i>	<i>Sobre rotura cm.</i>	<i>M3 Rotos</i>
46	3.65	1.93	2	58.40
46	3.70	1.90	1	59.20
46	3.60	1.95	2	57.60
46	3.63	1.94	1	58.08
46	3.67	1.92	1.5	58.72
46	3.55	1.98	1	56.80
46	3.68	1.91	1	58.88
46	3.59	1.96	2	57.44
46	3.58	1.96	1	57.28
46	3.71	1.88	1.5	59.36

MATRIZ DE CONSISTENCIA

“Capacitación en el Proceso de Perforación y Voladura para Incrementar las Variables de Avance en los Subniveles de Preparación de la U.E.A. Carahuacra”

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Método	Población y muestra
<p>General ¿Es posible incrementar las variables de avance en los subniveles de preparación de la U.E.A. Carahuacra con la capacitación en el proceso de perforación y voladura?</p> <p>Específicos a) ¿La capacitación en el proceso de perforación y voladura permitirá incrementar el avance lineal de los subniveles de preparación en la U.E.A. Carahuacra? b) ¿La capacitación en el proceso de perforación y voladura permitirá mejorar el factor de potencia en el avance de los subniveles de preparación de la U.E.A. Carahuacra? c) ¿La capacitación en el proceso de perforación y voladura permitirá controlar la sobre excavación en el avance de los subniveles de preparación de la U.E.A. Carahuacra?</p>	<p>General Incrementar las variables de avance de los subniveles de preparación en la U.E.A. Carahuacra con la capacitación en el proceso de perforación y voladura.</p> <p>Específicos a) Incrementar el avance lineal en los subniveles de preparación de la U.E.A. Carahuacra con la capacitación en el proceso de perforación y voladura. b) Mejorar el factor de potencia en el avance de los subniveles de preparación de la U.E.A. Carahuacra con la capacitación en el proceso de perforación y voladura. c) Controlar la sobre excavación en el avance de los subniveles de preparación de la U.E.A. Carahuacra con la capacitación de técnicas en el proceso de perforación y voladura.</p>	<p>Hipótesis general La capacitación en el proceso de perforación y voladura permite incrementar los parámetros de avance en los subniveles de preparación de la U.E.A. Carahuacra.</p> <p>Hipótesis específicas a) Se incrementa el avance lineal con la capacitación en el proceso de perforación y voladura en los subniveles de preparación en la U.E.A. Carahuacra. b) Se mejora el factor de carga con la capacitación en el proceso de perforación y voladura en el avance de los subniveles de preparación en la U.E.A. Carahuacra. c) Se controla la sobre excavación con la capacitación en el proceso de perforación y voladura en el avance de los subniveles de preparación en la U.E.A. Carahuacra.</p>	<p>Variable independiente X: Capacitación en el proceso de perforación y voladura en el avance de los subniveles de preparación en la U.E.A. Carahuacra</p> <p>Variable Dependiente Y: Incrementar las variables de avance en los subniveles de preparación de la U.E.A. Carahuacra.</p>	<p>Tipo de Investigación Los objetivos planteados en la investigación, orientados a los niveles descriptivo, correlacional y explicativo, permiten clasificarla como un estudio de carácter aplicativo.</p> <p>Método de investigación Se distinguen dos grandes grupos de métodos el lógico y el método empírico. Sobre la base, se establece que en esta investigación se aplicará el enfoque empírico mediante la observación investigativa, complementado con los métodos lógicos: inductivo, sintético y analítico.</p>	<p>Población Conformado por los subniveles de los diferentes niveles de la U.E.A. Carahuacra -Los subniveles del nivel 970 -Los subniveles del nivel 1020 -Los subniveles del nivel 1070 -Los subniveles del nivel 1220</p> <p>Muestra Subnivel 821W, del nivel 1070, de la U.E.A. Carahuacra</p>