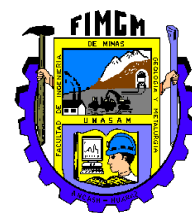




UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS GEOLOGÍA Y METALURGIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**DISEÑO DE PERFORACION Y VOLADURA PARA LA
OPTIMIZACION EN EL PROCESO OPERATIVO DE LA
CORTADA ESPERANZA EN EL PROYECTO MARIA 2021**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO DE
MINAS**

PRESENTADO POR:

Bach. NARVAEZ ESPINOZA, Jesús Martín

ASESOR:

DR. QUIÑONES POMA, JUAN ROGER

HUARAZ – PERÚ

2022





UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"

FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS,
GEOLOGIA Y METALURGIA



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL

En la ciudad de Huaraz, siendo las doce horas con diez minutos de la mañana (12:10 a.m.) del día veintitrés de Diciembre del Dos mil Veintidos (23/12/22), se reunieron los miembros del jurado Evaluador nominados según Resolución Nro. 167-2022-FIMGM/D, de fecha 07 de Setiembre del 2022, integrado por los siguientes Docentes: **Dr. FLAVIO AUGUSTO RAMOS AQUÍÑO, como Presidente; M.Sc. Ing. ARNALDO ALEJANDRO RUIZ CASTRO, como Secretario y el M.Sc. Ing. JESUS GERARDO VIZCARRA ARANA, como Vocal;** para la sustentación de la tesis Títulado: **"DISEÑO DE PERFORACION Y VOLADURA PARA LA OPTIMIZACION EN EL PROCESO OPERATIVO DE LA CORTADA ESPERANZA EN EL PROYECTO MARIA - 2021"**, presentado por el Bachiller **JESUS MARTIN NARVAEZ ESPINOZA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas, en concordancia con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo", se procedió con el acto de sustentación bajo las siguientes consideraciones, el Presidente del Jurado calificador, invitó a los docentes, alumnos y público en general a participar en este acto; luego invitó al Secretario del Jurado calificador a dar lectura de la Resolución N° 167-2022-FIMGM/D de fecha 07 de Setiembre del 2022. Acto seguido se invitó al sustentante a la defensa de su tesis por un lapso de veinte minutos (20), concluida con la misma, se procedió con el rol de preguntas de parte de los miembros del Jurado Calificador, finalmente se invitó al público en general a hacer abandono del Auditorium de la FIMGM por un lapso de diez (10) minutos con el propósito de deliberar la nota del sustentante, **ACORDANDO: APROBAR CON EL CALIFICATIVO (*)de: DIECISEIS (16).** Siendo las trece horas y trece minutos (13:13 p.m.) del mismo día, se dio por concluida el acto de sustentación.

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


Dr. FLAVIO AUGUSTO RAMOS AQUÍÑO
Presidente


M.Sc. Ing. ARNALDO ALEJANDRO RUIZ CASTRO
Secretario


M.Sc. Ing. JESUS GERARDO VIZCARRA ARANA
Vocal


Dr. JUAN ROGER QUINONES POMA
Asesor

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

Nota: El sustentante deberá levantar las observaciones realizadas por el Jurado Evaluador



UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS,
GEOLOGIA Y METALURGIA




ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS

Los Miembros del Jurado, luego de evaluar la tesis titulada: **"DISEÑO DE PERFORACION Y VOLADURA PARA LA OPTIMIZACION EN EL PROCESO OPERATIVO DE LA CORTADA ESPERANZA EN EL PROYECTO MARIA - 2021"**, presentado por el Bachiller JESUS MARTIN NARVAEZ ESPINOZA, y sustentada el día Veintitres de Diciembre del 2022, por Resolución Decanatural N° 167-2022-FIMGM/D, la declaramos CONFORME.

En consecuencia queda en condiciones de ser publicada.

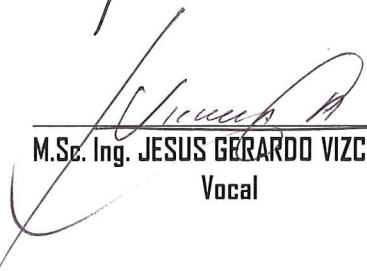
Huaraz, 23 de Diciembre del 2022



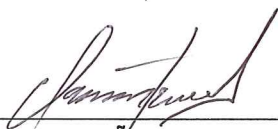
Dr. FLAVIO AUGUSTO RAMOS AQUIÑO
Presidente



M.Sc. Ing. ARNALDO ALEJANDRO RUIZ CASTRO
Secretario



M.Sc. Ing. JESUS GERARDO VIZCARRA ARANA
Vocal



Dr. JUAN ROGER QUIÑONES POMA
Asesor

DEDICATORIA

A Dios por darme vida y fortaleza, a mis padres por todo el apoyo, en especial a mí querida madre por su esfuerzo y amor incondicional, a mi querida esposa por su apoyo incondicional y paciencia a mi amada hija, a mis docentes que inculcaron en mí el amor hacia la minería.

AGRADECIMIENTO

En gratitud a mi alma mater la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, facultad de ingeniería de minas geología y metalurgia, futuro provisor del mañana, también quisiera agradecer al Sr. Carlos Galindo Aguirre que es mi socio en este proyecto. Gracias por sus consejos y trasmitirme todos sus conocimientos empresariales debido a su larga trayectoria como empresario, muchas gracias también a mis padres por su apoyo incondicional para poder seguir adelante con mis proyectos a todos y todas las personas que me ayudaron a seguir adelante para todos ellos muchas gracias.

El autor

RESUMEN

El siguiente trabajo expone una propuesta para el diseño de perforación y voladura para continuar con el desarrollo de la **CORTADA ESPERANZA EN EL PROYECTO MARÍA**, esto se debe que anteriormente se estaba realizando un trabajo empírico en el desarrollo del avance de la cortada lo cual trajo serios problemas en el desarrollo de la misma generando sobre fracturamiento en la corona y haciendo que la labor se realce esto conlleva a un enjambre de problemas como sobre costos en voladura sobre costos en tiempos para retirar desmonte excesivo, debido al realce de la labor derrumbes en la labor etc. Debido a este problema nos hemos visto en la obligación de desarrollar el diseño de perforación y voladura estandarizándola y usando una cantidad determinada de explosivos para evitar la sobre rotura y a si la fragmentación de la roca sea la adecuada y poder continuar desarrollando la cortada. El diseño de perforación y voladura es completamente necesario en cualquier proyecto donde se desarrollará o se realizará galerías cortadas etc., y esto nos ayudará a reducir costos en este caso el costo por metro lineal avanzado era **\$165.76** y con el diseño se redujo a **\$130.22** obteniendo una diferencia de **\$35.54** por metro avanzado, esto nos permitirá el desarrollo de la labor con un menor presupuesto y de manera óptima.

PALABRAS CLAVES: Diseño de perforación y voladura, optimización del proceso operativo

ABSTRACT

The following work presents a proposal for the design of drilling and blasting to continue with the development of the hope cut in the Maria project, this is because previously empirical work was being carried out in the development of the advance of the cut which brought serious problems in the development of the same generating over fracturing in the crown and causing the work to be enhanced, this leads to a swarm of problems such as blasting costs over costs in times to remove excessive waste, due to the enhancement of the work collapses in the work etc. Due to this problem, we have been obliged to develop the drilling and blasting mesh, standardizing it and using a certain number of explosives to avoid overbreak and whether the fragmentation of the rock is adequate and to be able to continue developing the cut. The design of the drilling and blasting mesh is completely necessary in any project where cut galleries are developed or carried out, etc., and this will help us reduce costs and advance in the best possible way without any problem occurring within the work.

KEYWORDS: Drill and blast design, operational process optimization.

INDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
INDICE.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I GENERALIDADES	3
1.1. Entorno Físico	3
1.1.1.Ubicación y Acceso	3
1.1.2.Topografía	4
1.1.3.Recursos Naturales	4
1.2. Entorno geológico	6
1.2.1.Geología regional	6
1.2.2.Geología local.....	7
1.2.3.Geología estructural.....	10
1.2.4.Geología económica	13
CAPITULO II FUNDAMENTACIÓN	16
2.1. Marco teórico	16
2.1.1.Antecedentes de la investigación.....	16
2.1.2.Definición de términos	17

2.1.3.Fundamentación teórica.....	22
CAPÍTULO III METODOLOGÍA	43
3.1. El Problema	43
3.1.1.Descripción de la realidad problemática	43
3.1.2.Planteamiento y formulación del problema.....	43
3.1.3.Objetivos.....	44
3.1.4.Justificación de la investigación	45
3.1.5.Limitaciones	45
3.1.6.Alcances de la investigación.....	45
3.2. Hipótesis.....	46
3.3. Variables.....	46
3.4. Diseño de la investigación.....	47
3.4.1. Tipo de investigación.....	47
3.4.2.Nivel de investigación	48
3.4.3.Diseño de la investigación.....	48
3.4.4.Población y muestra.....	48
3.4.5.Técnicas, instrumentación de recolección de datos Técnicas.....	48
3.4.6.Forma de tratamiento de los datos	48
CAPÍTULO IV RESULTADO DE LA INVESTIGACIÓN	49
4.1. Descripción de la realidad y procesamiento de datos	49
4.2. Análisis e interpretación de la información.....	59
4.3. Discusión de los resultados	72
4.4. Aportes del tesista	75
CONCLUSIONES	76

RECOMENDACIONES	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
ANEXOS	80



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. <i>Recorrido total y tiempo para acceder al proyecto</i>	4
Tabla N° 2. <i>Operacionalización de variables</i>	47
Tabla N° 3. <i>Distancia entre taladros y coeficiente de roca</i>	59
Tabla N° 4. <i>Análisis de precios unitarios antes del diseño de la malla de perforación</i>	60
Tabla N° 5. <i>Sección de la labor</i>	60
Tabla N° 6. <i>Tiempo de perforación antes del diseño de la malla de perforación y voladura</i>	62
Tabla N° 7. <i>Costos de perforación con Jack Leg</i>	63
Tabla N° 8. <i>Costos de equipos y materiales</i>	63
Tabla N° 9. <i>Costos de herramientas</i>	64
Tabla N° 10. <i>Costos de implementos de protección personal</i>	64
Tabla N° 11. <i>Costos de explosivo</i>	65
Tabla N° 12. <i>Costos de Sosténimiento</i>	65
Tabla N° 13. <i>Análisis de costos perforación, voladura y limpieza antes del diseño</i>	66
Tabla N° 14. <i>Análisis de precio unitario después del diseño de la malla de perforación y voladura</i>	69
Tabla N° 15. <i>Sección de la labor</i>	69
Tabla N° 16. <i>Tiempo de perforación después del diseño</i>	70
Tabla N° 17. <i>Análisis de costos perforación, voladura y limpieza después del diseño</i>	71
Tabla N° 18. <i>Costos de la malla de perforación y voladura antes y después del diseño</i>	72
Tabla N° 19. <i>Tabla de comparación de resultados empíricos y con diseño</i>	73
Tabla N° 20. <i>Tabla de comparación de resultados de costos de los aceros</i>	73

Tabla N° 21. <i>Resultados del muestreo en la labor</i>	85
Tabla N° 22 <i>Muestreo de datos de campo</i>	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1 <i>Columna estratigráfica de la geología local</i>	8
Figura N° 2 <i>Malla de perforación y voladura empírica</i>	61
Figura N° 3 <i>Malla de perforación y voladura después del diseño</i>	67
Figura N° 4 <i>Simulación de voladura después del diseño</i>	68
Figura N° 5 <i>Diferencia de costos</i>	72
Figura N° 6 <i>Acciones básicas en la perforación de roto-percusión</i>	85
Figura N° 7 <i>Fallas en la perforación</i>	87
Figura N° 8 <i>Distribución de los taladros en minería convencional</i>	88

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. <i>Matriz de consistencia</i>	80
Anexo 2. <i>Ubicación de la concesión minera MARIA 2021</i>	81
Anexo 3. <i>Mapa Geológico del Cuadrángulo de Huari</i>	82
Anexo 4. <i>Afloramiento de lutitas grises</i>	83
Anexo 5. <i>Intercalación de lutitas limolitas y arenisca, sill dacítico</i>	83
Anexo 6. <i>Pliegues principales</i>	84
Anexo 7. <i>Pliegues anticlinal y sinclinal</i>	84
Anexo 8. <i>Plano de la labor</i>	85

INTRODUCCIÓN

El diseño de perforación y voladura para la optimización del proceso operativo es fundamental en cualquier proyecto de construcción de una galería, la cortada esperanza fue desarrollada desde un principio para interceptar la mineralización debido a que no se desarrolló con conocimientos técnicos si no empíricos a causa de la excesiva carga de explosivos y la mala perforación esta sufrió un derrumbe del tope diez metros hacia atrás lo cual genero gastos excesivos en sostenimiento y limpieza llegando a causar un desorden económico en la inversión y parando el proyecto.

El objetivo de este trabajo es diseñar la malla de perforación y voladura en el frente de avance con sus respectivos parámetros mediante la elaboración de modelos matemáticos aplicando el uso de software para optimizar el proceso operativo de la cortada esperanza.

La presente investigación tiene como Hipótesis General: El diseño la perforación y voladura será óptimo con el proceso operativo en la cortada esperanza del proyecto María 2022.

Este trabajo se justifica en la ausencia de una guía base para el área de operaciones para futuros proyectos de desarrollos, para interceptar estructuras mineralizadas y tener adecuados controles de perforación y voladura. Además, pretende contribuir como una alternativa de solución para minimizar los costos por conceptos de perforación y voladura en los proyectos de desarrollo que tenga la empresa.

La presente tesis está estructurada en los capítulos siguientes:

- ✓ El **Capítulo I**, Se describe todo lo relacionado a la ubicación de la concesión, su topografía, los recursos naturales del lugar, la parte geológica, regional y local; así como su geología estructural y geología económica.
- ✓ El **Capítulo II**, trata sobre el marco teórico, con los antecedentes de la investigación y la definición de términos.
- ✓ El **Capítulo III**, trata sobre planteamiento del estudio, la metodología de la investigación, el tipo de investigación, el diseño de la investigación, el método, la población y muestra, las técnicas e instrumentos de recolección de datos.
- ✓ El **Capítulo IV**, trata sobre los resultados de la investigación, la descripción de la realidad y procesamiento de datos, el análisis teórico, el mapeo tradicional, el análisis e interpretación de la información, la discusión de resultados, los aportes del tesista.

Finalmente, las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y los anexos.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Entorno Físico

1.1.1. Ubicación y Acceso

El proyecto María cuya concesión tiene el mismo nombre es una concesión de dos cuadrículas donde se está desarrollando la cortada esperanza está ubicado en el caserío de socos, centro poblado de rayan distrito de chacas provincia de asunción departamento de Áncash. El Catastro Minero de la concesión es 010069021, estado actual petitorio en trámite. Las coordenadas UTM de los vértices de la concesión minera son (1) 8990000 242000; (2) 8989000 242000 (3) 8989000 240000 y (4) 8990000 240000. La concesión minera presenta la altitud mínima de 3000 msnm en la zona baja de Socos y máxima es de 3660 msnm en la zona alta de Macuash; así como un área de 200 hectáreas. La concesión minera colinda por el Oeste con la concesión no metálica extinta HECTOR RICARDO I y al sur con la concesión minera extinta CRUZ PAMPA (ver Anexo N° 02: Ubicación de la concesión minera MARIA 2021).

Para acceder al proyecto desde la capital se tomará la ruta siguiente: desde la ciudad de Lima hasta la ciudad de Huaraz con un recorrido de 402.5 km por la panamericana norte vía asfaltada, luego de la ciudad de Huaraz a la ciudad de chacas con un recorrido aproximado de 109.7 km vía asfaltada, luego desde la ciudad de chacas hasta el proyecto un recorrido de 11 km vía afirmada, el recorrido total y tiempo se describe en el siguiente cuadro:

Tabla N° 1.

Recorrido total y tiempo para acceder al proyecto

Ruta	Vía	Distancia (km)	Tiempo de viaje (h)
Lima-Huaraz	Asfaltada	402.5	7.3
Huaraz-Chacas	Asfaltada	109.7	2.47
Chacas-Proyecto	Afirmada	11	0.2
Total	AS-AS- AF	523.2	9.97

Fuente: Elaboración propia

1.1.2. Topografía

El proyecto María tiene una topografía que al igual que en la provincia, se caracteriza por ser bastante accidentada, con abundancia de terrenos montañosos, debido a su ubicación en el territorio de la falla Cordillera Blanca que viene levantando toda la zona de Conchucos desde el periodo cuaternario (2588 millones de años atrás) a razón de 1 mm/año mientras que el bloque occidental (Callejón de Huaylas) se hunde. La concesión minera presenta la altitud mínima de 3000 msnm en la zona baja de Socos y máxima es de 3660 msnm, en el punto donde se está desarrollando la cortada la altura es de 3432msnm y presenta un encampane de 1500m. En conclusión, el proyecto se estaría llevando a cabo en la región quechua.

1.1.3. Recursos Naturales

a) Flora: La flora está dominada en gran parte por las especies alóctonas eucalipto y pino suizo (*Pinus cembra*). El primero se localiza en gran porcentaje del territorio distrital por debajo de los 3500 m s. n. m., debido a su intensiva forestación a finales de los años 1980. El segundo

se encuentra por encima de los 3500 m s. n. m., forestado por la Parroquia de Chacas a finales de la década de 1990. Que comparten el hábitat con la vegetación autóctona andina, como el quenual, la quishuar, el molle, el ichu, y un abundante número de plantas aromáticas como el cedrón y la muña, entre otras. Mientras que, sobre y alrededor de los ríos Chucpin, Acochaca y Arma coexisten especies de ribera, como el aliso, la adelfa, la zarzamora y el carrizo.

b) Fauna: La fauna autóctona está compuesta por variadas especies animales que habitan en los diferentes ecosistemas existentes. Entre los mamíferos, destacan la taruca, el venado, la llama, el oso de anteojos y el zorro en las zonas más espesas de los bosques de puna, y roedores como la vizcacha y la muca en las zonas pedregosas. También hay una gran diversidad de aves: rapaces, como el cóndor, el gavián y el cernícalo, y nocturnas, como el búho; aves acuáticas, como el pato andino, y paseriformes, como el gorrión común, el jilguero y el ruiseñor. Cabe destacar la existencia de aves migratorias, como es el caso de las golondrinas, que anidan durante el invierno en los humedales. Además, es reseñable entre las aves domésticas la paloma. Entre los reptiles, habitan saurios como la lagartija, y ofidios, como la culebra. En cuanto a los anfibios, habitan el sapo y la rana.

c) Minerales: Desde la época colonial se desarrolló la actividad minera en toda la provincia donde se localiza el proyecto convirtiéndose así en un importante asiento minero a nivel regional los principales minerales que hasta el día de hoy se explotan son la galena argentífera, la blenda,

esfalerita y la calcopirita cuyos elementos principales son la plata, plomo, cobre, zinc.

d) Hidrografía: Debido a su ubicación en la cabecera de la cuenca izquierda del río Marañón, la red hidrográfica distrital está compuesta por numerosos ríos y arroyos que bañan varias zonas geográficas, los cuales completan un mapa de recursos hídricos aprovechado tanto para el consumo humano como para fines agrícolas e hidroenergéticos. Existen dos ríos principales, que recorren el distrito de sur a norte: el río Arma, que nace en las punas de Tayán y del Nevado Perlilla al sur, y el río Chacapata, que nace en las faldas de los nevados Copa y Bayococha al suroeste. Estos cauces son alimentados por quince arroyos a lo largo de su recorrido hasta su unión en Puruytumac, donde toma el nombre de río Acochaca. El Acochaca posteriormente desemboca en el río Yanamayo y este, a su vez, en el río Marañón.

1.2. Entorno geológico

1.2.1. Geología regional

“LA CONCESIÓN MINERA MARÍA 2021” se encuentra dentro del cuadrángulo 19-i Huari de la carta geológica nacional (ver Anexo N° 03: Mapa Geológico del Cuadrángulo de Huari). De acuerdo al cuadrángulo 19-i Huari, la geología del área de la concesión minera está compuesta por rocas sedimentarias de la Formación (Fm) Chicama del Jurásico Superior. De acuerdo al Boletín N.º 60, Serie A: Carta Geológica Nacional, la Fm Chicama, consiste en grosores considerables de lutitas y areniscas finas,

que afloran en los cuadrángulos de Pallasca, Pomabamba, Corongo y Huari. No hay afloramiento de la base, pero se supone discordante sobre el Grupo Pucará y formaciones más antiguas. Infrayace en discordancia paralela a la Fm Oyón. La dificultad de medir el grosor verdadero, es debido a sus complicadas estructuras, así como los sobre escurrimientos; aunque se estima grosores entre 800 a 1000 metros. Se considera que estos afloramientos extensos, son producto de factores estructurales, considerando la tectónica del área se piensa en sobre escurrimientos intraformacionales, que aparentemente sugerirían un gran espesor. Las lutitas de la Fm. Chicama, que se intercalan con las areniscas, son piritosas y con nódulos ferruginosos, siendo más arenosas en el sector oriental, dentro del área estudiada las rocas que constituyen el basamento son:

- ✓ Rocas sedimentarias
- ✓ Rocas intrusivas
- ✓ Rocas metamórficas

1.2.2. Geología local

La litología del área de la concesión se caracteriza por afloramientos de rocas sedimentarias clásticas de la formación Chicama del jurásico superior, instruidas por rocas ígneas intrusivas como sill del mioceno, así como la presencia de depósitos aluviales y coluviales del cuaternario.

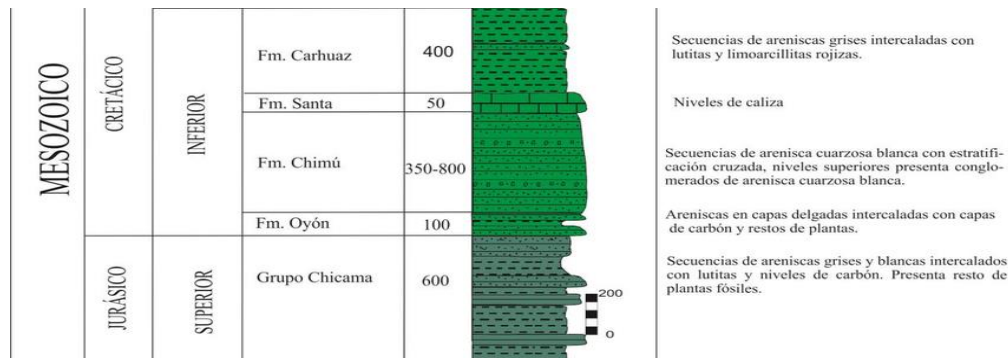
En el área de la concesión minera, la Fm Chicama presenta capas de areniscas cuarcíticas intercaladas con capas de limolitas grises y lutitas oscuras con presencia de nódulos piritosos y oxidados (ver Figura N°1).

1.2.2.1. Estratigrafía

Está compuesta por rocas sedimentarias de la Formación (Fm) del Jurásico Superior. De acuerdo al Boletín N° 60, Serie A: Carta Geológica Nacional, la Fm Chicama, consiste en grosores considerables de lutitas y areniscas finas. Las lutitas de la Fm. Chicama, que se intercalan con las areniscas, son piritosas y con nódulos ferruginosos, siendo más arenosas en el sector oriental (ver Figura N°1).

Figura N° 1

Columna estratigráfica de la geología local



Fuente: Carta Geológica Nacional, la Fm Chicama

1.2.2.2. Rocas sedimentarias

Las rocas sedimentarias que se presentan en la concesión maría son rocas que pertenecen a la formación Chicama las cuales son:

- a) **Lutitas:** Roca sedimentaria clástica de grano muy fino, textura pelítica, variopinta; es decir, integrada por detritos clásticos constituidos por partículas de los tamaños de la arcilla y del limo. En las lutitas negras el color se debe a existencia de materia

orgánica. Si la cantidad de esta es muy elevada se trata de lutitas bituminosas. Existen lutitas de Colores gris, gris azulado, blanco y verde son característicos de ambientes deposicionales ligeramente reductores. Coloraciones rojas y amarillas representan ambientes oxidantes. Las lutitas son porosas y a pesar de esto son impermeables, porque sus poros son muy pequeños y no están bien comunicados entre ellos. Pueden ser rocas madre de petróleo y de gas natural. Por metamorfismo se convierten en pizarras o en filitas. Su diagénesis corresponde a procesos de compactación y deshidratación.

- b) Areniscas:** Roca sedimentaria de tipo detrítico, de color variable, que contiene clastos de tamaño arena. Tras las lutitas son las rocas sedimentarias más comunes en la corteza terrestre.² Las areniscas contienen espacios intersticiales entre sus granos.² En rocas de origen reciente estos espacios están sin material sólido mientras que en rocas antiguas se encuentran rellenos de una matriz o de cemento de sílice o carbonato de calcio.² Si los espacios intersticiales no están totalmente rellenos de minerales precipitados y hay cierta porosidad estos pueden estar llenos de agua o petróleo.¹ En cuanto a los granos se componen de cuarzo, feldespato o fragmentos de roca.² La arenisca se emplea, entre otros usos, como material de construcción y como piedra de afilar.
- c) Limolitas:** Roca sedimentaria clástica o detrítica. Como su nombre indica, está compuesta principalmente (más de 2/3) de limo,

partículas de tamaño definidos como granos de 1/16 - 1/256 mm o de 4 a 8 en la escala phi (ϕ) de Krumbein. Las limolitas difieren significativamente de las areniscas debido a sus poros más pequeños y una mayor propensión a contener una significativa fracción de arcilla. Aunque a menudo se confunde con lutita, la limolita carece de la fisibilidad y láminas que son típicas de la lutita. Las limolitas pueden contener concreciones. A menos que la roca sedimentaria sea bastante arcillosa, es probable una estratificación que sea oscura y que tiende a superar en ángulos oblicuos no relacionados con el lecho. El mudstone o esquisto es una roca que contiene barro, que es un material que tiene un alcance de limo y arcilla. La limolita se diferencia por tener una composición mayoritaria de limo, no de arcilla.

1.2.2.3. Rocas intrusivas

Respecto a las rocas intrusivas, concordante a la estratificación, se registró un sill dacítico de matriz afanítica con cristales de silicatos argilizados y cristales de cuarzo (ver Anexo N° 05: Afloramiento de sill dacítico).

1.2.3. Geología estructural

• Pliegues

El plegamiento en la zona fue intenso. Se encuentran pliegues de tipo isoclinal y concéntrico en profundidad; la orientación de los ejes en superficie es mayormente N-S con buzamiento promedio del plano axial del orden de 75°E. En el borde norte del Proyecto se observan las

diferentes unidades estratigráficas 11 diferenciadas en la Formación Chicama. Estas se presentan formando pliegues isoclinales, con plano axial curvado y buzamiento vertical a subvertical. Por el proyecto discurren dos pliegues grandes.

- **Fallas longitudinales**

Son estructuras del Sistema Andino que corresponden a fallas regionales de dirección NW-SE, las cuales han controlado la evolución estructural de las cuencas marinas mesozoicas. Estas fallas son generalmente del tipo inverso, y paralelas a los ejes de los pliegues N-S; muestran y buzamientos entre 65° y 87° tanto al Este como al oeste en algunos casos se encuentran conjugadas. En los planos de falla se han observado microestructuras asociadas al movimiento relativo de sus bloques, que proporcionan pitch (grado de inclinación) del esfuerzo de corte de tipo inverso entre 75° y 90° . Los planos de falla se orientan paralelos a oblicuos a la estratificación.

- **Fallas transversales**

Son estructuras de dirección NE-SW que pertenecen al sistema de fallas san Luis-Huari - Piscobamba. Aparentemente, se trata de fallas tipo cizalla originada por el movimiento transcurrente de las estructuras de rumbo andino.

1.2.3.1. Características estructurales del proyecto

- **Punto 1**

La concesión minera maría 2021 está formada por estructuras inclinadas manteadas Afloramiento de lutitas grises con presencia de nódulos ferruginosos. Los estratos de lutita presentan un rumbo azimutal de N55°, buzamiento de 25° SE y espesor de 8 metros aproximadamente. Coordenadas UTM N: 8989301, E: 0240913, Altitud: 3402 msnm (ver Anexo N° 04: Afloramiento de lutitas grises).

- **Punto 2**

Afloramiento de areniscas cuarcitas. La capa de areniscas presenta un rumbo azimutal de N130° y buzamiento de 34° SW. Coordenadas UTM N: 8989313, E: 0240999, Altitud: 3482 msnm.

- **Punto 3**

Afloramiento de capas de areniscas, limolitas y lutitas arenosas. Los estratos presentan un rumbo azimutal de N80° y buzamiento de 18° SE. Coordenadas UTM N: 8989427, E: 0241453, Altitud: 3598 msnm.

- **Punto 4**

Afloramiento de capas de areniscas intercaladas con limolitas y lutitas. Los estratos presentan un rumbo azimutal de N125°, buzamiento de 46° SW y espesor de 10 metros aproximadamente. Coordenadas UTM N: 8989314, E: 0241375, Altitud: 3610 msnm (ver Anexo N° 05: Intercalación de lutitas limolitas y areniscas).

1.2.4. Geología económica

1.2.4.1. Origen y tipo de yacimiento

De acuerdo al mapa metalogenético de INGEMMET la concesión minera abarca las franjas metalogenéticas XX y XXII. La zona noreste de la concesión pertenece a la Franja Metalogenética XX de pórfidos de Cu-Mo (Au), skarns de Pb-Zn-Cu (Ag) y depósitos polimetálicos relacionados con intrusiones del Mioceno. Y la zona suroeste de la concesión minera pertenece a la Franja Metalogenética XXII de depósitos de W-Mo-Cu relacionados con intrusivos del Mioceno superior. Debido a la geología local caracterizado por rocas sedimentarias sílico-clásticas de la Fm Chicama y las franjas metalogenéticas anteriormente descritas, la concesión minera podría tener el potencial de albergar yacimientos polimetálicos. De la revisión de yacimientos cercanos, se puede advertir que 4 km al norte, en el distrito de San Luis, encontramos la concesión minera TRES AMIGOS N° 2 donde funcionó la mina polimetálica Potosí. Por otro lado, al norte de las franjas XX y XXII tenemos la Franja Metalogenética XXI-B de epitermales de Au-Ag hospedados en rocas sedimentarias, como el yacimiento epitermal de oro Alto Chicama constituido por brechas hidrotermales hospedadas principalmente en las areniscas cuarcitas de la Fm Chimú. Por ello, la concesión minera podría tener el potencial de albergar yacimientos de oro en areniscas cuarcitas.

Por lo expuesto, las muestras recolectadas en la concesión minera fueron analizadas por Au, Ag, Cu, Pb y Zn.

1.2.4.2. Mineralogía

- **Minerales de mena**

Los minerales de mena del proyecto maría son esencialmente la galena argentífera con presencia aurífera mínima lo cual nos da elementos como el plomo, la plata y el oro y la blenda en segundo plano que nos entrega principalmente el zinc.

- **Minerales de ganga**

Los minerales de ganga del proyecto maría principalmente son el cuarzo, la pirita, la arsenopirita.

1.2.4.3. Evaluación de labor minera

La labor minera esperanza es un crucero o cortada desarrollado en rocas sedimentarias sílico-clásticas areniscas, limolitas y lutitas. Desde la bocamina hasta el derrumbe, la labor minera tiene 12 metros de longitud. La labor minera inicia cortando una capa de lutita grises deleznable de 1 m de potencia, posteriormente corta una capa de limolita de 0.5 m de potencia y posteriormente corta una capa de areniscas altamente fracturadas, con presencia de óxidos rellenando las fracturas y filtración de agua. Posterior a las areniscas, la labor corta una capa de lutitas oscuras piritosas con presencia de nódulos, característicos de la Fm Chicama. A 12 m de la bocamina, el crucero presenta un derrumbe que ha obstruido por completo la labor, lo cual imposibilita revisar el frente del crucero. El

derrumbe se produjo por el planchoneo de las lutitas oscuras debido a la fragilidad de la roca y el buzamiento de los estratos que es sub-horizontal, 24° de inclinación en promedio. En base a la inclinación de los estratos y la potencia de las capas de lutita encima de la bocamina, se advierte que la labor minera cortará a estratos de lutita en por lo menos 15 metros lineales (ver Anexo N° 07: Plano labor minera Esperanza).

De acuerdo al desarrollo del trabajo para cortar la estructura, la labor minera hasta el frente del crucero tiene aproximadamente 10 m de longitud posterior al derrumbe se avanzó otros 10 metros más, A 3.5 m de la bocamina, se observa una fractura rellena de óxidos (hematita y limonita) y fragmentos de roca (arenisca) cuya potencia es 0.10 m en promedio, rumbo azimutal N58° y buzamiento 67° SW. Se tomó una muestra de esta estructura en la corona del crucero, cuyos resultados se presentan a continuación (ver Tabla N° 19: Resultados del muestreo en la labor).

Los resultados muestran que la fractura rellena de óxidos presenta anomalías considerables de Zn, Ag y Au. Sin embargo, las concentraciones son bajas por lo que no se considera una estructura mineralizada interesante.

CAPITULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1. Marco teórico

2.1.1. Antecedentes de la investigación

López (2018) en su tesis: Diseño de estándares de perforación y voladura de rocas, para normalizar la fragmentación del material resultante de la construcción de la rampa positiva 050 de la mina Arequipa M – Cía. minera ac agregados S.A.C, concluye que, al diseñar los estándares de perforación y voladura de rocas, normalizan la fragmentación del material resultante de la construcción de la rampa positiva.

Herrera (2018, pag 34) menciona que existe una relación intrínseca entre la perforación y la voladura, ya que puede afirmarse categóricamente que una buena perforación posibilita una buena voladura, pero una mala perforación asegura una mala voladura. Se entiende por buena perforación aquella que se ha hecho con los medios y técnicas más adecuadas y que además se ha ejecutado de forma correcta. Asimismo, una buena voladura será aquella que cumple con el objetivo para que el que fue diseñada.

Pachas (2017) en su tesis: Reducción de los costos unitarios con la estandarización de la malla de perforación y voladura en labores de avance de la U. E. A. San Hilarión - corporación minera virgen de la merced SAC. – periodo 2017, concluye que, en el desarrollo del presente trabajo de investigación, se ha demostrado que con el diseño óptimo de malla de perforación y voladura de rocas se logra reducir de US\$ 4816.21 a US\$. 4413.63.

Chipana (2015), comenta en su 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 La metodología de esta actividad consistió en la evaluación de las operaciones de perforación y voladura de la Galería Progreso y la ejecución de su etapa inicial y posteriormente se seleccionó un nuevo diseño de malla de perforación y selección de carga explosiva utilizada, finalmente estos resultados se han comparado para encontrar la reducción de costos de perforación y voladura en la Galería Progreso de la Contrata Minera Cavilquis-Corporación Minera Ananea S.A.

2.1.2. Definición de términos

- **Anfo:** Es un agente explosivo de bajo precio cuya composición es 94.3% de Nitrato de Amonio y 5.7% de gas – oíl, que equivalen a 3.7 litros de esta última porcada 50kg de Nitrato de Amonio.
- **Burden:** Es la distancia entre un taladro cargado con explosivos a la cara libre de una malla de perforación. El Burden depende básicamente del diámetro de perforación, de las propiedades de la roca y las características del explosivo a emplear
- **Cara libre o taladro de alivio:** Permite que las ondas de compresión producto de la voladura se reflejen contra ella, originando fuerzas de tensión que permiten producir la fragmentación de la roca.
- **Espaciamiento:** Es la distancia entre taladros cargados con explosivos de una misma fila o de una misma área de influencia en una malla de perforación.

- **Estándar:** Es el modelo, patrón o referencia a seguir. En minería se aplica este término a los estándares de gestión de los procesos productivos en las empresas mineras aplicándose por ejemplo en la automatización de los procesos de perforación y voladura, planes mineros y control de flotas de carguío y acarreo.
- **Perforación en breasting:** Perforación horizontal de producción con la cara libre en la parte inferior de la malla de perforación.
- **Geomecánica:** Se ocupa del estudio teórico y práctico de las propiedades y comportamientos mecánicos de los materiales rocosos. Básicamente este comportamiento geomecánico depende de los siguientes factores: Resistencia de la roca, grado de fracturación del macizo rocoso y la resistencia de las discontinuidades.
- **Labores permanentes:** Son aquellas labores mineras que serán de larga duración o duración permanente durante la vida de la mina, y en las que se requieren aplicar el sostenimiento adecuado que garantice un alto factor de seguridad, pues en estas labores se tendrá un tránsito constantemente de personas y equipos y la construcción de diversas instalaciones.
- **Smooth Blasting:** Es un tipo de voladura de contorno o voladura suave, en el caso de túneles también se le conoce como voladura periférica.
- **Velocidad de detonación:** La velocidad de detonación es la característica más importante de un explosivo, mientras más alta sea su velocidad de detonación mayor será su potencia. A la detonación se le

entiende como la transformación casi instantánea de la materia sólida que lo compone en gases.

- **Dinamita semexsa:** Es un explosivo fabricado a base de Nitroglicerina, es sensible al Fulminante Común N° 6 que presenta un alto poder rompedor y tiene buena resistencia al agua. Esta dinamita se emplea en todo tipo de trabajos en minería superficial, subterránea y obras civiles utilizándose con éxito en rocas de dureza intermedia a dura, proporcionando buenos resultados en cuanto a la fragmentación.
- **Broca:** Extremidad cortante de un taladro, generalmente hecha de un material muy duro, como diamante industrial o carburo de tungsteno.
- **Explosivos:** Son compuestos químicos susceptibles de descomposición muy rápida que generan instantáneamente gran volumen de gases a altas temperaturas y presión ocasionando efectos destructivos.
- **Mecha lenta:** Es un accesorio para voladura que posee capas de diferentes materiales que cubren el reguero de pólvora.
- **Mecha rápida:** Es un accesorio (cordón flexible) que contiene dos alambres, uno de fierro y el otro de cobre; uno de los cuales está envuelto en toda su longitud por una masa pirotécnica especial, y ambos a la vez están cubiertos por un plástico impermeable.
- **Presión de detonación:** Es la presión que existe en el plano “CJ” detrás del frente de detonación, en el recorrido de la onda de detonación.
- **Velocidad de detonación:** Es la velocidad a la que la onda de detonación se propaga a través del explosivo, y por tanto es el parámetro que define el ritmo de liberación de energía.

- **Simpatía:** proceso por el cual se puede inducir la detonación de otro cartucho vecino.
- **Sensibilidad:** Es la capacidad o aptitud que presenta todo explosivo para ser iniciado por un fulminante, un cebo o un cordón.
- **Densidad:** Es la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo, expresada en g/cm³. Prácticamente expresa la masa en gramos de una sustancia contenida en un volumen de 1 cm³. En los explosivos tiene influencia determinante sobre la velocidad de detonación y la sensibilidad.
- **Barreno:** hueco cilíndrico practicado en la roca para alojar explosivo.
- **Detonador:** Accesorio de iniciación en forma de cápsula detonante que puede ser en los eléctricos de retardo (0,5 s), de microrretardo (20 ó 30 ms) o instantáneos. También se diferencian en función del impulso de encendido.
- **Cebo:** Carga de explosivo de alta potencia y sensibilidad, en la que se sitúa el iniciador, y que sirve para aumentar el rendimiento de otros explosivos.
- **Mecha lenta:** Accesorio lineal flexible con núcleo de pólvora negra forrado con material textil y cobertura plástica impermeable, que transmite por su interior a una llama controlada denominada “dardo” y el fulminante o detonador simple, instantáneo, formado por una cápsula de aluminio con sus cargas inflamable y explosiva, abierta por uno de sus extremos para introducir la mecha y ponerla en contacto con la carga inflamable.

- **Cordón detonante:** cordón de explosivo dentro de una envoltura donde la detonación se propaga a gran velocidad (miles de m/s) permite la iniciación casi simultánea de muchas cargas de explosivos alejados los unos de los otros y comunicados por el mismo cordón.
- **Factor de Carga:** cantidad de explosivo empleado por cada unidad de roca tronada. Generalmente se emplean las dimensiones en gramos de explosivo por cada tonelada de roca tronada (g/ton) o gramos de explosivo por cada m³ de roca tronada (g/m³).
- **Corte:** Voladura de contorno formada por barrenos próximos y cargas suaves disparadas después de las de destroza para conseguir una mejor terminación del perfil final.
- **Cuadradores:** son los taladros laterales que forman los flancos del túnel.
- **Corona:** Parte situada por encima del filetín en una piedra tallada.
- **Ayudas:** son los taladros que rodean a los taladros de arranque y forman la salida hacia la cavidad inicial.
- **Arrastre:** son los taladros que corresponden al piso de la galería, se disparan al final de toda la tanda.
- **Alza:** son los taladros que forman el techo o bóveda del túnel.
- **Atacado:** son los taladros del centro, que se disparan primero para formar la cavidad inicial en la galería.

2.1.3. Fundamentación teórica

Perforación de rocas

Arcos (2007) La perforación es la primera operación en la preparación de una voladura, su propósito es de abrir en la roca huecos cilíndricos destinados a alojar explosivo y sus accesorios iniciadores, denominados taladros barrenos o blast holes, se basa en principios mecánicos de percusión y rotación, cuyos efectos de golpe y fricción producen el astillamiento y trituración de la roca en una área equivalente al diámetro de la broca y hasta una profundidad dada por el barreno utilizado, la eficiencia en perforación consiste en lograr la máxima penetración al menor costo, en perforación se tiene gran importancia la resistencia al corte o dureza de la roca (que influye en la facilidad y velocidad de penetración) y la abrasividad. Esta última influye en el desgaste de la broca y por ende en el diámetro final de los taladros cuando esta se adelgaza (brocas chupadas).

La perforación se ejecuta siguiendo esquemas geométricos denominados trazos de perforación o mallas de perforación, los que están en función de la naturaleza y características del macizo rocoso.

➤ **Principio de perforación:** Para la rotura de la roca se realizan dos operaciones básicamente: la penetración (perforación) y la fragmentación de la roca (voladura). la primera se realiza a través de un orificio o corte, generalmente por medios mecanizados, hidráulicos o térmicos, con la finalidad de introducir explosivos dentro de los mismos u otros propósitos, lograr la apertura de un túnel, galería o pozo, para

extraer un mineral de tamaño y forma específicamente deseado, etc., la segunda busca aflojar y fragmentar grandes masas de material, convencionalmente mediante energía química, hidráulica, entre otras. Antes de entrar en el campo de los explosivos y del diseño de las voladuras en la explotación es necesario desarrollar los conceptos de perforación de las rocas para entender los mecanismos que se llevan a cabo.

Existen varios métodos de perforación de las rocas, los cuales pueden ser clasificados de diversas maneras en función de ciertas características. de acuerdo con los parámetros de los equipos de perforación, dimensión del barreno, método de montaje del equipo de perforación y fuente de energía. los sistemas de perforación más utilizados en la minería subterránea metálica, se ubican dentro del ataque mecánico, el cual se basa en la utilización de energía mecánica a la roca por medio de dos esquemas básicos, acción percusiva (percusión) o acción rotativa (rotación). Combinando los dos métodos se tiene híbridos, tales como, la roto-percusión. Las que se describirán a continuación.

➤ **Tipos de Perforación**

a) Perforación por Percusión

El componente fundamental de la perforadora es el pistón, el cual empujando hacia adelante golpea la culata de la barra, de modo que la energía cinética del pistón se transmite desde el martillo hasta el elemento de corte de la barra de perforación a través del varillaje, en

forma de onda de choque. El desplazamiento de onda se realiza a alta velocidad y la forma depende de las características del diseño de pistón. La onda de choque se desplaza hasta alcanzar la broca o elemento de corte de la barra de perforación, una parte de la energía se transforma en trabajo haciendo penetrar el útil y el resto se refleja y retrocede a través del varillaje, produciendo calor y desgaste de las roscas. la medición de la eficiencia en la transmisión de la energía es muy difícil y depende de varios factores, tales como: el tipo de roca, la forma y dimensiones del pistón, las características del varillaje, el diseño de la broca, etc. dependiendo del equipo de perforación utilizado se obtienen mejores transmisiones de energía. En estos sistemas de perforación la potencia de percusión es el parámetro que más influye en la velocidad de penetración. (Artigas z., maría t., 2011).

b) Perforación por Rotación

La perforación por rotación realiza dos acciones básicas por medio de la broca a la roca: empuje axial y torque; la energía se transmite a la broca a través de un tubo de perforación que gira y presiona las brocas contra las rocas. Los elementos cortantes de las brocas generan una presión sobre la roca que llega a producir la rotura de la misma, tiene como misión hacer que la broca actúe sobre distintos puntos de la roca en el fondo del barreno.

c) **Perforación por roto-percusión**

El principio de perforación de estos equipos se basa en el impacto de una pieza de acero (pistón) que golpea a un útil (barra) que a su vez transmite la energía al fondo del barreno por medio de un elemento final (broca). Los equipos roto-percutivos se clasifican en dos grandes grupos según donde se encuentre colocado el martillo. La perforación por roto percusión se basa en la combinación de las siguientes acciones: percusión y rotación. La percusión se basa en los impactos producidos por el golpeteo del pistón originan unas ondas de choque que se transmiten a la broca a través del varillaje (en el martillo en cabeza) o directamente sobre ella (en el martillo de fondo). Mientras que la rotación consiste en hacer girar la broca para que los impactos se produzcan sobre la roca en distintas posiciones.

✓ **Martillo en cabeza**

En estas perforadoras dos de las acciones básicas, rotación y percusión, se producen fuera del barreno, transmitiéndose a través de una espiga y del varillaje hasta la broca de perforación. Los martillos pueden ser de accionamiento neumático o hidráulico.

✓ **Martillo en fondo**

La percusión se realiza directamente sobre la broca de perforación, mientras que la rotación se efectúa en el exterior del barreno. El accionamiento del pistón se lleva a cabo neumáticamente mientras que la rotación puede ser neumática o hidráulica.

d) Percusión

Los impactos producidos por el golpeteo del pistón originan unas ondas de choque que se transmiten a la broca a través del varillaje (en el martillo en cabeza) o directamente sobre ella (en el martillo en fondo).

e) Rotación

Con este movimiento se hace girar la broca para que los impactos se produzcan sobre la roca en distintas posiciones.

f) Empuje

Para mantener en contacto el útil de perforación con la roca se ejerce un empuje sobre la sarta de perforación.

g) Barrido

El fluido de barrido permite extraer el detritus del fondo del barreno (ver Fig. N° 06: Acciones básicas en la perforación de roto-percusión).

➤ Condiciones de perforación

Para conseguir una voladura eficiente, la perforación es importante como la selección del explosivo por lo que este trabajo, debe efectuarse con buen criterio y cuidado. Lamentablemente, la supervisión de la correcta operación de perforación, aun, no es adecuadamente realizada en muchas minas, lo que permiten, que ocurran deficiencias en la calidad del trabajo (taladros desviados, más espaciados, de longitud irregular, etc.), que determinan pérdidas de eficiencia de la energía explosiva disponible. Normalmente la calidad de los taladros está

determinada por cuatro condiciones: diámetro, estabilidad, longitud y rectitud.

a) Diámetro

Depende del tipo de aplicación en que el taladro será utilizado. Como regla general, el de menor diámetro factible, será el más adecuado y económico de realizar.

b) Longitud

Influye mucho en la elección de la capacidad de los equipos perforados, y naturalmente, en el avance del disparo (profundidad del taladro).

c) Rectitud

Varía con el tipo de roca, método de perforación y características del equipo perforador. Deben tener la mayor rectitud y alineamiento, para que el explosivo sea adecuadamente distribuido. En la mayoría de trazos de perforación, el paralelismo entre taladros es de vital importancia, para la interacción de las cargas explosivas en toda la voladura.

d) Estabilidad

Los taladros deben mantenerse abiertos hasta el momento de su empleo. En terrenos sueltos, tienden a desmoronarse, por lo que, puede ser necesario revestirlos interiormente con tubos especiales para poderlos cargar o hacer otro taladro adyacente al obturado. Es fundamental que los operadores perforistas, conozcan a fondo el manejo de su máquina, sus posibilidades y limitaciones, su

mantenimiento básico y capten claramente los diseños del trazo o plan de perforación, entendiendo claramente el propósito o finalidad de la voladura a realizar.

e) Fallas de perforación

Los errores son significativos, especialmente, si afectan al arranque del disparo. Entre ellos tenemos: en arranques insuficiente diámetro o número de taladros de alivio.

f) Desviaciones en el paralelismo

En este caso el burden, no se mantiene uniforme, resulta mayor al fondo lo que afecta la fracturación y avance. Este problema es determinante en los arranques y periferia (techos) de túneles y galerías.

g) Espaciamientos irregulares entre taladros

Propician fragmentación gruesa o soplo del explosivo.

h) La irregular longitud de taladros

Influye en el avance (especialmente, si el de alivio es muy corto), y también determina una nueva cara muy irregular.

i) Intercepción de taladros

Afecta a la distribución de la carga explosiva en el cuerpo de la roca a romper.

j) Mayor número de taladros que los necesarios o diámetros muy grandes

Pueden determinar sobrecarga, que golpeará a la roca circundante. La perforación horizontal es más eficiente, cuando mayor sea el

tamaño del disparo (en disparos pequeños hay que perforar y limpiar muchas veces seguidas), por lo que es importante, el ancho del tajeo, y que, de ninguna manera puede ser más amplio que el cuerpo del mineral. Los equipos de perforación pueden ser estándar; con los jumbos, se puede conseguir altas capacidades de perforación y buen nivel de paralelismo; mientras que con jacklegs, la capacidad de perforación es muy baja, ya que, fracturado para conseguir una altura suficiente, es difícil alcanzar el techo (piso regular o irregular).

El mejor resultado de la perforación horizontal, se obtiene con jumbos y con relleno hidráulico (relave), al que puede hacerse llegar muy cerca al techo el tajo (0.5 a 1.0 m), con lo que puede aumentar la altura del corte, al facilitarse la perforación en tajos altos. Incrementa la productividad, al permitir aumentar la mecanización, incrementa la seguridad, al reducir la altura de los cortes y mejorar su estabilidad.

➤ **Perforación convencional**

Se realiza con taladros paralelos o taladros en ángulo, atacando directamente al frontón o cara libre frontal con el principio de túnel (banco circular), con un grupo de taladros de arranque que formarán una cavidad inicial, seguida del resto de taladros de rotura distribuidos alrededor del arranque, delimitándose la sección o área del frontón con los taladros periféricos. Sección o área del frontón con los taladros periféricos. La profundidad del avance (longitud de los taladros) está limitada por el ancho de la sección. La denominación de estos taladros

es la siguiente en el Perú (ver Fig. N° 08: Distribución de los taladros en minería convencional).

Los taladros periféricos comprenden a los cuadradores, alzas y arrastres, y los del núcleo a los de arranque (cueles), ayudas y taladros de producción. La sección puede ser semielíptica, circular o cuadrática, manteniendo el mismo esquema de distribución. Este esquema de perforación se aplica en túneles, galerías, chimeneas, piques, rampas y otros desarrollos.

Voladura de rocas

De acuerdo a los criterios de la mecánica de rotura, la voladura es un proceso tridimensional, en el cual las presiones generadas por explosivos confinados dentro de taladros perforados en la roca, originan una zona de alta concentración de energía que produce dos efectos dinámicos: fragmentación y desplazamiento.

El primero se refiere al tamaño de los fragmentos producidos, a su distribución y porcentajes por tamaños, mientras que el segundo se refiere al movimiento de la masa de roca triturada. Una adecuada fragmentación es importante para facilitar la remoción y transporte del material volado y está en relación directa con el uso al que se destinará este material, lo que calificará a la “mejor” fragmentación. Así, en la explotación de minerales se busca preferentemente fragmentación menuda, que facilita los procesos posteriores de conminación en las plantas metalúrgicas, mientras que en la de rocas algunas veces se requiere que sea en grandes bloques, como los

que se emplean para la construcción de ataguías o rompeolas. El desplazamiento y la forma de acumulación del material volado se proyecta de la manera más conveniente para el paleo o acarreo, de acuerdo al tipo y dimensiones de las palas y vehículos disponibles. teniendo en cuenta los diversos criterios que involucra un trabajo de voladura, como el propósito o uso final del lugar a excavar o el del material a obtener el volumen a ser excavado, el grado de fragmentación promedio requerido, si la roca excavada se quedará in situ o será transportada a otro lugar, el tipo y la dimensión del equipo de remoción y acarreo disponible, la proximidad a instalaciones importantes que puedan ser afectadas por vibraciones o proyecciones, además de otros, es pues necesaria una planificación cuidadosa de la voladura considerando todos los detalles que puedan influir en sus resultados. existe una serie de factores o variables que intervienen directa o indirectamente en la voladura, que son mutuamente dependientes o que están relacionados uno u otro; unos son controlables y otros no. son controlables, por ejemplo, las variables de diseño, de perforación o del explosivo a emplear, mientras que no podemos modificar la geología o las características de la roca.

Parámetros de la roca

Son determinantes, debiendo los explosivos y sus métodos de aplicación adecuarse a las condiciones de la roca. Entre ellos tenemos:

➤ **Propiedades físicas**

a) Dureza

Indica aproximadamente la dificultad de perforarla.

b) Tenacidad

Indica la facilidad o dificultad de romperse bajo el efecto de fuerzas de compresión, tensión e impacto, variando entre los rangos de friable (fácil), intermedia tenaz (difícil).

c) Densidad

Indica aproximadamente entre la dificultad para volarla y varía entre 1,0 a 4,5 g/cm³ en promedio. Rocas densas requieren también explosivos densos y rápidos para romperse.

d) Textura

Trama o forma de amarre de los cristales o granos y su grado de cementación o cohesión, también relacionada con su facilidad de rotura.

e) Porosidad

Proporción de poros u oquedades y su capacidad de captar agua.

f) Variabilidad

Las rocas no son homogéneas en su composición y textura. Tienen un alto índice de anisotropía o heterogeneidad.

g) Grado de alteración

Deterioro producido por efecto del intemperismo y aguas freáticas, además de fenómenos geológicos que las modifican o transforman.

➤ **Propiedades elásticas o de resistencia dinámica de las rocas**

a) Frecuencia sísmica o velocidad de propagación de las ondas sísmicas y de sonido

Velocidad con la que estas ondas atraviesan las rocas.

b) Resistencia mecánica

Resistencia a las fuerzas de compresión y tensión.

c) Fricción interna

Habilidad de las superficies internas para deslizarse bajo esfuerzos (roca estratificada)

d) Módulo de Young

Resistencia elástica a la deformación.

e) Radio de poisson

Radio de contracción transversal o extensión longitudinal del material bajo tensión.

f) Impedancia

Relación de la velocidad sísmica y densidad de la roca versus la velocidad de detonación y la densidad del explosivo. Usualmente las rocas con alta frecuencia sísmica requieren explosivos de alta velocidad de detonación.

➤ **Condiciones geológicas**

a) Estructura

Es la forma de presentación de las rocas y está en relación con su origen o formación (macizos, estratos, etc.).

b) Grado de fisuramiento

Indica la intensidad y amplitud de la fractura miento natural de las rocas. Es importantes la orientación (rumbo y buzamiento) de los sistemas de fisuras y el espaciamiento entre ellos, así como la apertura y los tipos de relleno en las discontinuidades.

c) Presencia de agua

Define incluso el tipo de explosivo a usar.

Parámetros controlables

➤ Parámetros de los explosivos

a) Densidad

Peso específico en g/cm³ (a mayor densidad, mayo potencia), varía entre 0,7 a 1,6 g/cm³. Todo explosivo tiene una densidad crítica encima de la cual ya no detona.

b) Velocidad de detonación (vod)

Velocidad de la onda de choque, en m/s, califica los explosivos como detonantes y deflagrantes; mayor velocidad mayor poder rompedor o brisance.

c) Transmisión o simpatía

Transmisión de la onda de detonación en la columna de carga. Una buena simpatía asegura la explosión total de la columna de carga.

d) Resistencia al agua

Varía desde nula hasta excelente (varias horas).

e) Energía del explosivo

Se puede dar en cal/g o j/g. calculada sobre la base de su formulación, aplicable para estimar su capacidad de trabajo.

f) Sensibilidad a la iniciación

Cada explosivo requiere un iniciador o cebo mínimo para iniciarse (usualmente se tiene como referencia al detonador n° 8 para calificarlos como altos explosivos (sensibles) y agentes de voladura (insensibles), por lo que requieren un cebo más potente).

g) Volumen normal de gases

Cantidad de gases en conjunto generados por la detonación de 1 kg de explosivo a 0°c y 1 atm de presión, expresado en litros/kg. Indica aproximadamente la “cantidad de energía disponible” para el trabajo a efectuar y generalmente varía entre 600 y 1 000 litros/kg.

h) Presión de taladro

Fuerza de empuje que ejercen los gases sobre las paredes del taladro. Se expresa en kg/cm², en kilobares (kbar) o en megapascales (mpa) en el sistema sí. Para evaluarla se aplican las mismas ecuaciones de estado como las que valen en el estado de detonación y explosión, tomando en cuenta la variación del volumen. Esta presión varía con el confinamiento. Así, un explosivo con densidad 1,25 y g/cm³ una presión de explosión de 3 500 mpa en taladro lleno al 100%, cuando se llena sólo al 90% llega

aproximadamente a 2 600 mpa y cuando sólo se llena al 80% bajará hasta cerca de 1900 mpa.

i) Categoría de humos

Factor de seguridad que califica su toxicidad (todos los explosivos generan gases de CO y no en diferentes proporciones).

Evaluación de la voladura

Una voladura, se evalúa por los resultados obtenidos. Para calificarla, se consideran los siguientes aspectos: volumen del material movido, avance del disparo, pisos, fragmentación, forma de acumulación de los detritos, costo total del disparo. Dentro de estos tenemos:

- Volumen o tonelaje del material movido.
- Avance del frente disparado.
- Grado de fragmentación del material disparado.
- Sobre-rotura.
- Desplazamiento y acumulación del material volado.
- Falta de desplazamiento.
- Dispersión de fragmentos a distancia.
- Costo de voladura.

Voladura controlada

El objetivo de la voladura controlada, es evitar el rompimiento de la roca fuera de límites previamente establecidos, es decir, evitar la sobre rotura. Es un método especial, que permite obtener superficies de corte lisas y bien definidas, al mismo tiempo, evita el agrietamiento excesivo de

la roca remanente, con lo que contribuye, a mejorar su estabilidad, aspecto muy importante en trabajos subterráneos de orden permanente, para la prevención del desplome de techos y otros riesgos; y en superficie, para la estabilidad de taludes en cortes de laderas. Consiste, en el empleo de cargas explosivas lineares de baja energía colocadas en taladros muy cercanos entre sí, que se disparen en forma simultánea, para crear y controlar la formación de una grieta o plano de rotura continuo, que limite la superficie final de un corte o excavación. En términos generales, si el disparo para este corte es anterior a la voladura principal, se le denomina precorte o pre-splitting, y si es posterior, se le conoce como recorte, voladura de contorno o voladura suave (Smooth blasting); en el caso de túneles también suele denominarse voladura periférica. En la práctica el método de voladura controlada, requiere de ciertas condiciones, que la diferencian del método convencional, como se muestra a continuación:

- A diferencia de los taladros de voladura normal, los de voladura controlada, deben de espaciarse de tal modo que, las fracturas creadas se dirijan a los puntos de menor Resistencia, es decir, de taladro a taladro, alineándose para formar un plano de corte, con lo que se disminuye o elimina la formación de fracturas radiales. Entre sus condiciones fundamentales tenemos:
- Relación de espaciamiento a Burden, inversa a la normal, es decir menor espaciamiento que el Burden, usualmente $E = 0.5$ a $0.8 B$.

- Explosivo de mucho menor diámetro que el taladro, parte de la relación de desacoplamiento, de tal manera que, sea mayor que la convencional de 2.1 a 1.0.
- Carga explosiva lineal, distribuida a todo lo largo del taladro.
- Preferentemente, con taladros acoplables, o en ciertos casos amortiguada con espaciadores.
- Taco inerte solamente para mantener el explosivo dentro del taladro, no para confinarlo.
- Empleo de explosivos de baja potencia y velocidad, brisance.
- Disparo simultaneo de todos los taladros de la línea de corte, sin retardos entre sí, y solo, después de la voladura principal. Es conveniente un intervalo mínimo de 60 a 100 milisegundos entre el último taladro de la voladura principal y los taladros de la línea de corte periféricos.
- Mantener el alineamiento y paralelismo de los taladros, de acuerdo al diseño del corte a realizar, de lo contrario, no hay buen resultado.

Ventajas de la voladura controlada

- Produce superficies de rocas lisas y estables.
- Contribuye a reducir la vibración de la voladura principal y la sobre excavación, con lo que se reduce también la proyección de fragmentos y los efectos de agrietamiento en construcciones e instalaciones cercanas a la voladura. También facilita el transporte de los detritos de voladura, por su menor tamaño.
- Produce menor agrietamiento en la roca remanente.

- En minería puede ser una alternativa para la explotación de estructuras débiles e inestables.

Desventajas de la voladura controlada

- Mayor costo que la voladura convencional por requerir más perforación y empleo de explosivos especiales o acondicionados a propósito.
- Mayor demora en la obra, por el incremento del trabajo de perforación.
- En algunos tipos de terreno no llega a dar los resultados esperados, como por ejemplo en material detrítico incompetente o deleznable. Mejores resultados por lo general se obtienen en rocas homogéneas y competentes.

Modelos matemáticos para el diseño de voladura

a) Método de langerfors

$$B_{\max} = \frac{D}{33} \times \sqrt{\frac{\rho e \times PRP}{c \times f \times (S/B)}}$$

Dónde:

D = Diámetro de perforación en mms.

ρe = Grado de retardo, que es la cantidad de carga en Kg/dm³ del volumen nominal del tiro.

PRP = Potencia relativa del peso del explosivo y está en entre 1-1.4

F = grado de fijación de los tiros depende de la inclinación de los tiros.

$f = 1$ tiro vertical

$f = 0.9$ tiro de 70°

$f = 0.85$ tiro de 63°

C' = Constante específica de la roca. Es la cantidad necesaria de un explosivo para fragmentar 1m^3 de roca, normalmente en voladuras de cielo abierto y rocas duras se toma $C = 0.4$ este valor se modifica de acuerdo con:

$$B = 1.4 - 1.5 \text{ m} \quad C = C + 0.75$$

$$B < 1.4 \quad C = 0.07 / B + C$$

S/B: relación espaciamiento – burden puede estar entre 1 a 2

Profundidad de taladro (metros)

$$H = (L+J) / \text{sen}\alpha = \text{inclinación del taladro respecto a la horizontal}$$

Burden práctico (metros)

$$B1 = B * (1 - 0.03 * L) \text{ para voladura con filas múltiples}$$

$$B2 = B * -0.5 * L \text{ para voladura con una fila}$$

Concentración de carga de fondo (kg/m)

$$Q_{bk} = P * (D/36)^2$$

Espaciamiento (m)

$$S = EV * B$$

Largo carga de fondo (m)

$$H_b = 1.3 * B$$

$$T = B1$$

Concentración carga columna (kg/m)

$$Q_{pk} = 0.5 Q_{bk}$$

Carga de fondo (Kilogramos)

$$Q_b = H_b * Q_{bk}$$

Carga columna (kilogramos)

$$Q_p = H_b * Q_{pk}$$

b) Método de ash

Consiste en aplicar para el diseño una voladura en banco, cinco relaciones que son:

- **Relación burden**

$$K_b = B / (D X 0.0254)$$

K_b = factor utilizado de tablas en función al tipo de roca y tipo de explosivo

B = Burden máximo en metros

D = Diámetro de taladro en pulgadas

- **Relación de profundidad de hoyo**

$$K_h = H / B$$

H = Profundidad de taladros en metros

Relación de pasadura

$$K_j = J / B$$

J = pasadura de taladro en metros

- **Relación de taco:**

$$K_t = T / B$$

T = taco en metros

- **Relación de espaciamiento**

$$K_s = S / B$$

S = espaciamiento en metros

Dónde:

$$K_B = 0.1573 * (d_e / d_r) * 1/3 * (V_E)^{2/3}$$

Espaciamiento

Para disparos simultáneos de taladros en la misma fila, o para disparos por fila el espaciado es:

$$S = (1.8-2) * 8$$

Normalmente este sería un diseño trabado si fuera un disparo con muchas filas la fragmentación no es tan buena como con retardos secuenciales. El corte será más alto y el lanzamiento del material hacia atrás mayor ocurre así:

$$S = (1.0-1.2) * B$$

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1.El Problema

3.1.1. Descripción de la realidad problemática

En la actualidad en la concesión minera maría ubicada en el departamento de Áncash en la provincia de asunción distrito de chacas a 3432 m.s.n.m. se vino realizando estudios de prospección minera y de las estructuras rocosas las cuales se encuentran muy fracturadas en las cuales se emplazan fallas geológicas y también un gran plegamiento, se empezó a construir la cortada de forma empírica sin usar parámetros técnicos y estudios necesarios para la perforación y voladura, los cuales se reflejaron en los tiros cortados y soplados durante la voladura, estos produjeron no solo un aumento en los tiempos programados de avance si no también un gran debilitamiento de la corona produciéndose un realce y sobrefracuramiento y por tanto el incremento en los costos operativos.

3.1.2. Planteamiento y formulación del problema

3.1.2.1. Planteamiento del problema

Considerando la ubicación del proyecto de explotación subterránea del yacimiento minero y el clima desfavorable en los meses de invierno, donde se tiene gran cantidad de agua que trae como consecuencia en el proceso de perforación y voladura tiros cortados, tiros soplados se buscó solución a este problema por lo que se planteó mejorar los parámetros como el diseño de perforación y voladura, la distribución de los taladros, la granulometría, para disminuir los

costos de operación, optimizar los tiempos, para tener mejores resultados que vayan en beneficio de la empresa.

3.1.2.2. Formulación interrogativa del problema

3.1.2.2.1. Problema General

¿Cómo diseñar la malla de perforación y voladura para el óptimo proceso operativo en la cortada esperanza del proyecto María 2021?

3.1.2.2.2. Problema Especifico

- Como disminuirá la cantidad de explosivos para evitar la sobre rotura.
- Como disminuirá los costos de sostenimiento
- Como reducir el tiempo de perforación con el objetivo de aumentar la vida útil de los aceros.
- Como mejorar la simetría de los taladros para evitar disparos fallidos.

3.1.3. Objetivos

3.1.3.1. Objetivo General

Diseñar la malla de perforación y voladura en el frente de avance de la cortada esperanza con el propósito de optimizar el proceso operativo del proyecto maría- 2021

3.1.3.2. Objetivos específicos

- Disminuir la cantidad de explosivos para evitar la sobre rotura.
- Disminuir los costos de sostenimiento

- Reducir el tiempo de perforación con el objetivo de aumentar la vida útil de aceros.
- Mejorar la simetría de los taladros para evitar disparos fallidos

3.1.4. Justificación de la investigación

Este trabajo se justifica porque en la ausencia de una guía base para el área de operaciones para futuros proyectos de desarrollos, para interceptar estructuras mineralizadas y tener adecuados controles de perforación y voladura. Además, pretende contribuir como una alternativa de solución para minimizar los costos por conceptos de perforación y voladura en los proyectos de desarrollo que tenga la empresa.

3.1.5. Limitaciones

Poca información existente en el tema de diseño de perforación y voladura para proyectos de pequeña minería y minería artesanal, haciendo que los costos en el proceso de la investigación sean mayores.

3.1.6. Alcances de la investigación

La presente investigación está dirigida para todas aquellas personas que se dedican a la explotación de recursos minerales y que quieren realizar la construcción de una cortada para poder explotar yacimientos minerales económicamente rentables. También como guía para los estudiantes de ingeniería de minas que deseen desarrollar proyectos de perforación y voladura a pequeña escala y como fuente de información.

3.2. Hipótesis

3.2.1. Hipótesis general

El diseño de perforación y voladura optimizará el proceso operativo de la cortada esperanza en el proyecto maria-2021.

3.2.2. Hipótesis específicas

- Disminuirá la cantidad de explosivos para evitar la sobre rotura.
- Disminuirá los costos de sostenimiento
- Reducirá el tiempo de perforación con el objetivo de aumentar la vida útil de aceros.
- Mejorará la simetría de los taladros para evitar disparos fallidos.

3.3. Variables

3.3.1. Variable independiente

Diseño de perforación y voladura

3.3.2. Variable Dependiente

Optimización en el proceso operativo de la cortada esperanza

3.3.3. Operacionalización de variables

Tabla N° 2.

Operacionalización de variables

Tipo de variables	Indicadores	Indices
Diseño de perforación y voladura	Diámetro de taladro	mm
	Longitud de taladro	mt
	Longitud carga de acoplamiento	mt
	Velocidad de detonación	adimensional
	Presión de detonación	kg/cm ²
	Diámetro del explosivo	mm
	Densidad del explosivo	gr/cm ³
	Longitud del explosivo	cm
	Resistencia compresiva	kg/cm ²
Optimización en el proceso operativo de la cortada esperanza	Densidad de la roca	
	Malla de perforación y voladura	m ²

Fuente: Elaboración propia.

Para el diseño de perforación y voladura para la optimización en el proceso operativo de la cortada esperanza en el proyecto María - 2021 es necesario determinar los parámetros de carga del explosivo y la roca en este caso los datos relacionados al diseño son obtenidos en el campo y procesados en el software jksimblast.

3.4. Diseño de la investigación

3.4.1. Tipo de investigación

Es del tipo aplicada se consignan los efectos aplicativos

3.4.2. Nivel de investigación

Descriptiva porque asocia la teoría con la realidad.

3.4.3. Diseño de la investigación

No experimental transversal

3.4.4. Población y muestra

▪ Población

Los 20 disparos/frente

▪ Muestra

Se considera muestra los 20 disparos/frente

3.4.5. Técnicas, instrumentación de recolección de datos Técnicas

- ✓ Búsqueda de información bibliográfica entre ellas tesis, libros de diseño de perforación y voladura.
- ✓ Observación directa: la mayor parte de la investigación se realizó en campo, por lo que los resultados obtenidos, son de plena confianza.

Instrumentos

- ✓ Libros teóricos de perforación y voladura de rocas.
- ✓ Informes de perforación y voladura.
- ✓ Trabajos de supervisión de campo
- ✓ Software JK SIMBLAST, etc.

3.4.6. Forma de tratamiento de los datos

- ✓ Caracterizar el macizo rocoso. (Resistencia compresiva de la roca)
- ✓ Ingresar datos de campo al software JK simblast.
- ✓ Aplicar el software JK SIMBLAST.
- ✓ Secuenciar la voladura.

CAPÍTULO IV

RESULTADO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Descripción de la realidad y procesamiento de datos

La perforación y voladura es la principal operación unitaria en cualquier operación minera, dentro del proyecto maría en la actualidad se vino realizando una cortada la cual se estaba desarrollando de manera empírica sin realizar el diseño de la malla de perforación con una malla alternativa, que en el frente el maestro perforista realizaba, de esa forma se realizaba la perforación y la voladura en el cual se generaban costos muy altos para la sección que se estaba desarrollando en este caso se decidió realizar el diseño de la malla de perforación y voladura con los datos que teníamos del campo los cuales son dimensión de la malla, longitud del barreno, resistencia compresiva de la roca y el tipo de explosivo que estamos usando en la labor con estos datos ingresando directamente al software JKsimblast el cual procesa todo esos datos y nos entrega una malla de perforación y una simulación de la voladura, con esto nosotros realizamos una comparación de los costos en función del número de taladros como un antes y después estos datos nos permitirán evaluar de forma segura y practica el mejoramiento de los costos operativos en la labor cabe recalcar que la malla diseñada es para el tipo de roca especifico ya que siempre existirá un cambio en el comportamiento del macizo rocoso el cual nos llevara a diseñar otra malla de perforación y voladura es decir la malla de perforación y voladura cambia de acuerdo al comportamiento de la roca.

4.1.1. Parámetros controlables

➤ Parámetros de los explosivos

j) Densidad

Peso específico en g/cm³ (a mayor densidad, mayor potencia), varía entre 0,7 a 1,6 g/cm³. Todo explosivo tiene una densidad crítica encima de la cual ya no detona.

k) Velocidad de detonación (vod)

Velocidad de la onda de choque, en m/s, califica los explosivos como detonantes y deflagrantes; mayor velocidad mayor poder rompedor o brisance.

l) Transmisión o simpatía

Transmisión de la onda de detonación en la columna de carga. Una buena simpatía asegura la explosión total de la columna de carga.

m) Resistencia al agua

Varía desde nula hasta excelente (varias horas).

n) Energía del explosivo

Se puede dar en cal/g o j/g. calculada sobre la base de su formulación, aplicable para estimar su capacidad de trabajo.

o) Sensibilidad a la iniciación

Cada explosivo requiere un iniciador o cebo mínimo para iniciarse (usualmente se tiene como referencia al detonador n° 8 para calificarlos como altos explosivos (sensibles) y

agentes de voladura (insensibles), por lo que requieren un cebo más potente).

p) Volumen normal de gases

Cantidad de gases en conjunto generados por la detonación de 1 kg de explosivo a 0°C y 1 atm de presión, expresado en litros/kg. Indica aproximadamente la “cantidad de energía disponible” para el trabajo a efectuar y generalmente varía entre 600 y 1 000 litros/kg.

q) Presión de taladro

Fuerza de empuje que ejercen los gases sobre las paredes del taladro. Se expresa en kg/cm², en kilobares (kbar) o en megapascales (mpa) en el sistema sí. Para evaluarla se aplican las mismas ecuaciones de estado como las que valen en el estado de detonación y explosión, tomando en cuenta la variación del volumen. Esta presión varía con el confinamiento. Así, un explosivo con densidad 1,25 y g/cm³ una presión de explosión de 3 500 mpa en taladro lleno al 100%, cuando se llena sólo al 90% llega aproximadamente a 2 600 mpa y cuando sólo se llena al 80% bajará hasta cerca de 1900 mpa.

r) Categoría de humos

Factor de seguridad que califica su toxicidad (todos los explosivos generan gases de CO y no en diferentes proporciones).

4.1.2. Evaluación de la voladura

Una voladura, se evalúa por los resultados obtenidos. Para calificarla, se consideran los siguientes aspectos: volumen del material movido, avance del disparo, pisos, fragmentación, forma de acumulación de los detritos, costo total del disparo. Dentro de estos tenemos:

- Volumen o tonelaje del material movido.
- Avance del frente disparado.
- Grado de fragmentación del material disparado.
- Sobre-rotura.
- Desplazamiento y acumulación del material volado.
- Falta de desplazamiento.
- Dispersión de fragmentos a distancia.
- Costo de voladura.

4.1.3. Voladura controlada

El objetivo de la voladura controlada, es evitar el rompimiento de la roca fuera de límites previamente establecidos, es decir, evitar la sobre rotura. Es un método especial, que permite obtener superficies de corte lisas y bien definidas, al mismo tiempo, evita el agrietamiento excesivo de la roca remanente, con lo que contribuye, a mejorar su estabilidad, aspecto muy importante en trabajos subterráneos de orden permanente, para la prevención del desplome de techos y otros riesgos; y en superficie, para la estabilidad de taludes en cortes de laderas. Consiste, en el empleo de cargas explosivas lineares de baja energía colocadas en taladros muy

cercanos entre sí, que se disparen en forma simultánea, para crear y controlar la formación de una grieta o plano de rotura continuo, que limite la superficie final de un corte o excavación. En términos generales, si el disparo para este corte es anterior a la voladura principal, se le denomina precorte o pre-splitting, y si es posterior, se le conoce como recorte, voladura de contorno o voladura suave (Smooth blasting); en el caso de túneles también suele denominarse voladura periférica. En la práctica el método de voladura controlada, requiere de ciertas condiciones, que la diferencian del método convencional, como se muestra a continuación:

- A diferencia de los taladros de voladura normal, los de voladura controlada, deben espaciarse de tal modo que, las fracturas creadas se dirijan a los puntos de menor
- Resistencia, es decir, de taladro a taladro, alineándose para formar un plano de corte, con lo que se disminuye o elimina la formación de fracturas radiales. Entre sus condiciones fundamentales tenemos:
- Relación de espaciamiento a Burden, inversa a la normal, es decir menor espaciamiento que el Burden, usualmente $E = 0.5$ a $0.8 B$.
- Explosivo de mucho menor diámetro que el taladro, parte de la relación de desacoplamiento, de tal manera que, sea mayor que la convencional de 2.1 a 1.0.
- Carga explosiva lineal, distribuida a todo lo largo del taladro.
- Preferentemente, con taladros acoplables, o en ciertos casos amortiguada con espaciadores.

- Taco inerte solamente para mantener el explosivo dentro del taladro, no para confinarlo.
- Empleo de explosivos de baja potencia y velocidad, brisance.
- Disparo simultaneo de todos los taladros de la línea de corte, sin retardos entre sí, y solo, después de la voladura principal. Es conveniente un intervalo mínimo de 60 a 100 milisegundos entre el último taladro de la voladura principal y los taladros de la línea de corte periféricos.
- Mantener el alineamiento y paralelismo de los taladros, de acuerdo al diseño del corte a realizar, de lo contrario, no hay buen resultado.

4.1.4. Ventajas de la voladura controlada

- Produce superficies de rocas lisas y estables.
- Contribuye a reducir la vibración de la voladura principal y la sobre excavación, con lo que se reduce también la proyección de fragmentos y los efectos de agrietamiento en construcciones e instalaciones cercanas a la voladura. También facilita el transporte de los detritos de voladura, por su menor tamaño.
- Produce menor agrietamiento en la roca remanente.
- En minería puede ser una alternativa para la explotación de estructuras débiles e inestables.

4.1.4.1. Desventajas de la voladura controlada

- Mayor costo que la voladura convencional por requerir más perforación y empleo de explosivos especiales o acondicionados a propósito.

- Mayor demora en la obra, por el incremento del trabajo de perforación.
- En algunos tipos de terreno no llega a dar los resultados esperados, como por ejemplo en material detrítico incompetente o deleznable. Mejores resultados por lo general se obtienen en rocas homogéneas y competentes.

$$B_{\max} = \frac{D}{33} \times \sqrt{\frac{\rho e \times PRP}{c' \times f \times (S/B)}}$$

4.1.5. Modelos matemáticos para el diseño de voladura

a) Método de langerfors

Dónde:

D = Diámetro de perforación en mm.

ρe = Grado de retardo, que es la cantidad de carga en Kg/dm³ del volumen nominal del tiro.

PRP = Potencia relativa del peso del explosivo y está en entre 1-1.4

F = grado de fijación de los tiros depende de la inclinación de los tiros.

f = 1 tiro vertical

f = 0.9 tiro de 70°

f = 0.85 tiro de 63°

C' = Constante específica de la roca. Es la cantidad necesaria de un explosivo para fragmentar 1m³ de roca, normalmente en voladuras de cielo abierto y rocas duras se toma C = 0.4 este valor se modifica de acuerdo con:

$$B = 1.4 - 1.5 \text{ m} \quad C = C + 0.75$$

$$B < 1.4 \quad C = 0.07 / B + C$$

S/B: relación espaciamiento – burden puede estar entre 1 a 2

Profundidad de taladro (metros)

$$H = (L+J) / \text{sen} \alpha = \text{inclinación del taladro respecto a la horizontal}$$

Burden práctico (metros)

$$B1 = B * (1 - 0.03 * L) \text{ para voladura con filas múltiples}$$

$$B2 = B * -0.5 * L \text{ para voladura con una fila}$$

Concentración de carga de fondo (kg/m)

$$Q_{bk} = P * (D/36)^2$$

Espaciamiento (m)

$$S = EV * B$$

Largo carga de fondo (m)

$$H_b = 1.3 * B$$

$$T = B1$$

Concentración carga columna (kg/m)

$$Q_{pk} = 0.5 Q_{bk}$$

Carga de fondo (Kilogramos)

$$Q_b = H_b * Q_{bk}$$

Carga columna (kilogramos)

$$Q_p = H_b * Q_{pk}$$

b) Método de ash

Consiste en aplicar para el diseño una voladura en banco, cinco relaciones que son:

- **Relación burden**

$$K_b = B / (DX0.0254)$$

K_b = factor utilizado de tablas en función al tipo de roca y tipo de explosivo

B = Burden máximo en metros

D = Diámetro de taladro en pulgadas

- **Relación de profundidad de hoyo**

$$K_h = H / B$$

H = Profundidad de taladros en metros

Relación de pasadura

$$K_j = J / B$$

J = pasadura de taladro en metros

- **Relación de taco:**

$$K_t = T / B$$

T = taco en metros

- **Relación de espaciamiento**

$$K_s = S / B$$

S = espaciamiento en metros

Dónde:

$$KB = 0.1573 * (de/dr) * 1/3 * (VE)^{2/3}$$

Espaciamiento

Para disparos simultáneos de taladros en la misma fila, o para disparos por fila el espaciamiento es:

$$S = (1.8 - 2) * 8$$

Normalmente este sería un diseño trabado si fuera un disparo con muchas filas la fragmentación no es tan buena como con retardos secuenciales. El corte será más alto y el lanzamiento del material hacia atrás mayor ocurre así:

$$S = (1.0-1.2) * B$$

4.1.6. Ciclo de operaciones unitarias de la cortada esperanza

4.1.6.1. Perforación

La perforación se lleva a cabo con maquina jackleg barreno de 4 pies y broca de 28 mm. Antes del diseño se realizaba 22 taladros de 4 pies lo cual nos daba un rendimiento de 1m de avance por disparo (ver tabla 4). Los taladros de alivio son del mismo diámetro 28mm.

4.1.6.2. Voladura

La voladura se realiza de manera convencional usamos mecha lenta, fulminante común y dinamita semigelatina semexa 65.

4.1.6.3. Limpieza

La limpieza la realizamos a pulso con palana común, y el acarreo con carretilla, debido a que distancia del tope hacia la boca mina es pequeña el acarreo del desmonte se realiza de manera rápida.

4.2. Análisis e interpretación de la información

Utilizando los parámetros tenemos (ver tabla 03):

Tabla N° 3.

Distancia entre taladros y coeficiente de roca

DUREZA DE ROCA	DISTANCIA ENTRE TALADROS (m)
Tenaz	0.50 a 0.55
Intermedia	0.60 a 0.65
Friable	0.70 a 0.75

DUREZA DE ROCA	COEFICIENTE DE ROCA (m)
Tenaz	2.00
Intermedia	1.50
Friable	1.00

Fuente: Elaboración propia

El número de taladros se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$NT = P/E + K \cdot S$$

P= perímetro

E= distancia entre los taladros

K=coeficiente de roca

S=dimensión de la sección

Perímetro = 5.63 mt

Dimensión de la sección = 1.98 m²

Distancia entre taladros = 0.65 mt

Coeficiente de roca = 1.5 mt

Numero de taladros = (5.63 mt) / (0.65 mt) + (1.5 mt) * (1.98 m²)

Numero de taladros = 14

Numero de taladros de alivio = 3

Numero de taladros totales = 17

Tabla N° 4.

Análisis de precios unitarios antes del diseño de la malla de perforación

análisis de precios unitarios antes del diseño de la malla de perforación y voladura				
PARTIDA :	CORTADA ESPERANZA	Rendimiento :	1.00	3.3 mt: pie
DIMENSIONES:	1.8x1.2 mt	Longitud de barra:	1.22	4 mt:pie
UNIDAD DE MEDIDA:	ML	Longitud efectiva:	1.1	3.6 mt: pie
ELABORADO POR :	JMNE	Eficiencia de perforación:	90%	%
PROYECTO:	MARIA	Eficiencia de voladura:	91%	%
TIPO DE MATERIAL:	DESMONTE	Número de taladros perforados:	22	tal/frente
DUREZA DEL MATERIAL	INTERMEDIA	Número de taladros disparados:	19	tal/frente
PIES PERFORADOS:	88	Volumen calculado:	2.37	m3/disparo
		volumen roto:	2.16	m3/disparo
		tonelaje roto:	5.72	tn/disparo
		factor de carga:	2.85	kg/m3
		velocidad de perforación :	24.98	mt/hr
		horas por guardia:	8	hr/guardia

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 5.

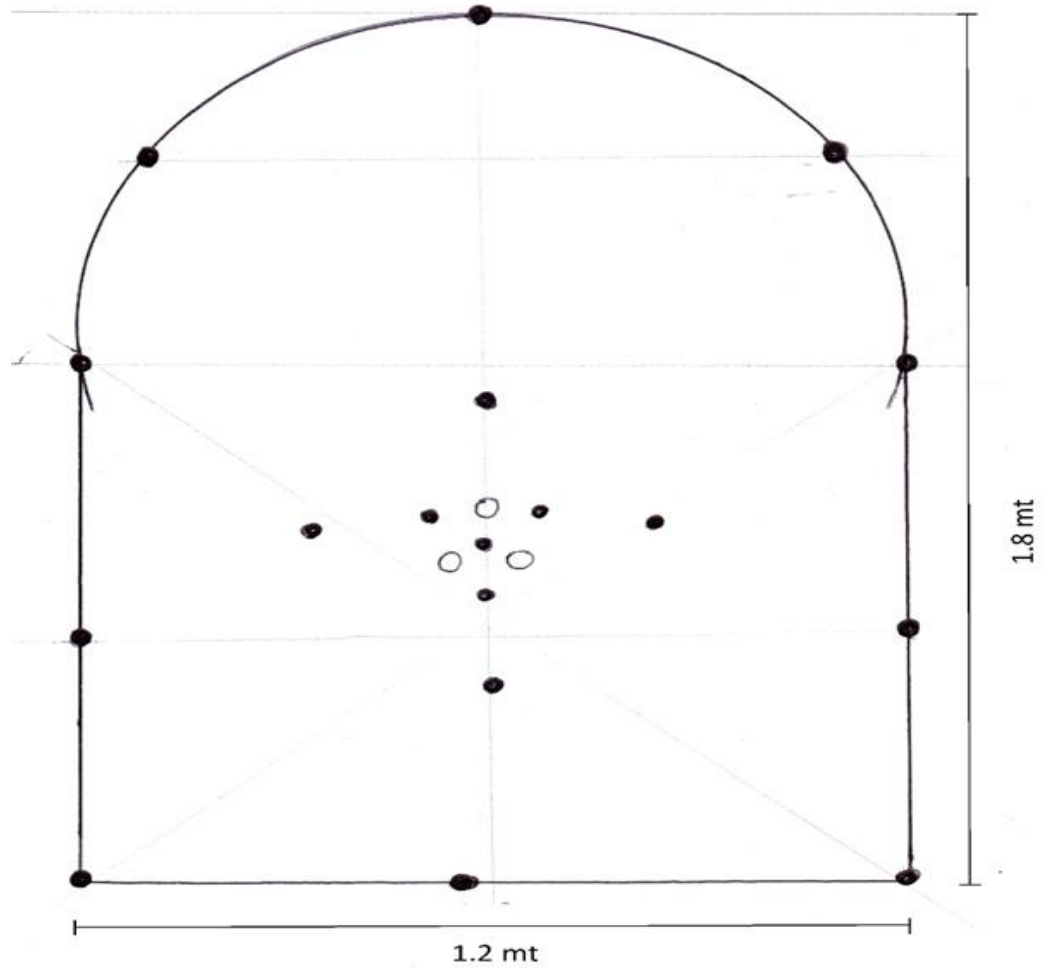
Sección de la labor

sección de la labor		
alto	1.8	mt
ancho	1.2	mt
densidad del material	2.65	tn/m3
voladura		
semexa 65 (22mm)	0.081	kg/ und
n° taladros perforados	22	
n° taladros cargados	19	
n° cartuchos por taladro	4	und
n° cartuchos por disparo	76	und
explosivo por disparo	6.2	kg/disparo

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 2

Malla de perforación y voladura empírica



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 6.

Tiempo de perforación antes del diseño de la malla de perforación y voladura

n° de taladro	longitud de perforacion (pies)	tiempos de perforacion			velocidad de perforacion(pies/min)	diametro (mm)	longitud (pies)
		4 pies	TM	total (min)			
1	3.6	2 min 37 seg	15 seg	2.52	1.43	28	4
2	3.6	2 min 44 seg	16 seg	3	1.20	28	4
3	3.6	2 min 31 seg	14 seg	2.45	1.47	28	4
4	3.6	2 min 37 seg	12 seg	2.49	1.45	28	4
5	3.6	2 min 53 seg	15 seg	3.08	1.17	28	4
6	3.6	2 min 38 seg	22 seg	3	1.20	28	4
7	3.6	2 min 29 seg	18 seg	2.47	1.46	28	4
8	3.6	2 min 32 seg	16 seg	2.48	1.45	28	4
9	3.6	2 min 24 seg	20 seg	2.44	1.48	28	4
10	3.6	2 min 42 seg	17 seg	2.59	1.39	28	4
11	3.6	2 min 23 seg	19 seg	2.42	1.49	28	4
12	3.6	2 min 46 seg	18 seg	3.04	1.18	28	4
13	3.6	2 min 23 seg	14 seg	2.37	1.52	28	4
14	3.6	2 min 27 seg	17 seg	2.44	1.48	28	4
15	3.6	2 min 44 seg	18 seg	3.02	1.19	28	4
16	3.6	2 min 49 seg	20 seg	3.09	1.17	28	4
17	3.6	2 min 30 seg	17 seg	2.47	1.46	28	4
18	3.6	2 min 22 seg	22 seg	2.44	1.48	28	4
19	3.6	2 min 15 seg	18 seg	2.33	1.55	28	4
20	3.6	2 min 24 seg	20 seg	2.44	1.48	28	4
21	3.6	2 min 18 seg	15 seg	2.33	1.55	28	4
22	3.6	2 min 51 seg	16 seg	3.07	1.17	28	4
promedio	79.2			58	1.38		
long.total (mt)		24.14					
tp total (hr)		0.97					
vp (mt/hr)		24.98					

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 7.

Costos de perforación con Jack Leg

COSTOS DE PERFORACION CON JACK LEG		
COSTO DE LA MAQUINA	US \$	4800
MANTENIMIENTO Y REPUESTOS	%	111.12
COSTO TOTAL DE LA MAQUINA	US \$	10133.76
VIDA UTIL	P/P	90000
COSTO POR PIE PERFORADO	US \$ /P	0.113

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 8.

Costos de equipos y materiales

Equipos y materiales						tc	3.82
item	descripcion	unidad	costo \$/unidad	vida util (tareas)	\$/tarea	S/.tarea	
1	lampara minera	pza	65.38	400	0.16	0.62	
2	carretilla	pza	52.3	30	1.74	6.66	

item	descripcion	unidad	\$/und	vida util (p/p)	\$/p.p	S/.p.p	
1	broca 28mm	pza		20	200	0.10	0.382
2	barreno 4'	pza		80	1000	0.08	0.306

item	descripcion	unidad	costo \$/unidad	vida util (p/p)	\$/p.p	S/.p.p	
1	manguera 1" (50m)	m		2.23	20,000	0.006	0.021
2	manguera 1/2(50m)	m		1.11	20,000	0.003	0.011
3	aceite de perforacion	gal		18	400	0.045	0.172

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 9.

Costos de herramientas

Herramientas								
item	descripcion	unidad	cantidad	US.\$/UND	S/UND	vida util(dias)	\$/tarea	S/tarea
1	BARRETILLA P/DESQUINCHE DE	Pieza	1	19.08	72.87	45	0.42	1.62
2	BARRETILLA P/DESQUINCHE DE	Pieza	1	22.09	84.37	45	0.49	1.87
3	Lampa Minera	Pieza	1	5.24	20	30	0.17	0.67
4	Pico	Pieza	1	7.07	27	30	0.24	0.90
5	Atacadores (2unid.)	Pieza	1	2.75	10.5	30	0.26	0.35
6	Cucharilla	Pieza	1	4.06	15.5	75	0.05	0.21
7	Llaves stilson	Pieza	1	54.97	210	180	0.31	1.17
8	Llave Francesa de 12"	Pieza	1	35.34	135	120	0.29	1.13
9	Comba de 6 Lb	Pieza	1	9.16	35	120	0.08	0.29
10	Flexometro de 5 m	Pieza	1	3.14	12	30	0.10	0.40
						perforacion	\$/tarea	2.42
							S/tarea	8.60
						limpieza	\$/tarea	0.91
								3.48

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 10.

Costos de implementos de protección personal

IMPLEMENTOS DE PROTECCION PERSONAL DE PROTECCION PERSONAL						TC	3.82
item	Descripcion	unidad	US.\$/UND	S/UND	VIDA UTIL(DIAS)	US.\$/tarea	
1	Casco tipo sombrero	pza	10.47		40	300	0.0349
2	Barbiquejo	pza	1.31		5	60	0.0218
3	Tapòn de oidos	pza	0.79		3	30	0.0262
4	Lentes con malla	pza	2.62		10	60	0.0436
5	Respirador 3M	pza	26.18		100	90	0.2909
6	tucho contra gases y vapores 3M 6	par	15.71		60	20	0.7853
7	Cartucho contra polvo	par	5.24		20	10	0.5236
8	overol	pza	10.47		40	90	0.1163
9	Guantes de cuero c/refuerzo	par	3.66		14	30	0.1222
10	ropa de jebe	pza	18.32		70	90	0.2036
11	Correa de cuero portalampara	pza	6.54		25	90	0.0727
12	Botas de jebe c/ punta de acero	par	15.71		60	90	0.1745
13	Guantes Neoprene 10"	par	3.93		15	20	0.1963
					perforacion	US.\$/tarea	2.61
					voladura	US.\$/tarea	1.40
					limpieza	US.\$/tarea	1.40

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 11.

Costos de explosivo

Explosivo			
	COSTO S/	US.\$/UND	S/UND
fulminante caja de 100 und	150	0.39	1.5
semexa 65 caja de 308 und	850	0.72	2.8
mecha lenta rollo de 500 m	1200	0.63	2.4

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 12.

Costos de Sostentamiento

Costos de Sostentamiento Antes del Diseño						
ITEM	longitud (mt)	Diametro (pulgadas)	cantidad mt/lineal	Precio (S/und)	precio (S/) mt/lineal	TOTAL S/. (mt/lineal)
Redondos	3	8	3	20	60	
Redondos	3	6	3	15	45	129
Cantonera	3		2	12	24	
Costos de Sostentamiento Despues del Diseño						
ITEM	longitud (mt)	Diametro (pulgadas)	cantidad mt/lineal	Precio (S/und)	precio (S/) mt/lineal	TOTAL S/. (mt/lineal)
Redondos	2.4	8	3	16	48	
Redondos	2.4	6	3	12	36	108
Cantonera	3		2	12	24	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 13.

Análisis de costos perforación, voladura y limpieza antes del diseño

PERFORACION :		JACK LEG						
LIMPIEZA :		A PULSO CON CARRETILLA						
VOLADURA :		VOLADURA CONVENCIONAL CON SEMEXA 65, MECHA LENTA Y FULMINANTE COMUN						
							tc	3.82
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	INCIDENCIA	P.U.(US\$)	PARCIAL	SUB TOTAL	TOTAL
A	PERFORACION							49.10
1	Mano de obra							
	Maestro perforista	tarea	1	40%	19.61	7.844	7.86	
	ayudante perforista	tarea	1	40%	17	6.8	6.81	
2	Equipos y maquinarias							
	perforadora jack leg	p/p	88		0.113	9.94	9.96	
	lampara minera	und	0.8		0.16	0.13	0.13	
3	Materiales							
	barreno de 4'	p/p	88	100%	0.08	7.04	7.05	
	broca 28 mm	p/p	88	100%	0.1	8.8	8.81	
	Manguera 1"	p/p	88					
	Manguera 1/2"	p/p	88					
	aceite de perforacion	p/p	88		0.045	3.96	3.97	
	conexiones y accesorios	und	8		0.001	0.01	0.01	
4	Implementos de proteccion personal							
	implementos de seguridad de MP	und	0.4		2.61	1.04	1.05	
	implementos de seguridad de AP	und	0.4		2.61	1.04	1.05	
5	Herramientas manuales MP	Global	1		2.42	2.42	2.42	
B	VOLADURA							7.16
1	Mano de obra							
	Maestro perforista	tarea	1	18%	19.61	3.53	3.54	
	ayudante perforista	tarea	1	18%	17	3.06	3.06	
2	Equipos y maquinarias							
	lampara minera	und	0.36		0.16	0.06	0.06	
3	Implementos de proteccion personal							
	implementos de seguridad de MP	und	0.18		1.4	0.25	0.25	
	implementos de seguridad de AP	und	0.18		1.4	0.25	0.25	
C	LIMPIEZA							25.70
1	Mano de obra							
	Peon	tarea	1	65%	15.7	10.21	10.2	
	Peon	tarea	1	65%	15.7	10.21	10.2	
2	Equipos y maquinarias							
	carretilla	und	1		1.74	1.74	1.74	
	lampara minera	und	1.3		0.16	0.21	0.21	
3	Implementos de proteccion personal							
	implementos seguridad peones	und	2		1.4	2.8	2.80	
4	Herramientas manuales peones	Global	0.55		0.91	0.5	0.50	
COSTO DIRECTO (US\$)/ML								81.96
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD		P.U.(US\$)	PARCIAL	SUBTOTAL	
	Explosivos cortada esperanza							
	Fulminante	tal	19	1	0.39	7.41	7.42	
	Dinamita	tal	19	4	0.72	54.72	54.8	
	Mecha	tal	19	1.8	0.63	21.546	21.6	
COSTO DE EXPLOSIVOS (US\$)/ML								83.80

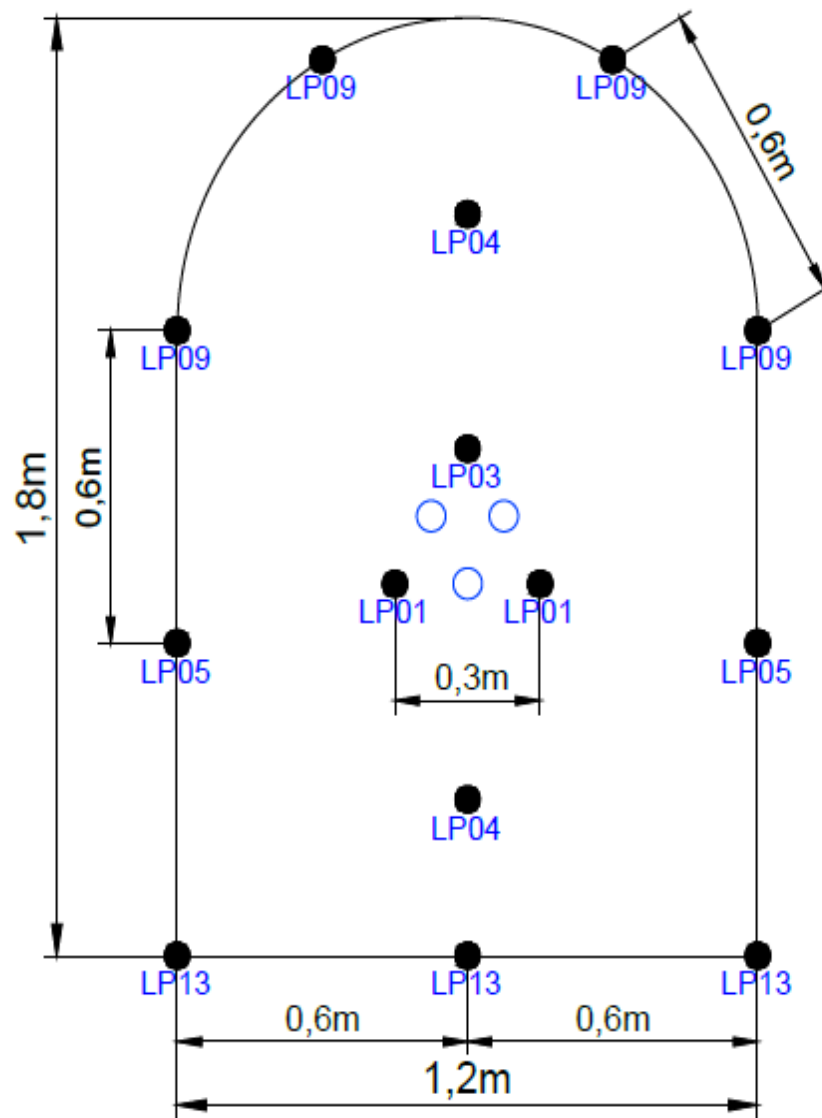
Fuente: Elaboración propia



Figura N° 3

Malla de perforación y voladura después del diseño

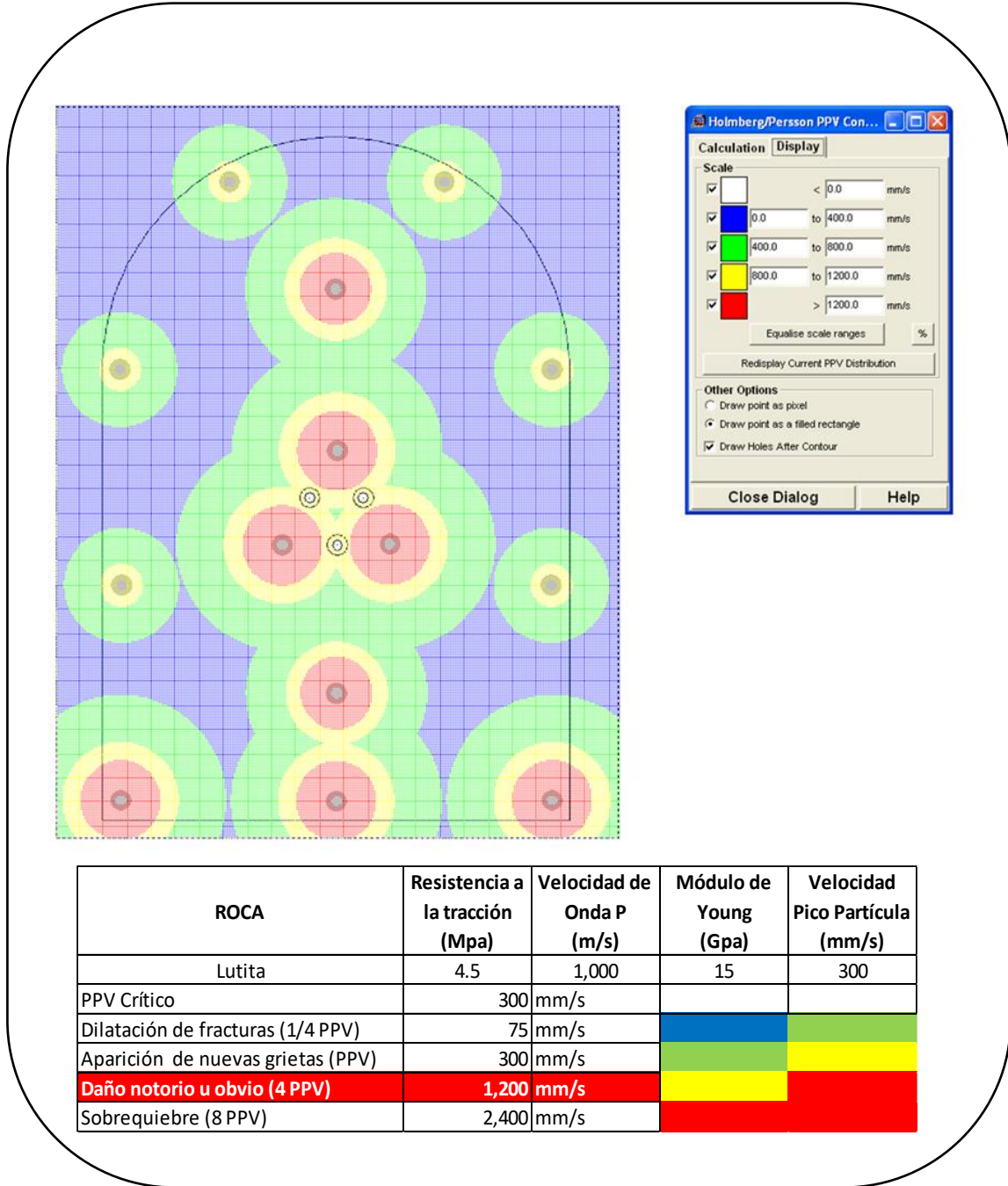
DIÁMETRO DE PERFORACIÓN: 28mm
LONGITUD DE BARRA DE PERFORACIÓN: 4 PIES



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4

Simulación de voladura después del diseño



Fuente: Elaboración propia mediante el software JKsimblast.

Tabla N° 14.

Análisis de precio unitario después del diseño de la malla de perforación y voladura

análisis de precios unitarios después del diseño de la malla de perforación y voladura				
PARTIDA :	CORTADA ESPERANZA	Rendimiento :	1.05	3.4 mt: pie
DIMENSIONES:	1.8x1.2 mt	Longitud de barra:	1.22	4 mt:pie
UNIDAD DE MEDIDA:	ML	Longitud efectiva:	1.15	3.8 mt: pie
ELABORADO POR :	JMNE	Eficiencia de perforación:	94%	%
PROYECTO:	MARIA	Eficiencia de voladura:	91.30%	%
TIPO DE MATERIAL:	DESMONTE	Número de taladros perforados:	17	tal/frente
DUREZA DEL MATERIAL	INTERMEDIA	Número de taladros disparados:	14	tal/frente
PIES PERFORADOS:	68	Volumen calculado:	2.48	m3/disparo
		volumen roto:	2.27	m3/disparo
		tonelaje roto:	6.01	tn/disparo
		factor de carga:	2.00	kg/m3
		velocidad de perforación :	26.04	mt/hr
		horas por guardia:	8	hr/guardia

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 15.

Sección de la labor

sección de la labor				
alto		1.8		mt
ancho		1.2		mt
densidad del material		2.65		tn/m3
voladura				
item	n° de taladros	n° de cartuchos	sub total de cartuchos	total de cartuchos
arranque	3	5	15	
ayuda de arranque	2	4	8	
cuadradores	2	3	6	56
corona	4	3	12	
arrastre	3	5	15	
semexa 65 (22mm)		0.081		kg/und
explosivo pot disparo		4.536		kg/ disparo

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 16.

Tiempo de perforación después del diseño

n° de taladro	longitud de perforación (pies)	tiempos de perforación			velocidad de perforación(pies/min)	diametro (mm)	longitud (pies)
		4 pies	TM	total (min)			
1	3.8	2 min 37 seg	15 seg	2.52	1.51	28	4
2	3.8	2 min 44 seg	16 seg	3	1.27	28	4
3	3.8	2 min 31 seg	14 seg	2.45	1.55	28	4
4	3.8	2 min 37 seg	12 seg	2.49	1.53	28	4
5	3.8	2 min 53 seg	15 seg	3.08	1.23	28	4
6	3.8	2 min 38 seg	22 seg	3	1.27	28	4
7	3.8	2 min 29 seg	18 seg	2.47	1.54	28	4
8	3.8	2 min 32 seg	16 seg	2.48	1.53	28	4
9	3.8	2 min 24 seg	20 seg	2.44	1.56	28	4
10	3.8	2 min 42 seg	17 seg	2.59	1.47	28	4
11	3.8	2 min 23 seg	19 seg	2.42	1.57	28	4
12	3.8	2 min 46 seg	18 seg	3.04	1.25	28	4
13	3.8	2 min 23 seg	14 seg	2.37	1.60	28	4
14	3.8	2 min 27 seg	17 seg	2.44	1.56	28	4
15	3.8	2 min 44 seg	18 seg	3.02	1.26	28	4
16	3.8	2 min 49 seg	20 seg	3.09	1.23	28	4
17	3.8	2 min 30 seg	17 seg	2.47	1.54	28	4
promedio	64.6			45	1.44		
long.total (mt)		19.69					
tp total (hr)		0.76					
vp (mt/hr)		26.04					

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 17.

Análisis de costos perforación, voladura y limpieza después del diseño

PERFORACION :		JACK LEG							TOTAL
LIMPIEZA :		A PULSO CON CARRETILLA							
VOLADURA :		VOLADURA CONVENCIONAL CON SEMEXA 65, MECHA LENTA Y FULMINANTE COMUN							
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	INCIDENCIA	P.U.(US\$)	PARCIAL	SUB TOTAL		
A PERFORACION								40.26	
1	Mano de obra								
	Maestro perforista	tarea	1	40%	19.61	7.844	7.47		
	ayudante perforista	tarea	1	40%	17	6.8	6.48		
2	Equipos y maquinarias								
	perforadora jack leg	p/p	68		0.113	7.68	7.32		
	lampara minera	und	0.8		0.16	0.13	0.12		
3	Materiales								
	barreno de 4'	p/p	68	100%	0.08	5.44	5.18		
	broca 28 mm	p/p	68	100%	0.1	6.8	6.48		
	Manguera 1"	p/p	68						
	Manguera 1/2"	p/p	68						
	aceite de perforacion	p/p	68		0.045	3.06	2.91		
	conexiones y accesorios	und	8		0.001	0.01	0.01		
4	Implementos de proteccion personal								
	implementos de seguridad de MP	und	0.4		2.61	1.04	0.99		
	implementos de seguridad de AP	und	0.4		2.61	1.04	0.99		
5	Herramientas manuales MP	Global	1		2.42	2.42	2.30		
B VOLADURA								6.81	
1	Mano de obra								
	Maestro perforista	tarea	1	18%	19.61	3.53	3.36		
	ayudante perforista	tarea	1	18%	17	3.06	2.91		
2	Equipos y maquinarias								
	lampara minera	und	0.36		0.16	0.06	0.05		
3	Implementos de proteccion personal								
	implementos de seguridad de MP	und	0.18		1.4	0.25	0.24		
	implementos de seguridad de AP	und	0.18		1.4	0.25	0.24		
C LIMPIEZA								24.44	
1	Mano de obra								
	Peon	tarea	1	65%	15.7	10.21	9.7		
	Peon	tarea	1	65%	15.7	10.21	9.7		
2	Equipos y maquinarias								
	carretilla	und	1		1.74	1.74	1.66		
	lampara minera	und	1.3		0.16	0.21	0.20		
3	Implementos de proteccion personal								
	implementos seguridad peones	und	2		1.4	2.8	2.67		
4	Herramientas manuales peones	Global	0.55		0.91	0.5	0.48		
COSTO DIRECTO (US\$)/ML								71.51	
	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD		P.U.(US\$)	PARCIAL	SUBTOTAL		
	explosivos cortada esperanza								
	Fulminante	tal	14	1	0.39	5.46	5.20		
	Dinamita	tal	14	4	0.72	40.32	38.4		
	Mecha	tal	14	1.8	0.63	15.876	15.1		
	COSTO DE EXPLOSIVOS (US\$)/ML							58.72	

Fuente: Elaboración propia

4.3. Discusión de los Resultados

Tabla N° 18.

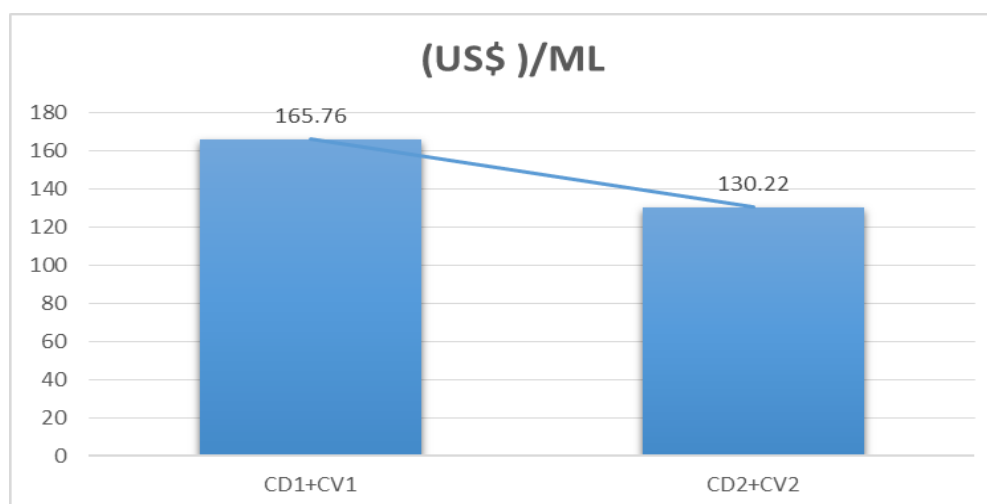
Costos de la malla de perforación y voladura antes y después del diseño

ITEM	DESCRIPCION	(US\$)/ML	COSTO PV
CD1	costos antes del diseño de la malla de perforacion y voladura	81.96	
CD2	costos despues del diseño de la malla de perforacion y voladura	71.5	165.76
CV1	costos de voladura antes de la malla de perforacion y voladura	83.8	
CV2	costos de voladura despues de la malla de perforacion y voladura	58.72	130.22
ITEM	(US\$)/ML		
CD1+CV1	165.76		
CD2+CV2	130.22		
DIFERENCIA	35.54		

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 5

Diferencia de costos



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 19.

Tabla de comparación de resultados empíricos y con diseño

PARAMETROS	Resultados empíricos	Resultados con diseño
Longitud de perforacion (mt)	1.22	1.22
Longitud efectiva (mt)	1.1	1.2
Rendimiento (mt)	0.932	1.05
Eficiencia de perforacion (%)	92	97
Eficiencia de voladura (%)	83	89
Numero de taladros (frente)	22	17
Volumen calculado (m3/disparo)	2.43	2.56
Volumen roto (m3/disparo)	2.01	2.27
Tonelaje roto (tn/disparo)	5.33	6.01
Factor de carga (kg/m3)	3.06	2
Velocidad de perforacion (mt/hr)	24.98	26.04
Costo de pv (US\$/ML)	81.96	71.5
Costo de explosivos (US\$/ML)	83.8	58.72

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 20.

Tabla de comparación de resultados de costos de los aceros

LT PERFORACION ANTES DEL DISEÑO(mt)	26.82	LT PERFORACION DESPUES DEL DISEÑO(mt)	20.73
LT PERFORACION ANTES DEL DISEÑO(pies/frente)	88	LT PERFORACION DESPUES DEL DISEÑO(pies/frente)	68
vida util de la broca 28 mm (pies/perforados)	200	vida util de la broca 28 mm (pies/perforados)	200
vida util del barreno de 4 pies (pies/perforados)	1000	vida util del barreno de 4 pies (pies/perforados)	1000
precio unitario broca 28mm (\$/und)	20	precio unitario broca 28mm (\$/und)	20
precio unitario barreno de 4 pies (\$/und)	80	precio unitario barreno de 4 pies (\$/und)	80
numero de disparos/frente por broca	2	numero de disparos/frente por broca	3
numero de disparos/frente por barreno	11	numero de disparos/frente por barreno	15
costo de la broca por frente perforado(\$/frente)	8.8	costo de la broca por frente perforado(\$/frente)	6.8
costo del barreno por frente perforado(\$/frente)	7.0	costo del barreno por frente perforado(\$/frente)	5.4

Fuente: Elaboración propia

Podemos observar (ver tabla N°18) nos muestra los costos de perforación, voladura y de explosivos antes y después de aplicar el diseño de la malla de perforación y voladura, en la cual se ve una diferencia sustancial de **35.54 dólares/metro lineal**, lo cual nos da una mejora en el proceso operativo, la cual nos ayuda mucho en reducir el capital de inversión del proyecto.

La tabla N°19 nos muestra el valor de los parámetros antes y después del diseño, estos parámetros fueron obtenidos del campo (ver tabla N°22) en el cual durante 20 días se estuvieron obteniendo, el resultado de ellos fue la selección del más óptimo. El número de taladros antes del diseño que son en total 22 y el número de taladros después del diseño que son 17, en conclusión, esto generará un menor tiempo de perforación y se reducirá los costos y la vida útil de los aceros (ver tabla N° 20), aumentando la eficiencia de perforación y la eficiencia de voladura y mejorando el rendimiento y disminuyendo los costos de explosivos.

Se puede observar el control de voladura (ver Fig. N°4) el daño que se puede generar en las paredes y en el techo, la cual realizamos controlando la cantidad de explosivo en los taladros y así evitando el sobre fracturamiento de las coronas y los hastiales y de esa forma evitamos generar mucho costo en el sostenimiento reduciendo la longitud de los redondos que usaremos en los cuadros de avance.

4.4. Aportes del tesista

Con el trabajo realizado y su aplicación del software jksimblast o (AutoCAD), se determina que para cualquier ejecución de una labor subterránea en pequeña minería y artesanal se debe tener en cuenta los estándares considerados en los parámetros empleados del tipo de roca, los explosivos a utilizar, el diseño de perforación y voladura donde se va trabajar para llegar a resultados óptimos.

CONCLUSIONES

1. Se concluye que con los valores utilizados y los resultados obtenidos en el diseño de perforación y voladura en pequeña minería y minería artesanal para frentes de avance se optimizan los costos de operación dentro del proceso operativo de minería subterránea, reduciendo los costos de **\$165.76 a \$130.22**, obteniéndose una diferencia de **\$35.54** por metro lineal avanzado
2. Se concluye que al realizar el diseño de perforación y voladura se redujeron los costos de explosivos de **\$83.80 mt/lineal a \$58.72 mt/lineal** dándonos una diferencia de **\$25.08** por metro lineal avanzado
3. Se concluye que realizando el diseño de perforación y voladura controlamos la sobre-rotura de la corona reduciendo de esa forma la longitud de los redondos de madera de 3 mt a 2.4 mt (ver tabla N°12) y en consecuencia su precio unitario, el costo por metro lineal avanzado era de **S/129.00** se redujo a **S/108.00** cuya diferencia es **S/21.00** por metro lineal avanzado
4. Una buena selección de distribución de malla de perforación reduce el tiempo de perforación (tabla N°6, tabla N°15), el tiempo de perforación antes del diseño era **1 hora con 37 minutos** después del diseño **1 hora con 16 minutos** se redujo un total de **21 minutos** consecuentemente eso generara un aumento en la vida útil de los aceros de perforación
5. Conocida las propiedades físicas y mecánicas de la roca se logrará una mejor simetría en la distribución de los taladros evitando los disparos fallidos en el proceso de voladura.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda supervisar las labores subterráneas de preparación desarrollo y explotación, antes, durante y después de la operación de perforación y voladura y verificar los resultados para determinar la eficiencia de los trabajos.
2. Concientizar a los trabajadores y encargados del cumplimiento de los valores de optimización con el uso de diseño de perforación y voladura establecido.
3. Se recomienda realizar el mapeo geotécnico manual o tradicional cuando se requiera de resultados inmediatos, y llevar a cabo el método fotogramétrico si se cuenta con presupuesto adicional en el proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Camac, A. (2008). Voladura de rocas. Texto guía: puno.
- Chambi, A. (2011). Optimización de perforación y voladura en la ejecución de la rampa 740 – unidad vinchos – volcán s.a.a. cerro de Pasco. Tesis de grado, universidad nacional del altiplano: puno.
- Hernández, R. (2010) (quinta edición). Metodología de la investigación. Ciudad de México: editorial Marshall mc luhan.
- EXSA S.A. (2009) “Manual Práctico de Voladura”
- FAMESA (2006). Manual de Accesorios de Voladura.
- Lope, A. (2018). *El diseño de estándares de perforación y voladura de rocas, para normalizar la fragmentación del material resultante de la construcción de la rampa positiva 050 de la mina Arequipa M – CIA minera A.C. AGREGADOS S.A.C.* Tesis de pregrado para obtener el título de Ingeniero de minas. UNASAM -Huaraz
- López, C. (2012). Santana Manual de evaluación y diseño de perforación y voladura de rocas mineras. Ciudad de México, editorial.
- Pachas, Y. (2017) *Reducción de los costos unitarios con la estandarización de la malla de perforación y voladura en labores de avance de la U. E. A. San Hilarión - corporación minera virgen de la merced SAC. – periodo 2017,* Tesis de pregrado para obtener el título de Ingeniero de minas. UNASAM -Huaraz
- Proaño, G. (2001). Apuntes de curso para la asignatura de perforación y voladura. Escuela superior politécnica del litoral, texto guía: Guayaquil ecuador.

Vidal, E. (2005), “Apuntes del curso de Ingeniería de Explosivos” Pontificia
Universidad Católica del Perú; Sección Ingeniería de Minas, Lima Perú.



ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

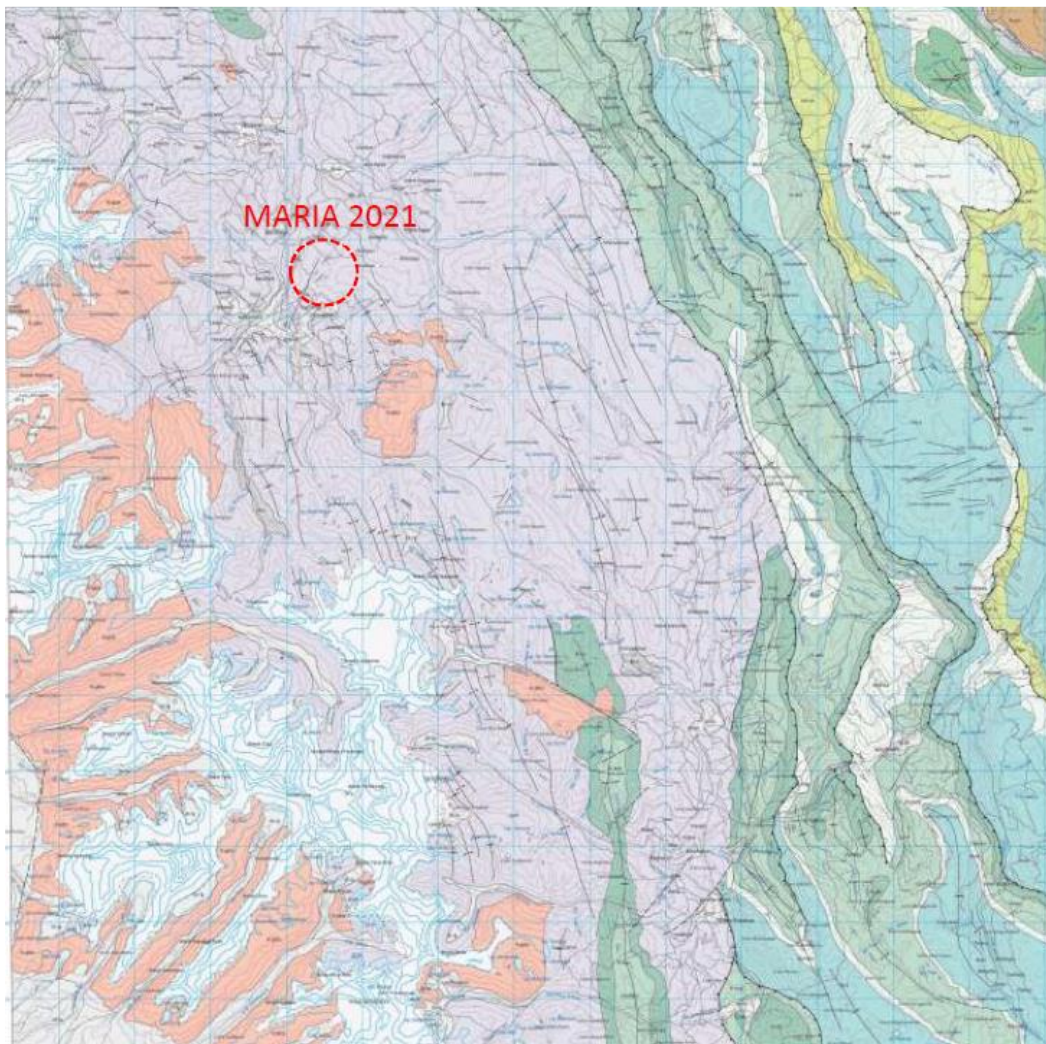
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>General:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo diseñar la perforación y voladura para el óptimo proceso operativo en la cortada esperanza del proyecto María 2021? <p>Específico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Como disminuir la cantidad de explosivos para evitar la sobre rotura. • Como disminuir los costos de sostenimiento • cómo reducir el tiempo de perforación con el objetivo de aumentar la vida útil de los aceros. • Como mejorar la simetría de los taladros para evitar disparos fallidos 	<p>General:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseñar la malla de perforación y voladura en el frente de avance cortada esperanza con el propósito de optimizar el proceso operativo del proyecto maría-2021 <p>Específico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Disminuir la cantidad de explosivos para evitar la sobre rotura. • Disminuir los costos de sostenimiento. • Reducir el tiempo de perforación con el objetivo de aumentar la vida útil de aceros. • Mejorar la simetría de los taladros para evitar disparos fallidos 	<p>General:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El diseño de perforación y voladura optimizará el proceso operativo de la cortada esperanza en el proyecto maria-2021. <p>Específico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Disminuirá la cantidad de explosivos para evitar la sobre rotura • Disminuirá los costos de sostenimiento • Reducirá el tiempo de perforación con el objetivo de aumentar la vida útil de aceros. • Mejorará la simetría de los taladros para evitar disparos fallidos. 	<p>Independiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseño de perforación y voladura <p>Dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Optimizar en el proceso operativo de la cortada esperanza 	<p>Tipo de investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aplicada <p>Nivel de investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Descriptiva <p>Diseño de la investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> • No experimental transversal

Anexo 2. Ubicación de la concesión minera MARIA 2021



Fuente: Google Earth.

Anexo 3. Mapa Geológico del Cuadrángulo de Huari.



Fuente: INGEMMET

Anexo 4. *Afloramiento de lutitas grises*

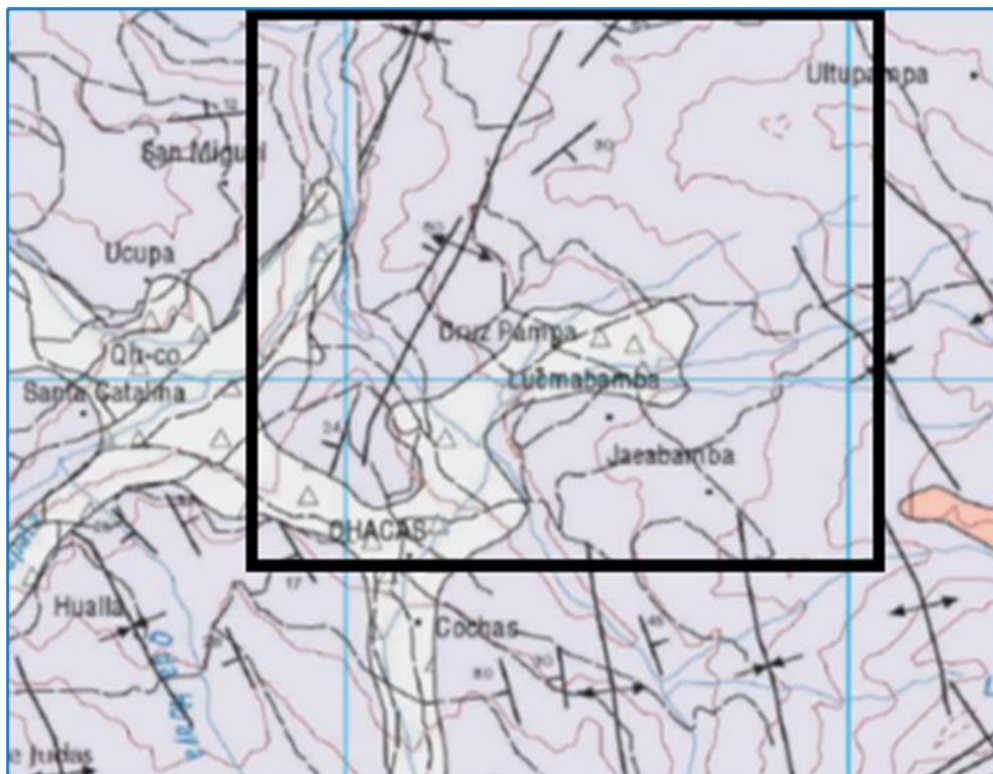


Fuente: Elaboración propia

Anexo 5. *Intercalación de lutitas limolitas y arenisca, sill dacítico*

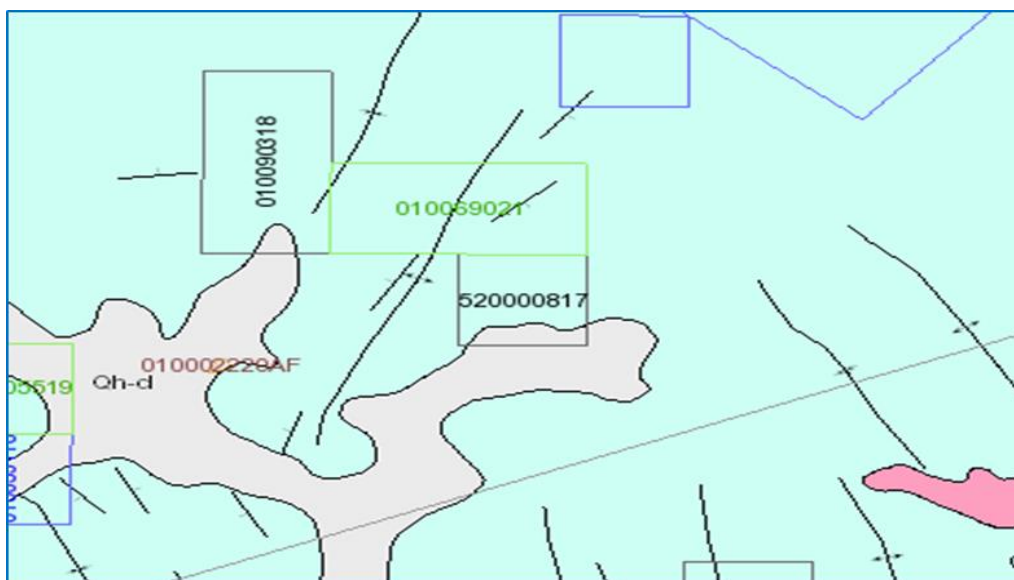


Anexo 6. Pliegues principales



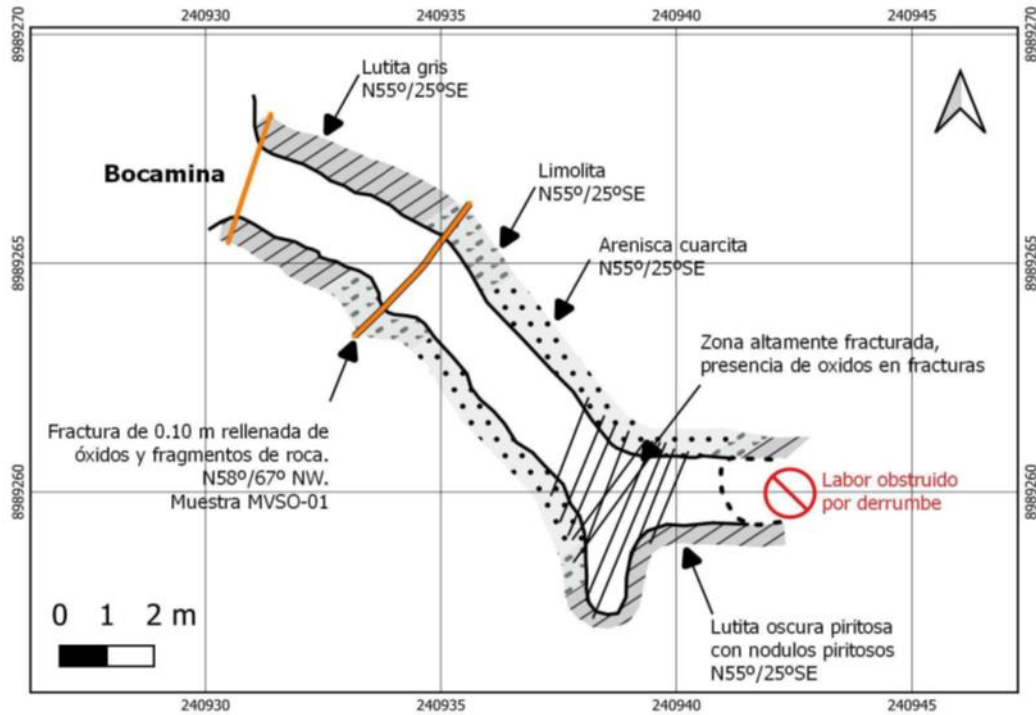
Fuente: Elaboración propia

Anexo 7. Pliegues anticlinal y sinclinal



Fuente: Elaboración propia

Anexo 8. Plano de la labor



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 21.

Resultados del muestreo en la labor

Muestra	Au (g/TM)	Ag (oz/TM)	Cu (%)	Pb (%)	Zn (%)
MVSO-01	0.06	0.32	0.01	0.02	0.18

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 22

Muestreo de datos de campo

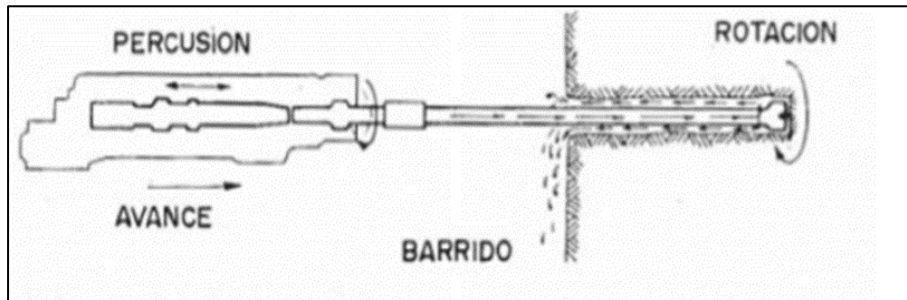
Día	L. de perforacion (mt)	L. efectiva (mt)	Rendimiento (mt)	E.de perforacion (%)	E. de voladura (%)	NT (frente)	NT Cargados	VC (m3/disparo)	VR (m3/disparo)	TR (tn/disparo)	FC (kg/m3)
1	1.22	1.055	0.915	86.5	87	21	18	2.28	1.98	5.24	2.95
2	1.22	1.028	0.874	84.3	85	18	15	2.22	1.89	5.00	2.57
3	1.22	1.003	0.782	82.2	78	20	17	2.17	1.69	4.48	3.26
4	1.22	1.035	0.882	84.8	85	22	19	2.23	1.91	5.05	3.23
5	1.22	1.065	0.923	87.3	87	19	16	2.30	1.99	5.28	2.60
6	1.22	1.026	0.862	84.1	84	21	18	2.22	1.86	4.93	3.13
7	1.22	1.071	0.932	87.8	87	22	19	2.31	2.01	5.33	3.06
8	1.22	1.115	0.934	91.4	84	20	17	2.41	2.02	5.35	2.73
9	1.22	1.126	0.996	92.3	88	22	19	2.43	2.15	5.70	2.86
10	1.22	1.153	0.995	94.5	86	19	16	2.49	2.15	5.70	2.41
11	1.22	1.185	1.05	97.1	89	17	14	2.56	2.27	6.01	2.00
12	1.22	1.127	0.965	92.4	86	22	19	2.43	2.08	5.52	2.95
13	1.22	1.139	0.935	93.4	82	21	18	2.46	2.02	5.35	2.89
14	1.22	1.118	0.975	91.6	87	19	16	2.41	2.11	5.58	2.46
15	1.22	1.102	0.953	90.3	87	22	19	2.38	2.06	5.45	2.99
16	1.22	1.131	0.934	92.7	83	23	20	2.44	2.02	5.35	3.21
17	1.22	1.103	0.922	90.4	84	21	18	2.38	1.99	5.28	2.93
18	1.22	1.120	0.964	91.8	86	19	16	2.42	2.08	5.52	2.49
19	1.22	1.142	0.921	93.6	81	20	17	2.47	1.99	5.27	2.77
20	1.22	1.133	0.915	92.9	81	21	18	2.45	1.98	5.24	2.95

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 6

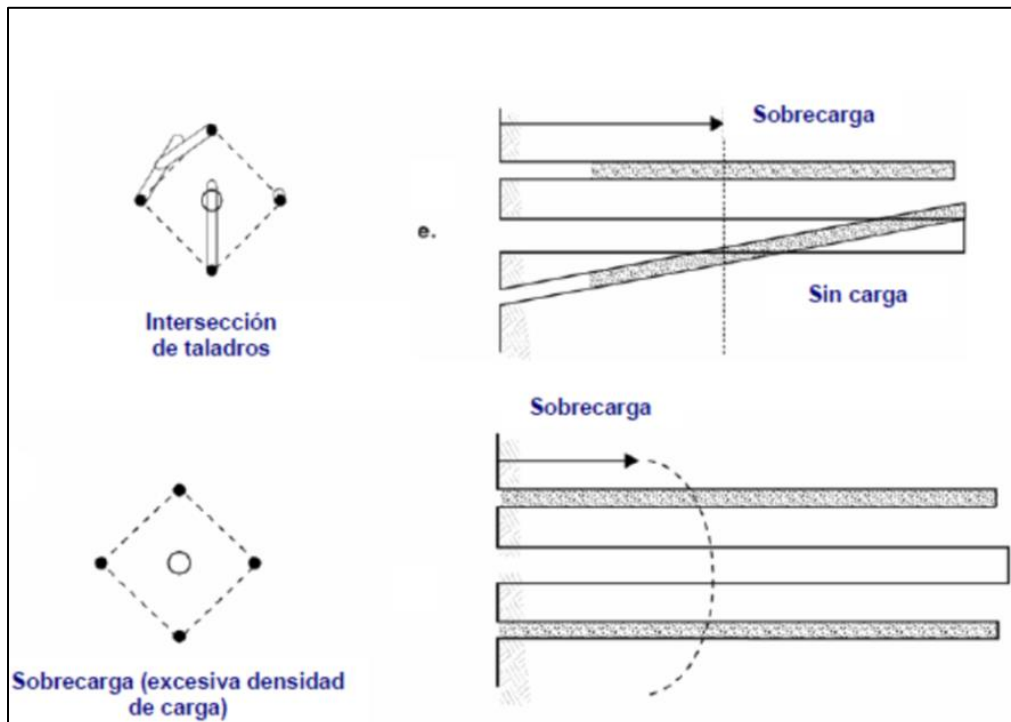
Acciones básicas en la perforación de roto-percusión



Fuente: López Jimeno Carlos Ramón, 2005.

Figura N° 7

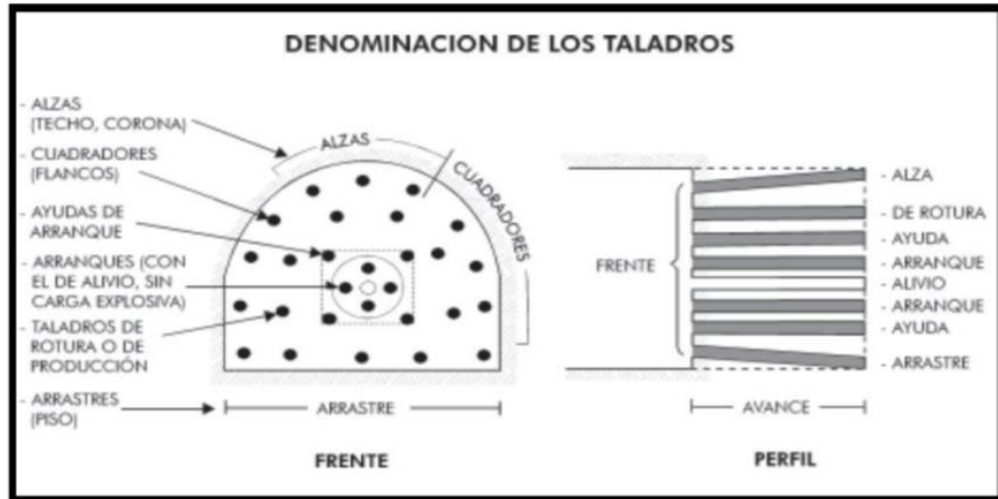
Fallas en la perforación



Fuente: Manual Práctico de EXSA 2011

Figura N° 8

Distribución de los taladros en minería convencional



Fuente: Manual Práctico de EXSA 2011