

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Diseño de malla de perforación y voladura para
reducir costos operativos en el avance de la galería
Veta Soledad del proyecto minero Lyan & Salcedo**

Luis Fernando Guillen Perez
Juan Hernan Quispe Soto

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Arequipa, 2024

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



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

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Benjamín Manuel Ramos Aranda
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 17 de octubre de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

DISEÑO DE MALLA DE PERFORACION Y VOLADURA PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN EL AVANCE DE LA GALERIA VETA SOLEDAD DEL PROYECTO MINERO LYAN & SALCEDO

Autores:

1. Luis Fernando Guillen Perez – EAP. Ingeniería de Minas
2. Juan Hernan Quispe Soto – EAP. Ingeniería de Minas

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 17 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): 20 SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, expresar mi agradecimiento a Dios, por acompañarnos en cada paso, fortalecer nuestros corazones, iluminar nuestras mentes y por puesto en nuestro camino a aquellas personas que han sido nuestro apoyo y compañía a lo largo de todo el periodo de estudio.

Expreso mi eterno agradecimiento a mi padre Claudio A. Guillen Pumacallahui, a mi madre Inocencia Perez Quispe y a mi hermano Alexander Guillen Perez, así como a los demás miembros de mi familia. Agradezco por brindarme su fortaleza, confianza y apoyo incondicional en todo momento. Han estado a mi lado en los momentos buenos y malos, proporcionándome consejos que me ayudaron a superar los desafíos. Su presencia y aliento me han llevado hasta donde estoy hoy. Son mi mayor fuente de inspiración, los amo profundamente.

Luis Guillen

A mi Madre Benita Soto y a mi padre Juan de Dios Quispe, a mis queridas hermanas Celia y Mónica y mi apreciado hermano Eder, fueron mi mayor motivo de inspiración y siempre estaban cuando los necesite, por ustedes seguiré adelante y verán en mí su fuente de orgullo.

Quiero expresar un agradecimiento especial al ingeniero Benjamín Manuel Ramos Aranda, por su colaboración y paciencia durante la realización y conclusión de este proyecto. Su enfoque laboral, su perseverancia y su capacidad para motivarme han sido elementos fundamentales para mi desarrollo como estudiante. Además, agradezco su generosa amistad, su disposición para escucharme, respaldarme y brindarme consejos de manera constante. A Marleni Chirme, quien me acompañó en este proceso, agradezco su constante apoyo y motivación. Su presencia y aliento fueron fundamentales para la culminación de este trabajo.

Juan Quispe

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios por habernos permitido llegar hasta este punto y habernos dado salud, ser el manantial de nuestras vidas y darnos lo necesario para continuar hacia adelante, día a día para lograr nuestros objetivos, además de su infinita bondad y amor.

Asimismo, dedicamos este trabajo a nuestros padres, a quienes les debemos nuestras vidas y gratitudes, les dedicamos nuestro esfuerzo por su cariño y comprensión, ya que han sabido guiarnos hacia la formación de buenos sentimientos, hábitos y valores, esto nos ha permitido avanzar, siempre en busca del mejor camino para alcanzar nuestros objetivos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	iv
DEDICATORIA	v
ÍNDICE DE CONTENIDO	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1. Planteamiento y formulación del problema	14
1.1.1. Planteamiento del problema	14
1.1.2. Formulación del problema.....	15
1.2. Objetivos.....	15
1.2.1. Objetivo general.....	15
1.2.2. Objetivos específicos	15
1.3. Justificación e importancia de la investigación.....	15
1.3.1. justificación.....	15
1.3.2. Importancia	16
1.4. Hipótesis de la investigación	16
1.4.1. Hipótesis general.....	16
1.4.2. Hipótesis específico	16
1.5. Variables	16
1.5.1. Variable independiente	16
1.5.2. Variable dependiente	17
1.6. Operacionalización de la variable	17
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	18
2.1. Antecedentes del problema	18
2.1.1. Antecedentes del problema nacional.....	18
2.1.2. Antecedente internacional.....	19
2.2. Generalidades del Proyecto Minero Lyan & Salcedo	19
2.2.1. Ubicación.....	19
2.2.2. Accesibilidad	21
2.3. Marco geológico.....	21
2.4. Métodos de explotación	21
2.5. Fórmulas matemáticas.....	23

2.6. Base teórica de explosivos	23
2.7. Generalidades de perforación.....	23
2.8. Clasificación geomecánica RMR según Bieniawski.....	23
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	24
3.1. Método y alcances de la investigación.....	24
3.1.1. Método de la investigación	24
3.1.2. Tipo de la investigación	24
3.1.3. Nivel de la investigación.....	24
3.1.4. Diseño de la investigación	24
3.2. Población y muestra.....	25
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	25
3.3.1. Técnicas de recolección de datos	25
3.3.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos.....	25
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1. Índice de calidad de roca RQD (Bieniawski).....	26
4.1.1. Resistencia a la compresión uniaxial	26
4.1.2. Índice de calidad de la roca (RQD).....	26
4.1.3. Índice de calidad de la roca RQD	28
4.2. Resultados obtenidos del diseño de malla de perforación y voladura histórica. (anterior).....	28
4.3. Indicadores y distribución de voladura con malla anterior	30
4.4. Diseño de la malla de perforación histórico.....	31
4.5. Fotografías registradas en la investigación	34
4.5.1. Fotografía del diseño de malla de perforación histórico (malla anterior)	34
4.6. Resultados del diseño de una nueva malla de perforación y voladura (nuevo)	35
4.7. Cálculo de indicadores y distribución de voladura	37
4.8. Diseño de la nueva malla de perforación propuesta.....	39
4.9. Disparos aplicados con la nueva malla de perforación y voladura propuesta.....	39
4.10. Fotografías registradas en la nueva propuesta del diseño de malla de perforación y voladura	41
4.10.1. Fotografía de perforación y voladura de la nueva malla.....	41
4.11. Resumen de costos unitarios.....	44
4.12. Ahorro y proyecciones de la Galería Veta Soledad	45
4.12.1. Ahorro en aceros de perforación.....	45
4.12.2. Ahorro en perforación y accesorios	45
4.12.3. Ahorro en explosivos y accesorios de voladura.....	45
4.12.4. Ahorro y proyección total	46

CONCLUSIONES	48
RECOMENDACIONES.....	49
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	50
ANEXOS	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operación de la variable	17
Tabla 2 Resultado de la prueba del ensayo uniaxial	26
Tabla 3. Logeo de metros de profundidad en los hastiales, Galería Veta Soledad	27
Tabla 4. Utilización del sistema RMR de acuerdo con las pautas de Bieniawski: tramo 265 – 305.62 m.....	28
Tabla 5. Volumen de explosivo por taladro ANFO histórico	29
Tabla 7. Datos obtenidos de la malla Veta Soledad histórico.....	30
Tabla 8. Indicadores de la malla Veta Soledad histórico	30
Tabla 9. Distribución de taladros por disparo histórico	31
Tabla 10. Datos obtenidos de la malla de la Galería Veta Soledad histórico (malla anterior).....	33
Tabla 11: Volumen de explosivo por taladro ANFO	37
Tabla 12.Volumen calculado del Emulnor.	37
Tabla 13. Datos obtenidos de la nueva malla Veta Soledad	37
Tabla 14. Indicadores de la malla Veta Soledad.....	38
Tabla 15: Distribución de taladros por disparo.....	38
Tabla 16. Datos obtenidos después de haber aplicado la malla propuesta en la Galería Veta Soledad.....	40
Tabla 17. Resumen de análisis de costos unitarios y ahorro por ítem	44
Tabla 19. Ahorro y proyección de los costos en aceros de perforación.....	45
Tabla 20. Ahorro y proyección del costo en perforación y accesorios	45
Tabla 21. Ahorro y proyección en explosivos y accesorios de voladura	46
Tabla 22. Ahorro y proyecciones totales por disparo	46
Tabla 23 Distancia entre taladros de acuerdo a la dureza de la roca.....	54
Tabla 24 Coeficiente calculado entre taladros de acuerdo a la dureza de la roca.	54
Tabla 25: Resistencia a la Compresión Uniaxial	59
Tabla 26. Análisis de costos unitarios de materiales, accesorios de perforación y voladura (malla anterior)	61
Tabla 27. Análisis de costos unitarios de materiales, accesorios de perforación y voladura (malla nueva).....	64
Tabla 28. Análisis de costos unitarios y ahorro por ítem.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de departamento y provincia	20
Figura 2. Mapa de ubicación del distrito de Velille de la provincia de Chumbivilcas	20
Figura 3: Mapa de ubicación de la mina.	21
Figura 4. Inicio de toma de datos de índice de calidad de la roca (RQD), Galería Veta Soledad.....	27
Figura 5. Logeo de metros de profundidad en los hastiales, índice de calidad de la roca (RQD), Galería Veta Soledad.	28
Figura 6. Diseño de malla anterior de la galería veta soledad (plano).....	32
Figura 7 . Comienzo de la toma de datos de la malla de perforación y voladura	34
Figura 8. Visualizamos carga explosiva al 95 % - 100 % del taladro, así mismo se muestra el resultado de la voladura de la malla anterior	35
Figura 9. Diseño de la nueva malla (plano)	39
Figura 10. Inicio de aplicación de la nueva propuesta de malla.	41
Figura 11. Se visualiza aplicación de la nueva malla, se detalla los resultados trabajados en el anexo N°06, tabla N°27	42
Figura 12. Se visualiza resultados de voladura y se detalla los trabajados en el anexo N°06, tabla N°27	43
Figura 14. Charla diaria de seguridad y salud ocupacional en el trabajo.....	69
Figura 15.: Participación social en el aniversario del distrito de Velille.....	69
Figura 16. Disparo fallido dentro de la aplicación de la nueva malla de perforación.....	70
Figura 17. Resultado de laboratorio de la densidad de la roca de la Galería Veta Soledad.....	71

RESUMEN

La finalidad de este trabajo es diseñar una malla de perforación y voladura adecuada, utilizando la información geológica y geomecánica para comprender el tipo de roca, que tiene como objetivo reducir los costos operacionales en el avance de la Galería Veta Soledad del Proyecto Minero Lyan & Salcedo. La investigación comenzó con la evaluación de la operación de perforación y voladura en el tramo 265 – 305.62 m de la Galería Veta Soledad, centrándose en la recopilación de datos en el campo. Esto implicó la constante supervisión antes, durante y después de la realización de estas operaciones individuales, así como la evaluación de la realización en su ciclo inicial de operación hasta su ciclo final de operación. Después, se desarrolló un nuevo diseño de malla de perforación a través de un análisis exhaustivo del macizo rocoso, cálculos matemáticos y/o empíricos, espaciamiento y burden de taladros. Se llevó a cabo una comparación entre la malla anterior y la malla optimizada para determinar la diferencia en los costos individuales de perforación y voladura en la Galería Veta Soledad. La aplicación del nuevo diseño de malla de perforación logró reducir el número de 3 taladros de 28 a 25 y estandarizar la longitud de perforación a 4 pies. Esto mejoró el factor de avance por metro lineal disminuyendo de 26.49 kg/ml a 17.58 kg/ml; el factor de carga disminuyó de 9.07 kg/m³ a 5.77 kg/m³, y el factor potencia disminuyó de 3.30 kg/t a 2.10 kg/t. En conclusión, se redujo el costo unitario de perforación y voladura de S/. 1,405.325 soles a S/. 1,176.563 soles por metro lineal de avance. La reducción total fue de S/. 228.762 soles en comparación con la malla anterior de perforación y voladura y se proyecta un ahorro de S/. 142,747.396 soles al año.

Palabras clave: diseño de malla y voladura, costos operacionales, costos, voladura

ABSTRACT

The purpose of this work is to design an appropriate drilling and blasting mesh, using geological and geomechanical information to understand the type of rock, which aims to reduce operational costs in the advancement of the Veta Soledad Gallery of the LYAN & SALCEDO MINING PROJECT. The investigation began with the evaluation of the drill and blast operation in the 265 – 305.62m section of the Veta Soledad Gallery, focusing on data collection in the field. This involves constant supervision before, during and after the performance of these individual operations, as well as the evaluation of performance in their initial operating cycle until their final operating cycle. Afterwards, a new drilling mesh design was developed through an exhaustive analysis of the rock mass, mathematical and/or empirical calculations, drill spacing and loading. A comparison between the previous mesh and the optimized mesh was carried out to determine the difference in individual drill and blast costs in the Veta Soledad Gallery. The application of the new drilling mesh design managed to reduce the number of 3 drills from 28 to 25 and standardize the drilling length to 4 feet. This improved the feed factor per linear meter, decreasing from 26.49 kg/ml to 17.58 kg/ml; the load factor decreased from 9.07 kg/m³ to 5.77 kg/m³, and the power factor decreased from 3.30 kg/t to 2.10 kg/t. In conclusion, the unit cost of drilling and blasting was reduced by S/. 1,405,325 soles to S/. 1,176,563 soles per linear meter of progress. The total reduction was S/. 228,762 soles compared to the previous drilling and blasting mesh and a savings of S/. 142,747,396 soles per year.

Keywords: mesh design and blasting, operational costs, costs, blasting

INTRODUCCIÓN

El tema desarrollado en este trabajo es el diseño de malla de perforación y voladura para la galería Veta Soledad. Está ubicado en el sector Paraccaylla de la comunidad originaria Hatun Ccollana del distrito de Velille, provincia de Chumbivilcas, región del Cusco. El procedimiento de la investigación es a través de fórmulas y cálculos matemáticos para diseñar una malla de perforación y voladura, analizando la reducción de costos operativos en un tiempo inmediato, la reducción de costos operativos en perforación y voladura, uso de explosivos, la incrementación del pie de avance en la galería Veta Soledad.

Este estudio tiene como finalidad determinar la influencia de la malla de perforación y voladura en el avance y los costos de operación. En el primer capítulo se presentan los problemas generados en el Proyecto Minero Lyan & Salcedo desde varios ángulos de enfoque, recayendo en la aplicación de la malla de perforación y voladura para reducir los costos operativos, definiendo la suposición y el parámetro de la investigación. En el segundo capítulo se exponen las bases científicas, definiendo las bases teóricas y los antecedentes en donde se sostiene las constantes innovaciones propuestas en manuales. En el tercer capítulo se muestra el procedimiento empleado es el estudio, la población, la muestra y los métodos o herramientas utilizadas para recopilar información. En el cuarto capítulo se analiza todas las conclusiones obtenidas en la investigación presentada, presentando cálculos matemáticos, evaluación geomecánica, disminución de gastos operativos en el avance de la galería por metro disparado, mostrando resultados de las hipótesis planteadas. Por último, se presentan los resultados y las modificatorias que permitirán alcanzar los propósitos establecidos, así mismo sus respectivas sugerencias.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

En las galerías de producción de una mina en explotación existen desafíos que se deben superar y así cumplir con la labor que es el trabajo y producción seguros a través de una adecuada malla de perforación y voladura, ya que es la labor fundamental, Esto se logra con el apoyo de diseños y modelos matemáticos planteados para mallas de perforación y voladura para galerías, túneles, cortadas, cruceros y rampas. Teniendo en cuenta lo anterior, en el Proyecto Minero Lyan & Salcedo, Galería Veta Soledad se observa malas prácticas en el diseño de malla de perforación, mala distribución de taladros, ya que no se cuenta con un estándar de perforación y voladura. El cual era realizado a criterio del perforista, también la deficiencia en perforación que se presentan en el frente de avance, no se hace el procedimiento de pintado de la malla al inicio de cada perforación, no se estimaba la cantidad de explosivos al usar, por lo que la carga es de 80 % a 100 % de columna explosiva, además, no se consideraba la granulometría en la voladura, por tanto, se viene dañando la galería Veta Soledad haciendo una sobreexcavación en las paredes de los hastiales y la corona. Bajó estas circunstancias negativas, se hizo la evaluación para obtener resultados en forma gradual buscando una buena eficiencia de avance y reduciendo los costos (metros/disparó); luego acortar la sobreexcavación para lo cual realizaremos voladura controlada hasta lograr lo adecuado que sería 66.6 % de columna explosiva por taladro (2/3 partes del taladro perforado) y el avance en la Galería Veta Soledad menor a 4 pies/día. En esta investigación se realizó la evaluación y la aplicación de nuevos modelos de mallas de perforación para la sección de Galería Veta Soledad 1.40 m x 2.00 m (1).

1.1.2. Formulación del problema

• 1.1.2.1. Problema general

- ¿Cómo influye el diseño de una nueva malla de perforación y voladura en la disminución de costos operativos en la Galería Veta Soledad del Proyecto Minero Lyan & Salcedo?

• 1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo influye en la disminución de los costos operativos, la eficiencia del avance lineal con la aplicación de una nueva malla de perforación y voladura en la Galería Veta Soledad del Proyecto Minero Lyan & Salcedo?
- ¿Cómo influye en la disminución de los costos operativos el menor número de taladros y consumo de explosivos con la aplicación de una nueva malla de perforación y voladura en la Galería Veta soledad del Proyecto Minero Lyan & Salcedo?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Determinar cómo influye el diseño de una nueva malla de perforación y voladura en la disminución de costos operativos en la Galería Veta soledad del Proyecto Minero Lyan & Salcedo.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la disminución de costos operativos al mejorar la eficiencia del avance lineal aplicando el nuevo diseño de malla de perforación y voladura en la Galería Veta Soledad del Proyecto Minero Lyan & Salcedo.
- Determinar la disminución de costos operativos con la disminución de número de taladros y menor consumo de explosivos aplicando el nuevo diseño de malla de perforación y voladura en la Galería Veta Soledad del Proyecto Minero Lyan & Salcedo.

1.3. Justificación e importancia de la investigación

1.3.1. justificación

La investigación presentada tiene un aspecto productivo y económico que estudiar; debido a que existen malas prácticas y no se cuenta con buena productividad, ni un control adecuado; esto hace que la producción sea menor y el costo de operación incremente. El personal que trabaja en el Proyecto Minero Lyan & Salcedo debe cumplir el gran desafío de la extracción del mineral a gran producción con el menor costo posible y estén conscientes de la seguridad

al extraer el mineral valioso, puesto que cada perforista usaba su criterio para la realización de la malla en la Galería Veta Soledad, generando costos operativos en el Proyecto Minero Lyan & Salcedo, en tal sentido se emplea óptimos diseños de mallas y mejoras en la operatividad, considerando la adecuada granulometría para el correcto acarreo de mineral estéril y mineral valioso.

- **1.3.1.1. justificación económica**

Haciendo un modelo de malla de perforación y voladura podremos lograr y optimizar económicamente en gran medida los costos de disparo por metro avanzado.

1.3.2. Importancia

Es favorable resaltar la importancia de una adecuada estandarización en la malla de perforación y voladura porque disminuye los costos operativos en el Proyecto Minero Lyan & Salcedo, implementando buenas prácticas para aumentar su productividad con una formación constante al personal en los procedimientos de perforación y voladura y sobre todo el rol que juegan estas como el eje central de todo el sistema, garantizando de este modo la consecución de todo el ciclo de minado.

1.4. Hipótesis de la investigación

1.4.1. Hipótesis general

- La aplicación del diseño de una nueva malla de perforación y voladura disminuye los costos operativos en la Galería Veta Soledad del Proyecto Minero Lyan & Salcedo.

1.4.2. Hipótesis específico

- Se obtiene una reducción de los costos operativos mejorando la efectividad del avance lineal con el nuevo diseño de malla de perforación y voladura en la Galería Veta Soledad del Proyecto Minero Lyan & Salcedo.
- Se obtiene una reducción en los costos operativos al disminuir el número de taladros y menor consumo de explosivos aplicando el nuevo diseño de malla de perforación y voladura en la galería Veta Soledad del Proyecto Minero Lyan & Salcedo.

1.5. Variables

1.5.1. Variable independiente

- Diseño de malla de perforación y voladura para la galería Veta Soledad.

1.5.2. Variable dependiente

- Reducir costos de perforación y voladura en la Galería Veta Soledad.

1.6. Operacionalización de la variable

Tabla 1. Operación de la variable

TIPO DE VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
Variable independiente	Diseño de malla de perforación y voladura para la galería Veta Soledad	Operación en perforación	Pies perforados por metro lineal de avance por disparo
		Normativa en perforación	Calidad de resultado
			Cumplimiento de procedimiento
		Operación en voladura	Kg. de explosivo/metro lineal (Kg/ml)
			Metros de avance/disparo
		Normativa en voladura	Calidad de resultado
Cumplimiento de procedimiento			
Variable dependiente	Reducir costos de perforación y voladura en la galería Veta Soledad	Cuantitativo	US\$/ml
			Porcentaje de reducción de costos

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes del problema nacional

De la Cruz, en su investigación titulada: « *Geología de los cuadrángulos de Velille, Yauri, Ayaviri y Azángaro, Hojas: 30-s, 30-t, 30-u y 30-v*» indica que empieza durante la etapa paleógena desde la cordillera de occidental con depositación clástica detrítica, seguida por la actividad volcánica durante el Mioceno, Plioceno, Pleistoceno. Como resultado de estas etapas tectónicas, sucedió depositación de las distintas secuencias litoestratigráficas que proporcionaron como resultado plegamientos normales y fallas. A partir del punto de vista minero tiene mayor consideración el área mineralizada, presentando depósitos metasomáticos de contacto (skarn) y otros tipos de yacimientos de suma importancia (2).

Mallma en su investigación titulada: «*Optimización del uso de aceros de perforación en la UEA San Cristóbal de Minera Bateas SAC*» determina la familiarización que tiene entre el equipo de perforación con el operador para realizar el análisis / evaluación en percusión, rotación, el impacto con la varilla hacia la roca, verificación de respuestas. Concluye que es un punto fundamental el uso de barrenos y clasificación para diferentes tipos de macizos rocosos y no debería dejarse de lado la evaluación frecuente para la aplicación de barrenos, brocas, varillas entre otros (3).

Villanueva y Jhon en su investigación titulada: «*Diseño de malla de perforación para optimización del proceso operativo de perforación y voladura en la zona chino II de la compañía minera Caraveli S.A.C.*» realiza un análisis de datos a través de nuevos modelos matemáticos para la mejora continua de perforación y voladura minimizando costos operativos, realizando nuevos modelos de diseño de malla de perforación (4).

2.1.2. Antecedente internacional

Bernaola, Castilla y Herrera en su investigación titulada: «Perforación y voladura de rocas en minería» presenta un manual práctico para tener un amplio conocimiento, sistema de perforación a percusión, rotación, aplicación de distintos sistemas de perforación, selección de equipos, propiedades características de explosivos para emplear en macizo rocoso y también accesorios de voladura; que sirve para obtener un amplio conocimiento y tomar decisiones oportunas al proyecto (5).

2.2. Generalidades del Proyecto Minero Lyan & Salcedo

2.2.1. Ubicación

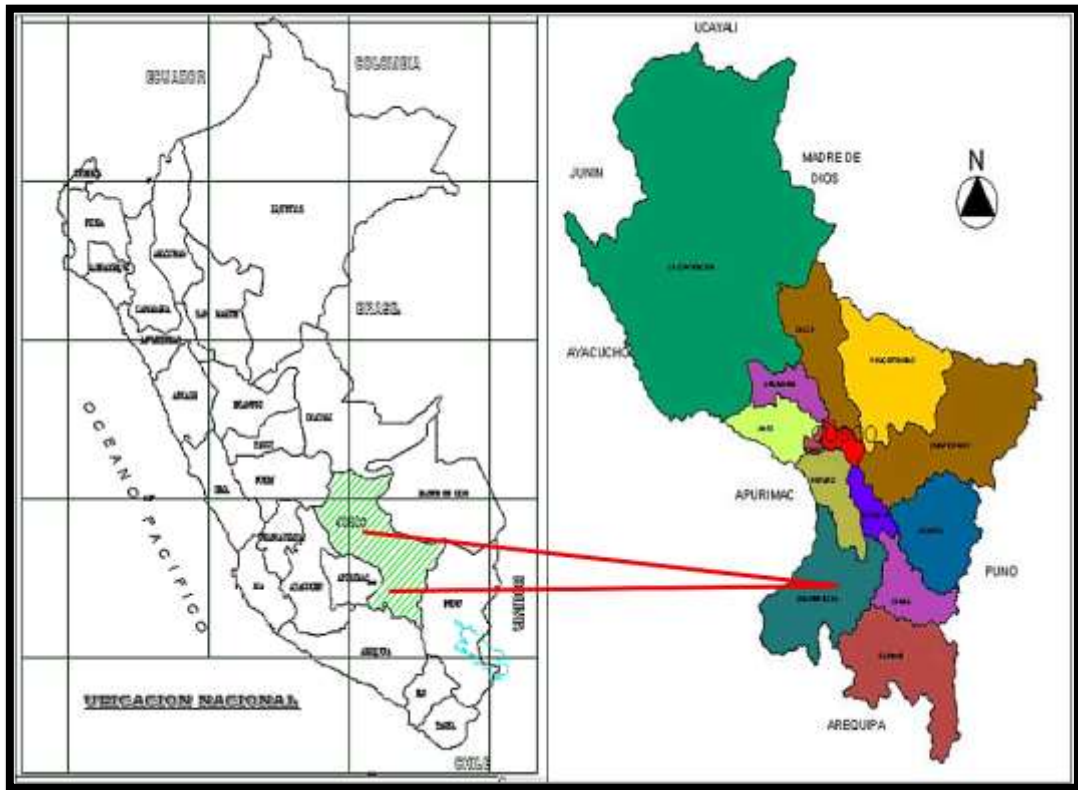
Gráfico de localización del Proyecto Minero Lyan & Salcedo se ubica en el distrito de Velille, provincia de Chumbivilcas y en el departamento de Cusco, a 30 min del distrito de Velille.

2.2.1.1. Coordenadas UTM

- Este : 195434.00
- Norte : 8392233.00

2.2.1.2. Coordenadas geográficas

- Latitud sur : 14°32'33"
- Longitud oeste : 71°49'39"
- Altitud : 4076 m s. n. m.



*Figura 1. Mapa de ubicación de departamento y provincia
Tomada de mapa departamental del Perú*

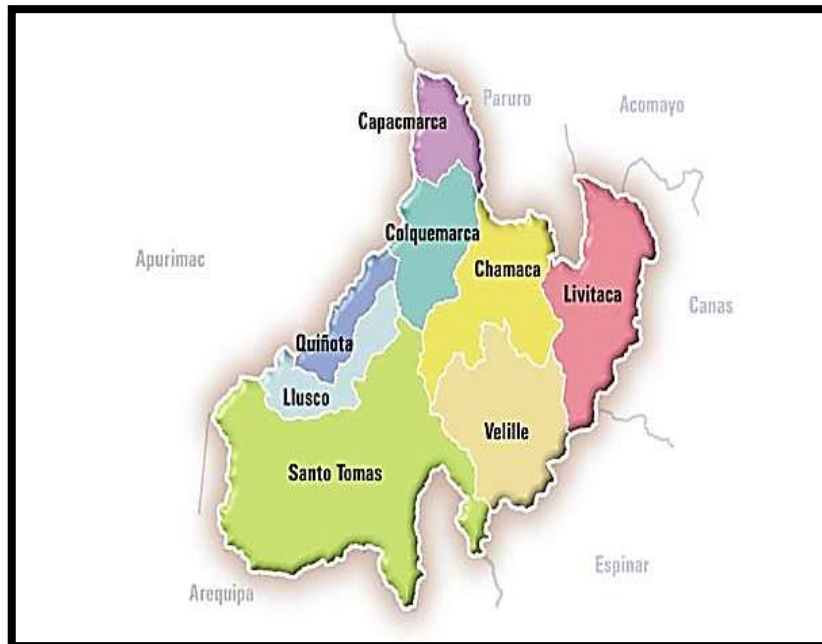
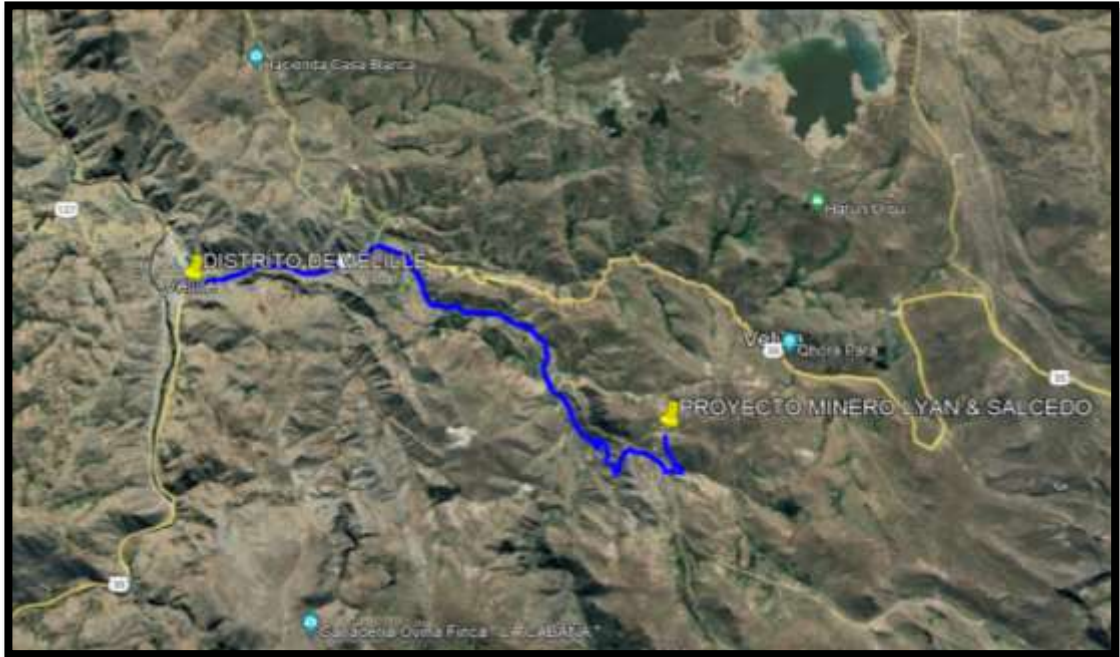


Figura 2. Mapa de ubicación del distrito de Velille de la provincia de Chumbivilcas



*Figura 3: Mapa de ubicación de la mina.
Tomada de Google Earth*

2.2.2. Accesibilidad

a) Vía terrestre

Lima – Cusco – Espinar (desde lima hasta espinar es 23 horas de viaje) – Espinar – Velille (2 horas de viaje asfaltado) – Velille - Mina (30 min en vehículo).

b) Vía aérea:

Lima – Cusco (con una duración de 1 hora y 30 min vía aérea) –Cusco – espinar- Velille (Vía terrestre con una duración de 7 horas por vía asfaltado) – Velille - Mina (30 mina en vehículo).

2.3. Marco geológico

• Geología regional

La descripción minuciosa de cómo se originó geológicamente el distrito de Velille se detalla en el anexo 1.

2.4. Métodos de explotación

• Corte y relleno ascendente

El método corte y relleno ascendente convencional es aplicado dentro del proyecto minero Lyan & Salcedo, porque las vetas presentes tienen un buzamiento de 60° - 80° . El minado se realiza en forma de tajadas horizontales comenzando desde la parte inferior del block, subiendo por cortes, retirando el mineral roto, utilizando la técnica del circado que consiste

en disparar solo parte mineralizada y rellenando la zona minada con material estéril con la finalidad de sostener las cajas, también proporcionar piso adecuado para la siguiente perforación. Asimismo, en la Galería Veta Soledad se viene empleando o se realiza en forma horizontal permitiendo el acceso al yacimiento y/o vetas

- **Perforación y voladura**

En el Proyecto Minero Lyan y Salcedo, el tipo de perforación lo realizan con equipo manual neumático Jack Leg (Modelo S250), de 90 PSI (es la cantidad de fuerza y/o presión que aplicada en un espacio) y consumo de aire comprimido de 156 cfm, usado en la galería de veta soledad. En la mayoría de los frentes de trabajo no existe una malla de perforación que haya sido estandarizada, cada maestro perforista la elabora con su propio criterio en compañía de su capataz y su encargado general. Los arranques usados no conservan el paralelismo entre taladros y el tipo de arranque que es usado mayormente es el corte quemado y/o “cacho de toro”. En cuanto al carguío de los taladros, se emplea Emulnor 5000 7/8” (se introduce el fulminante en el Emulnor para su uso en voladura), de la empresa FAMESA, en cuanto al relleno se hace uso de ANFO (se obtiene haciendo la mezcla fertilizante orgánico en cantidad del 97% y Petróleo en cantidad del 3%), el Proyecto Minero Lyan y Salcedo es una minera que se desarrolla de manera convencional, que hasta el momento se va estandarizando en sus procesos de operación, la regla usada para el carguío es colocar el cartucho de explosivo como iniciador y de relleno se usa en ANFO (3/4) del taladro perforado, lo cual hace que se pueda aproximar a la carga adecuada, dicha práctica va mejorando para lograr estándares más exactos.

- **Ciclo de minado de la galería veta soledad**

El ciclo de minado en la galería veta soledad toma en cuenta el aire, agua y equipos que puedan facilitar la limpieza, en donde el orden es el siguiente: perforación – voladura - ventilación - acarreo y transporte – saneo y desescombros.

La sección que lleva la Galería Veta Soledad tiene de dimensiones de 1.6 m x 2.1 m. en el proyecto minero es empleado por método combinado por el uso de sistema convencional y mecanizado, en donde se emplea el uso para la perforación el equipo neumático Jack Leg y para la limpieza se hace uso de moto remolcador de carros mineros (eléctrico y petrolero).

Una cuadrilla de trabajo está conformada en la galería veta soledad:

- 01 maestro perforista
- 01 ayudante perforista

- 04 ayudante de limpieza (carguío y transporte)

2.5. Fórmulas matemáticas

- **Calculo diseño de malla de perforación.**

Las fórmulas del cálculo de diseño de malla de perforación están siendo explicados en el anexo 2.

2.6. Base teórica de explosivos

Las bases teóricas de los explosivos están siendo explicados en el anexo 3.

2.7. Generalidades de perforación

Las generalidades de perforación están siendo explicados en el anexo 4.

2.8. Clasificación geomecánica RMR según Bieniawski

- **Resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta**

La resistencia a la compresión uniaxial se explica en el anexo 5.1.

- **Índice de calidad de la roca (RQD)**

El índice de calidad de la roca se explica en el anexo 5.2.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método y alcances de la investigación

3.1.1. Método de la investigación

En la presente investigación se aplica el método científico, puesto que se ha pretendido obtener un resultado de una investigación, evidenciado en la reducción de costo operativo a través de un nuevo diseño de malla de perforación y voladura; por ello se aplica las técnicas y experimentación concordando los resultados de campo y teóricos.

3.1.2. Tipo de la investigación

El tipo de investigación es aplicativo, porque está orientado a realizar las prácticas de las teorías generales y el análisis de la malla de perforación y voladura, el objetivo de la investigación es describir de qué manera se logra disminuir los costos operativos, resolviendo el problema que se plantea.

3.1.3. Nivel de la investigación

El nivel de investigación es descriptivo, debido a que describe el proceso de un nuevo diseño de malla de perforación y voladura para la disminución de costos operativos en la galería Veta Soledad, La presente investigación busca la aplicación de nuevos diseños de mallas de perforación ligados a la realidad circunstancial antes que el desarrollo de teorías.

3.1.4. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es de tipo experimental con una orientación cuantitativa.

3.2. Población y muestra

3.2.1 Población

Compuesta por todas las galerías que cuenta el Proyecto Minero Lyan & Salcedo.

3.2.2 Muestra

La muestra de investigación es la Galería Veta Soledad del Proyecto Minero Lyan & Salcedo.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.3.1. Técnicas de recolección de datos

Durante la investigación se utilizaron técnicas teóricas y prácticas *in situ* para conseguir los datos de forma permanente, entre ellas:

- **Observación directa**

Realizamos una observación directa en la Galería Veta Soledad de las actividades principales durante la operación, para obtener datos reales para nuestra investigación, del mismo realizamos mediciones antes, durante y después de la perforación y voladura mientras dure el periodo del estudio.

- **Revisión de documentos**

Los datos se recopilaron de distintas fuentes: manuales, libros, reglamentos, tesis, artículos, revistas científicas, Con el fin de obtener información altamente confiable y llevar a cabo una investigación eficiente.

3.3.2. Instrumentos utilizados en la recolección de datos.

- Cinta métrica (wincha 50 m), brújula, picota, GPS, lupa.
- Software de AutoCAD, Software de cálculo de numero de taladros, Microsoft office, Se emplearon los programas de Word, Excel y PowerPoint para elaborar y procesar los datos recopilados.
- Conexión a la red.
- Se utilizaron materiales de escritorio como bolígrafos, libretas y un ordenador para procesar los datos y realizar la investigación.
- Aplicación de fórmulas y cálculos matemáticos.
- Tablas estadísticas.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Índice de calidad de roca RQD (Bieniawski)

4.1.1. Resistencia a la compresión uniaxial

La prueba de la resistencia a la compresión uniaxial de la roca se realizó de la siguiente forma: utilizando el criterio de golpes con la picota de geólogo, así mismo utilizando el criterio de número de golpes que se realizó en campo y se detalla de la siguiente manera:

- 1.- Se obtuvo 3 a 4 golpes con la picota de geólogo.
- 2.- El macizo rocoso identificado en campo es la roca andesita, es una roca ígnea volcánica y/o extrusiva que tiene una resistencia a la compresión simple (MPa), como resistencia mínima es de 127 MPa, resistencia media es de 128 Mpa y resistencia máxima es de 128 Mpa.
- 3.- El macizo rocoso se muestra sin ninguna alteración, con discontinuidades cerradas.

Tabla 2 Resultado de la prueba del ensayo uniaxial

Clase (a)	Calificación de la roca según su resistencia	Resistencia uniaxial (Mpa)	Índice de carga puntual (Mpa)	Estimación en terreno de la resistencia
R5	Muy Resistente	100-250	4-10	Un trozo de roca requiere varios golpes de martillo geológico para fracturarse.

Tomada de Hoek y Brown

4.1.2. Índice de calidad de la roca (RQD)

Tabla 3. Logeo de metros de profundidad en los hastiales, Galería Veta Soledad

Nº de caja	Corrida superior (metros)	Corrida inferior (metros)	Diferencia de longitud	Σ de partes >10cm	RQD	Ponderación
1	266.50	265.00	1.50	1.44	96.00%	1.440
2	268.80	266.50	2.30	1.57	68.26%	1.570
3	269.76	268.80	0.96	0.77	80.21%	0.770
4	271.76	269.76	2.00	1.75	87.50%	1.750
5	273.46	271.76	1.70	1.66	97.65%	1.660
6	275.42	273.46	1.96	1.66	84.69%	1.660
7	277.32	275.42	1.90	1.83	96.32%	1.830
8	279.42	277.32	2.10	1.70	80.95%	1.700
9	280.92	279.42	1.50	1.46	97.33%	1.460
10	282.32	280.92	1.40	1.07	76.43%	1.070
11	284.02	282.32	1.70	1.40	82.35%	1.400
12	287.02	284.02	3.00	2.84	94.67%	2.840
13	288.02	287.02	1.00	0.81	81.00%	0.810
14	288.92	288.02	0.90	0.77	85.56%	0.770
15	289.52	288.92	0.60	0.58	96.67%	0.580
16	290.82	289.52	1.30	1.22	93.85%	1.220
17	292.12	290.82	1.30	1.24	95.38%	1.240
18	293.12	292.12	1.00	0.80	80.00%	0.800
19	296.32	293.12	3.20	2.48	77.50%	2.480
20	297.52	296.32	1.20	1.00	83.33%	1.000
21	299.02	297.52	1.50	1.14	76.00%	1.140
22	300.92	299.02	1.90	1.50	78.95%	1.500
23	302.27	300.92	1.35	1.17	86.67%	1.170
24	303.77	302.27	1.50	1.21	80.67%	1.210
25	305.62	303.77	1.85	1.33	71.89%	1.330
		Sub total	40.62	Sub total		34.40
				RQD PONDERADO		84.69%

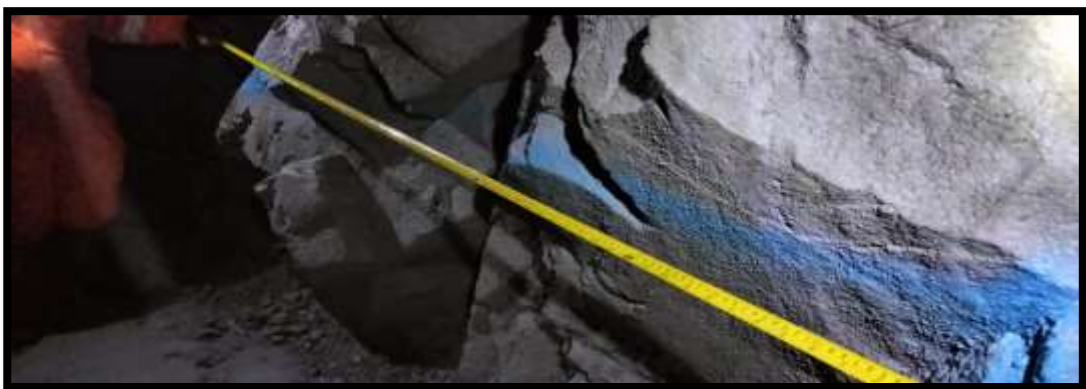


Figura 4. Inicio de toma de datos de índice de calidad de la roca (RQD), Galería Veta Soledad



Figura 5. Logeo de metros de profundidad en los hastiales, índice de calidad de la roca (RQD),
Galería Veta Soledad.

4.1.3. Índice de calidad de la roca RQD

- Mapeo geomecánico

Lugar: Proyecto Minero Lyan & Salcedo

Por: ING. Juan Quispe Soto

ING. Luis Guillen Perez

Labor: Veta Soledad

Tramo: 265 – 305.62 m.

Tabla 4. Utilización del sistema RMR de acuerdo con las pautas de Bieniawski: tramo 265 – 305.62 m

VALORACION DEL MACIZO VETA SOLEDAD (RMR)													
PARAMETRO										VALORACION			
RESIST. COMP. UNIAxIAL (Mpa)	> 250 Mpa	15	100 - 250 Mpa	12	50 - 100 Mpa	7	25 - 50 Mpa	4	< 25 Mpa	2,1	1	12	
RQD (%)	90 - 100	20	75 - 90	17	50 - 75	13	25 - 50	8	0 - 25	3	2	17	
ESPACIAMIENTO (m)	> 2 m	20	0.6 - 2 m	15	0.2 - 0.6 m	10	0.06 - 0.2 m	8	< 0.06 m	5	3	5	
CONDICION DE LAS DISCONTINUIDADES	PERSISTENCIA	<1m Muy baja	6	1 - 3 m Baj	4	3 - 10 m Med	2	10-20 m Alta	1	> 20 m M.Alt	0	4A	6
	APERTURA	0 Ninguna	6	<0.1mm MC	5	0.1-1 mm Cer	4	1 - 5 mm MA	1	> 5mm A	0	4B	4
	RUGOSIDAD	Muy Rugosa	6	Rugosa	5	Lig. Rugosa	3	Lisa	1	Espejo de Falla	0	4C	3
	RELLENO	Ninguno	6	Duro < 5 mm	4	Duro > 5 mm	2	Blando < 5 mm	2	Blando > 5 mm	0	4D	4
	ALTERACION	No alterada	6	Lig. Alterada	5	Mod. Alterada	3	Muy Alterada	1	Descompuesta	0	4E	5
PRESENCIA DE AGUA	Seco	15	Lig. Humedo	10	Humedo	7	Goteando	4	Fluyendo	0	5	10	
VALOR TOTAL RMR (Suma de Valoracion 1 a 5) =											66		
CLASE DE MACIZO ROCOSO													
RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	20-0								
DESCRIPCION	I MUY BUENA	II BUENA	III MEDIA	IV MALA	MUY MALA								

4.2. Resultados obtenidos del diseño de malla de perforación y voladura histórica.

(anterior)

- Datos de campo:

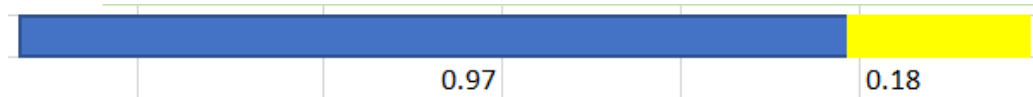
✓ Ancho : 1.4 m.

✓ Alto : 2.0 m.

- ✓ Longitud del barreno : 4.0 ft.
- ✓ Diámetro de Broca : 36 milímetros.

- **Cálculo de longitud efectiva del taco**

- Tal. Carg. = 0.97 cm.
- Cebo = 0.18 cm.
- Taco = 0.00 cm.



- Dist. Perf. = 0.97 + 0.18 = 1.15 m.

- **Cálculo del volumen de explosivo por taladro ANFO**

Tabla 5. Volumen de explosivo por taladro ANFO histórico

A= πr^2	10.178	
D=	3.6	cm
R=	1.8	cm
H=	97	cm
V=	987.31	cm ³
VOLUMEN	987.31	cm ³
ANFO	0.98	gr/cm ³
Anfo=	967.564	gr
Anfo=	0.968	kg

- **Cálculo del volumen del Emulsor histórico**

Tabla 6. Volumen calculado del Emulsor histórico

A= πr^2	3.871	
D=	2.22	cm
R=	1.11	cm
H=	18	cm
V=	69.67	cm ³
VOLUMEN	69.67	cm ³
EMULNOR=	1.16	gr/cm ³
Emulnor=	80.819	gr
Emulnor=	0.081	kg

4.3. Indicadores y distribución de voladura con malla anterior

Tabla 7. Datos obtenidos de la malla Veta Soledad histórico

Datos Galería Veta Soledad		
Sección	1.44x2.12	m ²
Tipo de Roca	DURA	
RMR	80-61	II Buena
Ø Tal. producción	36 mm	
Ø Tal. alivio	36 mm	
Long. barreno	4 pies	
Long. de perforación efectiva	1.15 m	
Avance proyectado	0.95 m	
Eficacia de voladura (calculado)	82.61 %	
Volumen roto (calculado)	2.78 m ³	
Peso específico	2.75 t/m ³	
Tonelaje toto proyectado	7.65 t	

Tabla 8. Indicadores de la malla Veta Soledad histórico

Indicadores de voladura de Galería Veta Soledad		
Taladros perforados	28	Taladros
Taladros cargados	24	Taladros
Cartuchos por taladro	1	Cart/tal
Fulminante por taladro	1	Fulm/tal
Mecha de seguridad por taladro	1.20	Met/tal
kg de explosivo por taladro	1.05	kg/tal
kg de explosivo por disparo	25.16	kg/dis
Factor de avance	26.49	kg/ml
Factor de carga	9.05	kg/m ³
Factor de potencia	3.29	kg/t

Tabla 9. Distribución de taladros por disparo histórico

DISTRIBUCIÓN DE TALADROS POR DISPARO											
N°	TIPO DE TALADRO (ZONA)	N° DE TAL CARGADOS	N° DE TAL LIBRE	PESO DE EXPLOSIVO POR TALADRO							PESO EXPLOSIVO TOTAL
				ANFO: 0.98 gr/cm ³			EMULNOR 5000 7/8": 1.16 gr/cm ³				
				Vol. (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Kg Expl.	Vol. (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Kg Expl.	Cant.	
				987.31	0.980	0.968	69.672	1.160	0.081	Und	
1	ARRANQUE	1	4	0.968			0.081		1.00	1.048	
2	1ra AYUDA	4		3.870			0.323		4.00	4.194	
3	2da AYUDA	4		3.870			0.323		4.00	4.194	
4	3ra AYUDA	0		0.000			0.000		0.00	0.000	
5	AYUDA DE CUADRADORES	0		0.000			0.000		0.00	0.000	
6	AYUDA DE ALZAS	3		2.903			0.242		3.00	3.145	
7	AYUDA DE ARRASTRE	2		1.935			0.162		2.00	2.097	
8	CUADRADORES	4		3.870			0.323		4.00	4.194	
9	ARRASTRE	4		3.870			0.323		4.00	4.194	
10	ALZAS	2		1.935			0.162		2.00	2.097	
11	CUNETAS	0		0.000			0.000		0.00	0.000	
12	ALIVIO DE HASTIALES Y CORNOS	0		0.000			0.000		0.00	0.000	
TOTAL DE TALADROS		24	4	23.222			1.940		24.000	25.161	

4.4. Diseño de la malla de perforación histórico

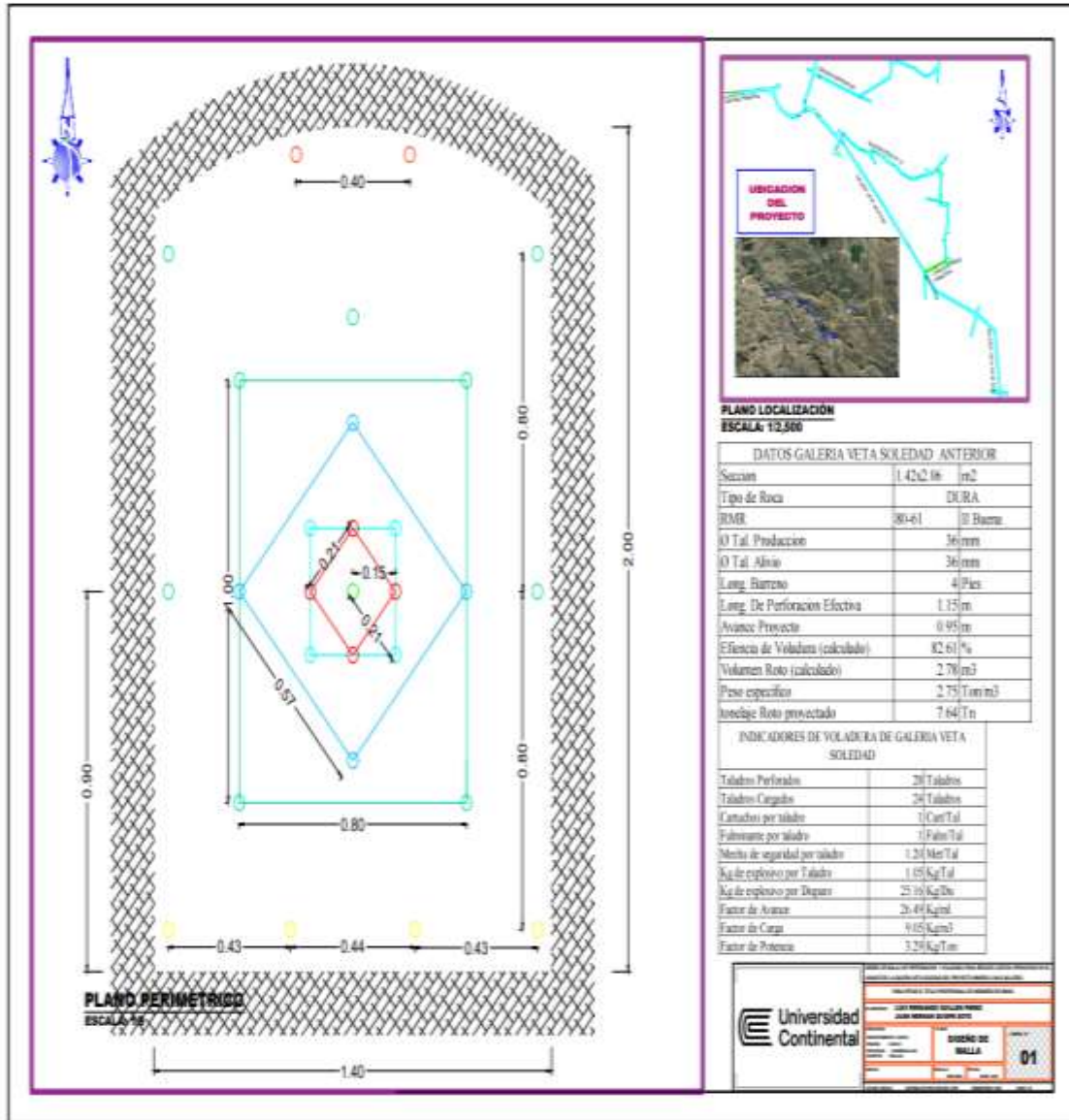


Figura 6. Diseño de malla anterior de la galería veta soledad (plano)

4.5. Fotografías registradas en la investigación

A continuación, se muestran las fotos registradas antes de iniciar la investigación.

4.5.1. Fotografía del diseño de malla de perforación histórico (malla anterior)

Comienzo de la toma de datos de la malla de perforación y voladura, número de taladros, tipo de arranque, carguío de explosivo en la Galería Veta Soledad, se visualiza datos de campo de dos fechas que han sido registrados y se detalla los resultados trabajados en la tabla N°11.



Figura 7. Comienzo de la toma de datos de la malla de perforación y voladura



Figura 8. Visualizamos carga explosiva al 95 % - 100 % del taladro, así mismo se muestra el resultado de la voladura de la malla anterior

4.6. Resultados del diseño de una nueva malla de perforación y voladura (nuevo)

- **Datos de campo:**

- ✓ Ancho : 1.4 m.
- ✓ Alto : 2.0 m.
- ✓ Longitud del barreno : 4.0 ft.
- ✓ Diámetro de broca : 36 Milímetros.
- ✓ Densidad : 2.75 g/cm³

- **Aplicando la fórmula N°1 del anexo 2.1 tenemos:**

$$A = \left(\frac{2}{3} * 1.4 * 2\right) + \frac{2}{18 * 1.4} \left(\frac{2^2}{3} + 4 * 1.4^2\right)$$

$$A = 2.59 \text{ m}^2$$

- **Aplicando la fórmula N°2 del anexo 2.2 tenemos:**

$$P = (\sqrt{2.59} * 4)$$

$$P = 6.43 \text{ m}$$

- **Aplicando la fórmula N°3 del Anexo 2.3 tenemos:**

$$N^{\circ} Tal = \binom{6.4}{0.4} + (2.3 * 2.6)$$

$$N^{\circ} Tal = 21.98 \approx 22 \text{ Tal.}$$

- **Aplicando la fórmula N°4 del Anexo 2.4 tenemos:**

$$D_H = 0.036 * \sqrt{3}$$

$$D_2 = 0.062 \text{ m}$$

- **Aplicando la fórmula N°5 del Anexo 2.5 tenemos:**

$$B_1 = 1.5 * 0.062$$

$$B_1 = 0.093 \text{ m}$$

- **Aplicando la fórmula N°6 del Anexo 2.6 tenemos:**

$$V = 2.12 * 1.44 * 1.10$$

$$V = 3.35 \text{ m}^3$$

- **Aplicando la fórmula N°7 del Anexo 2.6 tenemos:**

$$t = V * p$$

$$t = 3.35 * 2.75$$

$$t = 9.21 \text{ t}$$

- **Aplicando la fórmula N°8 del Anexo 2.7 tenemos:**

$$Efc. Perf. = \frac{1.1}{1.15} * 100$$

$$Efc. Vol. = 95.65\%$$

- **Cálculo de longitud efectiva del taco**

$$\text{Tal. Carg.} = 0.62$$

$$\text{Cebo} = 0.18$$

$$\text{Taco} = 0.35$$



$$Dist. Perf. = 0.35 + 0.62 + 0.18 = 1.15$$

- **Cálculo del volumen de explosivo por taladro ANFO**

Tabla 11: Volumen de explosivo por taladro ANFO

A= πr^2	10.178	
D=	3.6	cm
R=	1.8	cm
H=	80	cm
V=	814.28	cm ³
Volumen	814.28	cm ³
ANFO	0.98	gr/cm ³
Anfo=	797.991	gr
Anfo=	0.798	kg

- **Cálculo del volumen del Emulnor**

Tabla 12. Volumen calculado del Emulnor.

A=	3.870642	
D=	2.22	cm
R=	1.11	cm
A=	18	cm
V=	69.672	cm ³
Volumen	69.672	cm ³
EMULNOR=	1.16	gr/cm ³
Emulnor=	80.819	gr
Emulnor=	0.081	kg

4.7. Cálculo de indicadores y distribución de voladura

Tabla 13. Datos obtenidos de la nueva malla Veta Soledad

Datos Galería Veta Soledad		
Sección	1.44x2.12	m ²
Tipo de roca	Dura	
RMR	80-61	II Buena
Ø Tal. producción	36	mm
Ø Tal. alivio	36	mm
Long. barreno	4	Pies
Long. de perforación efectiva	1.15	m
Avance Proyectado	1.1	m
Eficacia de voladura (calculado)	95.65	%
Volumen roto (calculado)	3.35	m ³
Peso específico	2.75	t/m ³
Tonelaje roto proyectado	9.21	t

Tabla 14. Indicadores de la malla Veta Soledad

Indicadores de voladura de Galeria Veta Soledad	
Taladros perforados	25 Taladros
Taladros cargados	22 Taladros
Cartuchos por taladro	1 Cart/Tal
Fulminante por taladro	1 Fulm/Tal
Mecha de seguridad por taladro	1.20 Met/Tal
Kg de explosivo por taladro	0.88 kg/Tal
Kg de explosivo por disparo	19.33 kg/Dis
Factor de avance	17.58 kg/ml
Factor de carga	5.77 kg/m ³
Factor de potencia	2.10 kg/t

Tabla 15: Distribución de taladros por disparo

N°	Tipo de taladro (zona)	N° de tal cargados	N° de tal libre	Peso de explosivo por taladro						Peso explosivo total	
				ANFO: 0.98 gr/cm ³		EMULNOR 5000 7/8": 1.16 gr/cm ³		Cant. Und	Kg		
				Vol. (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Kg Expl. (cm ³)	Vol. (cm ³)				Densidad (gr/cm ³)
				814.28	0.980	0.798	69.672	1.160	0.081		
1	Arranque	3	3		2.394			0.242		3.00	2.636
2	1ra ayuda	4			3.192			0.323		4.00	3.515
3	2da ayuda	4			3.192			0.323		4.00	3.515
4	3ra ayuda	0			0.000			0.000		0.00	0.000
5	Ayuda de cuadradores	0			0.000			0.000		0.00	0.000
6	Ayuda de alzas	1			0.798			0.081		1.00	0.879
7	Ayuda de arrastre	0			0.000			0.000		0.00	0.000
8	Cuadradores	4			3.192			0.323		4.00	3.515
9	Arrastre	4			3.192			0.323		4.00	3.515
10	Alzas	2			1.596			0.162		2.00	1.758
11	Cuneta	0			0.000			0.000		0.00	0.000
12	Alivio de hastiales y corona	0			0.000			0.000		0.00	0.000
	Total de taladros	22	3		17.556			1.778		22.000	19.334

4.8. Diseño de la nueva malla de perforación propuesta

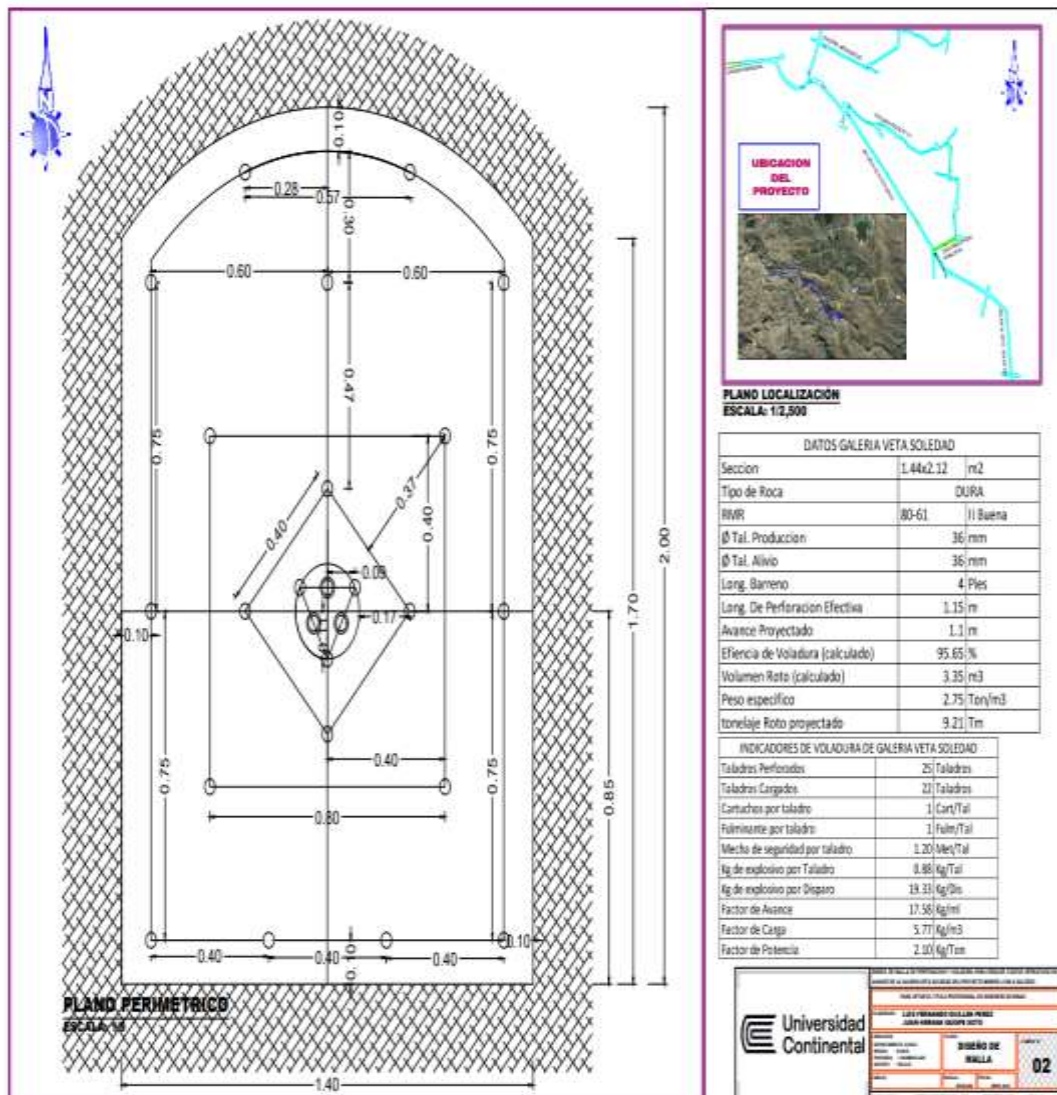


Figura 9. Diseño de la nueva malla (plano)

4.9. Disparos aplicados con la nueva malla de perforación y voladura propuesta

Se muestra el registro de la aplicación en el campo al implementar la nueva malla de perforación recomendada. La tabla contiene la columna de disparo histórico, la cual presenta los promedios reales de los indicadores antes de la investigación.

Tabla 16. Datos obtenidos después de haber aplicado la malla propuesta en la Galería Veta Soledad

Datos obtenidos de la nueva malla Veta Soledad																
Día	11- Abr	12- Abr	13- Abr	14- Abr	15- Abr	16- Abr	17- Abr	18- Abr	19- Abr	20- Abr	21- Abr	22- Abr	23- Abr	24- Abr	25- Abr	Disparo histórico
Turno	Día	Día	Día	Día	Día	Día	Día	Día	Día	Día	Día	Día	Día	Día	Día	Promedio
Nro. de taladros	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25.00
N° tal. cargados	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22.00
Long barreno (pies)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4.00
Ancho (m)	1.43	1.44	1.44	1.43	1.44	1.43	1.43	1.44	1.43	1.45	1.43	1.44	1.43	1.43	1.44	1.44
Altura (m)	2.12	2.15	2.13	2.1	2.15	2.1	2.15	2.1	2.1	2.15	2.1	2.1	2.15	2.11	2.12	2.12
Avance (m)	1.1	1.12	1.09	1.08	1.09	1.1	1.1	1.1	1.1	1.09	1.11	1.1	1.1	1.12	1.1	1.10
Mecha de seguridad blanca (4 pies)	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.7	26.70
Emulnor 5000 (7/8" x 7)	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22.00
Fulminante por taladro	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22.00
Eficiencia perf (%)	95.65	97.39	94.78	93.91	94.78	95.65	95.65	95.65	95.65	94.78	96.52	95.65	95.65	97.39	95.65	95.65
Rotura (m ³)	3.33	3.47	3.34	3.24	3.37	3.30	3.38	3.33	3.30	3.40	3.33	3.33	3.38	3.38	3.36	3.35
TM	9.17	9.54	9.19	8.92	9.28	9.08	9.30	9.15	9.08	9.34	9.17	9.15	9.30	9.29	9.23	9.21
Eficiencia vol (%)	95.65	97.39	94.78	93.91	94.78	95.65	95.65	95.65	95.65	94.78	96.52	95.65	95.65	97.39	95.65	95.65
Kg expl / disp	19.33	19.33	19.33	19.33	19.33	19.33	19.33	19.33	19.33	19.33	19.33	19.33	19.33	19.33	19.33	19.33
F.P (kg/t)	2.11	2.03	2.10	2.17	2.08	2.13	2.08	2.11	2.13	2.07	2.11	2.11	2.08	2.08	2.09	2.10
F.C (kg / m ³)	5.80	5.58	5.78	5.96	5.73	5.85	5.72	5.81	5.85	5.69	5.80	5.81	5.72	5.72	5.76	5.77
F. A (kg / ml)	17.58	17.26	17.74	17.90	17.74	17.58	17.58	17.58	17.58	17.74	17.42	17.58	17.58	17.26	17.58	17.58
kg explo / tal	0.879	0.879	0.879	0.879	0.879	0.879	0.879	0.879	0.879	0.879	0.879	0.879	0.879	0.879	0.879	0.88

4.10. Fotografías registradas en la nueva propuesta del diseño de malla de perforación y voladura

4.10.1. Fotografía de perforación y voladura de la nueva malla

Comienzo de la implementación de la nueva propuesta de la malla de perforación y voladura, cantidad de perforaciones, método de inicio, carga explosiva en la Veta Galería Soledad, se observa la nueva malla propuesta, se describen los resultados obtenidos en la tabla N°17.



Figura 10. Inicio de aplicación de la nueva propuesta de malla.



Figura 11. Se visualiza aplicación de la nueva malla, se detalla los resultados trabajados en el anexo N°06, tabla N°27



Figura 12. Se visualiza resultados de voladura y se detalla los trabajados en el anexo N°06, tabla N°27

4.11. Resumen de costos unitarios

A continuación, se muestra un resumen del estudio de los precios unitarios que muestra el costo por ítem antes de introducir la malla y la diferencia en comparación con la malla propuesta. Es importante señalar que la malla propuesta se fundamenta en un avance promedio de 1.10 m, obtenido de los 15 disparos realizados durante esta investigación. Para un análisis minucioso de cada precio unitario.

Tabla 17. Resumen de análisis de costos unitarios y ahorro por ítem

Análisis de precios unitarios sin malla estándar y con malla estándar				
Mina: Lyan & Salcedo				
Partida: Galería Veta Soledad				
Unidad: 30 minutos				
Ubicación: 30 minutos - Velille - Chumbivilcas - Cusco				
Fecha: Enero 2023				
Limpieza: Z-20 coches mineros de 01 t				
Avance promedio histórico : 0.95 metros				
Avance promedio nueva malla: 1.1 metros				
Nº	Descripción	Prom. histórico Costo por disparo S/.	Nueva malla Costo por disparo S/.	Ahorro costo por disparo s/.
1	1. Mano de obra:			
5	Personal carga y descarga	S/ 150.00	S/ 150.00	S/
	Subtotal mano de obra / disparo	S/ 390.00	S/ 390.00	S/
	2. Aceros de perforación			
	Sub. total costo aceros de perf. / disparo	S/ 36.44	S/ 32.54	S/ 3.90
	3. Perforación y accesorios			
	Sub. total costo aceros de perf. / disparo	S/ 37.03	S/ 34.77	S/ 2.26
	4. EPPS			
	Subtotal EPPS / disparo	S/ 21.73	S/ 21.73	S/ -
	5. Materiales			
15	Cargador de ANFO	S/ 0.08	S/ 0.08	S/ -
	Subtotal costo materiales / disparo	S/ 15.12	S/ 15.12	S/ -
	6. Maquinaria			
	Sub. total costo maquinaria / disparo	S/ 125.84	S/ 125.84	S/ -
	7. Explosivos/accesorios			
	Sub. total costo expl. y acc. / disparo	S/ 218.43	S/ 189.09	S/ 29.34
	8. Ventilación			
	Subtotal costo explosivos y			
0	accesorios / disparo	S/ 4.33	S/ 4.33	S/ -
	9. Combustible			
1	Diesel (petróleo)	S/ 312.00	S/ 312.00	S/
	Sub. total costo explosivos y accesorios / disparo	S/ 312.00	S/ 312.00	S
	Sub total costo directo	S/ 1.160.92	S/ 1.125.41	S/ 35.51

Imprevistos (5%)	S/ 58.05	S/ 56.27	S/ 1.78
Gastos generales (10%)	S/ 116.09	S/ 112.54	S/ 3.55
Costo total / disparo	S/ 1,335.06	S/ 1,294.22	S/ 40.84
Costo S/ML	S/ 1,405.33	S/ 1,176.56	S/228.76

Nota: subtotal de costo directo

4.12. Ahorro y proyecciones de la Galería Veta Soledad

4.12.1. Ahorro en aceros de perforación

La siguiente tabla muestra los ahorros obtenidos y su proyección, en donde se logra el ahorro proyectado a un mes

Tabla 19. Ahorro y proyección de los costos en aceros de perforación

N°	Descripción	Prom. histórico	Nueva malla	Ahorro		
		Costo por disparo S/.	Costo por disparo S/.	Costo por disparo S/.	S/. Mes	S/. Año
2. Aceros de perforación				Proyección	Proyección	
1	Broca cónica 36MM	S/ 9.17	S/ 8.18	S/ 0.98	S/ 51.07	S/ 612.86
2	Barreno de 4 pies	S/ 27.27	S/ 24.35	S/ 2.92	S/ 151.95	S/ 1,823.38
	Subtotal costo aceros de perf. / disparo	S/ 36.44	S/ 32.54	S/ 3.90	S/ 203.02	S/ 2,436.23

4.12.2. Ahorro en perforación y accesorios

La siguiente tabla muestra los ahorros obtenidos con la aplicación de la nueva malla con sus proyecciones a un mes, año, en ahorro de perforaciones y accesorios.

Tabla 20. Ahorro y proyección del costo en perforación y accesorios

N°	Descripción	Prom. histórico	Nueva malla	Ahorro		
		Costo por disparo S/.	Costo por disparo S/.	Costo por disparo S/.	S/. Mes	S/. Año
3. Perforación y accesorios				Proyección	Proyección	
1	Perforadora neumática Jackle + repuestos	S/ 21.129	S/ 18.87	S/ 2.264	S/ 117.718	S/ 1,412.61
2	Maguera de agua 1/2" (por equipo) jebe	S/ 0.295	S/ 0.30	S/ -	S/ -	S/ -
3	Manguera de agua 1" (por equipo) HDP	S/ 0.608	S/ 0.608	S/ -	S/ -	S/ -
4	Aceite Torcola 100 (por lubricador)	S/ 15	S/ 15.00	S/ -	S/ -	S/ -
	Subtotal costo aceros de perf. / disparo	S/ 37.032	S/ 34.77	S/ 2.26	S/ 117.72	S/ 1,412.61

4.12.3. Ahorro en explosivos y accesorios de voladura

En la tabla siguiente, se puede mostrar el ahorro obtenido con las proyecciones a un mes, año, en donde se consideran su proyección de ahorro en efectividad de explosivos y accesorios de voladura,

Tabla 21. Ahorro y proyección en explosivos y accesorios de voladura

N°	Descripción	Prom. histórico	Nueva malla	Ahorro		
		Costo por disparo s/.	Costo por disparo s/.	Costo por disparo s/.	S/. Mes	S/. Año
7. Explosivos/accesorios				Proyección	Proyección	
1	Nitrato de amonio 50kg (anfo)	s/ 69.66	s/ 52.67	s/ 17.00	s/ 883.86	s/ 10,606.26
2	Emulnor 5000 7/8" x 7"	s/ 42.57	s/ 39.02	s/ 3.55	s/ 184.45	s/ 2,213.42
3	Fulminante x 100 und	s/ 48.00	s/ 44.00	s/ 4.00	s/ 208.00	s/ 2,496.00
4	Mecha blanca rollo de 500m	s/ 58.20	s/ 53.40	s/ 4.80	s/ 249.60	s/ 2,995.20
Sub. Total costo expl. y acc. / disparo		s/ 218.43	s/ 189.09	s/ 29.34	s/ 1,525.91	s/ 18,310.88
8. Ventilación						
1	Manga de ventilación 24"	s/ 2.59	s/ 2.59	s/ -		
2	Termomagnético trifásico	s/ 0.14	s/ 0.14	s/ -		
3	Cable trifásico	s/ 0.34	s/ 0.34	s/ -		
4	Caja de control eléctrico	s/ 0.11	s/ 0.11	s/ -		
5	Ventilador axial	s/ 1.14	s/ 1.14	s/ -		
0	Subtotal costo expl. y acc. / disparo	s/ 4.33	s/ 4.33	s/ -		
9. Combustible						
1	Diesel (petróleo)	s/ 312.00	s/ 312.00	s/ -		
Subtotal costo expl. Y acc. / disparo		s/ 312.00	s/ 312.00	s/ -		

4.12.4. Ahorro y proyección total

En la siguiente tabla se observa la proyección total en ahorro de disparo. En donde se observa su proyección a un mes, año, además, se indica que al utilizar la nueva malla de perforación, se generará un ahorro.

Tabla 22. Ahorro y proyecciones totales por disparo

N°	Descripción	Prom. histórico	Nueva malla	Ahorro		
		Costo por disparo s/.	Costo por disparo s/.	Costo por metro lineal s/.	S/. Mes	S/. Año
Ahorro total en voladura				Proyección	Proyección	
Subtotal costo directo		s/ 1,160.92	s/ 1,125.41	s/ 35.51	s/ 1,846.64	s/ 22,159.73
Imprevistos (5%)		s/ 58.05	s/ 56.27	s/ 1.78	s/ 92.33	s/ 1,107.99
Gastos generales (10%)		s/ 116.09	s/ 112.54	s/ 3.55	s/ 184.66	s/ 2,215.97
Costo total / disparo		s/ 1,335.06	s/ 1,294.22	s/ 40.84	s/ 2,123.64	s/ 25,483.68
Costo s/ml		s/ 1,405.33	s/ 1,176.56	s/ 228.76	s/ 11,895.62	s/ 142,747.40

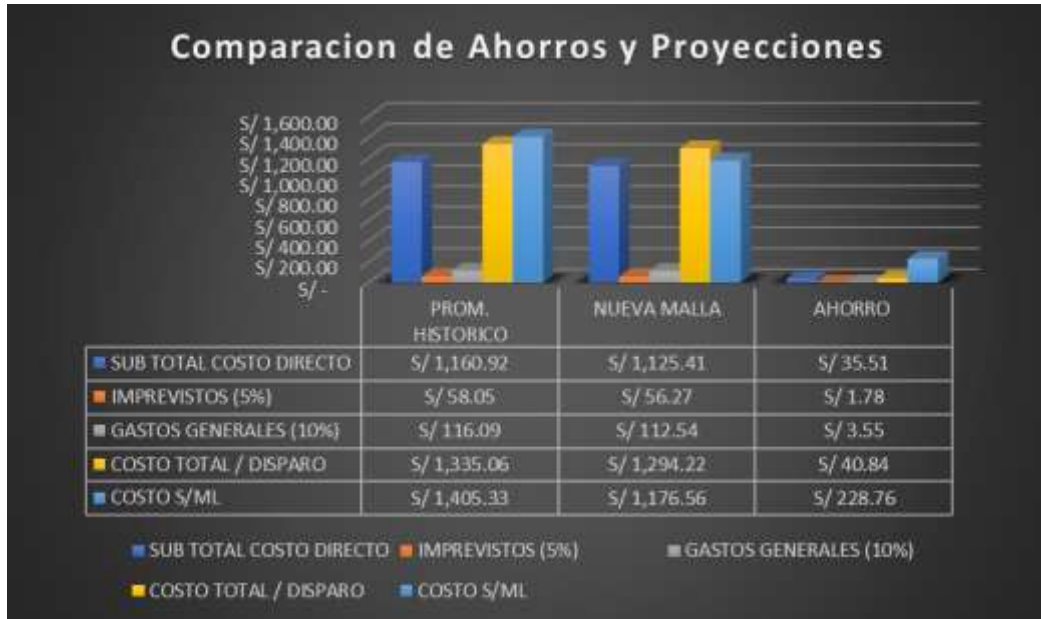


Figura 10. Comparación de ahorro y proyecciones totales antigua malla y nueva malla

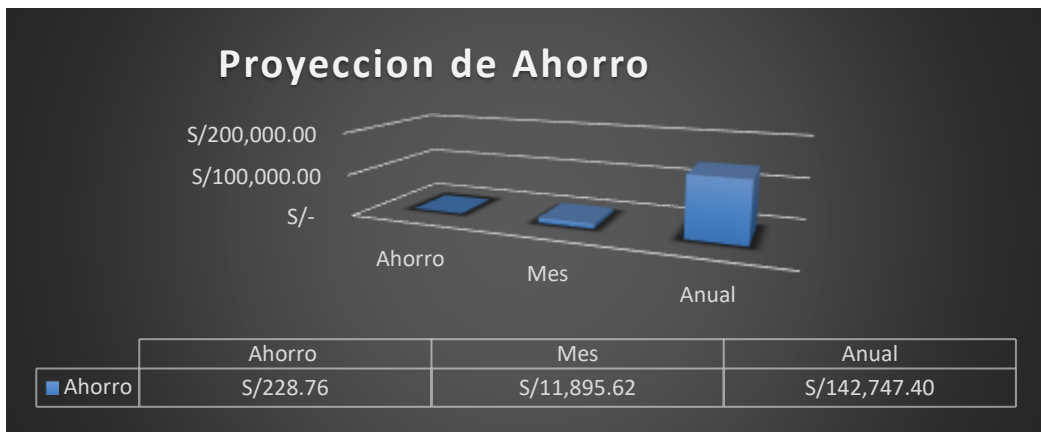


Figura 11. Proyección de ahorro

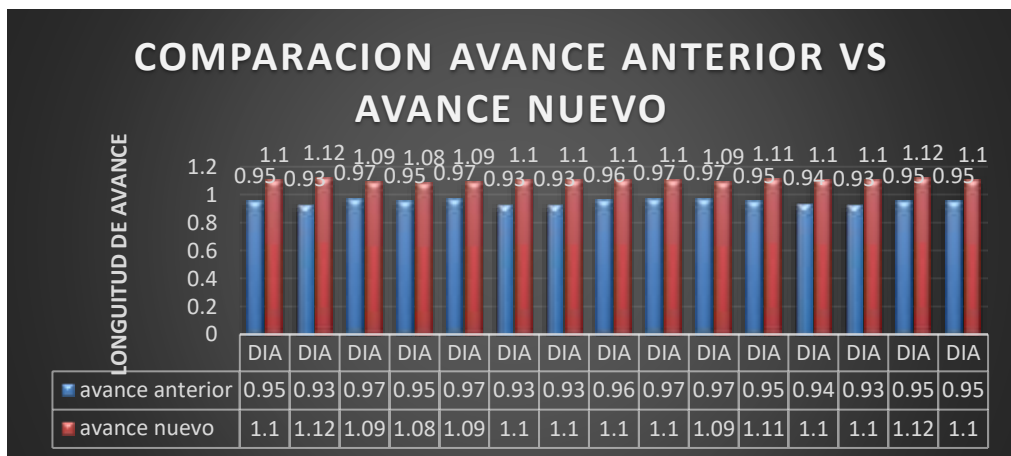


Figura 12. Comparación de avance malla anterior y malla nueva veta soledad

CONCLUSIONES

1. Mediante la aplicación del nuevo diseño de malla de perforación y voladura se logró disminuir el número de 3 taladros de perforación de 28 taladros a 25 taladros. Este cambio representa una mejora significativa en la reducción de costos operativos.
2. El promedio de perforación y voladura en los disparos realizados con la nueva malla es de 95.65 %, lo cual mejora en 13.04 % del promedio de la malla anterior que es de 82.61 % con el que se estaba trabajando antes de la implementación de la malla de perforación y voladura.
3. Con la aplicación de la nueva propuesta se mejoró el factor de avance por metro lineal disminuyendo de 26.49 kg/ml a 17.58 kg/ml, el factor de carga disminuyó de 9.07 kg/m³ a 5.77 kg/m³ y el factor potencia disminuyó de 3.30 kg/t a 2.10 kg/t.
4. En cuanto a la perforación del número de taladros, se logró optimizar la reducción del costo de S/. 36.44 a S/. 32.54 generando un ahorro de S/. 3.90 disminuyendo el desgaste en aceros de perforación/disparo, también se reduce el costo de S/. 37.03 a S/. 34.77 generando un ahorro de S/ 2.26 disminuyendo el desgaste de equipos y accesorios de perforación/disparo y también se reduce el costo de S/. 218.43 a S/. 189.09 generando un ahorro de S/. 29.34 disminuyendo la cantidad de explosivos y accesorios/disparo (por kilogramo).
5. Se redujo el costo directo de perforación y voladura por disparo de S/. 1,160.92 soles a S/. 1,125.41 soles por disparo. La reducción total fue de S/. 35.51 soles. Asimismo, se redujo el costo total por disparo S/. 1,335.06 soles a S/. 1,294.22 soles. La reducción total fue de S/. 40.84 soles y se proyecta un ahorro de S/. 25,483.68 Soles al año.
6. El costo por metro lineal de avance de perforación y voladura se redujo de S/. 1,405.33 a S/. 1,176.56 soles. Esto representa una disminución total de S/. 228.76 soles en comparación con la malla anterior. Además, se estima un ahorro anual de S/. 142,747.40 soles.
7. La reducción por metro lineal de avance de perforación y voladura del costo directo del promedio histórico es de S/. 1222.022 a S/. 1023.099 con el nuevo promedio. Esto genera una disminución total de S/. 198.923 s/ml.

RECOMENDACIONES

1. Para lograr y mantener este estudio y perfeccionar el diseño de la malla de perforación y voladura fue esencial contar con una supervisión constante y eficaz en la galería Veta Soledad que pueda controlar los criterios de perforación y voladura antes y durante, un factor importante en consideración es usar los tacos para una excelente tronadura.
2. Se recomienda realizar este trabajo cuando se tiene presencia de rocas de buena calidad, si cambiara a roca de intermedia y baja calidad, tendría un resultado positivo, ya que difiere significativamente de las rocas de muy buena calidad y se tendría que realizar una modificación en la malla de perforación y voladura.
3. Es fundamental disponer de maestros perforistas con experiencia en perforación y voladura en el rubro de minerías subterráneas que puedan mantener una simetría, paralelismo, para una mejor eficiencia en la tronadura, optimizando los costos relacionados; con el aire comprimido, la rotura del barreno, el desgaste de las brocas, el desgaste de los insumos de la perforadora jackleg y el ahorro en el uso de explosivos y accesorios. Además de contar con una supervisión adecuada para cualquier tarea.
4. Se recomienda priorizar la formalización del proyecto minero Lyan & Salcedo para obtener beneficios en la compra de materiales y accesorios de perforación y voladura; tal como es la adquisición de explosivos de empresas autorizadas que garantizan el trabajo adecuado y a través de ello reducir costos operativos dentro del proyecto minero.
5. Es importante que el personal que labora en el Proyecto Minero Lyan & Salcedo sea capacitado constantemente en temas relacionados a seguridad para evitar cualquier incidente, accidente, antes y durante la ejecución de los trabajos en el avance de la Galería Veta Soledad.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. PACAHUALA, Mayra. Reducción de costos operativos en desarrollos mediante actualización de estándares en perforacion y voladura, caso de la empresa especializada Mincotrall S.R.L. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo, Universidad Nacional del Centro del Peru, 2015, 65 pp.
2. DE LA CRUZ, Natalio. Geologia de los cuadrangulos de Velille, Yauri, Ayaviri y Azangaro. Lima, Intituto Geologico Minero y Metalurgico. Lima : s.n., 1995.
3. MALLMA, Israel. Optimizacion del uso de aceros de perforacion en la UEA San Cristobal de Minera Bateas SAC. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancayo, Universidad Nacional del Centro del Peru. Huancayo , 2013.
4. ALVARADO, Iber. Diseño de malla de perforación para optimización del proceso operativo de perforación y voladura en la zona Chino II de la Compañía Minera Caraveli SAC 2015. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huaraz: Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo, 2019.
5. BERNAOLA, Jose, CASTILLA, Jorge, HERRERA, Juan. *Perforación y voladura de rocas en minería*. Escuela Tecnica Superior de Ingenieros de Minas y Energia Universidad Politecnica de Madrid,. Madrid : [ed]Explotación de Recursos Minerales y Obras Subterráneas, Laboratorio de Tecnologías Mineras.

ANEXOS

Anexo 1

Definiciones

1.1. GEOLOGIA REGIONAL

El clima en toda el área este marcado por el dominio de dos estaciones principalmente: (2)

Una estación fría y seca desde abril hasta septiembre, con vientos fuertes entre junio y agosto, y temperaturas mínimas que suelen rondar los 5 a 7 °C durante el día, un poco más altas en el valle de Velille. Durante esta estación, la precipitación es mínima y se limita a nevadas esporádicas. En las noches, las heladas son comunes, con temperaturas por debajo de 0°C. Ubicada en las quebradas Chacopalla y Fauce al este del pueblo de Velille, esta secuencia sedimentaria está compuesta principalmente por capas de arenisca lutácea de tonalidades que van desde el gris blanquecino al gris verdoso claro. En la sección medida a lo largo de la quebrada Fauce, se observa: (2)

Arenisca cuarzosa en gruesos estratos, donde los granos de cuarzo están envueltos en una matriz feldespática, dando origen a farallones.

Limoarcillita intercalada con finas capas de arenisca con contenido regular de cuarzo, formando superficies suaves.

Limoarcillita pizarrosa masiva, con una fractura concoidea.

Rocas Plutónicas en Velille:

Las formaciones de rocas plutónicas cercanas al pueblo de Velille son parte del batolito de Abancay, compuestas por intrusiones de diorita, granodiorita y granito que parecen haberse formado cortando la secuencia cretácea. Estas rocas muestran signos de meteorización, presentando un aspecto catafilar evidente en los cortes de la carretera Velille - Espinar sobre la quebrada Fauce y aguas arriba del río Velille. Aunque forman cuerpos masivos, a 1 km al sur de la Hacienda Pilluni, muestran diaclasamiento con orientación N-S y un buzamiento de 30° al Oeste. La composición predominante varía de diorita a granodiorita. Un ejemplo tomado a 12 km al este de Velille, en un cuerpo masivo, tiene un color gris oscuro, grano fino a medio con fenocristales de feldespatos de 7 mm y maficos de 5 mm; al observarlo al microscopio, se aprecian fenocristales de oligoclasa, hornblenda, biotita y cuarzo diminuto en una matriz criptocrystalina compuesta principalmente por feldespato alcalino y cuarzo con apatito, circón, esfena y minerales opacos. Los cristales de esfena y apatito muestran formas euhedrales que evolucionan a microfenocristales, la hornblenda se encuentra relativamente fresca y la biotita ligeramente opacitada; esta roca se identifica como GRANODIORITA PROFÉRICA DE HORNABLENDA Y BIOTITA. (2)

Anexo 2

Fórmulas

2.1 Área de la Sección

$$A = \left(\frac{2}{3} * B * H\right) + \frac{H}{18B} \left(\frac{H^2}{3} + B^2\right) \longrightarrow \text{Formula N° 1}$$

Donde:

B=Ancho

H= Altura

2.2 Calculando el perímetro

$$P = \sqrt{A} * 4 \longrightarrow \text{Formula N° 2}$$

2.3 Numero de Taladros

$$N^{\circ} \text{ Tal} = (P/D_t) + (C * S) \longrightarrow \text{Formula N° 3}$$

Donde:

P= Circunferencia o perímetro de la sección del túnel, en m. que se obtiene con la fórmula:

D_t = Distancia entre taladros (m).

C = coeficiente o factor de roca

S = Sección de la galería (m²)

2.3 Diámetro del Taladro Equivalente

Cuando se utilizan arranques que son varios taladros vacíos en lugar de uno solo entonces la ecuación anterior sigue siendo válida si: (7)

$$D_H = D_2 * \sqrt{n} \longrightarrow \text{Formula N° 4}$$

Donde:

D_H = Diámetro del taladro de alivio (metros)

n = Numero de taladros vacíos en el arranque

D₂ = Diámetro del taladro de alivio equivalente (metros)

2.4 Cálculo de Burden

$$B = 1.5 * D \longrightarrow \text{Formula N° 5}$$

Datos:

D= Diámetro Equivalente

2.5 Volumen y Tonelaje

Para hallar el volumen y el tonelaje, utilizamos las siguientes formulas. (8)

$$V = A * H * I \longrightarrow \text{Formula N° 6}$$

Para el tonelaje:

$$\text{Ton} = V * p \longrightarrow \text{Formula N° 7}$$

Donde:

V = Volumen (m³)

A = Ancho (m)

H = Altura (m)

I = Largo (m)

P = Densidad de la roca (kg/m³)

2.6 Avance Efectivo Por Disparo

$$Efc. Perf. = \frac{PE}{PP} * 100$$



Formula N° 8

$$Efc. Vol. = \frac{AR}{PP} * 100$$

Donde:

Efc. Perf. = Eficiencia de Perforación

PE = Perforación Efectiva

PP = Perforación Promedio

Efc. Vol. = Eficiencia de Voladura

AR = Avance Real

2.7 Relación de la dureza de la roca con la distancia entre los taladros:

Tabla 23 Distancia entre taladros de acuerdo a la dureza de la roca.

Dureza de Roca	Distancia entre Taladros (m)
Roca dura	0.4
Roca intermedia	0.60 a 0.65
Roca suave o friable	0.70 a 0.75

Fuente: EXSA, 2019. Manual Práctico de Voladura.

Tabla 24 Coeficiente calculado entre taladros de acuerdo a la dureza de la roca.

Dureza de la roca	Coeficiente
Roca dura	2.3
Roca intermedia	1.5
Roca suave o friable	1

Fuente: EXSA, 2019. Manual Práctico de Voladura.

Anexo 3

Base teórica de explosivos

3.1. BASES TEORICAS

Las siguientes definiciones son valiosas en el campo de la tecnología de explosivos

Combustión: La cohesión de una sustancia en su forma condensada se relaciona con la atracción entre las partículas que componen el material, y esta atracción persiste gracias a las elevadas temperaturas de los gases resultantes. (5)

Detonación: Es un proceso que está vinculado con la onda de choque. Esta reacción química comienza debido a la elevada temperatura generada por la compresión provocada por la onda de choque. Por lo general, al principio, los productos de la reacción tienen una densidad mayor que la sustancia antes de la reacción. (5)

Explosivos. Son compuestos químicos que presentan una cierta inestabilidad en los enlaces atómicos de sus moléculas y, bajo ciertas condiciones o estímulos externos, pueden experimentar una rápida disociación y reorganización de átomos en formas más estables. Esta reacción, que implica una oxidación-reducción, es térmicamente inducida por los "puntos calientes", se conoce como detonación y produce gases a alta presión y temperatura, los cuales generan una onda de compresión que se propaga por el entorno. (5)

A. Explosivos iniciadores (o primarios).

Fulminante común N° 8. Está compuesto por un cilindro de aluminio con un extremo sellado, que contiene un explosivo primario extremadamente sensible a la chispa de la Mecha de Seguridad y otro secundario de gran potencia explosiva en su interior. (9)

B. Explosivos secundarios.

Emulnor 5000 7/8" x 7". Se trata de una emulsión explosiva envasada en una cobertura plástica que destaca por sus características de seguridad, potencia, resistencia al agua y la calidad de los gases generados durante la detonación. Su aplicación está dirigida a la voladura de rocas extremadamente duras y es adecuada para diversos trabajos en minería, ingeniería civil, canteras, perforaciones en seco, húmedo e inundado. Su forma de uso es similar a las dinamitas tradicionales y puede emplearse como una columna explosiva o para iniciar explosiones con nitro-carbonitratos. Gracias a la alta calidad de los gases residuales y la ausencia de nitroglicerina en su composición, permite que el personal regrese al área de trabajo en menos tiempo, mejorando los ciclos de producción sin comprometer la seguridad. (9)

La emulsión facilita una reacción amplia y completa al proporcionar un área de contacto entre el oxidante y el combustible. Asimismo, la capa de aceite actúa como una barrera

protectora del nitrato contra la humedad. Estas propiedades dan lugar a un explosivo con forma de pasta, que puede ser bombeado o envasado, y que presenta las siguientes características:

- Alta velocidad de detonación (4.500-5.500 m/s)
- Excelente resistencia al agua.
- Mucha menor sensibilidad al choque o a la fricción.

C. Explosivos terciarios.

Nitrato de amonio grado ANFO. Se destaca por ser un material de baja densidad y alta capacidad de absorción de petróleo, lo que facilita una iniciación eficaz en taladros de pequeño diámetro y maximiza su energía liberada. El Nitrato de Amonio grado ANFO es una sal inorgánica altamente oxidante, producida con ingredientes de alta pureza, como nitrógeno del aire al 99.9% y hidrógeno del agua al 99.6%. Con una densidad aparente de 0.72 a 0.74 Kg/L y una porosidad elevada, es ideal para la fabricación de ANFO, un explosivo utilizado en voladuras subterráneas y a cielo abierto, con una producción mínima de humos y gases nocivos, lo que garantiza una fragmentación eficaz de materiales de dureza media. El nitrato de amonio se presenta comercialmente en forma de gránulos blancos, envasados en sacos Big Bag de polipropileno de 1.25 toneladas, con una bolsa interior de polietileno. (9)

NITRADO DE AMONIO UTILIZADO DENTRO DEL PROYECTO.

Nitrato de amonio como explosivo ANFO. Nitrato de Amonio (NH_4NO_3) o sal amónica del ácido nítrico, Debido a que es un agente altamente oxidante, el nitrato de amonio genera una mezcla explosiva cuando está combinado con hidrocarburos, generalmente combustible Diesel (aceite), o a veces keroseno. El nitrato de amonio mezclado con fuel-oil (ANFO), es un producto de la familia de los explosivos pulverulentos, que se forma a partir de la mezcla de nitrato de amonio con petróleo Diesel. Tienen forma granular (prill o perla), porosos y rellenos de aire lo cual le proporciona una mayor velocidad para la liberación de la energía.

Nitrato de Amonio grado ANFO. define al ANFO como un "producto formado por la mezcla de Nitrato de Amonio grado ANFO y combustible. La composición nominal en peso definida para el ANFO es: 94% de nitrato de amonio y 6% de petróleo diésel.

Ficha Técnica Fertilizantes Nitrogenados	
Nitrato de Amonio Estabilizado (NAE)	
Composición:	NH ₄ NO ₃ estabilizado con fósforo.
Aspecto:	Gránulos blancos opacos.
Solubilidad (aprox. a 20°C):	190 kg en 100 l de agua pura.
Nitrógeno total (N):	33 % 16.5 % nitrógeno nítrico (NO ₃) 16.5 % nitrógeno amoniacal (NH ₄ ⁺)
Fósforo disponible (P₂O₅):	3 %
Presentación:	Bolsa de polietileno de 50 kg.
Uso:	Fertilizante para aplicación directa al suelo. Se puede emplear en fertirriego en cuyo caso hay que tomar en cuenta que el fósforo estabilizante y/o la cubierta de cada gránulo pueden ser factores limitantes.

CARACTERÍSTICAS			
Nitrato de Amonio	INCASA	NTP 311.278	UNIDAD
Nitrógeno Total	34.51 - 34.86	34.5	%
Densidad Aparente	0.72 - 0.74	0.65 a 0.85	g/mL
Humedad	0.10 - 0.20	Máximo 0.3	%
Absorción Fuel Oil	10 - 13	Mínimo 6	%
Antiaglomerante	0.10 - 0.20		%
Granulometría (+1.4 mm)	90 - 95	99	%
Granulometría (+1 mm)	5 - 8	99	%
Granulometría (-0.5 mm)	≤1	Máximo 1	%
pH (Solución acuosa al 10%)	4.5 - 6.0		
Aspecto Físico	Gránulos de color blanco	Generalmente de Color Blanco	%

Figura 13. Comparación de nitrato de amonio estabilizado y nitrato de amonio grado ANFO Tomada de Molinos & CIA fertilizantes Perú y manual de perforacion y voladura ENAEX, 2019.

Anexo 4

Generalidades de perforación

Su función es crear cavidades cilíndricas en la roca para colocar el explosivo y los dispositivos de iniciación, conocidos como taladros, barrenos, hoyos o blast holes. Este proceso se basa en principios mecánicos de percusión y rotación, donde los impactos y la fricción generan la fragmentación y trituración de la roca en un área igual al diámetro de la broca y hasta una profundidad determinada por la longitud del taladro. La eficacia en la perforación radica en lograr la máxima penetración al menor costo posible. (5)

La perforación se efectúa por los siguientes medios:

- La técnica de percusión implica golpear y cortar, similar a un cincel y un martillo, como se ve en martillos neumáticos de tamaño reducido y rompe pavimentos.(5)
- La combinación de percusión y rotación involucra golpear, cortar y girar, como se observa en perforadoras neumáticas convencionales, trackdrills y jumbos hidráulicos. (5)
- La acción de rotación implica cortar mediante fricción y rayado con materiales extremadamente duros (desgastando la roca sin golpear), como se ve en las perforadoras diamantinas utilizadas en exploración.(5)
- La técnica de fusión (jet piercing) consiste en utilizar un dardo de llama para fundir rocas y minerales sumamente duros, como la taconita (hierro), un método empleado en ciertos depósitos de hierro en Norteamérica. (5)

Perforación con martillo en cabeza: Estas perforadoras cuentan con un martillo diseñado para funcionar con aire a una presión máxima de 7 - 8 bar. Para asegurar una energía de impacto adecuada, el área de trabajo del pistón debe ser amplia, ya que la energía de impacto depende de la presión efectiva, el área y la carrera del pistón. (5)

“El martillo en la parte superior incluye el mecanismo de rotación, el cual puede funcionar de forma independiente o en conjunto con el mecanismo de percusión, dependiendo de los tamaños y diseños. El impulso es generado por el motor de avance (neumático), que activa una cadena conectada al martillo, deslizándose sobre una estructura llamada "corredera" o "deslizadera". Por lo general, este conjunto se coloca sobre un chasis que sostiene los demás elementos encargados de los movimientos de posicionamiento y desplazamiento. La fuente principal de energía para la percusión es el aire comprimido suministrado por un compresor integrado en el equipo de perforación.”

ANEXO 5: CLASIFICACION GEOMECANICA RMR SEGÚN BIENIAWSKI

5.1. Resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta.

La resistencia es un aspecto fundamental que define el comportamiento mecánico de las rocas y su capacidad de deformación cuando se someten a esfuerzos de compresión. Estos valores se pueden determinar mediante pruebas empíricas en el campo o mediante ensayos de probetas de roca en laboratorio. La resistencia se expresa en Mpa, que es la cantidad de presión que la roca puede soportar antes de romperse. Para realizar estos ensayos, es necesario enviar la muestra de roca a un laboratorio especializado en mecánica de rocas.

En pruebas de campo para obtener valores aproximados, la estimación se realiza mediante golpes de la picota de geólogo.

A continuación, se presentan los resultados de campo para calcular la resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta.

Tabla 25: Resistencia a la Compresión Uniaxial

Clase (a)	Calificación de la roca según su resistencia	Resistencia uniaxial (MPa)	Índice de carga puntual (MPa)	Estimación en terreno de la resistencia	Ejemplos
R6	Extremadamente Resistente	> 250	> 10	Golpes de martillo geológico sólo causan descostramientos superficiales en la roca.	Basalto fresco, chert, diabasa, gneiss, granito, cuarcita.
R5	Muy Resistente	100 – 250	4 – 10	Un trozo de roca requiere varios golpes de martillo geológico para fracturarse.	Anfibolita, arenisca, basalto, gabro, gneiss, granodiorita, caliza, mármol, rielita, toba.
R4	Resistente	50 – 100	2 – 4	Un trozo de roca requiere más de un golpe con el martillo geológico para fracturarse.	Caliza, mármol, filitas, arenisca, esquistos, pizarras.
R3	Moderadamente Resistente	25 – 50	1 – 2	Un trozo de roca puede fracturarse con un único golpe del martillo geológico, pero no es posible descostrar la roca con un cortaplumas.	Arcillolita, carbón, concreto, esquistos, pizarras, limolitas.
R2	Débil	5 – 25	(b)	Un golpe con la punta del martillo geológico deja una indentación superficial. La roca puede ser descostrada con una cortaplumas pero con dificultad.	Creta, sal mineral, potasio.
R1	Muy Débil	1 – 5		La roca se disgrega al ser golpeada con la punta del martillo geológico. La roca puede ser descostrada con un cortaplumas.	Roca muy alterada o muy meteorizada.
R0	Extremadamente Débil	0,25 – 1		La roca puede ser indentada con la uña del pulgar.	Salbanda arcillosa dura.

Fuente: E. HOEK, E.T. BROWN. ESTIMACION DE LA RESISTENCIA DE MACIZOS ROCOSOS EN LA PRACTICA.

5.2. Índice de calidad de la Roca (RQD):

El RQD (Deere, 1964), que representa el índice de calidad de la roca, es uno de los métodos más utilizados para evaluar la competencia de la formación rocosa.(10)

El índice RQD califica el macizo rocoso en una escala que va desde el 100% (indicando la mayor competencia) hasta el 0% (indicando la menor competencia, similar a un suelo).

El RQD se describe como un porcentaje que refleja la totalidad de las longitudes de fragmentos mayores a 10 cm en comparación con la longitud completa de la perforación.

Por lo general, se determina el RQD para cada sección específica de la perforación. Se suelen emplear muestras de perforación de tipo BQ y NQ, con diámetros de 47.6 mm y 50.5 mm respectivamente.(10)

Anexo 6

Análisis detallado del costo unitario con la nueva malla y la malla anterior

Tabla 26. Análisis de costos unitarios de materiales, accesorios de perforación y voladura (malla anterior)

MATERIALES Y ACCESORIOS DE PERFORACION Y VOLADURA													
N°	DESCRIPCION	UND	CANT.	P. U. S/.	3.85 US\$	COSTO TOTAL S/.	COSTO TOTAL US\$	VIDA UTIL	COSTO POR ACTIVIDA	CANTIDA D REQUERI	COSTO POR DISPARO	ESPECIFICACIONES	NOTA
1. MANO DE OBRA:													
2	PERFORISTA	UND	1	S/ 100.00					100	1	S/ 100.00		
3	AYUDANTE PERFORISTA	UND	1	S/ 80.00					80	1	S/ 80.00		
4	OPERADOR DE MOTOREMOLQUE	UND	1	S/ 60.00					60	1	S/ 60.00		
5	PERSONAL CARGA Y DESCARGA	UND	3	S/ 50.00					50	3	S/ 150.00		
SUB. TOTAL MANO DE OBRA / DISPARO											S/ 390.00		
2. ACEROS DE PERFORACION													
1	BROCA CONICA 36MM	UND	1	S/ 55.00	14.29	S/ 55.00	14.29	672	0.082	112	S/ 9.17	ples perforados	
2	BARRENO DE 4 PIES	UND	1	S/ 300.00	77.92	S/ 300.00	77.92	1232	0.244	112	S/ 27.27	ples perforados	
SUB. TOTAL COSTO ACEROS DE PERF. / DISPARO											S/ 36.44		
3. PERFORACION Y ACCESORIOS													
1	PERFORADORA NEUMATICA JACKLE + R	UND	1	S/ 18,865.00	4900	S/ 18,865.00	4900	100000	0.189	112	S/ 21.13	100ml ples perforados	
2	MAGUERA DE AGUA 1/2" (POR EQUIPO) J	M	1	S/ 8.50	2.21	S/ 8.50	2.21	720	0.012	25	S/ 0.30	480 guardias, 8 meses, 25 metros fin	
3	MANGUERA DE AGUA 1" (POR EQUIPO) H	M	1	S/ 17.50	4.55	S/ 17.50	4.55	720	0.024	25	S/ 0.61	8 meses	
4	ACEITE TORCOLA 100 (POR LUBRICADOR) GLN	GLN	1	S/ 60.00	15.58	S/ 60.00	15.58	1	60	0.25	S/ 15.00	1/4 galon guardia	
SUB. TOTAL COSTO ACEROS DE PERF. / DISPARO											S/ 37.03		
4. EPPS													
1	CASCO TIPO SOMBRERO. TAFILETE	UND	1	S/ 55.00	14.29	S/ 55.00	14.29	900	0.061	6	S/ 0.37	300 dias, 900 Guardias	
2	RESPIRADOR	UND	1	S/ 47.00	12.21	S/ 47.00	12.21	540	0.087	6	S/ 0.52	6 meses, 540 guardias	
3	BARBIQUEJO	UND	1	S/ 3.00	0.78	S/ 3.00	0.78	90	0.033	6	S/ 0.20	30 dias, 90 guardias	
4	GUANTES DE MULTIFLEX	PAR	1	S/ 13.00	3.38	S/ 13.00	3.38	30	0.433	6	S/ 2.60	10 dias, 30 guardias	
5	GUANTES DE NEOPRENE / HYCRON	PAR	1	S/ 17.00	4.42	S/ 17.00	4.42	45	0.378	6	S/ 2.27	15 dias, 45 guardias	
6	MAMELUCO CON CINTA REFLECTIVA	UND	1	S/ 45.00	11.69	S/ 45.00	11.69	540	0.083	6	S/ 0.50	6 meses, 540 guardias	
7	FILTRO - CARTUCHOS DE POLVO	PAR	1	S/ 25.00	6.49	S/ 25.00	6.49	30	0.833	6	S/ 5.00	10 dias, 30 guardias	
8	FILTRO - CARTUCHOS ANTIGAS	PAR	1	S/ 35.00	9.09	S/ 35.00	9.09	30	1.167	6	S/ 7.00	10 dias, 30 guardias	
9	BOTAS DE JEBE PUNTA ACERO	PAR	1	S/ 95.00	24.68	S/ 95.00	24.68	360	0.264	6	S/ 1.58	4 meses, 360 guardias	
10	TAPON DE OIDOS	UND	1	S/ 3.00	0.78	S/ 3.00	0.78	30	0.1	6	S/ 0.60	10 dias, 30 guardias	
11	PANTALON DE JEBE	UND	1	S/ 60.00	15.58	S/ 60.00	15.58	360	0.167	2	S/ 0.33	4 meses, 360 guardias	
12	CASACA DE JEBE	UND	1	S/ 60.00	15.58	S/ 60.00	15.58	360	0.167	2	S/ 0.33	4 meses, 360 guardias	
13	CORREA PORTALAMPARAS	UND	1	S/ 17.00	4.42	S/ 17.00	4.42	900	0.019	6	S/ 0.11	300 dias, 900 Guardias	
14	LAMPARA	UND	1	S/ 85.00	22.08	S/ 85.00	22.08	1620	0.052	6	S/ 0.31	18 meses, 1620 Guardias	
SUB. TOTAL EPPS / DISPARO											S/ 21.73		

5. MATERIALES													
1	COMBO DE 24 LIBRAS	UND	1	S/ 150.00	38.96	S/ 150.00	38.96	450	0.333	1	S/ 0.33	5 meses, 450 guardias	
2	COMBO DE 08 LIBRAS	UND	1	S/ 65.00	16.88	S/ 65.00	16.88	450	0.144	1	S/ 0.14	5 meses, 450 guardias	
3	BARRETTILLAS DE 4' PARA DESATE DE RC	UND	1	S/ 80.00	20.78	S/ 80.00	20.78	90	0.889	1	S/ 0.89	30 días juego de barretillas, 90 Guardias	
4	LLAVE STILSON DE "14"	UND	1	S/ 37.00	9.61	S/ 37.00	9.61	1080	0.034	1	S/ 0.03	1 año, 1080 Guardias	
5	LLAVE STILSON DE "18"	UND	1	S/ 55.00	14.29	S/ 55.00	14.29	1080	0.051	1	S/ 0.05	1 año, 1080 Guardias	
6	PUNZON COBRE PARA CEBO	UND	1		0	S/ -	0	900	0	1	S/ -	300 días, 900 Guardias	
7	ATACADORES 7/8" X 4'	UND	1	S/ 5.00	1.3	S/ 5.00	1.3	15	0.333	1	S/ 0.33	5 días, 15 Guardias	
8	ALAMBRE NRO 16	KG	1	S/ 6.00	1.56	S/ 6.00	1.56	1	6	1	S/ 6.00	1 Guardia	
9	SPRAY	UND	1	S/ 8.00	2.08	S/ 8.00	2.08	3	2.667	1	S/ 2.67	1 días, 3 Guardias	
10	PICO	UND	1	S/ 45.00	11.69	S/ 45.00	11.69	135	0.333	1	S/ 0.33	45 días, 135 Guardias	
11	PALA MINERA	UND	1	S/ 30.00	7.79	S/ 30.00	7.79	90	0.333	4	S/ 1.33	30 días, 90 Guardias	
12	CARRETTILLA MINERA	UND	1	S/ 220.00	57.14	S/ 220.00	57.14	135	1.63	1	S/ 1.63	45 días, 135 Guardias	
13	BARRETTILLA DE 4 PIES	UND	1	S/ 100.00	25.97	S/ 100.00	25.97	90	1.111	1	S/ 1.11	30 días	
14	FLEXOMETRO	UND	1	S/ 8.00	2.08	S/ 8.00	2.08	45	0.178	1	S/ 0.18	15 días, 45 guardias	
15	CARGADOR DE ANFO	UND	1	S/ 65.00	16.88	S/ 65.00	16.88	1620	0.04	2	S/ 0.08	18 meses	
SUB. TOTAL COSTO MATERIALES / DISPARO											S/ 15.12		
6. MAQUINARIA													
1	MOTOREMOLQUE MOTOR DINAMOND	UND	1	S/ 18,500.00	4805.19	S/ 18,500.00	4805.19	3285	5.632	1	S/ 5.63	7 horas día gasolinero, 3.5 años medio damaor 1.8 meses	
2	COCHES MINEROS Z-20	UND	1	S/ 3,500.00	909.09	S/ 3,500.00	909.09	4380	0.799	3	S/ 2.40	4 -5 años	
3	GRUPO ELECTROGENO	UND	1	S/ 88,550.00	23000	S/ 88,550.00	23000	1666.7	53.13	1	S/ 53.13	dolares, 10000 horas, mínimo 18 horas al	
4	COMPRESOR DE 3 SALIDAS	UND	1	S/ 161,700.00	42000	S/ 161,700.00	42000	2500	64.68	1	S/ 64.68	10000 horas de trabajo sin mantenimiento 375cfm	
SUB. TOTAL. COSTO MAQUINARIA / DISPARO											S/ 125.84	7000 horas de trabajo sin mantenimiento	
7. EXPLOSIVOS/ACCESORIOS													
1	NITRATO DE AMONIO 50KG (ANFO)	KG	1	S/ 3.00	0.78	S/ 3.00	0.78	1	3	23.222	S/ 69.66	1.72 gr/cm3 densidad	
2	EMULNOR 5000 7/8" x 7"	KG	1	S/ 21.95	5.7	S/ 21.95	5.7	1	21.945	1.94	S/ 42.57	1.16 gr/cm3 den., V=69.672cm3, 5.7US\$H	
3	FULMINANTE X 100 UND	UND	1	S/ 2.00	0.52	S/ 2.00	0.52	1	2	24	S/ 48.00		
4	MECHA BLANCA ROLLO DE 500M	M	1	S/ 2.00	0.52	S/ 2.00	0.52	1	2	29.1	S/ 58.20		
SUB. TOTAL. COSTO EXPL. Y ACC. / DISPARO											S/ 218.43		
8. VENTILACION													
1	MANGA DE VENTILACION 24"	M	1	S/ 14.00	3.64	S/ 14.00	3.64	270	0.052	50	S/ 2.59	3 meses, N 60 670 doles y N 50 600 soles	
2	TERMOMAGNETICO TRIFASICO	UND	1	S/ 75.00	19.48	S/ 75.00	19.48	1080	0.069	2	S/ 0.14	1 año	63AMPER
3	CABLE TRIFASICO	UND	1	S/ 15.00	3.9	S/ 15.00	3.9	4380	0.003	100	S/ 0.34	4 a 5 años, 1500 soles	INEDECO 12
4	CAJA DE CONTROL ELECTRICO	UND	1	S/ 500.00	129.87	S/ 500.00	129.87	4380	0.114	1	S/ 0.11	4 a 5 años	
5	VENTILADOR AXIAL	UND	1	S/ 5,000.00	1298.7	S/ 5,000.00	1298.7	4380	1.142	1	S/ 1.14	4 a 5 años, 2hp 1600 soles	
SUB. TOTAL COSTO EXPL. Y ACC. / DISPARO											S/ 4.33		

9. COMBUSTIBLE													
1	DIESEL (PETROLEO)	GLN	1	S/ 20.80	5.4	S/ 20.80	5.4	1	20.8	15	S/ 312.00	medio (0.92 a 0.87g/cm3) Densidad	
SUB. TOTAL COSTO EXPL. Y ACC. / DISPARO											S/ 312.00		
SUB TOTAL COSTO DIRECTO											S/ 1,160.92		
IMPREVISTOS (5%)											S/ 58.05		
GASTOS GENERALES (10%)											S/ 116.09		
COSTO TOTAL / DISPARO											S/ 1,335.06		
COSTO S/ML											S/ 1,405.33	SOLES POR METRO DE AVANCE	

Tabla 27. Análisis de costos unitarios de materiales, accesorios de perforación y voladura (malla nueva)

MATERIALES Y ACCESORIOS DE PERFORACION Y VOLADURA													
Nº	DESCRIPCION	UND	CANT.	P.U.S/	1.85 US\$	COSTO TOTAL S/	COSTO TOTAL US\$	VIDA UTIL	COSTO POR ACTIVIDAD S/	CANTIDAD REQUERIDA	COSTO POR DISPARO	ESPECIFICACIONES	NOTA
1. MAND DE OBRA:													
2	PERFORISTA	UND	1	S/ 100.00					100	1	S/ 100.00		
3	AYUDANTE PERFORISTA	UND	1	S/ 80.00					80	1	S/ 80.00		
4	OPERADOR DE MOTOREMOLQUE	UND	1	S/ 60.00					60	1	S/ 60.00		
5	PERSONAL CARGA Y DESCARGA	UND	3	S/ 50.00					50	3	S/ 150.00		
SUB. TOTAL MANO DE OBRA / DISPARO											S/ 390.00		
2. ACEROS DE PERFORACION													
1	BROCA CONICA 36MM	UND	1	S/ 55.00	14.29	S/ 55.00	14.29	672	0.082	100	S/ 8.18	pies perforados	
2	BARRENO DE 4 PIES	UND	1	S/ 300.00	77.92	S/ 300.00	77.92	1232	0.244	100	S/ 24.35	pies perforados	
SUB. TOTAL COSTO ACEROS DE PERF. / DISPARO											S/ 32.54		
3.PERFORACION Y ACCESORIOS													
1	PERFORADORA NEUMATICA JACKLE + REPUESTOS	UND	1	S/ 18,865.00	4900	S/ 18,865.00	4900	100000	0.189	100	S/ 18.87	100mil pies perforados	
2	MAGUERA DE AGUA 1/2" (POR EQUIPO) JEBE	M	1	S/ 8.50	2.21	S/ 8.50	2.21	720	0.012	25	S/ 0.30	480 guardias, 8 meses, 25 metros finales	
3	MANGUERA DE AGUA 1" (POR EQUIPO) HDP	M	1	S/ 17.50	4.55	S/ 17.50	4.55	720	0.024	25	S/ 0.61	8 meses	
4	ACEITE TORCOLA 100 (POR LUBRICADOR)	GLN	1	S/ 60.00	15.58	S/ 60.00	15.58	1	60	0.25	S/ 15.00	1/4 galon guardia	
SUB. TOTAL COSTO ACEROS DE PERF. / DISPARO											S/ 34.77		
4. EPPS													
1	CASCO TIPO SOMBRERO, TAFILETE	UND	1	S/ 55.00	14.29	S/ 55.00	14.29	900	0.061	6	S/ 0.37	300 días, 900 Guardias	
2	RESPIRADOR	UND	1	S/ 47.00	12.21	S/ 47.00	12.21	540	0.087	6	S/ 0.52	6 meses, 540 guardias	
3	BARBIQUEJO	UND	1	S/ 3.00	0.78	S/ 3.00	0.78	90	0.033	6	S/ 0.20	30 días, 90 guardias	

6. MAQUINARIA												
1	MOTOREMOLQUE MOTOR DINAMOND	UND	1	S/ 18,500.00	4805.19	S/ 18,500.00	4805.19	3285	5.632	1	S/ 5.63	7 horas día gasoliner, 3.5 años medio damper 1.8 meses
2	COCHES MINEROS Z-20	UND	1	S/ 3,500.00	909.09	S/ 3,500.00	909.09	4380	0.799	3	S/ 2.40	4 -5 años
3	GRUPO ELECTROGENO	UND	1	S/ 88,550.00	23000	S/ 88,550.00	23000	1666.667	53.13	1	S/ 53.13	dolares, 10000 horas, minimo 18 horas al día
4	COMPRESOR DE 3 SALIDAS	UND	1	S/ 161,700.00	42000	S/ 161,700.00	42000	2500	64.68	1	S/ 64.68	10000 horas de trabajo sin mantenimiento
	SUB. TOTAL, COSTO MAQUINARIA / DISPARO										S/ 125.84	7000 horas de trabajo sin mantenimiento
7. EXPLOSIVOS/ACCESORIOS												
1	NITRATO DE AMONIO 50KG (ANFO)	KG	1	S/ 3.00	0.78	S/ 3.00	0.78	1	3	17.56	S/ 52.67	0.98 gr/cm3 densidad
2	EMULNOR 5000 7/8" x 7"	KG	1	S/ 21.95	5.7	S/ 21.95	5.7	1	21.945	1.78	S/ 39.02	1.16 gr/cm3 den., V=69.672cm3, 5.7US\$Kg
3	FULMINANTE X 100 UND	UND	1	S/ 2.00	0.52	S/ 2.00	0.52	1	2	22	S/ 44.00	
4	MECHA BLANCA ROLLO DE 500M	M	1	S/ 2.00	0.52	S/ 2.00	0.52	1	2	26.7	S/ 53.40	
	SUB. TOTAL, COSTO EXPL. Y ACC. / DISPARO										S/ 189.09	
8. VENTILACION												
1	MANGA DE VENTILACION 24"	M	1	S/ 14.00	3.64	S/ 14.00	3.64	270	0.052	50	S/ 2.59	3 meses, N 60 670 doles y N 50 600 soles
2	TERMOMAGNETICO TRIFASICO	UND	1	S/ 75.00	19.48	S/ 75.00	19.48	1080	0.069	2	S/ 0.14	1 año
3	CABLE TRIFASICO	UND	1	S/ 15.00	3.9	S/ 15.00	3.9	4380	0.003	100	S/ 0.34	4 a 5 años, 1500 soles
4	CAJA DE CONTROL ELECTRICO	UND	1	S/ 500.00	129.87	S/ 500.00	129.87	4380	0.114	1	S/ 0.11	4 a 5 años
5	VENTILADOR AXIAL	UND	1	S/ 5,000.00	1298.7	S/ 5,000.00	1298.7	4380	1.142	1	S/ 1.14	4 a 5 años, 2hp 1600 soles
	SUB. TOTAL, COSTO EXPL. Y ACC. / DISPARO										S/ 4.33	
9. COMBUSTIBLE												
1	DIESEL (PETROLEO)	GLN	1	S/ 20.80	5.4	S/ 20.80	5.4	1	20.8	15	S/ 312.00	medio (0.92 a 0.87gr/cm3) Densidad
	SUB. TOTAL, COSTO EXPL. Y ACC. / DISPARO										S/ 312.00	
	SUB TOTAL COSTO DIRECTO										S/ 1,135.41	
	IMPREVISTOS (5%)										S/ 56.27	
	GASTOS GENERALES (10%)										S/ 112.54	
	COSTO TOTAL / DISPARO										S/ 1,291.22	
	COSTO S/ML										S/ 1,176.58	SOLES POR METRO DE AVANCE

4	GUANTES DE MULTIFLEX	PAR	1	S/ 13.00	3.38	S/ 13.00	3.38	30	0.433	6	S/ 2.60	10 días, 30 guardias
5	GUANTES DE NEOPRENE / HYCRON	PAR	1	S/ 17.00	4.42	S/ 17.00	4.42	45	0.378	6	S/ 2.27	15 días, 45 guardias
6	MAMELUCO CON CINTA REFLECTIVA	UND	1	S/ 45.00	11.69	S/ 45.00	11.69	540	0.083	6	S/ 0.50	6 meses, 540 guardias
7	FILTRO - CARTUCHOS DE POLVO	PAR	1	S/ 25.00	6.49	S/ 25.00	6.49	30	0.833	6	S/ 5.00	10 días, 30 guardias
8	FILTRO - CARTUCHOS ANTIGAS	PAR	1	S/ 35.00	9.09	S/ 35.00	9.09	30	1.167	6	S/ 7.00	10 días, 30 guardias
9	BOTAS DE JEBE PUNTA ACERO	PAR	1	S/ 95.00	24.68	S/ 95.00	24.68	360	0.264	6	S/ 1.58	4 meses, 360 guardias
10	TAPON DE OIDOS	UND	1	S/ 3.00	0.78	S/ 3.00	0.78	30	0.1	6	S/ 0.60	10 días, 30 guardias
11	PANTALON DE JEBE	UND	1	S/ 60.00	15.58	S/ 60.00	15.58	360	0.167	2	S/ 0.33	4 meses, 360 guardias
12	CASACA DE JEBE	UND	1	S/ 60.00	15.58	S/ 60.00	15.58	360	0.167	2	S/ 0.33	4 meses, 360 guardias
13	CORREA PORTALAMPARAS	UND	1	S/ 17.00	4.42	S/ 17.00	4.42	900	0.019	6	S/ 0.11	300 días, 900 Guardias
14	LAMPARA	UND	1	S/ 85.00	22.08	S/ 85.00	22.08	1620	0.052	6	S/ 0.31	18 meses, 1620 Guardias
	SUB. TOTAL EPPS / DISPARO										S/ 21.73	
5. MATERIALES												
1	COMBO DE 24 LIBRAS	UND	1	S/ 150.00	38.96	S/ 150.00	38.96	450	0.333	1	S/ 0.33	5 meses, 450 guardias
2	COMBO DE 08 LIBRAS	UND	1	S/ 65.00	16.88	S/ 65.00	16.88	450	0.144	1	S/ 0.14	5 meses, 450 guardias
3	BARRETILLAS DE 4' PARA DESATE DE ROCAS	UND	1	S/ 80.00	20.78	S/ 80.00	20.78	90	0.889	1	S/ 0.89	30 días juego de barretillas, 90 Guardias
4	LLAVE STILSON DE "14"	UND	1	S/ 37.00	9.61	S/ 37.00	9.61	1080	0.034	1	S/ 0.03	1 año, 1080 Guardias
5	LLAVE STILSON DE "18"	UND	1	S/ 55.00	14.29	S/ 55.00	14.29	1080	0.051	1	S/ 0.05	1 año, 1080 Guardias
6	PUNZON COBRE PARA CEBO	UND	1		0	S/ -	0	900	0	1	S/ -	300 días, 900 Guardias
7	ATACADORES 7/8" X 4'	UND	1	S/ 5.00	1.3	S/ 5.00	1.3	15	0.333	1	S/ 0.33	5 días, 15 Guardias
8	ALAMBRE NRO 16	KG	1	S/ 6.00	1.56	S/ 6.00	1.56	1	6	1	S/ 6.00	1 Guardia
9	SPRAY	UND	1	S/ 8.00	2.08	S/ 8.00	2.08	3	2.667	1	S/ 2.67	1 días, 3 Guardias
10	PICO	UND	1	S/ 45.00	11.69	S/ 45.00	11.69	135	0.333	1	S/ 0.33	45 días, 135 Guardias
11	PALA MINERA	UND	1	S/ 30.00	7.79	S/ 30.00	7.79	90	0.333	4	S/ 1.33	30 días, 90 Guardias
12	CARRETILLA MINERA	UND	1	S/ 220.00	57.14	S/ 220.00	57.14	135	1.63	1	S/ 1.63	45 días, 135 Guardias
13	BARRETILLA DE 4 PIES	UND	1	S/ 100.00	25.97	S/ 100.00	25.97	90	1.111	1	S/ 1.11	30 días
14	FLEXOMETRO	UND	1	S/ 8.00	2.08	S/ 8.00	2.08	45	0.178	1	S/ 0.18	15 días, 45 guardias
15	CARGADOR DE ANFO	UND	1	S/ 65.00	16.88	S/ 65.00	16.88	1620	0.04	2	S/ 0.08	18 meses
	SUB. TOTAL COSTO MATERIALES / DISPARO										S/ 15.12	

Tabla 28. Análisis de costos unitarios y ahorro por ítem

N°	DESCRIPCION	ROM. HISTORIC	NUEVA MALLA	AHORRO COSTO POR DISPARO S/.
		COSTO POR DISPARO S/.	COSTO POR DISPARO S/.	
1. MANO DE OBRA:				
2	PERFORISTA	S/ 100.00	S/ 100.00	S/ -
3	AYUDANTE PERFORISTA	S/ 80.00	S/ 80.00	S/ -
4	OPERADOR DE MOTOREMOLQUE	S/ 60.00	S/ 60.00	S/ -
5	PERSONAL CARGA Y DESCARGA	S/ 150.00	S/ 150.00	S/ -
SUB. TOTAL MANO DE OBRA / DISPARO		S/ 390.00	S/ 390.00	S/ -
2. ACEROS DE PERFORACION				
1	BROCA CONICA 36MM	S/ 9.17	S/ 8.18	S/ 0.98
2	BARRENO DE 4 PIES	S/ 27.27	S/ 24.35	S/ 2.92
SUB. TOTAL COSTO ACEROS DE PERF. / DISPARO		S/ 36.44	S/ 32.54	S/ 3.90
3.PERFORACION Y ACCESORIOS				
1	PERFORADORA NEUMATICA JACKLE + REPUESTOS	S/ 21.13	S/ 18.87	S/ 2.26
2	MAGUERA DE AGUA 1/2" (POR EQUIPO) JEBE	S/ 0.30	S/ 0.30	S/ -
3	MANGUERA DE AGUA 1" (POR EQUIPO) HDP	S/ 0.61	S/ 0.61	S/ -
4	ACEITE TORCOLA 100 (POR LUBRICADOR)	S/ 15.00	S/ 15.00	S/ -
SUB. TOTAL COSTO ACEROS DE PERF. / DISPARO		S/ 37.03	S/ 34.77	S/ 2.26
4. EPPS				
1	CASCO TIPO SOMBRERO, TAFILETE	S/ 0.37	S/ 0.37	S/ -
2	RESPIRADOR	S/ 0.52	S/ 0.52	S/ -
3	BARBIQUEJO	S/ 0.20	S/ 0.20	S/ -
4	GUANTES DE MULTIFLEX	S/ 2.60	S/ 2.60	S/ -
5	GUANTES DE NEOPRENE / HYCRON	S/ 2.27	S/ 2.27	S/ -
6	MAMELUCO CON CINTA REFLECTIVA	S/ 0.50	S/ 0.50	S/ -
7	FILTRO - CARTUCHOS DE POLVO	S/ 5.00	S/ 5.00	S/ -
8	FILTRO - CARTUCHOS ANTIGAS	S/ 7.00	S/ 7.00	S/ -
9	BOTAS DE JEBE PUNTA ACERO	S/ 1.58	S/ 1.58	S/ -
10	TAPON DE OIDOS	S/ 0.60	S/ 0.60	S/ -
11	PANTALON DE JEBE	S/ 0.33	S/ 0.33	S/ -
12	CASACA DE JEBE	S/ 0.33	S/ 0.33	S/ -
13	CORREA PORTALAMPARAS	S/ 0.11	S/ 0.11	S/ -
14	LAMPARA	S/ 0.31	S/ 0.31	S/ -
SUB. TOTAL EPPS / DISPARO		S/ 21.73	S/ 21.73	S/ -

5. MATERIALES							
1	COMBO DE 24 LIBRAS	S/	0.33	S/	0.33	S/	-
2	COMBO DE 08 LIBRAS	S/	0.14	S/	0.14	S/	-
3	BARRETILLAS DE 4' PARA DESATE DE ROCAS	S/	0.89	S/	0.89	S/	-
4	LLAVE STILSON DE "14"	S/	0.03	S/	0.03	S/	-
5	LLAVE STILSON DE "18"	S/	0.05	S/	0.05	S/	-
6	PUNZON COBRE PARA CEBO	S/	-	S/	-	S/	-
7	ATACADORES 7/8" X 4'	S/	0.33	S/	0.33	S/	-
8	ALAMBRE NRO 16	S/	6.00	S/	6.00	S/	-
9	SPRAY	S/	2.67	S/	2.67	S/	-
10	PICO	S/	0.33	S/	0.33	S/	-
11	PALA MINERA	S/	1.33	S/	1.33	S/	-
12	CARRETILLA MINERA	S/	1.63	S/	1.63	S/	-
13	BARRETILLA DE 4 PIES	S/	1.11	S/	1.11	S/	-
14	FLEXOMETRO	S/	0.18	S/	0.18	S/	-
15	CARGADOR DE ANFO	S/	0.08	S/	0.08	S/	-
SUB. TOTAL COSTO MATERIALES / DISPARO		S/	15.12	S/	15.12	S/	-
6. MAQUINARIA							
1	MOTOREMOLQUE MOTOR DINAMOND	S/	5.63	S/	5.63	S/	-
2	COCHES MINEROS Z-20	S/	2.40	S/	2.40	S/	-
3	GRUPO ELECTROGENO	S/	53.13	S/	53.13	S/	-
4	COMPRESOR DE 3 SALIDAS	S/	64.68	S/	64.68	S/	-
SUB. TOTAL COSTO MAQUINARIA / DISPARO		S/	125.84	S/	125.84	S/	-
7. EXPLOSIVOS/ACCESORIOS							
1	NITRATO DE AMONIO 50KG (ANFO)	S/	69.66	S/	52.67	S/	17.00
2	EMULNOR 5000 7/8" x 7"	S/	42.57	S/	39.02	S/	3.55
3	FULMINANTE X 100 UND	S/	48.00	S/	44.00	S/	4.00
4	MECHA BLANCA ROLLO DE 500M	S/	58.20	S/	53.40	S/	4.80
SUB. TOTAL, COSTO EXPL. Y ACC. / DISPARO		S/	218.43	S/	189.09	S/	29.34
8. VENTILACION							
1	MANGA DE VENTILACION 24"	S/	2.59	S/	2.59	S/	-
2	TERMOMAGNETICO TRIFASICO	S/	0.14	S/	0.14	S/	-
3	CABLE TRIFASICO	S/	0.34	S/	0.34	S/	-
4	CAJA DE CONTROL ELECTRICO	S/	0.11	S/	0.11	S/	-
5	VENTILADOR AXIAL	S/	1.14	S/	1.14	S/	-
0	SUB. TOTAL, COSTO EXPL. Y ACC. / DISPARO	S/	4.33	S/	4.33	S/	-
9. COMBUSTIBLE							
1	DIESEL (PETROLEO)	S/	312.00	S/	312.00	S/	-
SUB. TOTAL, COSTO EXPL. Y ACC. / DISPARO		S/	312.00	S/	312.00	S/	-
SUB TOTAL COSTO DIRECTO		S/	1,160.92	S/	1,125.41	S/	35.51
IMPREVISTOS (5%)		S/	58.05	S/	56.27	S/	1.78
GASTOS GENERALES (10%)		S/	116.09	S/	112.54	S/	3.55
COSTO TOTAL / DISPARO		S/	1,335.06	S/	1,294.22	S/	40.84
COSTO S/ML		S/	1,405.33	S/	1,176.56	S/	228.76

Anexo 7

Toma de fotografías durante el desarrollo de la investigación

A. Fotografía del Proyecto Lyan & Salcedo.

Charla de seguridad al equipo de trabajo del proyecto minero Lyan & Salcedo.



Figura 14. Charla diaria de seguridad y salud ocupacional en el trabajo

Participación en el aspecto social del proyecto minero Lyan & Salcedo, (aniversario del distrito de Velille).



Figura 15.: Participación social en el aniversario del distrito de Velille

B. Fotografía de disparo fallido

Dentro de la aplicación de la nueva malla de perforación y voladura, tuvimos un disparo fallido, debido a que el macizo rocoso es sumamente duro.



Figura 16. Disparo fallido dentro de la aplicación de la nueva malla de perforación

Anexo 8

Resultado de laboratorio de la densidad de la roca

ÁREA DE:



LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO

Cálculo de Densidad en Rocas - ASTM D7263.

Solicitado : Luis Fernando Guillen Pérez DNI: 71796243 Juan Hernan Quispe Soto DNI: 47872390
Tesis : "DISEÑO DE MALLA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS EN EL AVANCE DE LA GALERÍA VETA SOLEDAD DEL PROYECTO MINERO LYAN & SALCEDO"
Ubicación : Vellile - Chumbivilcas - Cusco
Muestra : Roca
Fecha : JULIO DEL 2023

N°	ESTRUCTURA	FECHA TALLADO	FECHA DE ENSAYO	PESO (g)	Ancho (cm)				ANCHO PROM.	ÁREA (cm ²)	VOLUMEN (cm ³)	DENSIDAD (g/cm ³)	
					A. INFERIOR	A. SUPERIOR	L-1-2	L-3-4					
M-1	ROCA-01	04/07/2023	11/07/2023	4,850.0	A. INFERIOR	10.30	10.40	10.20	10.00	10.23 cm	103.528	1,770.33	2.74
					A. SUPERIOR	10.00	10.10	10.10	10.30	10.13 cm			
					L-1-2	17.20	17.10	17.00	17.10	17.10 cm			
					L-3-4	17.00	17.10	17.20	17.10	17.10 cm			
M-2	ROCA-02	04/07/2023	11/07/2023	2,255.2	A. INFERIOR	7.80	7.90	8.00	7.20	7.73 cm	62.1863	820.08	2.75
					A. SUPERIOR	7.70	8.30	8.00	8.20	8.05 cm			
					L-1-2	13.10	13.30	13.10	13.20	13.19 cm			
					L-3-4	13.20	13.00	13.40	13.20	13.20 cm			

Velocidad de ensayo: 1,80 - 2,60 KN/s



Ilustración 1 Ensayo de Densidad M-01.

Robert Mayhuire Quispe
 Ing. Robert Mayhuire Quispe
 ESP. GEOTECNIA
 CIP: 84648



Ilustración 2 Ensayo de Densidad M-02.

Figura 17. Resultado de laboratorio de la densidad de la roca de la Galería Veta Soledad