

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



T E S I S

Aplicación de la emulsión para mejorar los resultados de la voladura en las labores de avance de la Compañía Minera Caravelí S.A.C.

Para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. Josmell FUSTER RIVAS

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 INGENIERIA DE MINAS



T E S I S

Aplicación de la emulsión para mejorar los resultados de la voladura en las labores de avance de la Compañía Minera Caravelí S.A.C.

Sustentada y aprobada antes los miembros del jurado:

Mg. Edwin Elías SANCHEZ ESPINOZA
PRESIDENTE

Mg. Nelson MONTALVO CARHUARICRA
MIEMBRO

Mg. Manuel Mayer CARHUARICRA 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 20154605048 soft
No soy el autor del documento
18.12.2025 20:25:53 -05:00



INFORME DE ORIGINALIDAD N° 065-2025

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. Josmell FUSTER RIVAS

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería de Minas

Tipo de trabajo:

Tesis

Título del trabajo

"Aplicación de la Emulsión para Mejorar los Resultados de la Voladura en las Labores de Avance de la Compañía Minera Caravelí S.A.C."

Asesor:

Mg. UGARTE GUILLERMO Luis Alfonso

Índice de Similitud: **15 %**

Calificativo

APROBADO

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

Cerro de Pasco, 18 de diciembre de 2025.

Sello y Firma del responsable
de la Unidad de Investigación

DEDICATORIA

El divino, que me da luz y siempre está a mi lado;
a mis queridos padres, por sus orientaciones
incondicionales en mi vida profesional.

AGRADECIMIENTO

A los miembros de la Escuela del programa Profesional de Ingeniería de Minas; por sus aportes compartidos y conocimientos que ha sido base fundamental en la formación de mi profesión.

A los Ingenieros del área de voladura de la minera Caravelí, por el apoyo y desarrollo la investigación, asimismo a mis colegas que participaron en el proceso de mi trabajo.

RESUMEN

El trabajo de investigación “Aplicación de la Emulsión para Mejorar los Resultados de la Voladura en las Labores de Avance de la Compañía Minera Caravelí S.A.C.”. La Unidad Minera Caravelí, está explotando minerales polimetálicos, la cual es de tipo subterránea. Mediante la evaluación realizada en la galería de avance se encontró problemas de una sobre excavación existente, debido a una mayor potencia de detonación dentro de los taladros de alta concentración de energía que produce la fragmentación de la roca ya que el explosivo usado actualmente es ANFO el cual posee alto volumen de detonación y expansión, ocasionando como resultado la sobre rotura en las cajas y una granulometría de pequeña dimensión afectando los costos operativos. El objetivo del estudio de investigación reducir la sobre excavación con la aplicación de la emulsión encartuchada en las labores de avance en la minera Caravelí. Para realizar el estudio de investigación ha consistido en su primera etapa en la recopilación de información y observación de la voladura antes con el uso del ANFO y después con el uso de la emulsión encartuchada, se tomaron 10 muestras por cada tipo de explosivo de las cuales fueron analizadas y se concluyó que había una sobre excavación de 61 a 74 cm. en las cajas del frente y después se logró reducir de 10 a 11.5 cm. con el uso de la emulsión encartuchada. También posteriormente, se realizó un análisis granulométrico tanto antes como después de la propuesta llegándose a mejorar significativamente de 1.68” a 5.44”. Se concluye a que se mejora los resultados de la voladura.

Palabras clave: Voladura, labor de avance, ANFO, emulsión.

ABSTRACT

The research work "Application of Emulsion to Improve Blasting Results in the Advancement Works of the Caravelí Mining Company S.A.C." The Caravelí Mining Unit is exploiting polymetallic minerals, which is underground. Through the evaluation carried out in the advance gallery, problems of existing over-excavation were found, due to a greater detonation power within the high-energy concentration drills that produces rock fragmentation. Since the explosive currently used is ANFO, which has a high detonation volume and expansion, causing as a result, over-breakage in the boxes and a small particle size, affecting operating costs. The objective of the research study was to reduce over-excavation with the application of cartridge emulsion in the advance works at the Caravelí mine. To carry out the research study, its first stage consisted of the collection of information and observation of the blasting before using ANFO and then using the emulsion en samples were taken for each type of explosive, which were analyzed. It was concluded that there was an over-excavation of 61 to 74 cm in the face boxes, which was later reduced from 10 to 11.5 cm with the use of the cartridge emulsion. A particle size analysis was also subsequently performed both before and after the proposal, resulting in a significant improvement from 1.68 inches to 5.44 inches. It is concluded that the blasting results were improved.

Keywords: Blasting, advancement work, ANFO, emulsion.

INTRODUCCIÓN

El fin de la investigación: “Aplicación de la Emulsión para Mejorar los Resultados de la Voladura en las Labores de Avance de la Compañía Minera Caravelí S.A.C.”, es mejorar los resultados de la voladura en los frentes de avance, en cuanto a la sobre excavación y granulometría de la minera mencionada; demostrar que con la aplicación de la emulsión encartuchada en el proceso de voladura de los diferentes frentes se obtiene estos objetivos.

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

En el capítulo segundo se desarrolla el marco teórico describiendo las características del método de la voladura remota, los detonadores electrónicos, instrumentos utilizados en este proceso el capítulo es muy importante para poder comprender el desarrollo del proceso de investigación.

En el capítulo tercero se resalta toda la metodología del trabajo de investigación.

En el capítulo cuarto se presenta el resumen del trabajo de campo describiendo el proceso de la voladura con el anfo y la emulsión encartuchada; posteriormente se realiza el análisis y discusión de resultados comparando los indicadores obtenidos en las pruebas de campo de cada método, para demostrar las hipótesis planteadas.

ÍNDICE

Paginas

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
ÍNDICE	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación	3
1.3.	Formulación del problema.....	20
1.3.1.	Problema general	20
1.3.2.	Problemas específicos.....	20
1.4.	Formulación de objetivos	20
1.4.1.	Objetivo general.....	20
1.4.2.	Objetivos específicos	20
1.5.	Justificación de la investigación	21
1.6.	Limitaciones de la investigación	21

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio	22
2.2.	Bases teóricas - científicas.....	26
2.3.	Definición de términos básicos.....	43
2.4.	Formulación de hipótesis	45
2.4.1.	Hipótesis general.....	45
2.4.2.	Hipótesis específicas.....	45
2.5.	Identificación de variables	45
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores	46

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación.....	47
3.2.	Nivel de investigación	47
3.3.	Métodos de investigación	48
3.4.	Diseño de investigación.....	48
3.5.	Población y muestra.....	48
3.6.	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	49
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación....	50
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	50
3.9.	Tratamiento estadístico	50
3.10.	Orientación ética , filosófica y epistémica.....	51

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo.....	52
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	73
4.3.	Prueba de hipótesis	84
4.4.	Discusión de resultados	86

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1 Ubicación de la unidad minera	3
Figura 2 Geología regional de la minera	5
Figura 3 Geología local de la minera	7
Figura 4 Columna estratigráfica de la minera	10
Figura 5 Geología estructural de la minera	13
Figura 6 Detonador ordinario	36
Figura 7 El detonador eléctrico	37
Figura 8 Detonador no eléctrico	38
Figura 9 Detonador electrónico	39
Figura 10 Mecanismo del fracturamiento del macizo rocoso	40
Figura 11 Malla de perforacion	54
Figura 12 Muestra del Superfam DOS	55
Figura 13 Muestra de la dinamita 65.....	56
Figura 14 Muestra del fulminante comun	57
Figura 15 Muestra de la mecha de seguridad	58
Figura 16 Muestra del emulnor	65
Figura 17 Muestra del fanel.....	67
Figura 18 Muestra del cordon detonante	68
Figura 19 Distribución de la emulsión	69
Figura 20 Relación del ancho de sobre excavación	74
Figura 21 Relación del alto de sobre excavación	75
Figura 22 Exceso del ancho de sobre excavación en %	76

Figura 23 Exceso del alto de sobre excavación en %.....	77
Figura 24 Relación de la Granulometría	79
Figura 25 Promedio de sobre excavación - ancho.....	80
Figura 26 Promedio de sobre excavación - alto	81
Figura 27 Promedios de granulometría	82

ÍNDICE DE TABLAS

	Páginas
Tabla 1 Acceso a la mina.....	4
Tabla 2 Espaciamiento de diaclasas	15
Tabla 3 Densidad de explosivos	32
Tabla 4 Resistencia al agua del explosivo	33
Tabla 5 Operacionalización de variables.....	46
Tabla 6 Características técnicas de los explosivos	58
Tabla 7 Distribución de la carga explosiva	59
Tabla 8 Proceso de chispeo para la voladura.....	60
Tabla 9 Características técnicas de la emulsión	68
Tabla 10 Distribución de la emulsión.....	69
Tabla 11 Exceso de sobre excavación	74
Tabla 12 Exceso sobre excavación en porcentaje	76
Tabla 13 Regla de evaluación de la granulometría.....	78
Tabla 14 Granulometría.....	78
Tabla 15 Promedio de sobre excavación	80
Tabla 16 Promedios de sobre excavación en porcentaje	81
Tabla 17 Promedio de granulometría	82

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

Toda empresa minera busca la mayor eficiencia posible en cada una de sus operaciones de la explotación de minerales del yacimiento denunciado; uno de ellos tiene como objetivo de obtener mayores avances en la ejecución de las labores de avance con altos rendimientos en los resultados de las voladuras. Partiendo de este principio el problema planteado en el proyecto de investigación es que al desarrollar galerías, subniveles, rampas, cruceros, accesos, considerando todas las labores de avance en minería en este caso nos centramos en los procesos de la minera Caravelí que en la actualidad los resultados de las voladuras de los frentes de avance, estas generan demasiada sobre excavación la cual genera un alto incremento en las operaciones de limpieza, sostenimiento y seguridad, todo ello influye en el incremento del uso de la maquinaria , transporte, materiales de sostenimiento, personal y mayor tiempo. Por lo cual todo esto menora significativamente en la

eficiencia y rendimientos en los procesos de producción el cual podría ser empleado para realizar otras actividades o acelerar la ejecución de estas labores y tener un trabajo más eficiente y acelerado al realizarse estas, desde ya influye en el cumplimiento del programa de producción de la mina.

Asimismo, el uso de explosivo actual ANFO es un agente explosivo muy potente cuando se encuentra confinado en toda la longitud del taladro el cual genera que se produzca demasiada sobre excavación y mayor fuerza de detonación en la zona del contorno del frente.

Cuando el frente de la onda de tensión generada por la explosión que se propaga, un volumen de roca cilíndrico alrededor del barreno es sometido a una intensa compresión radial desarrollándose esfuerzos de tracción tangenciales, estas tensiones superan la resistencia dinámica a la tracción de la roca formándose una zona con una alta densidad de fracturas radiales, esta zona termina de forma brusca a una distancia donde la tensión tangencial de la onda genera nuevas grietas al contorno de la labor.

El nivel de vibraciones producido por la voladura produce rotura por descostramiento ya que la tensión producida supera la resistencia dinámica a la tracción de la roca.

La acción de los gases a elevada presión y temperatura, que expanden tanto las fracturas preexistentes como aquellas generadas por la onda de compresión, influye de manera significativa en la sobre excavación. Por ello, es recomendable emplear explosivos que liberen un volumen reducido de gases. También en cuanto a la fragmentación se tiene una granulometría muy residual. Para ello se procede a

realizar la evaluación de la voladura actual y los principales causantes de la sobre excavación y la granulometría producto de la voladura

1.2. Delimitación de la investigación

Compañía minera Caraveli S.A.C.

A. Ubicación Geográfica

Compañía Minera Caravelí S.A.C. Se ubica en el distrito de Tocota, provincia de Caravelí, departamento de Arequipa, a una altitud promedio de 1780 msnm. Aquí se ubican las concesiones mineras de la empresa.

Figura 1 *Ubicación de la unidad minera*



Fuente: Área de geología

B. Accesibilidad

La ruta y el acceso comienzan en Lima y continúan por la Carretera Panamericana Sur hasta el km 610.7, donde se ubica el distrito de Chala. Desde aquí, la ruta realiza un pequeño desvío hacia una carretera asfaltada que recorre las comunidades de Chala Viejo, Tocota y Huanuhuanu, recorriendo 36 km, se observa en la tabla 1.

Tabla 1 Acceso a la mina

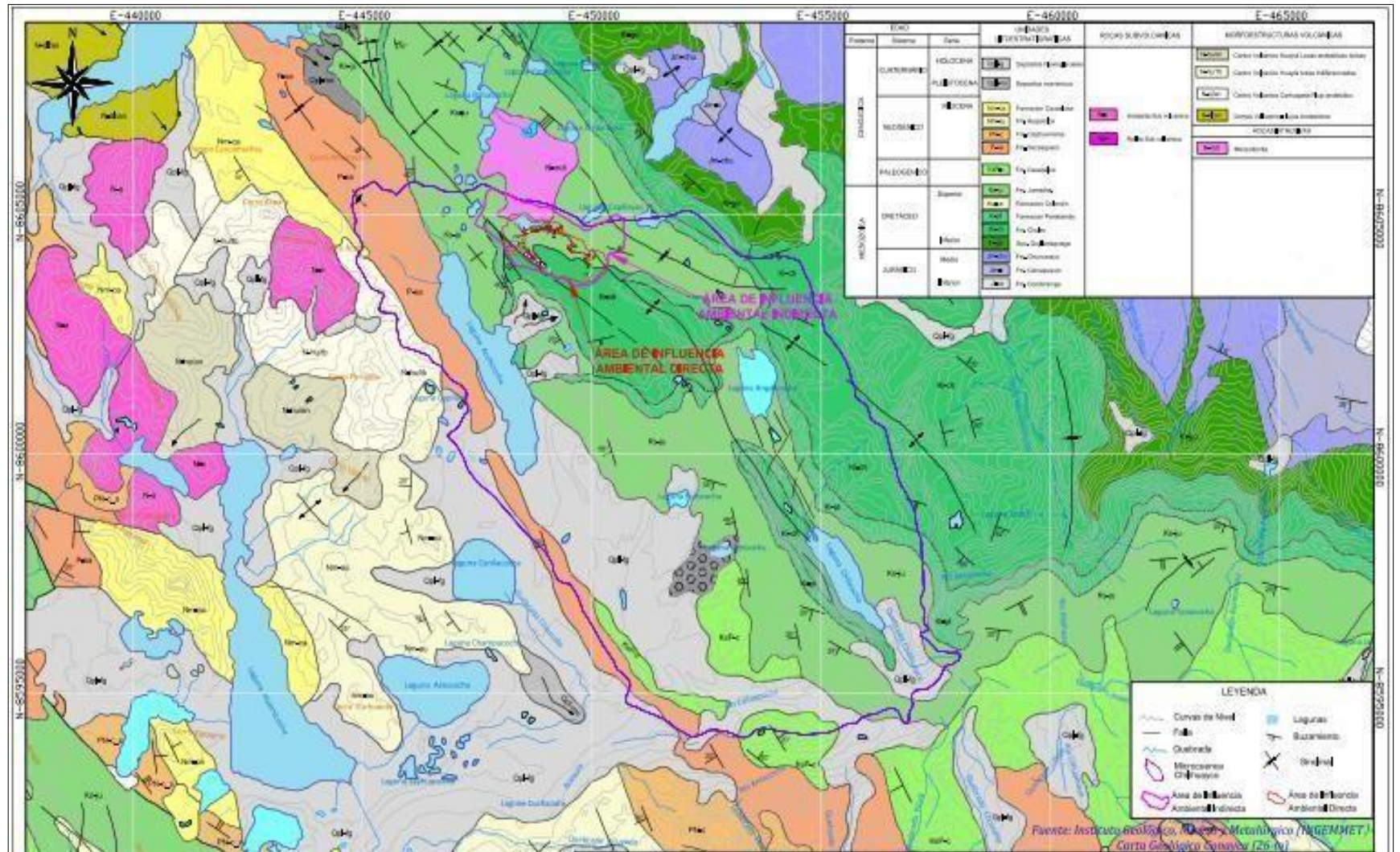
De	A	Tipo de vía	Distancia (km)	Tiempo de viaje (h)
Lima	km 610.7 Panamericana sur	asfaltada	610.7	10.0
km 610.7 (P.S)	Planta de beneficio Chacchuille	carretera afirmada	36.0	1.5
Planta de beneficio Chacchuille	Mina	trocha carrozable	11.5	0.5

Fuente: Área de geología

C. Geología Regional

La franja aurífera Nazca-Ocoña exhibe rocas ígneas plutónicas del batolito costero (Cretácico Superior-Terciario Inferior), entre ellas diorita, tonalita, granodiorita, monzonita y monzodiorita. Las rocas hipabisales subyacentes comprenden brechas producto de intrusiones andesíticas del complejo Bella Unión. En estas zonas se aprecian rocas volcánicas de la Formación Guaneros (Jurásico Superior), con estratos de andesita porfírica verde y gris oscura, caliza y arenisca. El oro se halla en todas las rocas citadas, sobre todo en vetas y, a veces, en acopios (áreas disputadas). Las fracturas surgen de una red de grandes fallas longitudinales, normales o inversas, y de un sistema de fallas transversales con movimientos de rumbo y echado. Los depósitos minerales provienen de procesos hidrotermales ligados a magmas calcoalcalinos, integrados mayormente por cuarzo, pirita y oro.

Figura 2 Geología regional de la minera

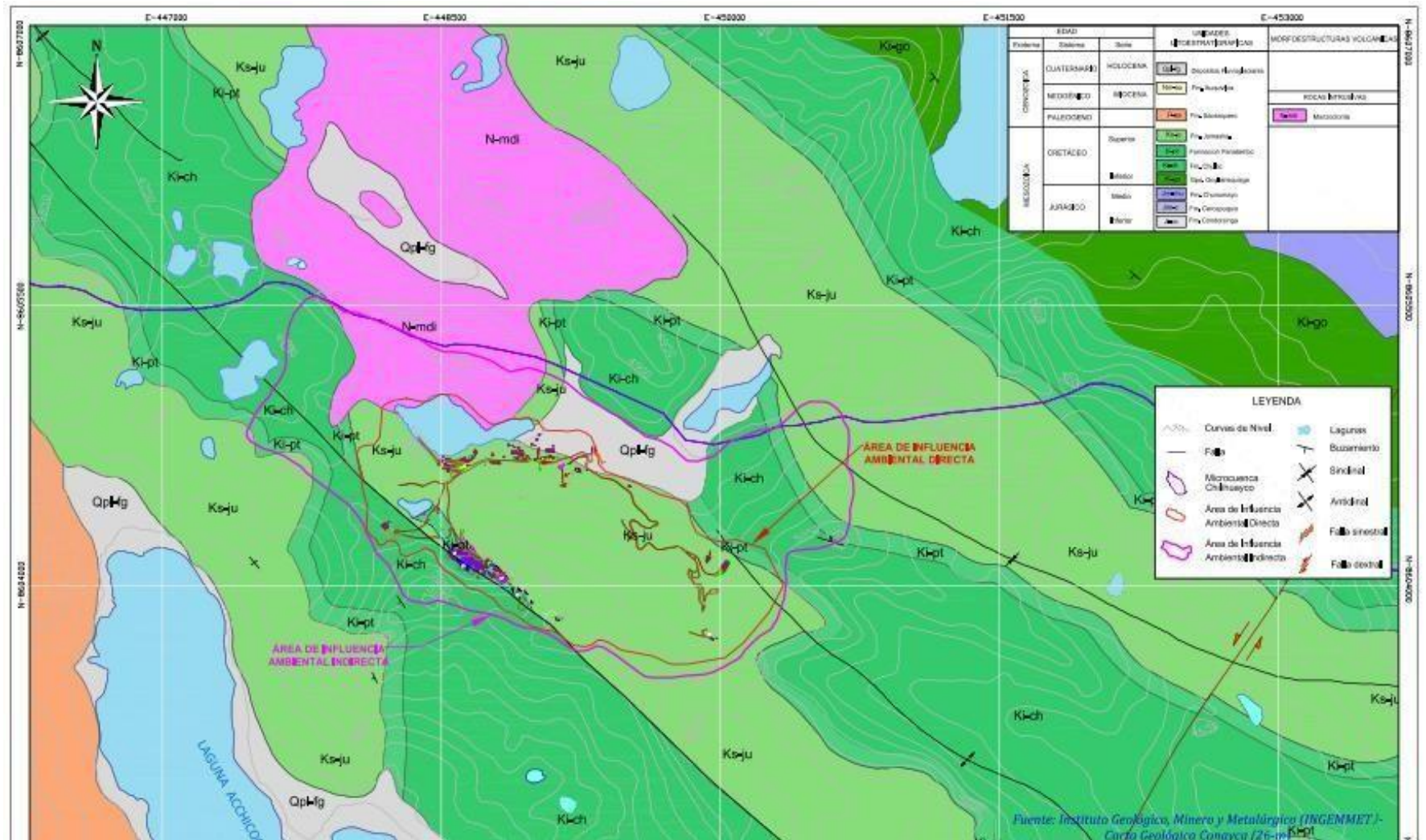


Fuente: Área de geología de la minera

D. Geología local

En la U.E.A. Capitana, propiedad de Caravelí Minera S.A.C., se observa el florecimiento de unidades litológicas, como las rocas intrusivas de Tiabaya en el segmento Batolito de la Costa del Cretácico Superior - Terciario Inferior. Las rocas intrusivas presentan diferentes composiciones, incluyendo dioritas, tonalitas, granodioritas y gabrodioritas. Estas rocas contienen diversas vetas mineralizadas con intensidades y contenido variables. Varios diques atraviesan las rocas plutónicas del Batolito Costero, lo que indica el penúltimo paso de la diferenciación magmática. De igual manera, los diques dioríticos, andesíticos y hornblendíticos son los más comunes en esta zona. Los depósitos cuaternarios se encuentran como rellenos en barrancos y están compuestos por fragmentos de granodiorita, tonalita y diorita enterrados en una sustancia arenoso-arcillosa. El depósito está constituido por estructuras paralelas con rumbo N65°O, con longitudes de afloramiento que oscilan entre 1200 y 2100 msnm., y cuerpos mineralizados emplazados en forma de lentes con espesores que varían entre 0,20 y 1,50 m.

Figura 3 Geología local de la minera



Fuente: Área de Geología de la minera

E. Estratigrafía

La distribución estratigráfica es considerada en la región como sigue.

1. Formaciones Chúlec – Pariatambo (Ki-chp)

Se ubica en las laderas de las colinas del altiplano conformadas por el Miembro Chúlec, formado por lutitas arenosas, arcillas calcáreas y calizas intercaladas con margas calcáreas. En la cima se encuentra el Miembro Pariatambo, compuesto por yeso, caliza bituminosa y bancos de arcilla.

El mineral se descubre en un delgado paquete de estratificación negra en el flanco noreste del barranco. Se trata de una formación bituminosa con nódulos de sílex de un espesor promedio de 120 m, encapsulados en limonitas calcáreas, delgadas capas de caliza y horizontes de lutita.

2. Formación Jumasha (ks-j)

La formación presenta una pendiente noroeste bastante suave y se ubica en el anticlinal andino, junto a la Formación Pariatambo. Cubriendo la Formación Pariatambo con lutitas y calizas, tiene una profundidad promedio de 405 metros y un afloramiento circundante en el área del proyecto. además de la presencia ocasional de chert y capas de margas.

3. Formación Sacsaquero

Areniscas, tobas y rocas limo-argiláceas andesíticas conforman esta sucesión volcánica- sedimentaria. Queda una mínima capa remanente de suelo ligeramente modificado en la superficie, que presenta un relieve extremadamente accidentado y rocoso.

4. *Formación Caudalosa (Ts-ca)*

Es una secuencia volcánica que incluye riolacitas, coladas andesíticas, piroclásticos y areniscas tobáceas. Se encuentra en zonas de terreno suave.

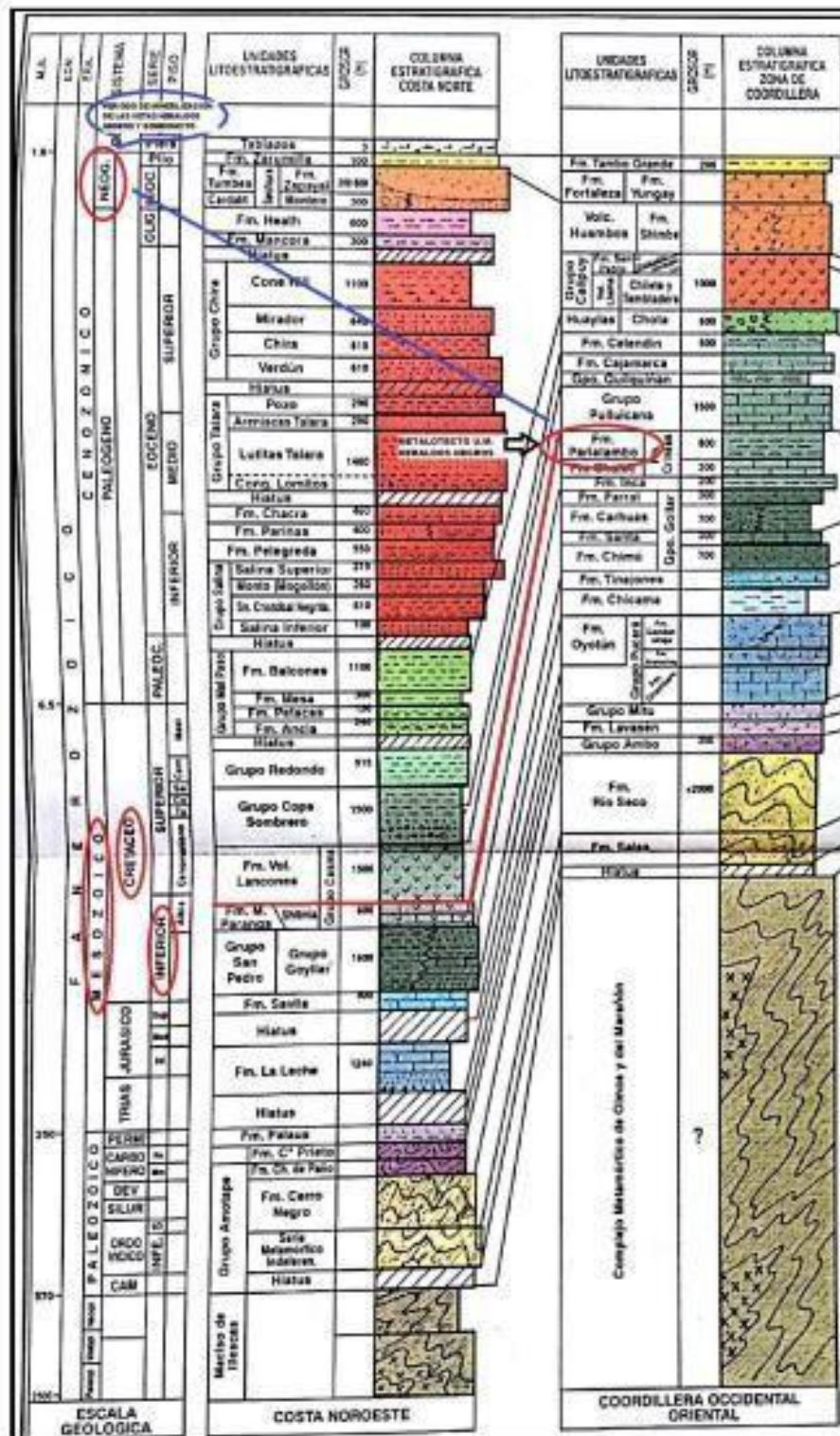
5. *Depósitos Glaciares (Qr-g) y Fluvioglaciares (Qr-tg)*

Se encuentran en colinas bajas y llanuras, y también se conocen como depósitos morrénicos de grava angular, bloques, guijarros y arena redondeada, sin estratificación de arcilla ni limo. El depósito se encuentra en la zona minera y los suelos están compactados. Los depósitos fluvioglaciares se encuentran en zonas con depresiones suaves en la dirección del flujo de agua.

6. *Rocas Intrusivas (t-mdi)*

Se trata de una intrusión de rocas calcáreas en la Formación Jumasha, asociada a los fluidos minerales del yacimiento de la unidad minera. Tiene un tamaño promedio de 1,5 km x 1,9 km y forma parte de la litología terciaria, compuesta por andesitas y un stock intrusivo de origen mozodiorítico..

Figura 4 *Columna estratigráfica de la minera*



Fuente: Área de geología

7. *Geología económica*

La zona de oxidación de las dos zonas de mineralización en la veta La Capitana se debe a fenómenos de lixiviación supérgena de sulfuros primarios. Está compuesta por un relleno de calcita marrón, cuarzo con oro libre y óxidos de hierro (jarosita, goethita y hematita), partes estériles de brechas con matriz arcillosa y fragmentos de cuarzo. Dentro de una ganga de calcita y cuarzo, la zona de sulfuros se compone de pirita, arsenopirita y calcopirita en cantidades menores. Debido a que las lentes mineralizadas están divididas por estructuras que atraviesan una caja a otra, la veta se ha reactivado.

F. *Geología estructural*

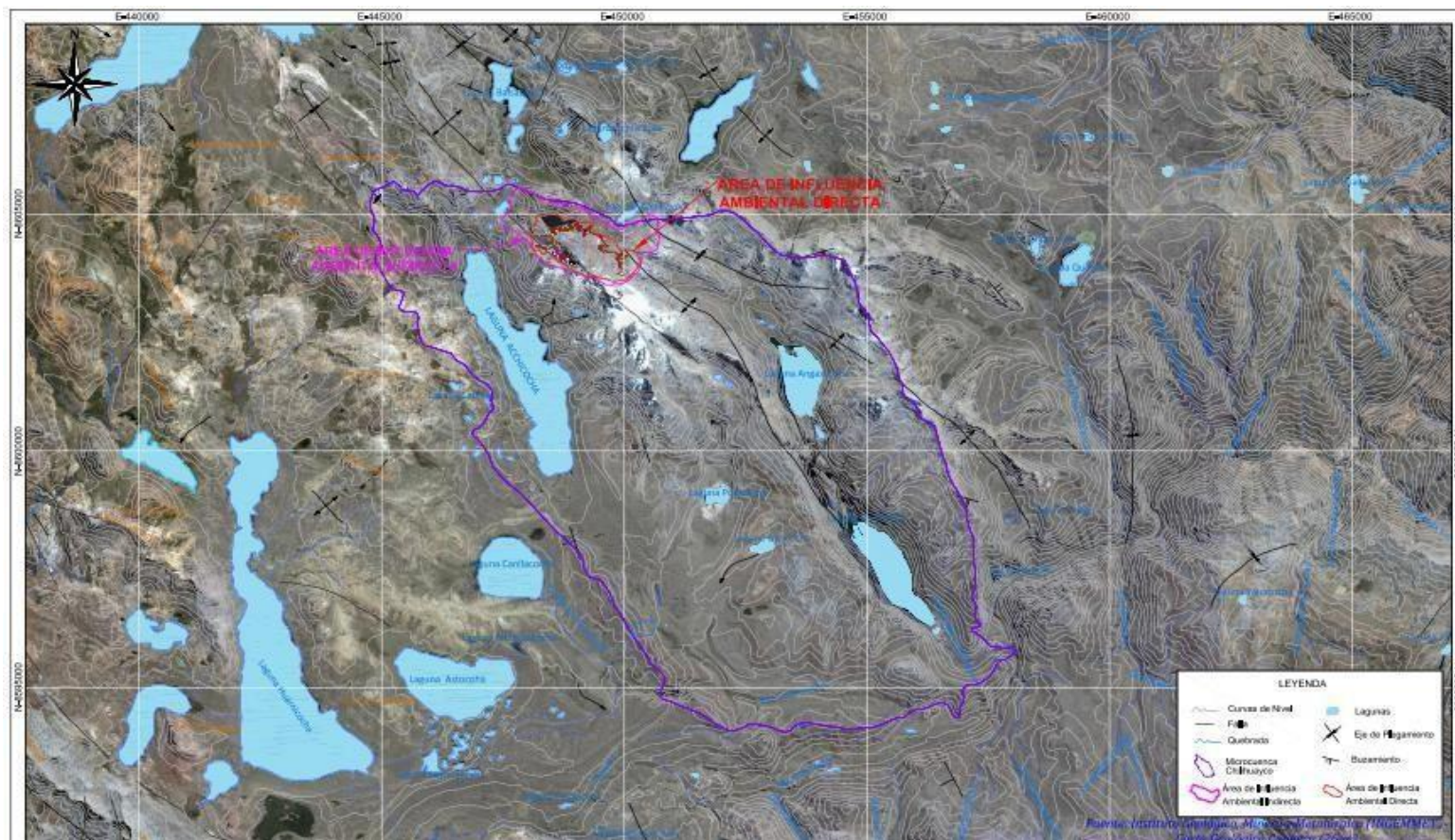
Las diferentes zonas estructurales de mayor relevancia en la región se han diferenciado según la magnitud y estilo de deformación que han sufrido las rocas debido, en parte, a su distinta naturaleza y a la variada intensidad de los esfuerzos que han actuado como consecuencia de los movimientos tectónicos, materializados por pliegues, fallas y diaclasas que se pueden encontrar a lo largo del área.

G. *Fisiografía*

Las elevaciones en esta región oscilan entre los 1000 y los 2100 metros sobre el nivel del mar. La unidad económica administrativa Capitana se encuentra a 1780 metros sobre el nivel del mar, mientras que la planta de procesamiento se encuentra aproximadamente a 1100 metros. El área donde se ubican las instalaciones del proyecto es plana a ligeramente ondulada, típica de las altas

llanuras de la costa sur, y abrupta en las colinas aisladas, con pendientes moderadas en la vertiente occidental de los Andes, lo que permite la observación de pequeñas quebradas.

Figura 5 *Geología estructural de la minera*



Fuente: Área de geología

H. **Clima**

En esta zona, la lluvia es muy reducida, llegando en algunos periodos a ser prácticamente nula. La temperatura en la superficie exterior de la mina oscila entre 18 °C y 21 °C durante la mayor parte del año, con ligeras variaciones en los meses de febrero y agosto. En cuanto al régimen de vientos, las mayores velocidades se registran en marzo y noviembre, con valores que fluctúan entre 3,40 y 3,95 m/s, mientras que las menores se presentan en abril y octubre, con rangos de 2,76 a 3,26 m/s.

I. **Topografía**

La topografía del lugar es bastante rocosa. El accidente topográfico más notable es la quebrada de Chala y sus afluentes, que crean una cuenca con una orientación general noreste y suroeste debido a su diferencia de elevación de hasta 1000 metros. Entre los 1200 y los 3300 metros sobre el nivel del mar se encuentran los puntos más altos. Es importante destacar que este valle ha alcanzado su perfil de equilibrio, profundizando y ensanchando su cauce. Este proceso se produjo rápidamente como resultado de la erosión superficial durante la fase de levantamiento.

J. **Propiedades de la zona mineralizada**

- ***Índice RMR***

Para la evaluación y determinación de la calidad del macizo rocoso, este se divide en dominios estructurales, es decir, en áreas delimitadas por discontinuidades geológicas dentro de las cuales la estructura se considera relativamente homogénea. Dicho macizo está constituido por el conjunto de

fallas, diaclasas, pliegues y otras características geológicas propias de la región.

La clasificación se establece mediante el índice RMR (Rock Mass Rating), que permite valorar la calidad del macizo rocoso a partir de diversos parámetros. Entre ellos se incluye la resistencia a la compresión simple, cuya estimación para distintos tipos de rocas, según Bieniawski.

- ***Espaciado de las juntas***

La separación promedio entre los planos de discontinuidad dentro de cada familia estructural se denomina espaciamiento entre diaclasas. Esto se interpreta como el conjunto de discontinuidades, como diaclasas, fallas o planos de estratificación, que presentan propiedades geomecánicas comparables. Es importante observar que, a medida que aumenta el número de diaclasas, disminuye la resistencia del macizo rocoso. La clasificación del espaciamiento entre diaclasas se muestra a continuación.

Tabla 2 *Espaciamiento de diaclasas*

Descripción	Espaciado de las juntas	Tipo de macizo rocoso
Muy ancho	> 3m	Sólido
Ancho	1 - 3 m	Masivo
Moderadamente cerrado	0.3 - 1 m	En bloques
Cerrado	50 a 300 mm	Fracturado
Muy cerrado	< 50 mm	Machacado

La caracterización de las juntas se realiza a partir de la descripción de su estado, para lo cual se consideran los siguientes parámetros principales:

- ✓ Rugosidad de los labios.
- ✓ Relleno de la junta.
- ✓ Resistencia de la roca en los labios de la discontinuidad.

- ✓ Apertura entre los labios de la discontinuidad.
- ✓ Continuidad (dimensiones) de la junta según rumbo y buzamiento.
- ***Presencia de agua***

El agua tiene un gran impacto en el comportamiento de un macizo rocoso unido, por lo que es importante estimar el caudal en litros por minuto por cada diez metros de túnel. Se utilizan términos como completamente seco, húmedo, agua a presión moderada y agua a alta presión. Orientación de la discontinuidad. Un factor importante a considerar al determinar el soporte requerido es la orientación con respecto al eje de la estructura subterránea. La necesidad de sostenimiento se puede reducir considerablemente orientando correctamente la cavidad.

K. Planeamiento de minado

El sector minero desempeña diversas responsabilidades, como la exploración, el desarrollo, la preparación y la explotación. Esto se realiza para encontrar, examinar, preparar y extraer económicamente estructuras mineralizadas. Galerías, pozos, subniveles, cruces y otras actividades mineras subterráneas se realizan de forma vertical, horizontal e inclinada. Tres niveles (LV 1740, LV 1780 y LV 1820) se utilizan para trabajar en el área típica. Las dimensiones de las labores varían de 0,90 m x 1,80 m a 2,10 m x 2,40 m. Sin embargo, debido al uso de equipos mineros de gran tamaño, en el área semimecanizada se realizan trabajos de gran envergadura, de 2,5 m x 2,5 m a 3,00 m x 3,00 m, en dos niveles, Nv 1700 y Nv 1740. El principal proyecto en ejecución es el desarrollo del crucero 620, el cual contempla una longitud total

de 2200 m. En esta zona, la litología es bastante variable, lo que se refleja en los valores del índice RMR: en terrenos de mala calidad alcanza 35, en condiciones intermedias llega a 48 y en macizos rocosos duros puede alcanzar hasta 61. Debido a esta variabilidad, se realizan evaluaciones y análisis geomecánicos de manera continua para garantizar la seguridad y estabilidad de la obra. Este proyecto persigue dos objetivos fundamentales. El primero es de carácter exploratorio, orientado a la identificación de las diferentes estructuras mineralizadas presentes en la zona, con el fin de evaluar su potencial económico y determinar la viabilidad de su extracción. El segundo objetivo corresponde a labores de preparación, ya que el crucero permitirá establecer la conexión entre dos áreas de trabajo: Esperanza II y Esperanza VI.

L. Método de explotación

La preparación de este método inicia con la división del filón (veta) en bloques de mineral (ore body), siguiendo las Reglas Generales para la división de un yacimiento destinado a su explotación. Para ello, se aprovechan dos galerías consecutivas: una superior y otra inferior, delimitadas lateralmente por chimeneas, lo que permite definir los ore body que posteriormente serán explotados según un plan previamente establecido (leyes, volumen, ciclo de minado, relleno, entre otros). Una vez concluida la fase de preparación, comienza la explotación propiamente dicha mediante el método de corte y relleno. Este proceso se inicia en la parte inferior del bloque mineral, dejando un puente de mineral sobre la galería inferior, desde donde se extrae una franja horizontal (subnivel) dentro de los límites del bloque o cuartel. En los casos en

que el mineral presente una ley alta, es posible optar por no dejar el puente, recurriendo en su lugar a sostenimientos artificiales para asegurar la recuperación total del material. Después de extraer la primera franja, el vacío generado se rellena con material que cumple una doble función: sirve como plataforma de trabajo para el arranque de la siguiente franja y, al mismo tiempo, actúa como sostenimiento de los hastiales.

M. Ciclo de minado

- *Perforación*

En este método de explotación pueden emplearse distintos trazos de perforación para tajeos, los cuales pueden ser horizontales, verticales o inclinados. Taladros horizontales, se caracterizan por disponer de dos caras libres, lo que permite un mayor rendimiento por metro perforado y un menor consumo de explosivos. La perforación se realiza con máquinas tipo jack leg. Taladros verticales, requieren, en primer lugar, la preparación de una pasadura como cara libre, tras lo cual la perforación se efectúa con equipos stoper o jack leg. Este tipo de perforación resulta más cómoda en su ejecución. Taladros inclinados: constituyen una variante de los taladros verticales y presentan ventajas en cuanto a la conformación de la cara libre. De acuerdo con la potencia del filón, la perforación de los taladros se organiza en filas, cuyas mallas pueden disponerse en forma de zigzag, triangular o cuadrada.

- ***Voladura***

Para obtener una voladura adecuada, resulta esencial definir un trazo de malla de perforación óptimo, con lo cual se conseguirá el grado de fragmentación necesario del mineral para facilitar las labores de carguío y transporte. Los explosivos empleados con mayor frecuencia son el ANFO y las dinamitas, mientras que entre los accesorios de voladura destacan el fanel, el cordón detonante y los conectores, los cuales se utilizan en función de si el método aplicado es convencional o mecanizado, ya que cada uno posee parámetros propios.

- ***Limpieza, acarreo y transporte del mineral***

Es la responsable de definir el rendimiento del método. La geometría y el tamaño del tajeo influyen directamente en la limpieza de la labor en relación con el tipo de equipo a emplear; por ello, la limpieza se efectúa únicamente de manera manual (con lampa y carretilla), dado que las labores no presentan dimensiones amplias.

- ***Relleno detrítico***

El material de relleno puede producirse in situ, cortado hacia el tajo y fuera del área minera (externa) en canteras construidas para este fin, o puede extraerse de la propia área minera (interna) —trabajos de preparación en mineral pobre o roca estéril— o puede prepararse para pozos de extracción. Se utilizan pozos auxiliares construidos específicamente para este fin para introducir el relleno. Con la maquinaria adecuada (mecánica o manual), el

relleno se apila uniformemente en franjas horizontales, dejando la altura necesaria para reanudar el ciclo de extracción.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Será posible mejorar los resultados de la voladura en las labores de avance con la aplicación de la emulsión en la compañía minera Caravelí?

1.3.2. Problemas específicos

- a. ¿La aplicación de la emulsión permite minimizar la sobre excavación del resultado de las voladuras de las labores de avance en la compañía minera Caravelí?
- b. ¿La aplicación de la emulsión permite mejorar la granulometría del resultado de las voladuras de las labores de avance en la compañía minera Caravelí?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Mejorar los resultados de la voladura en las labores de avance con la aplicación de la emulsión en la compañía minera Caravelí.

1.4.2. Objetivos específicos

- a. Minimizar la sobre excavación en el resultado de las voladuras de las labores de avance con la aplicación de la emulsión detonante en la compañía minera Caravelí.

- b. Mejorar la granulometría en el resultado de las voladuras de las labores de avance con la aplicación del cordón detonante en la compañía minera Caravelí.

1.5. Justificación de la investigación

El presente proyecto de investigación se justifica en la medida que permitirá aportar al desarrollo operativo de los resultados de las voladuras en las labores de avance de la Compañía Minera Caravelí, enfocándose principalmente en la optimización de la excavación, la granulometría y en una gestión más eficiente de los tiempos del proceso, lo cual se traducirá en un incremento de la productividad e, inevitablemente, en la reducción de costos. Del mismo modo, contribuirá al fortalecimiento del conocimiento técnico y a su aplicación en otras unidades mineras. Asimismo, esta investigación tiene como propósito evaluar de manera técnica los resultados de la voladura actual como línea base, y posteriormente compararlos con la aplicación de emulsión en la Compañía Minera Caravelí. El objetivo es disponer de una alternativa que permita mejorar tanto el proceso como los resultados de la voladura, sirviendo al mismo tiempo como referencia y modelo para futuras investigaciones en otras empresas mineras respecto a las labores de avance.

1.6. Limitaciones de la investigación

En el desarrollo de la investigación no se presentaron limitaciones para la obtención de datos relacionados con la excavación y la granulometría, ya que el departamento de planeamiento, desarrollo y preparación de la Compañía Minera Caravelí brindó todas las facilidades necesarias.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Antecedentes nacionales

Deybarr, M. (2016). En su trabajo para titulación, su tesis que lleva por nombre: “Análisis de perforación y voladura controlada para evitar sobredimensionamiento de galerías en la unidad Antonieta – Compañía de minas Arihua” en la Ciudad de Arequipa concluye lo siguiente:

La presente tesis tiene como propósito principal analizar el estado actual de las actividades de perforación y voladura, con el fin de controlar el sobredimensionamiento de las galerías y reducir el sostenimiento en la Unidad Minera Antonieta de la Compañía Minera Arirahua. Las medidas adoptadas fueron las siguientes: En primer lugar, la investigación se justificó considerando las nuevas estrategias de productividad y conservación ambiental que priorizan la eficiencia de los recursos y la optimización de

procesos en galerías para operaciones de perforación y voladura. Esto se traduce en menores costos de producción directos e indirectos, tanto para la perforación y voladura como para las fases de sostenimiento, lo que aumenta la estabilidad y la seguridad del macizo rocoso. En segundo lugar, el marco teórico incluyó los elementos clave de la voladura controlada en operaciones horizontales, incluyendo la gestión de la carga lineal, la relación entre el espaciamiento y la carga, y la distribución de las perforadoras periféricas. En tercer lugar, se presentó una descripción detallada de la Unidad Minera Antonieta de la Compañía Minera Arirahua, incluyendo su ubicación, accesibilidad, geografía, clima, geología, diseño de la mina y operaciones de la planta y la mina. En cuarto lugar, se incluyeron en la técnica de trabajo el rendimiento de la perforación previa al proyecto, la voladura de galerías, los eventos del proceso de fragmentación, la detonación, el esquema de carga de explosivos y la secuencia de salida.

En este caso es muy importante identificar cada etapa del proceso que se dio para realizar el análisis de la sobreexcavación en la minera Arirahua a lo cual se tiene que dar seguimiento a los pasos que se hicieron para servirnos de base y poder reducir costos en la perforación y voladura de la minera Arirahua como refiere el autor de la tesis mencionada

Turpo, M. (2019). En su tesis de nombre “Minimización de sobre rotura de cajas mediante diseño de voladura controlada en el tajeo de veta Victoria, mina San Rafael MINSUR S.A.” de la ciudad de Puno concluye lo siguiente:

Inicialmente, la metodología del estudio de investigación consistió en recopilar datos y observar voladuras previas en los tajos con el explosivo Examon P, las cuales se registraron en una base de datos. Posteriormente, se diseñó un proceso de voladura controlada con una carga explosiva Exagel-E 65 y tuberías de PVC desacopladas.

Finalmente se han obtenido los siguientes hallazgos y conclusiones: el factor de potencia ha disminuido de 1,64 kg/t a 0,66 kg/t, con una diferencia de 0,98 kg/t; el sobre rompimiento de cajas ha disminuido de 24,36% a 9,48%, con una diferencia de 14,88%; y se ha logrado una menor dilución en el rebaje de la explotación de la veta Victoria en la unidad minera San Rafael MINSUR S.A. – Puno.

En este caso, el objetivo de la investigación es reducir la sobrecarga en el tajo de la veta Victoria de la unidad minera San Rafael, MINSUR S.A. – Puno, mediante voladuras controladas. Para ello, se recopilaron datos e información en la mina.

2.1.2. Antecedentes internacionales.

Rivera, C. (2018). En su tesis “Reducción de la sobre excavación mediante explosivo SUBTEK en mina Esmeralda” de la ciudad de Codelco en Chile concluye lo siguiente:

Para reducir la sobreexcavación en proyectos horizontales en la mina Esmeralda, perteneciente a la División El Teniente de Codelco-Chile, se reemplazará el explosivo ANFO por otro conocido como SUBTEK CHARGE (en adelante, SUBTEK). Dado que se requiere remover menos material y se reducen los costos de fortificación, una menor sobre excavación resultará en un ciclo de desarrollo más corto y menores gastos. El objetivo de cualquier proyecto minero es maximizar la

productividad y minimizar los gastos. El costo del desarrollo horizontal es crucial para el costo operativo de un proyecto subterráneo. Además, el cumplimiento del cronograma de producción, el flujo de caja previsto y la liberación de nuevas reservas dependen del cumplimiento del programa de desarrollo horizontal. La finalización de este programa se verá afectada si se retrasa, ya que requiere un ciclo de desarrollo horizontal más largo. Reducir la sobre excavación contribuirá a cumplir el cronograma de desarrollo, ya que prolonga este ciclo.

- En este caso, el uso de un explosivo con una menor generación de volumen para el explosivo ANFO tiene como objetivo reducir la sobre excavación.
- Lepileo, P. (2018). Su tesis en la Universidad de Chile se titula "Análisis de modos de falla en el proceso de perforación y tronadura". La necesidad de mejorar el proceso de extracción y procesamiento de minerales e implementar planes para reducir los costos asociados ha surgido como resultado del aumento de la inversión extranjera en la minería chilena. El objetivo de este estudio es realizar un análisis de modos, efectos y criterios de falla (AMFE) para las operaciones de perforación y tronadura de Orica Chile S.A. Compañía Minera Doña Inés de Collahuasi y Compañía Minera Spence son dos de las diversas empresas mineras donde se realiza el trabajo. El estudio examina el proceso de tronadura para determinar las causas, las modalidades, el grado de influencia del proceso y las consecuencias de las fallas también se encuesta a los operadores de perforación para obtener datos sobre la criticidad y frecuencia de las fallas. Utilizando la base de datos, se generan gráficos que relacionan las deficiencias causadas por una causa específica con su frecuencia. Tres de las cinco razones

de las fallas más graves del proceso de voladura están directamente relacionadas con los operadores en las distintas fases de la operación, según el estudio. Recomienda acciones preventivas para cada motivo con el fin de evitar insuficiencias y, en consecuencia, los retrasos en la producción que éstas generan. Sugiere también a futuro, una mejora procesos de prevención para deficiencias causadas por diferentes incumplimientos, sugiere que con un estudio más detallado se relacione el campo electromagnético de la conductividad del mineral, se podrían encontrar nuevas medidas de programación de voladuras.

2.2. Bases teóricas - científicas

2.2.1. Perforación en frentes

La manera en que se avanza la sección de un frente depende de varios factores, tales como:

- El equipo de perforación utilizado.
- El tiempo disponible para su ejecución.
- El tipo de roca.
- La malla de perforación.
- El diámetro del taladro.

Si la roca presenta buena competencia las labores con secciones inferiores a 12 m² pueden excavar con perforación y voladura a sección completa, Cuando las propiedades geomecánicas de las rocas impiden la excavación de toda la sección o cuando el túnel es demasiado ancho para que el equipo de perforación lo cubra, se utiliza la excavación por etapas para abrir el túnel.

La cara libre de salida inicial, lo que define la perforación de frente subterránea. El principio de ejecución se basa en utilizar las perforaciones iniciales para crear un agujero cilíndrico libre en el que se depositarán las cargas restantes de la sección. El área de este agujero suele ser de entre 10 y 20 cm². Sin embargo, puede alcanzar hasta 1 m² con diámetros de perforación grandes. En los arranques en abanico los taladros del arranque llegan a cubrir la mayor parte de la sección.

Geométricamente hablando, el resto del tramo requiere de cuatro a diez veces más consumo de explosivo que la voladura de banco debido a errores de perforación, menor brecha de esponjamiento e inclinación respecto del eje de avance, falta de cooperación entre cargas adyacentes y en ciertos lugares, la acción negativa de la gravedad, similar a lo que ocurre con las brocas de arrastre.

La forma final de un trabajo se determina mediante brocas de contorno, ubicadas muy cerca unas de otras y orientadas hacia el interior del macizo para proporcionar espacio para el avance de las brocas.

Los taladros de contorno definen la forma final de la labor y se colocan con un espaciamiento reducido, orientados hacia el interior del macizo para permitir el emboquille y el avance de las perforadoras. La disposición del arranque influye en la proyección del material volado, la fragmentación y la cantidad de taladros necesarios. De las tres configuraciones posibles —en rincón, centrada inferior y centrada superior— se suele optar por esta última, ya que evita la caída libre del material, genera un perfil de escombros más tendido, menos compacto y con mejor fragmentación. (Piñas, 2007).

2.2.2. Factores que provocan la sobre excavación

Factores que contribuyen a la caída de rocas y la excavación excesiva en las operaciones mineras son:

a. Mal dimensionado de las áreas a excavar

En relación con la altura, el ancho y el largo de las labores, así como con el dimensionamiento de los pilares y puentes de soporte.

b. Voladura sobredimensionada

El exceso de carga y una secuencia de detonaciones demasiado cerrada provocan el deterioro de la roca en el contorno de las labores de avance. Asimismo, una orientación inadecuada de las labores mineras con respecto al rumbo y buzamiento de las principales estructuras geológicas (fallas, diaclasas, disyunciones y planos de estratificación) también influye negativamente.

c. Diseño de malla inapropiada a la condición de la roca

Tipo de inicio, distribución del pozo de perforación y de la carga explosiva, y secuencia de salida que no están relacionados con la gravedad de las fisuras altamente concentradas, moderadamente espaciadas y ampliamente extendidas.

d. Inapropiada selección del explosivo

Dependiendo del tipo y estado de la roca:

- Velocidad de detonación
- Deflagración frente a tenacidad
- Friabilidad • Factor de carga
- Factor energético frente a volatilidad
- Excavabilidad

2.2.3. Fundamentos del explosivo

En general, existen dos tipos de explosivos: explosivos químicos y explosivos nucleares. Los explosivos químicos, frecuentemente empleados en minería y construcción civil, funcionan mediante procesos de detonación activados por ondas de choque. Se asocian principalmente con compuestos de nitrato.

La descomposición de elementos como el plutonio y el uranio-235, que produce enormes cantidades de energía, está relacionada con los explosivos nucleares. Actualmente se emplean en la investigación y en el ámbito militar.

Aunque no se consideran explosivos, algunos productos específicos, como el CO₂ (cardox), se generan cuando los gases inertes líquidos se expanden repentinamente al aplicar calor, lo que provoca una explosión física sin detonación previa. Solo pueden utilizarse en minas de carbón con altos niveles de grisú o en situaciones donde los explosivos tradicionales no son adecuados.

2.2.4. Clasificación de los explosivos

Dinamitas

Tradicionalmente, las dinamitas se clasifican según la cantidad de nitroglicerina en relación con la combinación de inicio no explosiva y los factores de aplicación:

Gelatinas

Gelatina Especial 75 y 75 BN; Gelatina Especial 90 y 90 BN; Gelignita y Gelatina Explosiva (con densidades entre 1,3 y 1,5 g/cm³ y velocidades de detonación de 5.000 a 6.500 m/s) presentan una consistencia plástica, gran poder de

trituration para rocas duras y una excelente resistencia al agua, lo que las hace adecuadas para trabajos submarinos.

Semigelatinas

Semexsa 45, Semexsa 60, Semexsa 65 y Semexsa 80 son granulares o pulverulentas que se adaptan bien a rocas semiduras y húmedas. Presentan densidades de 1,08 a 1,2 g/cm³ y velocidades de 3500 a 4500 m/s.

Pulverulentas

Con densidades de 1,00 a 1,05 g/cm³ y velocidades de 3.400 a 3.600 m/s, los Exadit 45, 60 y 65 son finamente granulares y apropiados para perforación en seco en rocas blandas y friables.

Especiales

Exsacorte se utiliza para voladuras controladas, mientras que Geodit se emplea en trabajos de sísmica.

Explosivos Acuosos

- Explosivos hidrogel

Los hidrogeles se componen de dos fases: una fase dispersa, compuesta por partículas sólidas, gotitas líquidas o ambas, y una fase continua, que consiste en una solución acuosa saturada de sales oxidantes a temperatura ambiente, gelificada por gomas hidrosolubles. La composición de un líquido disperso también se clasifica como emulsiones de "aceite en agua".

- **Emulsiones explosivas**

Las emulsiones explosivas son del tipo "agua en aceite" invertida, constituidas por dos fases líquidas, una continua, y una mezcla de hidrocarburos y otra dispersión que son microbios de una solución oxidante con nitrato de amonio como componente principal. Tres componentes (oxidante, combustible y sensibilizador) se queman en una reacción fisicoquímica relativamente rápida para impulsar los explosivos industriales utilizados en la voladura de rocas. Por lo tanto, los explosivos se clasifican en cuatro tipos según su tipo y están compuestos por estas tres partes.

En algunas situaciones, otros parámetros, como el tamaño de las partículas oxidantes, afectan el rendimiento del explosivo, además de su composición química.

2.2.5. Propiedades de los explosivos

- **Densidad**

Es la masa del explosivo por unidad de volumen, expresada en gramos por centímetro cúbico; por ejemplo, el ANFO a granel presenta una densidad de 0,85 g/cc. Una densidad inferior a 1,0 g/cc provocará que el material flote en agua. La densidad de un explosivo es un factor clave para el cálculo de la carga: cuanto mayor sea, mayor será su eficiencia, pues el taladro podrá alojar una mayor cantidad de carga. En la tabla siguiente se muestran las densidades

Tabla 3 *Densidad de explosivos*

Tipo de explosivo	Densidad	Observaciones
Gelatina 75	1.37	Para roca muy dura
Semexsa 65	1.13	Para roca dura
Semexsa 45	1.09	Para roca semi dura
Exadit 65	1.05	Para roca suave
Exadit 45	1.00	Para roca muy suave

Fuente: Elaboración propia

- **Sensibilidad**

Es la facilidad con que un explosivo puede iniciarse o el detonador mínimo necesario, y varía según la composición del explosivo, su diámetro y las condiciones de temperatura y presión del entorno:

1. Las dinamitas son sensibles a una cápsula detonadora de potencia N° 8 o al cordón detonante.
2. Los agentes explosivos no son sensibles a la cápsula detonadora N° 8, por lo que requieren un detonador intermedio (booster).

- **Resistencia al Agua**

Capacidad del explosivo para soportar la exposición al agua sin perder sensibilidad ni eficacia, descrita en términos cualitativos; los explosivos presentan amplias diferencias en su resistencia al agua. El ANFO no tolera la humedad, mientras que las emulsiones y los acuageles muestran buena resistencia frente a ésta. En la tabla siguiente se presentan las distintas resistencias.:

Tabla 4 Resistencia al agua del explosivo

Tipo de explosivo	Densidad	Resistencia al agua
Gelatina 75	1.38	Buena
Semexsa 65	1.12	Moderado
Semexsa 45	1.08	Baja
Exadit 65	1.04	Pobre
Exadit 45	1.00	Muy Pobre

Fuente: Elaboración propia

- **Estabilidad Química**

La capacidad de mantener tanto su sensibilidad como su estabilidad química en condiciones particulares. El calor, el frío, la humedad, la calidad de la materia prima, la contaminación, el envasado y las instalaciones de almacenamiento son algunas de las variables que influyen en la estabilidad química. La cristalización, el aumento de la densidad y el aumento de la viscosidad son indicadores de degradación del producto.

- **Características de humos**

Al detonarse, los explosivos pueden producir humos no tóxicos (CO_2 , H_2O) y tóxicos (NO_2 , NO , CO). Un cebado inadecuado, un confinamiento inadecuado, la humedad y una composición inadecuada y perjudicial para la roca (sulfuro o carbonato) son factores que favorecen la producción de gases tóxicos.

2.2.6. Accesorios de voladura

Son materiales diseñados específicamente para transmitir una señal u onda de choque que permitan activar una carga explosiva de forma segura y eficaz.

a. Mecha de seguridad

La mecha de seguridad es un accesorio que transfiere de forma continua y constante una chispa de fuego a un iniciador o carga explosiva. Está compuesta por un cable flexible recubierto de una sustancia impermeable, envuelto en una funda de tela y que transporta pólvora negra. Las telas ofrecen protección contra el agua y la abrasión, a la vez que protegen el núcleo de la pólvora. En promedio, tarda 115 segundos por metro lineal en propagarse.

b. Fulminante

Este complemento es una cápsula cilíndrica de aluminio con extremo ciego. Contiene un explosivo secundario, pentrita, de alto poder explosivo, y una cantidad de explosivo primario muy sensible a la chispa de la mecha de seguridad. Se utiliza para detonar un explosivo o iniciador. Está compuesto por tres cargas: la mezcla de ignición, que es la primera carga que captura la chispa de la llama que sale de la mecha de seguridad; la carga que convierte la combustión en detonación; y la carga que inicia la base de PETN. Existen de número seis, ocho o doce en el mercado, según la cantidad de gramos de azida de plomo que contengan.

c. Cordón Detonante

El núcleo de este accesorio de cable flexible está hecho de pentrita sólida de alto poder explosivo, lo que le confiere una excelente resistencia a la tracción.

Su núcleo explosivo de PETN está reforzado con capas de fibras sintéticas. Se utiliza en voladuras de pre- corte para proporcionar un contorno uniforme y para la detonación de iniciadores en minería subterránea.

d. Mecha Armada

Es el accesorio que permite un sistema seguro de iniciación convencional en el uso de explosivos, la mecha armada está integrada por accesorios convencionales, el fulminante, la mecha de seguridad y un conector, se encuentra ensamblado con equipos neumáticos de alta precisión.

2.2.7. Sistemas de iniciación

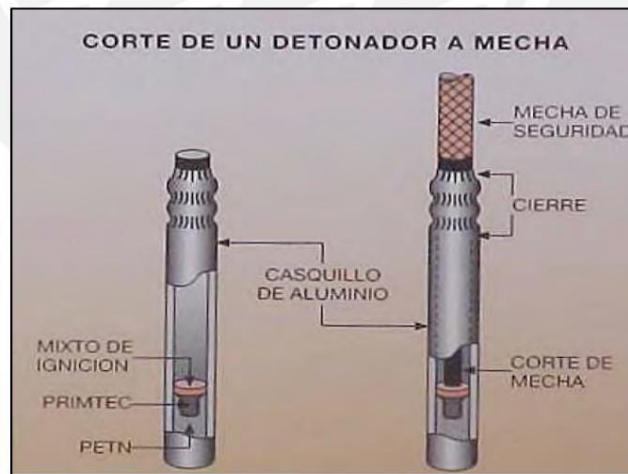
Denominados también como detonadores, son utilizados para las voladuras de métodos explotación subterránea y a cielo abierto. Se usan con el objetivo de hacer detonar los explosivos colocados dentro del taladro, primero se activa el cartucho de refuerzo o de cebado. Entre otros factores, al elegir los diferentes tipos de sistemas de cebado, se deben considerar las propiedades del macizo rocoso y la facilidad de unión de los cebadores. Los diferentes tipos de detonadores tienen un sistema de iniciación. Los detonadores son una cápsula, que son de cobre o aluminio, dentro de ella se encuentra alojado el explosivo que origina la voladura, tiene una carga base de pentrita y azida de plomo. Tanto en los detonadores eléctricos como en los no eléctricos, o directamente, la energía combustible contenida en la cápsula activa la carga de iniciación.

- **Detonadores de mecha**

Se utiliza una mecha lenta para encenderlos. Para evitar que se degrade durante su manipulación, se coloca en el extremo abierto de la cápsula metálica

que contiene la carga explosiva del detonador y se sella con herramientas especializadas. Se emplea en la voladura de roca ornamental. Cuando la chispa de iniciación alcanza la carga del detonador, este se activa inmediatamente, ya que es solo un detonador combinado con la mecha lenta y sin ningún tipo de retardo.

Figura 6 *Detonador ordinario*

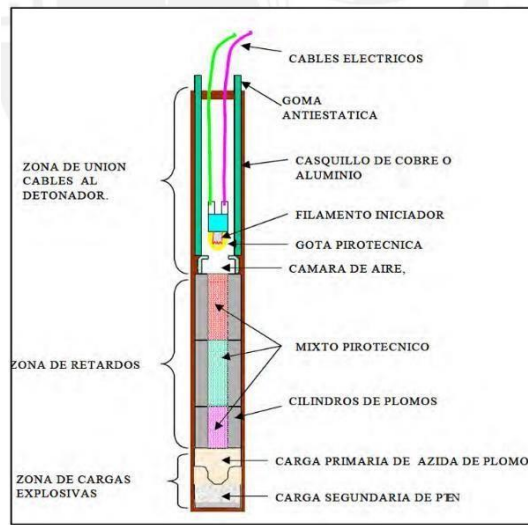


Fuente: Manual de ENAEX

- **Detonadores eléctricos**

El encendedor eléctrico detona mediante energía eléctrica. La corriente eléctrica circula a través de la cerilla, un encendedor pirotécnico, en este accesorio eléctrico, provocando la activación del detonador. La cerilla es una pequeña resistencia cubierta de una pasta explosiva, a la resistencia se le conoce también como puente de incandescencia, está conectado al cable de conexión, lo que permite el paso de la corriente eléctrica. El puente alcanza una temperatura tal que la pasta de cerilla se enciende si la intensidad es suficientemente alta

Figura 7 El detonador eléctrico



Fuente: Manual de ENAEX

Sus características eléctricas se consideran:

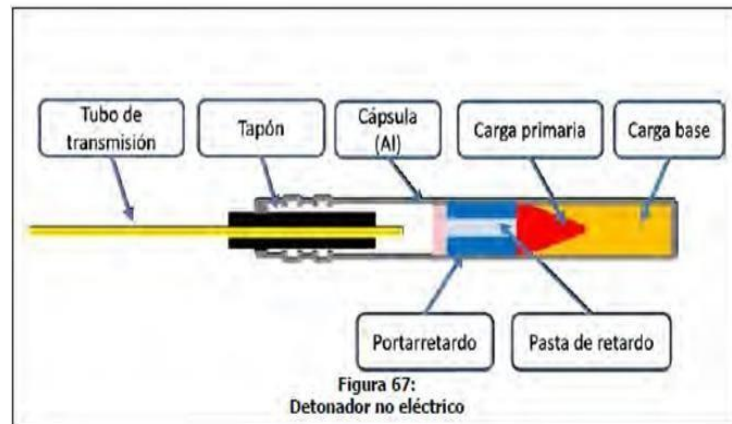
- **Intensidad de corriente controlada:** Es la intensidad mínima de corriente para lograr que el detonador reciba la energía suficiente para su detonación.
- **Corriente de seguridad:** Se considera la la fuerza de encendido o la sensibilidad eléctrica del iniciador, la energía eléctrica debe ser lo suficiente para generar la ignición de la cerilla.
- **Resistencia del puente:** corresponde a la resistencia eléctrica del puente de la cerilla, medida en ohmios.

- **Iniciadores no eléctricos**

El detonador no eléctrico no utiliza la corriente eléctrica en su detonación. Sus elementos explosivos es el mismo a los iniciadores eléctricos, pero a parte de un inflamador la carga posee retardo que se inicia mediante una onda de choque que se transmite a través de una manguera de transmisión. Esta manguera

de transmisión es un plástico que tiene dentro una cantidad específica de material explosivo. Este tubo está enlazado al detonador que, al transmitir la onda de energía, hace que comience la carga de retardo.

Figura 8 *Detonador no eléctrico*



Fuente: Voladura de rocas – Bernaola

- **Detonadores electrónicos**

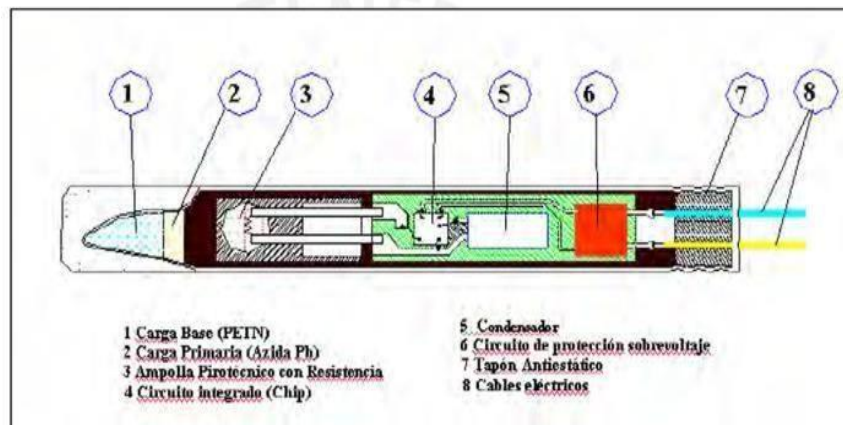
El iniciador electrónico es uno de los últimos avances tecnológico de los sistemas de iniciación en voladuras. La principal distinción entre un detonador electrónico y uno eléctrico o no eléctrico radica en que el circuito electrónico, en el que un microchip descarga un condensador en el momento preciso solicitado, actúa como compuesto pirotécnico, que controla el tiempo de retardo. El tiempo que tarda el compuesto pirotécnico en arder determina el tiempo de retardo en otros tipos de iniciadores.

La precisión del tiempo de retardo de los iniciadores electrónicos es de un rango de 0.02%, siendo mucha mayor precisión en correlación a los demás sistemas de detonación. Como el detonador eléctrico como el no eléctrico poseen un casquillo metálico que contiene una sustancia pirotécnica que se consume a

cierta velocidad, es por ello que la precisión de los sistemas es limitada. Aunque varios sistemas disponibles en el mercado están diseñados para explotar con el mismo retardo, los resultados de la explosión difieren. Esto indica que los iniciadores tienen tiempos de retardo de 20 ms. se pueden iniciar a 19,7 ms. o a 20,3 ms. Es el efecto de dispersión.

Entre los componentes principales del detonador electrónico se puede encontrar un microchip, un circuito de seguridad y un condensador para almacenar la energía, la otra parte está compuesta por una gota inflamatoria para iniciar la carga primaria.

Figura 9 Detonador electrónico



Fuente: Manual ENAEX

2.2.8. Mecánica de la fragmentación de la roca

En un proceso de interacción rápido e intrincado, la acción de un explosivo y la reacción de la masa rocosa circundante que incluye el tiempo, la energía termodinámica, las ondas de presión, la mecánica de rocas y otros elementos provocan la fragmentación de la roca por voladura. Existen diversas ideas que

intentan explicar este proceso, que aún no está completamente caracterizado. Estas incluyen:

- La hipótesis de reflexión (ondas de tensión reflejadas en una cara libre).
- La hipótesis de expansión de gases.
- La hipótesis de ruptura flexural (por expansión de gases).
- La hipótesis de torque (torsión) o de cizallamiento.
- La hipótesis de craterización.
- La hipótesis de energía de los frentes de onda de compresión y tensión.
- La hipótesis de liberación súbita de cargas.
- La hipótesis de nucleación de fracturas en fallas y discontinuidades.

Una ilustración más clara del mecanismo de fractura del macizo rocoso se puede ver en la siguiente figura:

Figura 10 *Mecanismo del fracturamiento del macizo rocoso*



Fuente: López Jimeno

El proceso ocurre en varias etapas o fases que se desarrollan casi simultáneamente en un lapso muy breve, de apenas unos milisegundos, durante los cuales se produce la detonación completa de una carga confinada, que abarca desde

la fragmentación hasta el desplazamiento completo del material detonado, según una explicación sencilla y ampliamente aceptada que resume varios de los conceptos considerados en estas teorías. Estas fases son:

Disparo del explosivo y producción de ondas de choque. La onda de choque se transfiere al macizo rocoso, lo que inicia el proceso de agrietamiento.

El movimiento y la fractura de la roca se deben a la producción y expansión de gases a altas temperaturas y presiones.

El desplazamiento del macizo rocoso fragmentado crea el montón de escombros.

Estas teorías se sustentan en conjeturas, investigación en laboratorios especializados y campos de prueba, modelos físicos y matemáticos, pruebas experimentales y de producción controladas mediante fotografía de alta velocidad y monitoreo sísmico, y otros factores. Estos incluyen criterios sobre la distribución de energía, la acción de las fuerzas de compresión-tensión, la reflexión de las ondas de choque en la cara libre, los efectos de corte y cizallamiento por movimiento torsional entre perforaciones, la presión de gases aplicada repentinamente sobre la roca y la liberación de cargas, la ruptura de material rígido por flexión, la integración o nucleación de microfracturas en fisuras y fallas, la colisión de fragmentos en el aire, entre otros.

2.2.9. Labores de desarrollo y preparación

- **By pass**

Se trata de una excavación subterránea horizontal de 3,5 m x 3,0 m, construida paralela a las galerías y que, según el estado del macizo

rocoso, cuenta con un pilar de 15 m. Además de proporcionar servicios complementarios de aire, agua y ventilación, su función principal es el acarreo y transporte de minerales.

- **Rampas**

Las rampas con secciones de 3,5 m x 3,0 m se utilizan principalmente para el acceso del nivel superior al nivel inferior (nivel 4890), que conecta los desvíos que sirven de acceso a la estructura mineralizada. Las rampas con secciones de 4,0 m x 4,0 m se utilizan principalmente para el transporte de mineral a la superficie. La excavación subterránea puede ser positiva (+12%) o negativa (-12%).

- **Galerías**

El objetivo de esta excavación subterránea horizontal de 3,0 m x 3,0 m es desarrollar las estructuras mineralizadas.

- **Ventanas**

A las galerías se accede fácilmente desde los by-pass mediante obra horizontal de sección 3,0 m × 3,0 m, lo que permite detenerlas antes de iniciar la explotación.

- **Rampas Basculantes**

La excavación subterránea de 3,0 x 3,0 m se realizó con una pendiente del -15 % para facilitar el acceso al tajo desde las rampas principales. Como su nombre indica, esta rampa se eleva o inclina a medida que se asciende por el tajo, alcanzando una pendiente del 15 %.

- **Chimeneas**

Esta excavación subterránea vertical de 1,5 m × 1,5 m se utiliza para paso de mineral, servicios auxiliares y ventilación.

- **Ore pass**

Una excavación subterránea vertical con un segmento de 1,5 m x 1,5 m, cuya función principal es actuar como canal de extracción de mineral.

El paso de mineral 040 se encuentra en el nivel 4920 en nuestra situación.

2.3. Definición de términos básicos

- **Perforación**

Un agujero cilíndrico hecho con equipos de diferentes longitudes y diámetros que se utiliza para colocar explosivos para romper la roca.

- **Voladura**

Es un proceso tridimensional donde la roca es fragmentada y desplazada por las fuerzas creadas por explosivos contenidos dentro de agujeros perforados.

- **Breasting**

La perforación horizontal es una técnica de explotación que utiliza dos caras libres para extraer el mineral de una veta o cuerpo.

- **Explotación**

Cuando los minerales tienen valor económico, se extraen de un yacimiento minero como parte de un proceso.

- **Burden**

Se mide perpendicularmente a la dirección de la línea de pozos que conforma la dimensión lineal hasta la cara libre y es la distancia entre la primera fila de pozos y la cara libre.

- **Espaciamiento**

Separación entre agujeros de la misma fila que se disparan con el mismo retardo o, para cada fila, con un retardo mayor. Se calcula en relación con la longitud del burden.

- **Carga lineal**

Concentración explosiva a lo largo de un pozo, expresada en kg por metro. El diámetro del pozo puede no tener ninguna influencia.

- **Diámetro crítico**

Es el diámetro mínimo al que una carga explosiva puede explotar. El diámetro crítico de un explosivo se reduce significativamente mediante la adición de gas finamente disperso.

- **Factor de carga**

Es la cantidad de explosivo necesaria para fragmentar una unidad de peso o volumen de roca. La unidad de medida del factor de carga es kg/m^3 .

- **Granulometría**

Tamaño de la roca o mineral fracturado que se adquiere para su transporte y tratamiento metalúrgico después de una operación de voladura planificada previamente.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

El uso de emulsiones explosivas permite optimizar los resultados de las voladuras en las labores de avance de la Compañía Minera Caravelí.

2.4.2. Hipótesis específicas

- a. Se minimiza la sobre excavación en el resultado de las voladuras de las labores de avance con la aplicación de la emulsión en la compañía minera Caravelí.
- b. Se Mejora la granulometría en el resultado de las voladuras de las labores de avance con la aplicación de la emulsión en la compañía minera Caravelí.

2.5. Identificación de variables

- **Variable Independiente**

X: Aplicación de la emulsión en la compañía minera Caravelí.

- **Variable Dependiente**

Y: Optimizar los resultados de las voladuras en las labores de avance de la Compañía Minera Caravelí.

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: Aplicación de la emulsion en la compañía minera Caravelí.	La optimización de los parámetros de avance en los frentes de voladura es posible gracias al empleo de explosivos en el proceso de voladura y su modificación; esto se logra cuando el explosivo está construido adecuadamente para satisfacer las necesidades del trabajo y puede ser regulado durante la carga. la energía, confinamiento, densidad y producción de gases del agente explosivo en toda la longitud del taladro para la voladura de la labor, asimismo el control de retardos en detonadores.	Técnica en el manejo del explosivo	Densidad de carga	gr/cm ³
				Confinamiento	Kgf.
				Cantidad	Kg.
				Espaciamiento	cm.
			Propiedades de la emulsión	Velocidad de detonación	m/s
				Densidad	gr/cm ³
				Potencia	Kgf.
				Resistencia al agua	Excelente Buena Regular Mala
VARIABLE DEPENDIENTE	Y: Optimizar los resultados de las voladuras en las labores de avance de la Compañía Minera Caravelí.	Cuando se logra la determinación eficiente del explosivo tal que se obtenga la energía necesaria en el proceso y el control de la densidad para la voladura se optimiza los parámetros de avance en la ejecución de un frente; se tendrá una reducción de la sobre excavación, el consumo de explosivos por metro cubico, y una mejor granulometría en el producto de la voladura.	Resultados de la voladura	Sección	M2 cm ³ .
				Granulometría	
				Sobre excavación	Metros

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El estado del explosivo utilizado actualmente y el proceso de creación de la carga explosiva son los principales temas del estudio aplicado. El objetivo es realizar una evaluación potencial para identificar posibles opciones para rediseñar el explosivo, modificar la carga explosiva y emplear un tipo diferente de explosivo. El objetivo es ilustrar cómo estos elementos afectan una explosión. Para minimizar la sobre excavación y la distribución del tamaño de partícula que esta actividad produce actualmente, es necesario optimizar la voladura.

3.2. Nivel de investigación

Basado en variables con resultados prácticos, el nivel de investigación es correlacional.

Este estudio examina el diseño actual del explosivo, y la carga explosiva en los taladros, para luego proponer un nuevo explosivo y después analizarlo se relacionan ambos resultados para tener conclusiones.

3.3. Métodos de investigación

La presente investigación se llevó a cabo en la Compañía Minera Caravelí S.A.C. y se basó en el método científico, lo que permitió obtener resultados claros y precisos conforme a los objetivos del proyecto. Se aplicaron técnicas de observación y experimentación, integrando finalmente los resultados obtenidos tanto del fundamento teórico como del trabajo de campo.

3.4. Diseño de investigación

Para el proceso de la tesis se utilizó el diseño cuantitativo y descriptivo, se cuantifica toda una información conformada por una base de datos tomada para luego presentar los resultados al utilizar la emulsión encartuchada y el control del carguío en la voladura. Una vez concluido las pruebas se utiliza el diseño descriptivo con resultados de los análisis de la relación entre el anfo, emulsión encartuchada y el carguío de ambos explosivos.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Conformado por los programas de planeamiento de labores de avances subterráneas de la Compañía minera Caraveli S.A.C.

3.5.2. Muestra

Voladura de 10 labores de avances subterráneas del nivel 900

3.6. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

- **Técnicas utilizadas**

- ✓ **Búsqueda y recopilación de información**

- Se analizo los archivos de información de voladuras con el uso del anfo y métodos de carguío.

- ✓ **Observación insitu**

- Se realizo observaciones en el campo tomando notas de una información real de los resultados de voladuras con el anfo y la emulsión encartuchada en forma directa en los frentes de avance en ambas aplicaciones.

- ✓ **Información textual**

- Se utilizó la bibliografía referencial a los fundamentos teóricos de la clasificación de explosivos considerando sus propiedades para la voladura en minería, se leió textos con el objetivo de profundizar el conocimiento científico acerca del tema de explosivos y control del carguío.

- **Instrumentos de recolección de datos**

- ✓ **Materiales**

- Programa de minado del 2024
 - Reportes de voladuras del programa de frentes de avance
 - Analisis geo mecánico de la zona
 - Reporte de base de datos de voladura con anfo
 - Reporte de base de datos de voladura con la emulsión encartuchada.

✓ **Equipos**

- Computadora
- Equipo de control de gases
- Cámara fotográfica
- Cronómetro.

✓ **Software**

- Excel

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

El registro completo de datos en la zona de voladura del frente de avance. La relación analizada de ambos explosivos para poder procesar y evaluar la propuesta de la investigación en mención; los análisis de la sobre excavación, fragmentación y demás factores han sido validadas mediante el jefe del área de voladura de la minera Caraveli, todos los resultados fueron supervisados por el jefe de la operación.

Como consecuencia de coordinación con el departamento de voladuras, los datos, los resultados de toda la información y las conclusiones de la tesis son auténticos.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Se utilizó Microsoft Excel para construir el procedimiento y el análisis de la base de datos. Se emplearon tablas y gráficos estadísticos para mostrar cada resultado, junto con la recomendación de cada variable.

3.9. Tratamiento estadístico

Los programas Microsoft Excel y SPSS emplean histogramas y otros gráficos estadísticos para el análisis.

3.10. Orientación ética, filosófica y epistémica

La metodología empleada en el capítulo de resultados y discusión de la tesis es única; se realizó de conformidad con las normas éticas profesionales y los estándares e ideales pertinentes que todo proyecto de investigación debe seguir. El monitoreo del área de voladura de los frentes de avance del proyecto minero es la base de todo el trabajo de campo.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. Reconocimiento de la zona de trabajo

La minera está ejecutando un proyecto de desarrollo y preparación con la apertura de varios frentes en la zona Esperanza VI, nivel 1700, para la investigación se toma datos del crucero 620 esta labor va a unir dos zonas para la explotación del yacimiento, las dimensiones del frente son de 2.1 m. por 2.4 m., para la perforación se utilizan barrenos de 6 pies. En el CX. 620 se realizan las actividades de perforación y voladura, en toda la zona se tiene la presencia de roca regular a dura, fracturas y fallas geológicas por lo que en los resultados de la voladura se obtiene una sobre excavación y una granulometría considerablemente muy pequeña, el primer resultado hace que la labor requiera un mayor sostenimiento de soporte artificial. Estos resultados se obtienen por el uso del anfo debido a que no se puede controlar la densidad en los diferentes taladros de la malla de perforación del frente. Por estos

factores resultantes se propone optimizar la voladura con el cambio de explosivo con el objetivo de obtener mejores resultados.

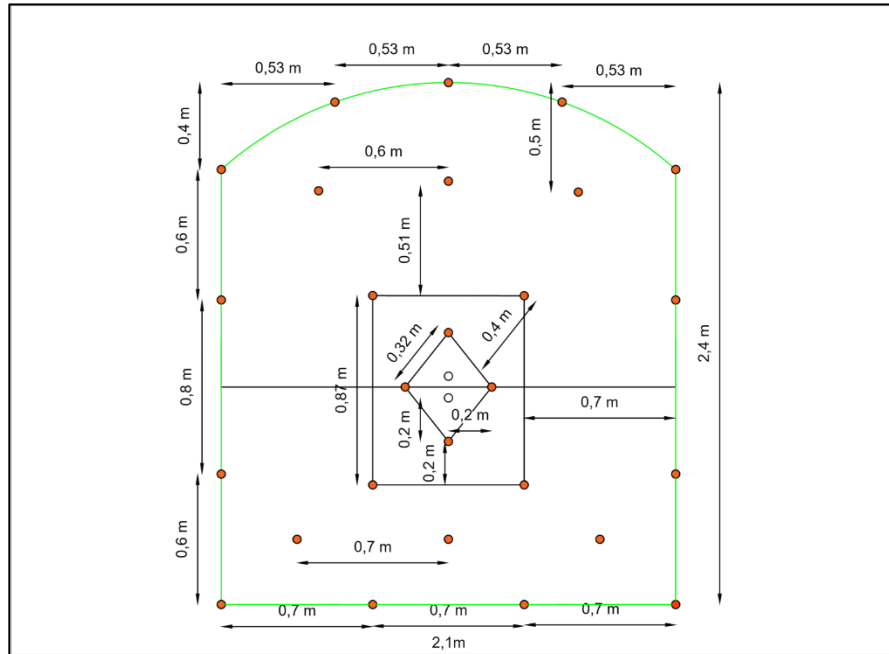
El proyecto cuenta con seis frentes de avance las galerías 615 W, 617 E, 618 N, 619 S; el crucero 621NW y el crucero 620SE, de esta última labor se ha analizado los resultados de la voladura ejecutadas durante la profundización, centrados en la sobre excavación y la granulometría, por lo que no son beneficiosos, se requiere mayor sostenimiento y el tiempo de la limpieza y el carguío es mayor. La minera Caravelí tiene un plan de estándares de los avances en las operaciones de perforación y voladura; durante el proceso de analices se plantea modificarlos para tener mayor eficiencia, se propone el cambio del uso de explosivo del anfo por el emulnor 3000 en los taladros de destroza y el emulnor 1000 en los taladros periféricos logrando controlar la densidad de la carga explosiva, asimismo utilizar los detonadores no eléctricos y el cordón detonante 5P a cambio de la guía blanca y fulminante número 6. Esto con el fin de controlar los tiempos de retardo en la voladura y lograr mejorar los resultados de los frentes de desarrollo y preparación en todo el proyecto Esperanza VI.

4.1.2. Malla de perforación del frente

En la malla de perforación de los frentes de avance se realizan 29 taladros en total, 27 taladros cargados y dos taladros de alivio La malla está formado por 4 taladros de arranque, 4 taladros de ayuda, 6 taladros de sobre ayudas, cuatro taladros como cuadradores, 5 taladros en la corona y 4 taladros como arrastres; todos los taladros tienen un diámetro de 38 mm., la seccion del frente es de 7 pies por 8 pies,

en la siguiente figura se muestra la malla. Es importante resaltar que para la voladura propuesta con la emulsión se utiliza la misma malla de perforación.

Figura 11 *Malla de perforación*



Fuente: Área de perforación y voladura

4.1.3. Materiales de la voladura convencional

Para el carguío de los frentes se utilizan los siguientes explosivos y accesorios de voladura.

- ANFO

Se utiliza el agente explosivo Superfam DOS, es granular compuesto de nitrato de amonio con prills grado ANFO, un combustible líquido y un colorante. La producción industrial se realiza en equipos de alta precisión, por la alta calidad de sus componentes se obtiene una producción de un agente de voladura de óptima calidad.

El Nitrato de amonio del Superfam DOS tiene una alta capacidad de retención de petróleo, obteniendo un producto más estable, tal que no se separe el combustible después de un prolongado tiempo de fabricación.

El producto se utiliza principalmente en minería subterránea como también en minería superficial, donde el tipo de roca es blanda a semidura. En los taladros de diámetros convencionales en minería subterránea, para optimizar su rendimiento se inicia con dinamita de 65 %. El rango de temperatura de manipulación del Superfam DOS es de 0° C hasta 30° C. Para temperatura mayor se recomienda una Asistencia Técnica.

Figura 12 *Muestra del Superfam DOS*



Fuente: Catalogo Famesa

- **Dinamita semigelatina 65**

Se utiliza como cebo en cada taladro de la malla de perforación la dinamita semigelatina 65, es un explosivo a base de nitroglicerina, es sensible al Fulminante N° 6, posee un alto poder rompedor y es resistente al agua. Se emplea en los trabajos de voladura subterránea en rocas de dureza intermedia a dura, proporciona buenos resultados en la fragmentación.

En los frentes se utiliza como iniciador de la columna del taladro de nitro-carbonitratos (ANFO), en taladros de diámetros de 38 mm., su rango de temperatura de manipulación de la dinamita semigelatina es de 0°C a 40°C. Para temperaturas diferentes se recomienda contactarse con el área de Asistencia Técnica. En la siguiente figura se presenta una muestra de la dinamita 65.

Figura 13 *Muestra de la dinamita 65*



Fuente: Catalogo Famesa

- Fulminante N° 6

Denominado fulminante común, es el accesorio de voladura que se utiliza está constituido con una cápsula cilíndrica de aluminio sellada por un extremo, en su interior contiene un explosivo primario azida de plomo sensible a la chispa de la mecha de seguridad y otro secundario de alto poder explosivo la pentrita. Está diseñado para ser iniciado por la chispa de una mecha de seguridad y es usado como iniciador primario, el fulminante común N° 6 se utiliza para iniciar la dinamita 65. La temperatura de manipulación del fulminante es de 0° C a 50° C. Para temperaturas diferentes se recomienda contactarse con el área de Asistencia Técnica.

Figura 14 *Muestra del fulminante comun*



Fuente: Catalogo Famesa

- Mecha de seguridad

La mecha de seguridad es flexible y posee un núcleo central de pólvora que transmite el fuego hasta el fulminante, a una velocidad uniforme. hasta el fulminante, a una velocidad uniforme; se encuentra cubierta por varias capas de diferentes materiales que garantizan la continuidad de la combustión, los componentes se encuentran protegidos por un recubrimiento de material plástico. Todo ello asegura que l sea impermeable, resistente a la humedad, abrasión y esfuerzos mecánicos; también evita que el fuego se transmita entre tramos de la mecha y cuando están cerca minimiza la producción de chispas laterales. La mecha de seguridad blanca se utiliza para iniciar el fulminante común siempre y cuando se cumpla con las recomendaciones al momento de ser ensamblado. La mecha de seguridad debe cortarse perpendicularmente a su eje, se debe evitar la caída del núcleo de pólvora por la manipulación brusca de las puntas cortadas, se debe colocar la mecha de seguridad en contacto con la carga explosiva del Fulminante, no se debe dejar espacios vacíos.

Figura 15 *Muestra de la mecha de seguridad*



Fuente: Catalogo Famesa

En la siguiente tabla se observa las características técnicas de los explosivos que se utiliza

Tabla 6 *Características técnicas de los explosivos*

Características técnicas del explosivo	und	SUPERFAM DOS (ANFO)	Dinamita 65 %
Densidad relativa	g/cm ³	0.8	1.12 ± 3 %
Velocidad de detonación	m/s	3000 ± 300	4200 ± 200
Presión de detonación	Kbar	51	94
Energía	cal/g , KJ/kg	932	3433
Volumen normal de gases	l/kg	1001	1015
Potencia relativa en peso	%	100	92
Potencia relativa en volumen	%	100	127
Sensibilidad al fulminante		no es sensible	N°6
Resistencia al agua		no muy buena	buena

Fuente: Elaboración propia

- Distribución de carga explosiva

La distribución de la carga explosiva en los 27 taladros de la malla de perforación se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 7 Distribución de la carga explosiva

		Columna	Cebo		
Distribución de carga	N° de taladros	ANFO (Kg)	Dinamita 65	Kilos de explosivo	Dimensión del cartucho
Alivios	2				
Arranque	4	2.72	1	0.24	1" x 8"
Ayuda	4	3.63	1	0.32	1" x 8"
Sobreayudas	6	8.16	1	0.72	1" x 8"
Cuadrador	4	3.63	1	0.32	1" x 8"
Corona	5	4.54	1	0.40	1" x 8"
Arrastres	4	4.54	1	0.40	1" x 8"
n° Taladros cargados	27	27.22		2.40	
n° Taladros	29				
	TOTAL	29.62 kg			

Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Proceso de voladura del frente

El proceso de voladura se realiza mediante varios eventos para llegar a ejecutar el chispeo en la operación de la perforación y voladura. El proceso es ejecutado por los siguientes responsables:

- El jefe de zona coordina el chispeo.
- El jefe de cada guardia día y noche.
- El personal de chispeo.

El disparo se realiza en 3 tiempo en cada guardia, donde coordinan las personas mencionadas. Primero es la reunión de inicio de guardia, luego a media guardia y la ejecución del chispeo para la voladura, a las 6:30 a.m. y 6:30 p.m.,

finaliza 7:15 a.m. y 7:15 p.m. para el reingreso de la siguiente guardia. En la siguiente tabla se describe todas las actividades de este proceso.

Tabla 8 Proceso de chispeo para la voladura

PROCEDIMIENTO	HORARIO		ACTIVIDADES
	INICIO	FIN	
REPARTO DE GUARDIA	7:00 a.m. / 19:00 p.m.	7:30:00 a.m. / 19:30 p.m.	Jefe de Guardia verifica que los responsables del chispeo y voladura cuenten con su carnet de SUCAMEC
			Jefe de Guardia registra al personal involucrado en el formato de "SECUENCIA DE CHISPEO" y las labores programadas
REPARTO DE MEDIA GUARDIA	12:00 p.m. / 12:00 a.m.	12:30 p.m. / 12:30 a.m.	Jefe de Guardia entrega al Jefe de Mina el formato de "SECUENCIA DE CHISPEO" con las labores actualizadas y se da la conformidad
CHISPEO Y VOLADURA	18:30 p.m. / 6:30 a.m.	19:15 p.m. / 7:15 a.m.	Llenado del formato de "PERMISO DE CHISPEO Y VOLADURA" en donde se asigna la ubicación de las vigías y es validado por el Jefe de Guardia
			Se asegura la evacuación de todo el personal y se procede con el silencio radial
			Durante el silencio radial se comunica solamente el Jefe de Mina y Jefe de Guardia verificando que se tenga firmado el "PERMISO DE CHISPEO Y VOLADURA"
			El Jefe de Guardia de cada zona se comunica con el responsable de chispeo de todas sus labores y se da inicio al secuenciamiento de iniciación manual
			El Jefe de Guardia de cada zona se comunica con el Jefe de Mina indicando que el chispeo programado ha concluido y se contabiliza al personal
			Se elimina el silencio radial y se retira el cordón de bloqueo de la bocamina liberándose el ingreso para la siguiente guardia

Fuente: Área de perforación y voladura

En el proceso de chispeo para la voladura se consideran varios factores para la secuencia de una voladura segura, uno de ellos es la comunicación por radio de manera permanente participan los responsables y vigías, cuenta con un programa digital que contabiliza a todos los operarios y al personal de mina para el momento de la voladura, el chispeo es de forma presencial, por lo que el operario se encuentra en alto riesgo puede suceder un caso fortuito o una iniciación no prevista. Para anular este riesgo laboral en la voladura es la comunicación constante con el fin de no tener incidentes o accidentes en interior mina.

4.1.5. Resultados de la voladura convencional

Resultado 1

Longitud de perforación efectiva: 1.75 m.

Longitud de avance: 1.60 m.

Ancho de la labor: 2.9 m. (+0.80 m.)

Alto de la labor: 3.1 m. (+0.70 m.)

Metros cúbicos rotos: 14.38 m³

Factor de carga: 2.06 Kg. /m³

Granulometría de la fragmentación: 1.5” en promedio

Perfil de la Labor Irregular: sobre excavación 6.31 m³, techo cajas

Resultado 2

Longitud de perforación efectiva 1.75 m.

Longitud de avance: 1.65 m.

Ancho de la labor: 2.8 m. (+0.70 m.)

Alto de la labor: 3.2 m. (+0.80 m.)

Metros cúbicos rotos 14.78 m³

Factor de carga: 2.0 Kg. /m³

Granulometría de la fragmentación: 2.0” en promedio

Perfil de la Labor Irregular: sobre excavación 6.71 m³, techo cajas

Resultado 3

Longitud de perforación efectiva: 1.75 m.

Longitud de avance: 1.60 m.

Ancho de la labor: 2.6 m. (+0.50 m.)

Alto de la labor: 3.1 m. (+0.70 m.)

Metros cúbicos rotos: 13.73 m³

Factor de carga: 2.16 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 1.6” en promedio

Perfil de la Labor Irregular; sobre excavación 5.66 m³, techo cajas

Resultado 4

Longitud de perforación efectiva: 1.75 m.

Longitud de avance: 1.58 m.

Ancho de la labor: 2.5 m. (+0.40 m.)

Alto de la labor: 3.0 m. (+0.60 m.)

Metros cúbicos rotos: 11.85 m³

Factor de carga: 2.5 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 1.7” en promedio

Perfil de la Labor Irregular; sobre excavación 3.78 m³, techo cajas

Resultado 5

Longitud de perforación efectiva: 1.75 m.

Longitud de avance: 1.59 m.

Ancho de la labor: 2.7 m. (+0.60 m.)

Alto de la labor: 3.2 m. (+0.80 m.)

Metros cúbicos rotos: 13.74 m³

Factor de carga: 2.16 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 1.4” en promedio

Perfil de la Labor Irregular; sobre excavación 5.67 m³, techo cajas

Resultado 6

Longitud de perforación efectiva: 1.75 m.

Longitud de avance: 1.60 m.

Ancho de la labor: 2.8 m. (+0.70 m.)

Alto de la labor: 3.2 m. (+0.80 m.)

Metros cúbicos rotos: 14.34 m³

Factor de carga: 2.07 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 1.6” en promedio

Perfil de la Labor Irregular; sobre excavación 6.27 m³, techo cajas

Resultado 7

Longitud de perforación efectiva: 1.75 m.

Longitud de avance: 1.58 m.

Ancho de la labor: 2.8 m. (+0.70 m.)

Alto de la labor: 3.2 m. (+0.80 m.)

Metros cúbicos rotos: 14.16 m³

Factor de carga: 2.09 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 1.7” en promedio

Perfil de la Labor Irregular; sobre excavación 6.09 m³, techo cajas

Resultado 8

Longitud de perforación efectiva: 1.75 m.

Longitud de avance: 1.58 m.

Ancho de la labor: 2.7 m. (+0.60 m.)

Alto de la labor: 3.3 m. (+0.90 m.)

Metros cúbicos rotos: 13.65 m³

Factor de carga: 2.17 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 1.8” en promedio

Perfil de la Labor Irregular; sobre excavación 5.58 m³, techo cajas

Resultado 9

Longitud de perforación efectiva: 1.75 m.

Longitud de avance: 1.58 m.

Ancho de la labor: 2.6 m. (+0.50 m.)

Alto de la labor: 3.1 m. (+0.70 m.)

Metros cúbicos rotos: 13.22 m³

Factor de carga: 2.24 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 1.6” en promedio

Perfil de la Labor Irregular; sobre excavación 5.66 m³, techo cajas

Resultado 10

Longitud de perforación efectiva: 1.75 m.

Longitud de avance: 1.55 m.

Ancho de la labor: 2.7 m. (+0.60 m.)

Alto de la labor: 3.0 m. (+0.60 m.)

Metros cúbicos rotos: 13.45 m³

Factor de carga: 2.20 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 1.9” en promedio

Perfil de la Labor Irregular; sobre excavación 5.38 m³, techo cajas

4.1.6. Materiales de la voladura propuesta

En el carguío de los frentes de la voladura propuesta se utilizan los siguientes explosivos y accesorios de voladura.

- **Emulnor 1000 - 3000**

Estos explosivos son emulsiones encartuchadas que posee alta seguridad, potencia, resistencia al agua y gran calidad de gases de la voladura. Se utiliza en los taladros de sobre ayudas, cuadradores y alzas, la modalidad de aplicación es similar a una dinamita convencional. Al no contener nitroglicerina en su composición los gases residuales tienen una buena calidad, permitiendo que el personal reingrese a la labor en menor tiempo; mejorando el ciclo de trabajo con mayor seguridad.

La temperatura de manipulación del emulnor es de -8°C a 50°C. Para otras temperaturas se recomienda coordinar con el área técnica.

Figura 16 *Muestra del emulnor*



Fuente: Catalogo Famesa

- **Detonador no eléctrico**

Es un accesorio de voladura resistente a la tracción y abrasión denominada Fanel, su uso proporciona mayor eficiencia, seguridad e incrementa la productividad. El fanel permite una eficaz de iniciación en el frente de avance,

en la voladura se tiene una alta sincronización sin riesgo, eliminando la posibilidad de conexiones erróneas. Tiene los siguientes componentes:

- **Fulminante de Retardo**

Es un Fulminante N° 12, en su interior posee un explosivo primario muy sensible, otro secundario de alto poder explosivo con un componente de retardo de acuerdo con el número de serie detonan a diferentes intervalos de tiempo. Se utiliza el de periodo largo (LP).

- **Manguera Fanel o tubo de choque**

Fabricada con material termoplástico de alta resistencia mecánica, en su interior está cubierta por una sustancia reactiva, cuando se activa conduce una onda de choque con cierta presión y temperatura para iniciar al fulminante de retardo. En un extremo está sellado por ultrasonido y en el otro ensamblado con el fulminante de retardo. El color de la manguera fanel de periodo largo es color amarillo (LP).

- **Etiqueta**

Indica el número de serie y el tiempo de retardo en milisegundos o segundos.

- **Conector plástico tipo "J"**

Es un bloque plástico diseñado para la conexión, asegura el contacto de la manguera fanel y el cordón detonante. Adicionalmente, el color del conector para el periodo largo es de color azul. El rango de temperatura de manipulación del fanel es de -10°C a 35°C. Para otras temperaturas coordinar con el área técnica.

Figura 17 *Muestra del fanel*



Fuente: Catalogo Famesa

- **Cordón detonante**

Este accesorio de voladura tiene una alta velocidad de detonación, es fácil su manipulación y es segura. Está formado por un núcleo de pentrita (PETN), recubierto con fibras sintéticas y forrado con material plástico, adicionalmente está protegido de hilos y resinas parafinadas para una mayor resistencia a la abrasión y tracción. Para el frente se utiliza el cordón detonante 5P como línea troncal de la voladura por tener taladros de diámetro pequeño, se usa para iniciar al Fanel; tiene una velocidad de detonación de 7000 m/s, contiene 5 gramos de pentrita por metro. Los otros accesorios que se utiliza como iniciador primario es dos fulminantes N° 8 con su respectiva mecha de seguridad con una longitud de ocho pies, se ha descrito anteriormente sus características.

Figura 18 Muestra del cordón detonante



Fuente: Catalogo Famesa

En la siguiente tabla se puede observar las características técnicas de los explosivos que se utiliza.

Tabla 9 Características técnicas de la emulsión

Características técnicas del nuevo explosivo	und	EMULNOR 1000	EMULNOR 3000
Densidad relativa	g/cm ³	1.13 ± 0.1%	1.14 ± 0.1
Velocidad de detonación	m/s	5600 ± 300	5700 ± 300
Presión de detonación	Kbar	95	93
Energía	Kcal/g	785	920
Volumen normal de gases	l/kg	920	880
Potencia relativa en peso	%	87	102
Potencia relativa en volumen	%	120	142
Sensibilidad al fulminante		N°8	N°8
Categoría de humos		primera	primera
Resistencia al agua		excelente	excelente

Fuente: Catalogo Famesa

- Distribución de la emulsión en la malla de perforación

La malla de perforación es la misma malla que la convencional, para mejorar los resultados se realiza una redistribución en la carga de cada uno de los taladros con la emulsión encartuchada de tipo 1000 y 3000, se utiliza el detonador no

eléctrico de periodo largo, el cordón detonante y el fulminante N° 8 con la mecha de seguridad. En la siguiente tabla se puede observar la distribución de la carga explosiva:

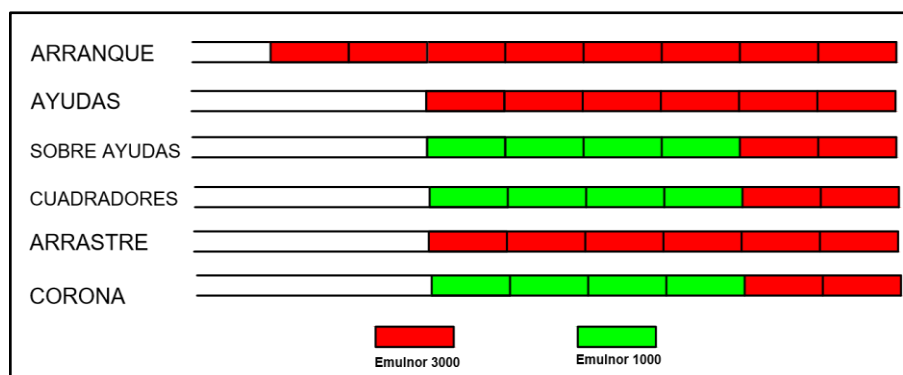
Tabla 10 *Distribución de la emulsión*

DISTRIBUCIÓN DE CARGA	Número de taladros	Emulnor 1000 (cartuchos)	Emulnor 3000 (cartuchos)	Kilos de explosivo	Dimensión del cartucho
Alivios	2				
Arranque	4	0	32	3.52	1" x 8"
Ayuda	4	0	24	2.64	1" x 8"
Sobreayudas	6	24	12	3.96	1" x 8"
Cuadrador	4	16	8	2.64	1" x 8"
Corona	5	20	10	3.30	1" x 8"
Arrastres	4	0	24	2.64	1" x 8"
N° taladros cargados	27	60	110	18.70	
N° taladros	29				

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, en la siguiente figura se presenta la distribución de la emulsión encartuchada 1000 y 3000 por cada grupo de taladros. En todos los taladros de arranque y ayudas se utiliza emulnor 3000, en las sobreayudas, cuadradores y corona dos emulnor de 3000 y 4 emulnor de 1000, finalmente en los arrastres se carga con 6 emulnor de 3000.

Figura 19 *Distribución de la emulsión*



Fuente: Elaboración propia

4.1.7. Resultados de la voladura con emulsión

En todas las voladuras tomadas como muestra se utiliza 18.70 kilogramos de emulsión encartuchada con una longitud de perforación efectiva de 1.75 m. Los resultados son los siguientes.

Resultado 1

Longitud de avance: 1.58 m.

Ancho de la labor: 2.2 m. (+0.10 m.)

Alto de la labor: 2.5 m. (+0.10 m.)

Metros cúbicos rotos: 8.69 m³

Factor de carga: 2.15 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 4.9” en promedio

Perfil de la Labor regular; sobre excavación 0.62 m³, techo cajas

Resultado 2

Longitud de avance: 1.62 m.

Ancho de la labor: 2.3 m. (+0.20 m.)

Alto de la labor: 2.55 m. (+0.15 m.)

Metros cúbicos rotos 9.32 m³

Factor de carga: 2.01 Kg. /m³

Granulometría de la fragmentación: 5.8” en promedio

Perfil de la Labor regular: sobre excavación 1.25 m³, techo cajas

Resultado 3

Longitud de avance: 1.60 m.

Ancho de la labor: 2.15 m. (+0.05 m.)

Alto de la labor: 2.45 m. (+0.05 m.)

Metros cúbicos rotos: 8.43 m³

Factor de carga: 2.22 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 4.7” en promedio

Alto de la labor: 2.5 m. (+0.10 m.)

Perfil de la labor regular; sobre excavación 0.36 m³, techo cajas

Resultado 4

Longitud de avance: 1.59 m.

Ancho de la labor: 2.2 m. (+0.10 m.)

Alto de la labor: 2.6 m. (+0.20 m.)

Metros cúbicos rotos: 8.75 m³

Factor de carga: 2.14 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 5.5” en promedio

Perfil de la labor regular; sobre excavación 0.68 m³, techo cajas

Resultado 5

Longitud de avance: 1.60 m.

Ancho de la labor: 2.25 m. (+0.15 m.)

Metros cúbicos rotos: 8.60 m³

Factor de carga: 2.17 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 5.7” en promedio

Perfil de la labor regular; sobre excavación 0.53 m³, techo cajas

Resultado 6

Longitud de avance: 1.61 m.

Ancho de la labor: 2.2 m. (+0.10 m.)

Alto de la labor: 2.6 m. (+0.20 m.)

Metros cúbicos rotos: 8.68 m³

Factor de carga: 2.15 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 6.0” en promedio

Perfil de la labor regular; sobre excavación 0.61 m³, techo cajas

Resultado 7

Longitud de avance: 1.60 m.

Ancho de la labor: 2.15 m. (+0.05 m.)

Metros cúbicos rotos: 8.4 m³

Factor de carga: 2.23 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 5.6” en promedio

Perfil de la labor regular; sobre excavación 0.33 m³, techo cajas

Resultado 8

Longitud de avance: 1.59 m.

Ancho de la labor: 2.2 m. (+0.10 m.)

Alto de la labor: 2.45 m. (+0.05 m.)

Metros cúbicos rotos: 8.57 m³

Factor de carga: 2.18 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 5.9” en promedio

Perfil de la labor regular; sobre excavación 0.5 m³, techo cajas

Resultado 9

Longitud de avance: 1.60 m.

Ancho de la labor: 2.25 m. (+0.15 m.)

Metros cúbicos rotos: 8.60 m³

Factor de carga: 2.17 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 5.4” en promedio

Perfil de la labor regular; sobre excavación 0.53 m³, techo cajas

Resultado 10

Longitud de avance: 1.60 m.

Ancho de la labor: 2.1 m. (+0.00 m.)

Alto de la labor: 2.5 m. (+0.10 m.)

Metros cúbicos rotos: 8.4 m³

Factor de carga: 2.23 Kg/m³

Granulometría de la fragmentación; 4.9” en promedio

Perfil de la labor regular; sobre excavación 0.33 m³, techo cajas.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Presentación y análisis de los resultados de la voladura

A. Sobre excavación

Las pruebas de la voladura con el anfo y la emulsión se analizan mediante ciertos indicadores que evalúan los resultados, así como los beneficios en la sobre excavación y granulometría. De acuerdo con el proyecto del frente, el ancho debe ser 2.1m. y el alto 2.4 m. En la siguiente tabla se presentan los resultados del exceso de la sobre excavación con el uso del anfo y de la emulsión.

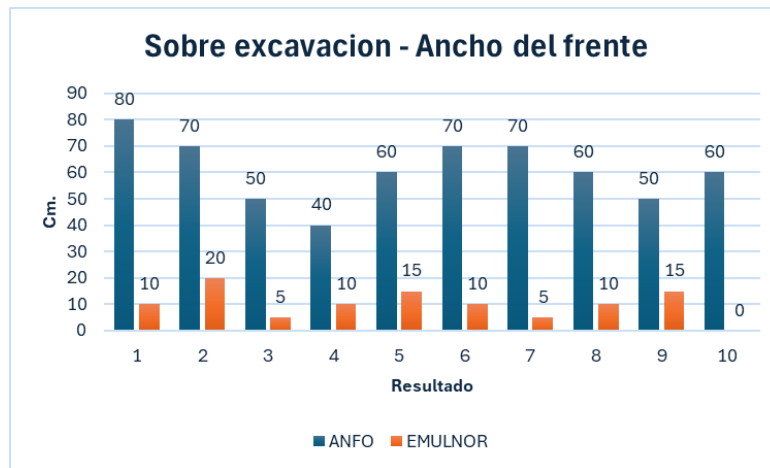
Tabla 11 Exceso de sobre excavación

Resultado	Vol. - ANFO		Vol. - Emulnor	
	Ancho (cm.)	Alto (cm.)	Ancho (cm.)	Alto (cm.)
1	80	70	10	10
2	70	80	20	15
3	50	70	5	5
4	40	60	10	20
5	60	80	15	10
6	70	80	10	20
7	70	80	5	10
8	60	90	10	5
9	50	70	15	10
10	60	60	00	10
Promedio	61	74	10	11.5

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente grafico estadístico se presenta los resultados de la voladura relacionando el ancho del frente referente a la sobre excavación con el uso del anfo y emulnor.

Figura 20 Relación del ancho de sobre excavación



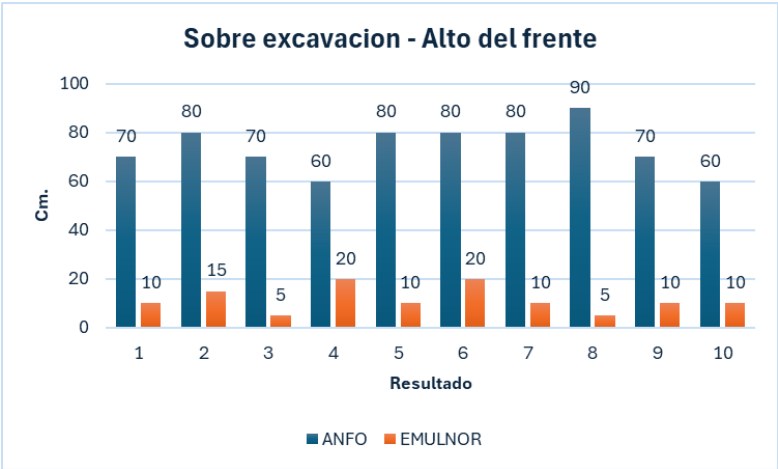
Fuente: Elaboración propia

Del grafico anterior se puede observar que con el uso del anfo se tiene una sobre excavación en exceso del ancho del frente de 40 cm. a 80 cm. con el uso de la emulsión se menora la sobre excavación de 0 a

20 cm. Estos resultados se han relacionado con el plan del proyecto de los frentes que debe ser de 2.1 m. todas las dimensiones obtenidas con el anfo son mucho mayores al plan del proyecto.

En el siguiente grafico estadístico se presenta los resultados de la voladura en cuanto al alto del frente referente a la sobre excavación con el uso del agente de voladura el anfo y el alto explosivo emulnor.

Figura 21 *Relación del alto de sobre excavación*



Fuente: Elaboración propia

Del grafico anterior se puede observar que con el uso del anfo se tiene una sobre excavación en exceso del alto del frente de 60 cm. a 90 cm. con el uso de la emulsión se menora la sobre excavación de 5 a 20 cm. Estos resultados se han relacionado con el plan del proyecto de los frentes que debe ser de 2.4 m.

En la siguiente tabla se presenta los resultados de la voladura en porcentaje, relacionando la sobre excavación con el uso del anfo y emulnor.

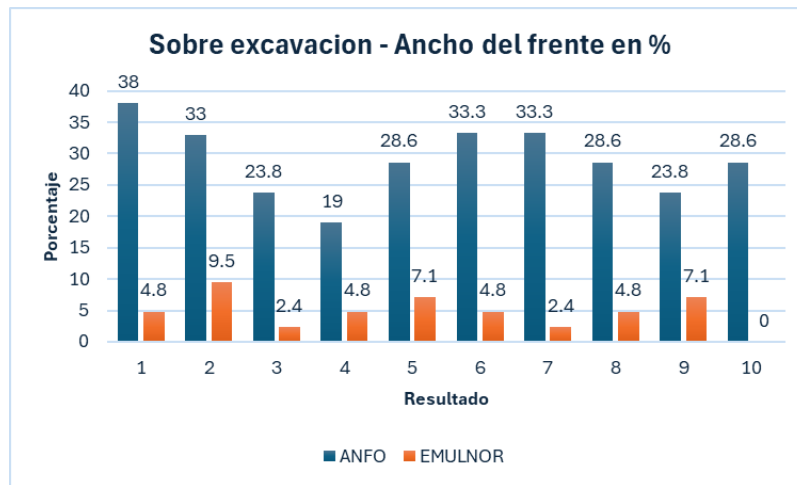
Tabla 12 Exceso sobre excavación en porcentaje

Resultado	Vol. - ANFO		Vol. - Emulnor	
	Ancho %	Alto %	Ancho %	Alto %
1	38	29.2	4.8	4.2
2	33	33.3	9.5	6.3
3	23.8	29.2	2.4	2.1
4	19	25	4.8	8.3
5	28.6	33.3	7.1	4.2
6	33.3	33.3	4.8	8.3
7	33.3	33.3	2.4	4.2
8	28.6	37.5	4.8	2.1
9	23.8	29.2	7.1	4.2
10	28.6	25	0.0	4.2
Promedio	29.0	30.83	4.77	4.81

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente grafico estadístico se presenta los resultados de la voladura en porcentaje, relacionando el ancho del frente referente a la sobre excavación con el uso del anfo y emulnor.

Figura 22 Exceso del ancho de sobre excavación en %



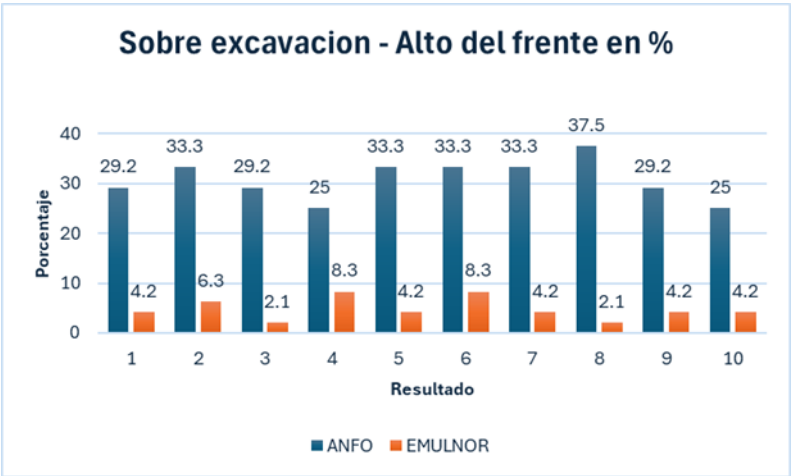
Fuente: Elaboración propia

Del grafico anterior se puede observar en porcentaje, que con el uso del anfo se tiene una sobre excavación en exceso del ancho del frente de 19 % a 33.3 % con el uso de la emulsión se menora la sobre

excavación de 0 % a 7.1 %. Estos resultados se han relacionado con el plan del proyecto de los frentes el ancho debe ser de 2.1 m. todas las dimensiones obtenidas con el anfo son mucho mayores al plan del proyecto.

En el siguiente grafico estadístico se presenta los resultados de la voladura en porcentaje, relacionando el alto del frente referente a la sobre excavación con el uso del anfo y emulnor, se puede notar la diferencia de excesos en porcentaje.

Figura 23 Exceso del alto de sobre excavación en %



Fuente: Elaboración propia

Del grafico anterior se puede observar en porcentaje, que con el uso del anfo se tiene una sobre excavación en exceso del alto del frente de 25 % a 37.5 % con el uso de la emulsión se menora la sobre excavación de 2.1 % a 8.3 %. Estos resultados se han relacionado con el plan del proyecto de los frentes el alto debe ser de 2.4 m.

B. Granulometría

Los resultados de la voladura en cuanto a la granulometría se tiene resultados muy diferentes relacionando el uso del anfo con el uso de la emulsión. Para ello se establece dimensiones del producto de la voladura considerando la capacidad de los equipos de carguío, transporte y la fase I de la planta metalúrgica. El criterio de evaluación del KPI se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 13 Regla de evaluación de la granulometría

CRITERIO	EVALUACION
4.5" a 6.5"	Excelente
< 4.5"	Inaceptable

Fuente: Área de planeamiento

En la siguiente tabla se presentan los resultados de las voladuras de 10 muestras por cada tipo de explosivo utilizado.

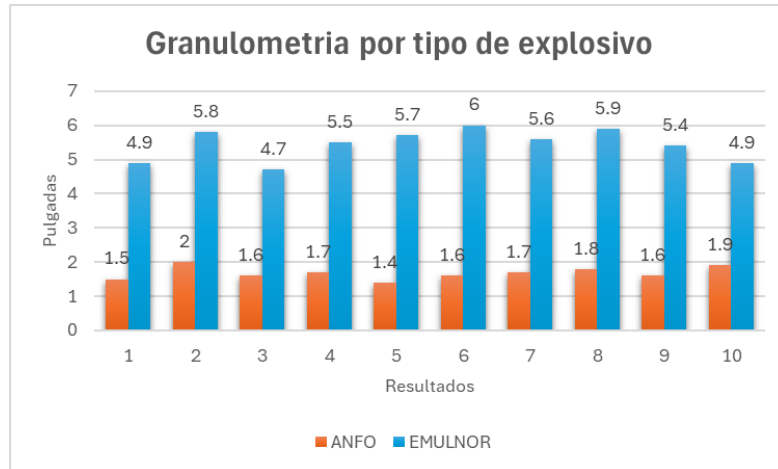
Tabla 14 Granulometría

Resultado	ANFO Pulgadas	EMULNOR Pulgadas
1	1.5	4.9
2	2.0	5.8
3	1.6	4.7
4	1.7	5.5
5	1.4	5.7
6	1.6	6.0
7	1.7	5.6
8	1.8	5.9
9	1.6	5.4
10	1.9	4.9
PROMEDIO	1.68	5.44

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente grafico estadístico se presenta los resultados de la voladura, relacionando la granulometría con el uso del anfo y emulnor.

Figura 24 *Relación de la Granulometría*



Fuente: Elaboración propia

Del grafico anterior se puede observar que la granulometría producto de la voladura, con el uso del anfo se tiene una granulometría de menores dimensiones, se obtiene tamaños de 1.4” a 2”; con el uso de la emulsión se mejora la granulometría de 4.7” a 6”. Estos resultados se han relacionado con el KPI planteado.

C. Promedios de los resultados de las voladuras

✓ Sobre excavación

En la siguiente tabla y grafico estadístico se presentan los promedios de sobre excavación del ancho y alto del frente con el uso del anfo y emulsión respectivamente.

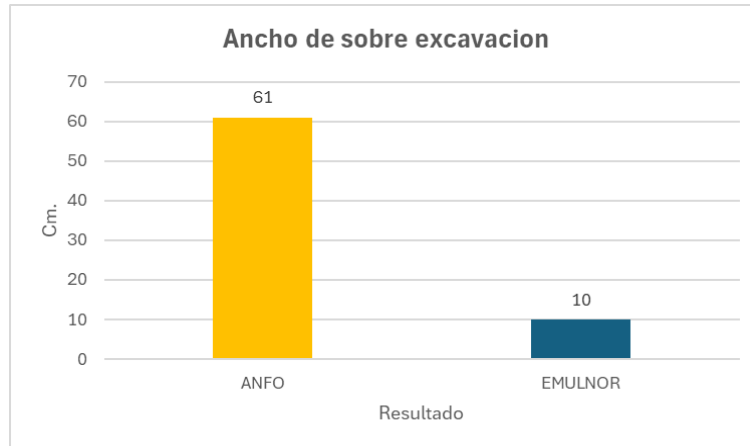
Tabla 15 Promedio de sobre excavación

Explosivo	Ancho cm.	Alto cm.
ANFO	61	74
EMULNOR	10	11.5

Fuente: Elaboración propia

Gráfico estadístico de promedios del ancho de sobre excavación

Figura 25 Promedio de sobre excavación - ancho

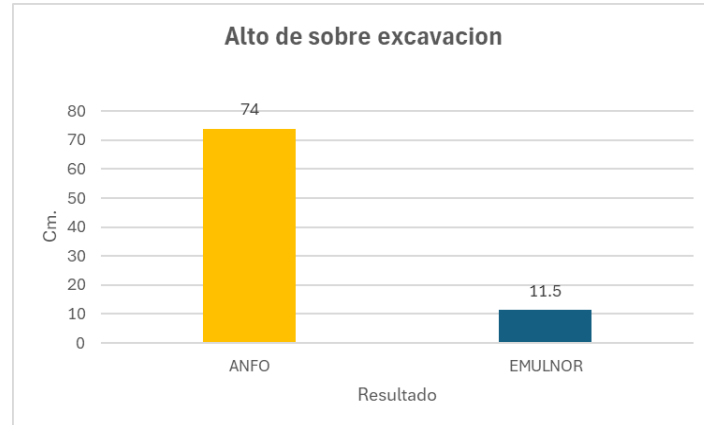


Fuente: Elaboración propia

Del grafico anterior se puede observar que el promedio de sobre excavación con el uso del anfo se obtiene un exceso del ancho del frente de 61 cm., con el uso de la emulsión se menora la sobre excavación de 10 cm.

Gráfico estadístico de promedios del ancho de sobre excavación

Figura 26 Promedio de sobre excavación - alto



Fuente: Elaboración propia

Del grafico anterior se puede observar que el promedio de sobre excavación con el uso del anfo se obtiene un exceso del alto del frente de 74 cm., con el uso de la emulsión se menora la sobre excavación a 11.5 cm.

En la siguiente tabla y grafico estadístico se presentan los promedios de sobre excavación del ancho y alto del frente en porcentaje con el uso del anfo y emulsión respectivamente.

Tabla 16 Promedios de sobre excavación en porcentaje

Explosivo	Ancho %	Alto %
ANFO	29.0	30.83
EMULNOR	4.77	4.81

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior se puede notar que con el uso del anfo se tiene un promedio en porcentaje mayor en la sobre excavación en relación con el uso de la emulsión.

✓ Granulometría

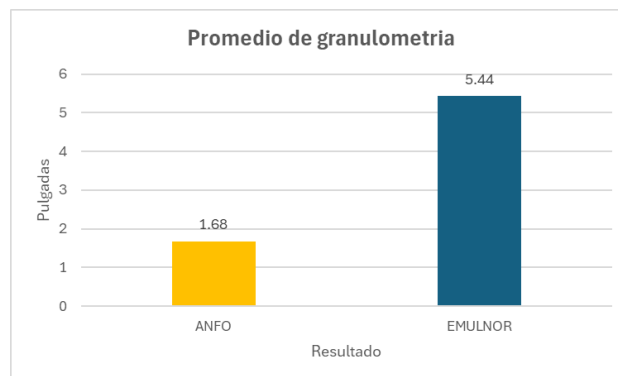
En la siguiente tabla y grafico estadístico se presentan los promedios de la granulometría con el uso del anfo y emulsión respectivamente.

Tabla 17 Promedio de granulometría

Explosivo	Granulometría pulgadas
ANFO	1.68
EMULNOR	5.44

Fuente: Elaboración propia

Figura 27 Promedios de granulometría



Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Interpretación de los resultados de la voladura

A. Sobre excavación

Se identifica como uno de los principales problemas críticos de la ejecución de los frentes al utilizar como explosivo el anfo, la aplicación de la emulsión en la voladura se mejora la sobre excavación.

De acuerdo con los análisis realizados se puede notar que con el uso del anfo se tiene una fuerte sobre excavación de 61 cm. En el ancho

del frente, mientras que al aplicar la emulsión se obtiene una sobre excavación 10 cm.

De los análisis realizados se puede notar que con el uso del anfo se tiene una fuerte sobre excavación de 74 cm. En el alto del frente, mientras que al aplicar la emulsión se obtiene una sobre excavación 11.5 cm.

Con los análisis realizados en porcentaje se puede notar que con el uso del anfo se tiene un exceso de sobre excavación de 29%. En el ancho del frente, mientras que al aplicar la emulsión se obtiene una mejora en la sobre excavación de 4.77%.

El resultado del análisis realizado en porcentaje se puede notar que con el uso del anfo se tiene un exceso de sobre excavación de 30.5%. En el alto del frente, mientras que al aplicar la emulsión se obtiene una mejora en la sobre excavación de 4.81%.

En el análisis de la granulometría de acuerdo con los resultados obtenidos con el uso del anfo se obtiene una granulometría muy pequeña de 1.68” en promedio, con la aplicación de la emulsión se obtiene una granulometría de 5.44”. Este ultimo valor se encuentra como excelente de acuerdo con el KPI, el cual redundara en la mejora de la eficiencia del equipo de carguío, transporte y la fase I de la planta metalúrgica.

B. Granulometría

En el análisis de la granulometría de acuerdo con los resultados obtenidos con el uso del anfo se obtiene una granulometría muy pequeña de 1.68” en promedio. Este último valor se encuentra como inaceptable de acuerdo con el KPI, se observa una baja productividad por la deficiencia de operación del equipo de carguío, transporte y la fase I de la planta metalúrgica.

Con la aplicación de la emulsión se obtiene una granulometría optima de 5.44” en promedio. Este último valor se encuentra como excelente de acuerdo con el KPI, el cual se puede notar en la mejora de la productividad por tener mayor rendimiento y eficiencia en la operación del equipo de carguío, transporte y la fase I de la planta metalúrgica.

4.3. Prueba de hipótesis

4.3.1. Hipótesis general

Se planteo la siguiente hipótesis “Se planteo la siguiente hipótesis “El uso de la emulsión encartuchada permite optimizar los resultados de las voladuras en las labores de avance de la Compañía Minera Caravelí”. De acuerdo con los análisis realizados en cuanto a la sobre excavación y la granulometría se ha mejorado significativamente en relación con el uso del anfo. Podemos concluir que la hipótesis queda demostrada.

4.3.2. Hipótesis específicas

a. Prueba de la primera hipótesis específica

La primera hipótesis específica plantea: “Se minimiza la sobre excavación en el resultado de las voladuras de las labores de avance con la aplicación de la emulsión en la compañía minera Caravelí”. De acuerdo con los análisis y resultados realizados mediante el criterio del control de la sobre excavación de las 10 voladuras realizadas con el anfo, se obtuvieron un promedio de 61 cm. mayor de ancho y 74 cm. mayor de alto en relación con la sección propuesta; Asimismo de las 10 voladuras realizadas con emulsión, se obtuvieron un promedio de 10 cm. mayor de ancho y 11.5 cm. mayor de alto en relación con la sección propuesta. Por lo que concluimos que con el uso de la emulsión se ha mejorado significativamente en relación con el uso del anfo. Por lo que queda demostrada la hipótesis planteada.

b. Prueba de la segunda hipótesis específica

La segunda hipótesis específica plantea: “La segunda hipótesis específica plantea: “Con la aplicación de la emulsión en las voladuras se mejora la granulometría de las labores de avance en la compañía minera Caravelí.” De acuerdo con los análisis y resultados realizados mediante el criterio del control de la granulometría de las 10 voladuras realizadas con el anfo, se obtuvieron un promedio de 1.68”. Este valor se encuentra como inaceptable de acuerdo con el KPI Asimismo de las 10 voladuras realizadas con emulsión, se obtuvieron un promedio

de 5.44”. Este valor se encuentra como “excelente” de acuerdo con el KPI. Por lo que concluimos que con el uso de la emulsión se mejora significativamente en relación con el uso del anfo. Por lo que queda demostrada la hipótesis planteada.

4.4. Discusión de resultados

En relación con el título de la investigación “Aplicación de la Emulsión para Mejorar los Resultados de la Voladura en las Labores de Avance de la Compañía Minera Caravelí S.A.C.”, Podemos citar:

- Con los análisis realizados en porcentaje se puede notar que con el uso del anfo se tiene un exceso de sobre excavación de 29%. En el ancho del frente, mientras que al aplicar la emulsión se obtiene una mejora en la sobre excavación de 4.77%.
- El resultado del análisis realizado en porcentaje se puede notar que con el uso del anfo se tiene un exceso de sobre excavación de 30.5%. En el alto del frente, mientras que al aplicar la emulsión se obtiene una mejora en la sobre excavación de 4.81%.
- Con el uso del anfo en las voladuras se obtiene una granulometría muy pequeña, este resultado retrasa las operaciones de carguío y limpieza, asimismo se tiene problemas en su proceso en la planta metalúrgica por obtener una granulometría de 1.68”. Con el uso de la emulsión se nota que la granulometría se encuentra dentro de los rangos del KPI como excelente, con un valor de 5.44”. esta dimensión del mineral mejora notablemente el proceso del carguío y limpieza del mineral, asimismo mejora los rendimientos de la planta metalúrgica.

CONCLUSIONES

1. Con la aplicación de la emulsión en la voladura se minimizo significativamente la sobre excavación; por lo que las labores de avance presentan una mayor estabilidad; por lo que el sostenimiento de la labor es con mayor rapidez y con el uso de menor cantidad de materiales.
2. Con la aplicación de la emulsión en la voladura se demuestra que los resultados en la granulometría son excelentes de acuerdo con el KPI. Este resultado mejora notablemente en los tiempos de limpieza y carguío del mineral, asimismo el proceso de la fase I de la planta metalúrgica se realiza con mayor eficiencia.
3. Se concluye que con el uso de la emulsión en las labores de avance se disminuye el porcentaje de la sobre excavación de un 30.5 % a 4.81% en el alto de la labor en relación con la sección propuesta.
4. Se concluye que con el uso de la emulsión en las labores de avance se disminuye el porcentaje de la sobre excavación de un 29 % a 4.77% en el ancho de la labor en relación con la sección propuesta.
5. Se concluye finalmente que con el uso de la emulsión es notable que se tiene una mayor eficiencia en las operaciones de sostenimiento, carguío, limpieza y el proceso metalúrgico.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda capacitar al personal de carguío del frente de la voladura, ya que se nota poco conocimiento en las diferentes densidades de la emulsión.
2. El jefe de guardia debe realizar permanentemente las evaluaciones de los resultados de la voladura, mayormente lo realiza el supervisor de la zona, que muchas veces no realiza una evaluación integral.
3. Se debe de continuar con la implementación de la emulsión encartuchada en todos los niveles de las labores de avance para generar mayor rentabilidad.
4. Se debe realizar una investigación en cuanto a los demás parámetros de los resultados de la voladura como vibraciones de la voladura, calidad de perforación, factor de carga, factor de avance.
5. Se recomienda realizar una investigación de voladuras con el uso de los detonadores electrónicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Burge, M. (2015). *Ciencia básica Ciencia Aplicada y Técnica*. Obtenido de SlideShare:
<https://es.slideshare.net/filosofico/ciencia-bsica-ciencia-aplicada-y-tecnica>
- 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.
- Compañía minera Caravelí. Plan de minado. Área de planeamiento 2024
- Compañía minera Caravelí. *Proyectos de desarrollo y preparación*. Área de Planeamiento 2024.
- Compañía minera Caravelí. *Proyectos de desarrollo y preparación*. Área de Ingeniería 2024
- Dupont, A. (2015). *Manual Para el Uso de Explosivos*, España, editorial: Blasters
- EACH CHUNGAR, E. (2023). Cartilla de Perforación y Voladura. Lima, Perú.
- Enaex S.A. (2022). *Curso de Manejo de Explosivos*. Santiago, Chile. Editorial Enaex
- EXSA S.A. (2021). *Manual Práctico de Voladura*. Lima, Perú: Departamento Técnico de EXSA S.A.
- Famesa Explosivos SAC. (2022). *Ficha técnica de los explosivos de minería*. Obtenido de:
<http://www.famesa.com.pe/productos/altos-explosivos/emulnor/>.
- FAMESA, E. (2019). *Manual de Perforación y Voladura*. Lima, Perú: Editorial OSAS.
- Ferrer, M. (2018). *Manual de campo para la descripción y caracterización de los macizos rocosos en afloramientos*. España: Instituto Geológico y Minero de España.
- López, C. (2012). *Manual de Perforación y Voladura de Rocas*. Madrid: Primera Edición.
- López, J. (2010). *Ingeniería de Túneles*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.

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, Peru.

RUNE, G. (2010). *Técnicas Suecas de Voladura*. México, Editorial Reverte S.A.

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

ANEXOS

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

PLAN DE MINADO 2024 COMPAÑÍA MINERA CARAVELÍ

PROGRAMA julio 2024

NIVEL	LABOR	VETA	TMS
5010	TJ 220	HERALDOS	900
5010	TJ 770 N	BOMBONCITO	1080
5010	TJ 770 S	BOMBONCITO	2160
4890	TJ 145 N	HERALDOS	2025
4890	TJ 145 S	HERALDOS	2633
4890	TJ 340 N	BOMBONCITO	1080
4890	TJ 340 S	BOMBONCITO	540
4890	TJ 660 N	BOMBONCITO	1215
4890	TJ 660 S	BOMBONCITO	1215
4980	TJ 710	BOMBONCITO	3600
5010	TJ 990	BOMBONCITO	2552

PROGRAMA agosto 2024

NIVEL	LABOR	VETA	TMS
5010	TJ 220	HERALDOS	2005
5010	TJ 770 N	BOMBONCITO	900
5010	TJ 770 S	BOMBONCITO	1800
4890	TJ 145 N	HERALDOS	2025
4890	TJ 145 S	HERALDOS	2025
4890	TJ 340 N	BOMBONCITO	1620
4890	TJ 340 S	BOMBONCITO	810
4890	TJ 660 N	BOMBONCITO	1215
4890	TJ 660 S	BOMBONCITO	1215
4980	TJ 710	BOMBONCITO	1800
4840	GAL 400 N	BOMBONCITO	743
4840	GAL 400 S	BOMBONCITO	743
5010	TJ 990	BOMBONCITO	2100

PROGRAMA setiembre 2024

NIVEL	LABOR	VETA	TMS
5010	TJ 220	HERALDOS	1080
4890	GAL 345 S	BOMBONCITO	1238
4890	TJ 145 N	HERALDOS	2025
4890	TJ 145 S	HERALDOS	2633
4890	TJ 340 N	BOMBONCITO	1782
4890	TJ 340 S	BOMBONCITO	891
4890	TJ 660 N	BOMBONCITO	2313
4890	TJ 660 S	BOMBONCITO	2430
4980	TJ 710	BOMBONCITO	2430
4840	GAL 400 N	BOMBONCITO	916
4840	GAL 400 S	BOMBONCITO	1114

TOTAL	18850
--------------	--------------

PROGRAMA octubre 2024

NIVEL	LABOR	VETA	TMS
5010	TJ 220	HERALDOS	1888.56
4890	TJ 145 N	HERALDOS	2025
4890	TJ 145 S	HERALDOS	2632.5
4890	TJ 340 N	BOMBONCITO	1620
4890	TJ 340 S	BOMBONCITO	810
4890	TJ 660 N	BOMBONCITO	2430
4890	TJ 660 S	BOMBONCITO	2430
4980	TJ 710	BOMBONCITO	4050
4840	GAL 400 S	BOMBONCITO	1113.75

TOTAL	19000
--------------	--------------

CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA ZONA ESPERANZA

4.1.2 Caracterización geomecánica – zona esperanza

La caracterización geomecánica de los frentes programados ha sido obtenida de labores existentes, en niveles inferiores, y/o proyección de estas.

Cuadro N°01.- Caracterización geomecánica galería 750, Nivel 1300

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: Plan anual Caravelí

4.2.2. Estado de esfuerzos in-situ del macizo rocoso – zona esperanza

La caracterización geomecánica de los frentes programados ha sido obtenida de labores existentes, en niveles inferiores, y/o proyección de estas.

Cuadro N°02.- Estado de esfuerzos in-situ galería 750, Nv.1300

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: Plan anual Caravelí

4.3.1 Máxima abertura de la excavación

Para la determinación de la máxima abertura de la excavación según la calidad del macizo rocoso se ha empleado el modelo matemático de Barton, en función a la estimación del Span es que se ha dimensionado las labores mineras, las cuales serán sostenidas o fortificadas.

4.3.2 Máxima abertura de la excavación– zona capitana

Cuadro N°03.- galería 750, Nivel 1300

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	3.0 a 3.5
Crucero	48	1.74	Temporal	3	7	3.0 a 3.5
Galería	42	1.29	Temporal	3	6	3.0 a 3.5
Tajo	42	1.29	Temporal	3	6	3.5 a 6.0

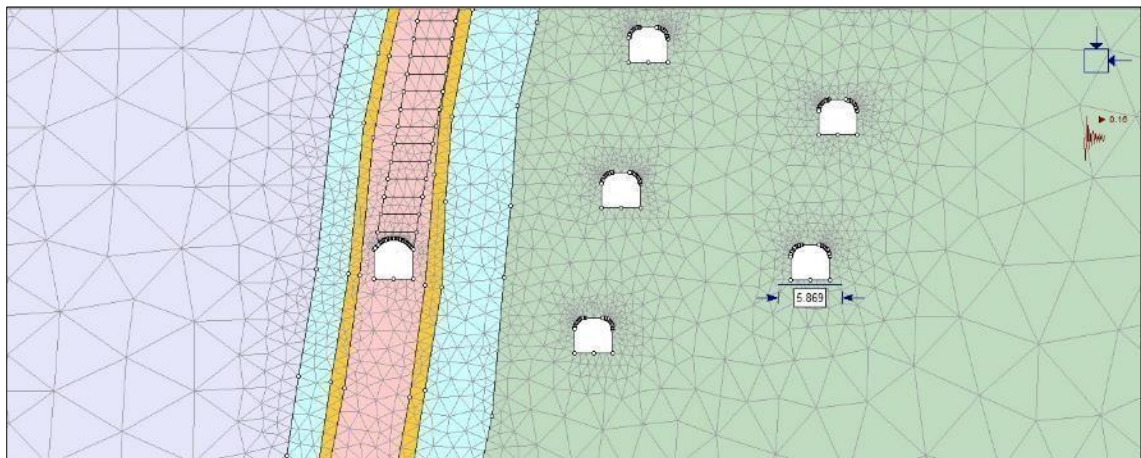
Fuente: Plan anual Caravelí

Cuadro N°04.- Características geométricas de la zona esperanza

Parámetro	Características
Forma del	Tabular
Orientación	N38°W
Potencia	3-8m
Inclinación	70° - 75°
Tipo de manto	vertical
Profundidad	>120 m
Densidad media	2.9 t/m ³

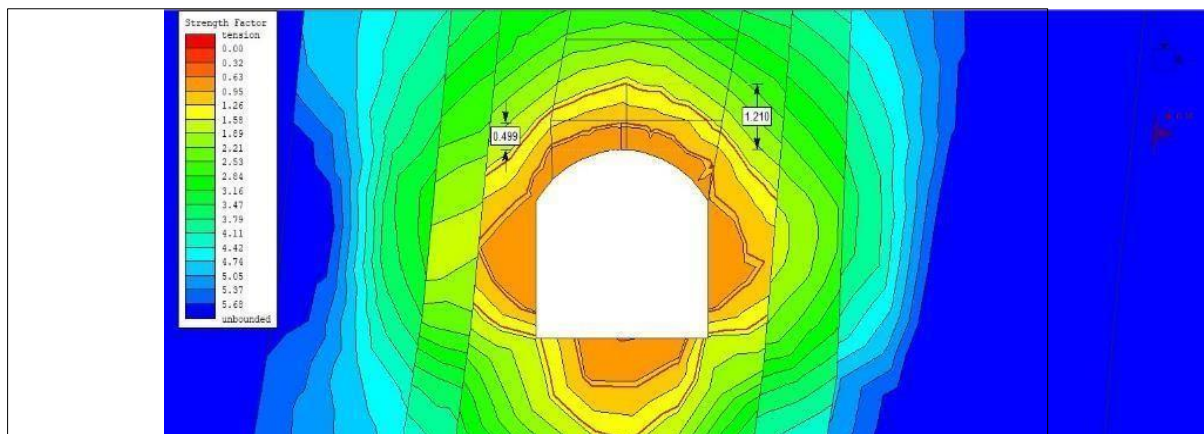
Fuente: Área de geología

Mapeo geo mecánico de frentes _ zona esperanza



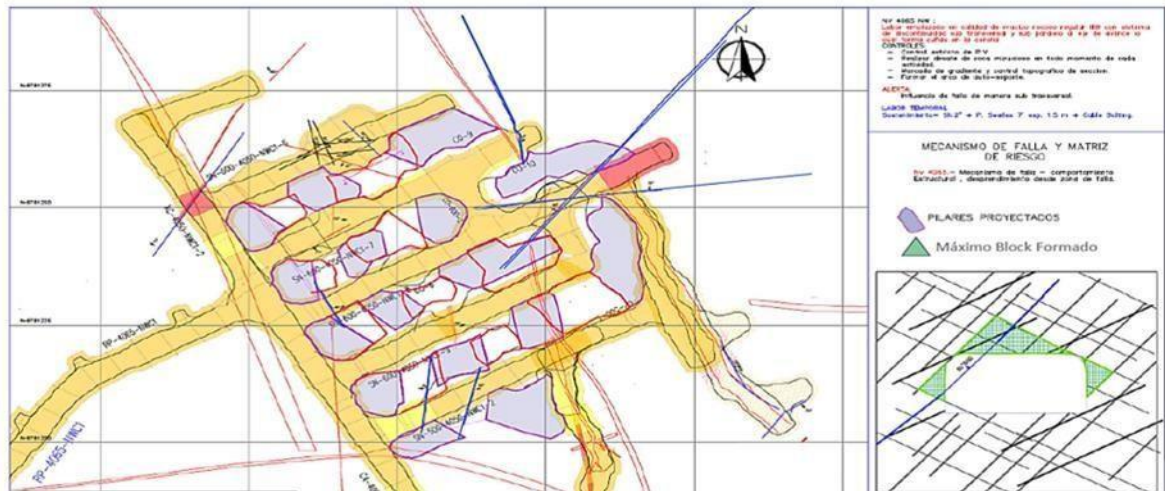
Fuente: Área de geología

Mapeo geo mecánico - Análisis de zona plastificada en zona esperanza



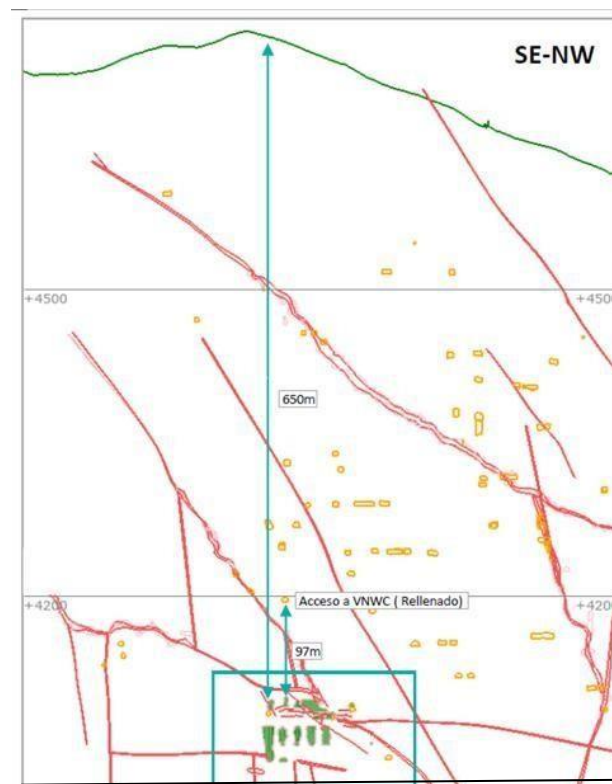
Fuente::Área de Geología

Mapeo geo mecánico – zona esperanza



Fuente: Área de geología

Mapeo geo mecánico – galería 750



Fuente: Área de geología

REGISTRO DE VOLADURA CON ANFO

Nº de tal. unidad	Avance metros	Granulometría pulgadas	Explosivo kilogramos	Factor de carga Kg/tn.	Toneladas rotas
20	1.90	7.5	16	0.32	50.16
20	1.80	7.0	16	0.34	47.52
20	1.95	7.0	16	0.31	51.48
20	2.00	7.5	16	0.30	52.8
20	1.80	6.5	16	0.34	47.5
20	1.85	6.0	16	0.33	48.8
20	1.85	6.5	16	0.33	48.8
20	1.80	5.5	16	0.34	47.52
20	1.85	5.0	16	0.33	48.84
20	1.90	5.5	16	0.32	50.16

REGISTRO DE VOLADURA CON EMULSION

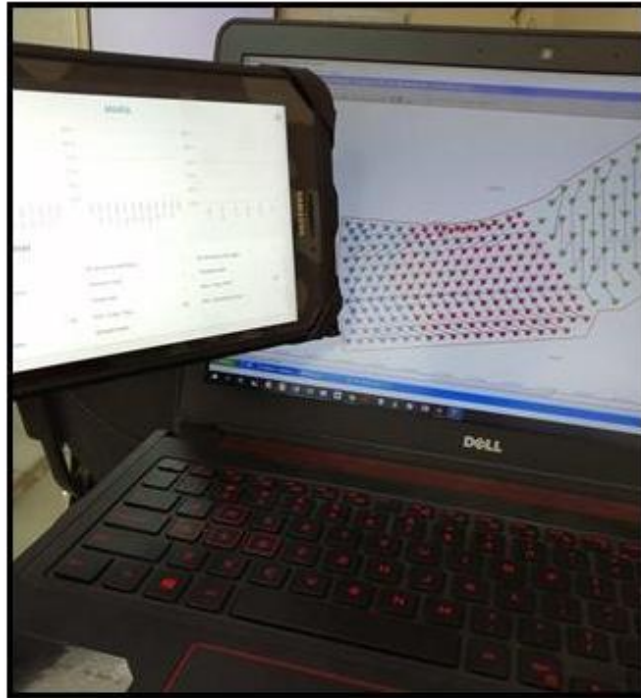
Nº de tal. unidad	Avance metros	Granulometría pulgadas	Explosivo kilogramos	Factor de carga Kg/tn.	Toneladas rotas
13	2.25	4.5	14.90	0.25	60.75
13	2.20	4.0	14.90	0.26	59.40
13	2.30	4.0	14.90	0.23	62.10
13	2.25	4.0	14.90	0.25	62.75
13	2.20	4.5	14.90	0.26	59.40
13	2.30	4.5	14.90	0.23	62.10
13	2.15	4.0	14.90	0.27	58.05
13	2.20	4.5	14.90	0.26	59.40
13	2.30	4.0	14.90	0.23	62.10
13	2.25	4.0	14.90	0.25	60.75

Wincha métrica.



Fuente: Elaboración propia

Laptop para registrar datos.



Fuente: Elaboración propia

MATRIZ DE CONSISTENCIA

“Aplicación de la emulsión para Mejorar los Resultados de la Voladura en las Labores de Avance de la Compañía Minera Caravelí S.A.C.”

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Método	Población y muestra
General ¿Sera posible mejorar los resultados de la voladura en las labores de avance con la aplicación de la emulsión en la compañía minera Caravelí? Problemas específicos ¿La aplicación de la emulsión permite minimizar la sobre excavación del resultado de las voladuras de las labores de avance en la compañía minera Caravelí? ¿La aplicación de la emulsión permite mejorar la granulometría del resultado de las voladuras de las labores de avance en la compañía minera Caravelí?	General Mejorar los resultados de la voladura en las labores de avance con la aplicación de la emulsión en la compañía minera Caravelí Objetivos específicos Minimizar la sobre excavación en el resultado de las voladuras de las labores de avance con la aplicación de la emulsión en la compañía minera Caravelí. Mejorar la granulometría en el resultado de las voladuras de las labores de avance con la aplicación de la emulsión en la compañía minera Caravelí.	Hipótesis general La aplicación de la emulsión permite mejorar los resultados de la voladura en las labores de avance de la compañía minera Caravelí. Hipótesis específicas a) Se minimiza la sobre excavación en el resultado de las voladuras de las labores de avance con la aplicación de la emulsión en la compañía minera Caravelí. b) Se Mejora la granulometría en el resultado de las voladuras de las labores de avance con la aplicación de la emulsión en la compañía minera Caravelí.	Variable independiente X: Aplicación de la emulsión en la compañía minera Caravelí. Variable Dependiente Y: mejorar los resultados de la voladura en las labores de avance de la compañía minera Caravelí.	Tipo de Investigación El desarrollo de la investigación es de carácter aplicativo por los objetivos que se han determinado en este proyecto, el trabajo de la investigación está centrado en el nivel descriptivo, correlacional y explicativo. Método de investigación el método es lógico, inductivo, sintético y de análisis, asimismo se emplea el método empírico mediante la observación investigativa.	Población Conformado por los frentes de avance de la compañía minera Caravelí. Muestra Avance de 100 metros del frente Cx620 del nivel 1700