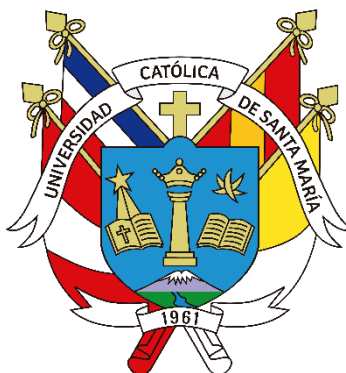


Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería de Minas



Diseño de geometría de perforación y voladura en tajos con modelo matemático de López Jimeno y optimización productiva en veta angosta Koricancha NV 2720 NE, Yarabamba Arequipa

Tesis presentada por el Bachiller:

Churapa Tellez, Delfor Habraham Randy

ORCID: 0009-0006-5739-4022

para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas

Asesor:

Maestro Arias Quispe, Cesar Fabian

ORCID: 0009-0001-7874-2691

Arequipa - Perú

2025

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA DE MINAS

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 16 de Septiembre del 2025

Dictamen: 013527-C-EPIM-2025

Visto el borrador del expediente 013527, presentado por:

2017205201 - CHURAPA TELLEZ DELFOR HABRAHAM RANDY

Titulado:

**DISEÑO DE GEOMETRÍA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN TAJOS CON MODELO
MATEMÁTICO DE LÓPEZ JIMENO Y OPTIMIZACIÓN PRODUCTIVA EN VETA ANGOSTA
KORICANCHA NV 2720 NE, YARABAMBA AREQUIPA**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO DE MINAS

**40902304 - LINARES FLORES CASTRO ANTONIO ERICK
DICTAMINADOR**



**40379481 - PAREDES SALAS OMAR WILLY
DICTAMINADOR**



**29635304 - MORALES VALDIVIA JAVIER ANTONIO
DICTAMINADOR**



Diseño de geometría de perforación y voladura en tajos con modelo matemático de López Jimeno y optimización productiva en veta angosta Koricancha NV 2720 NE, Yarabamba Arequipa

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

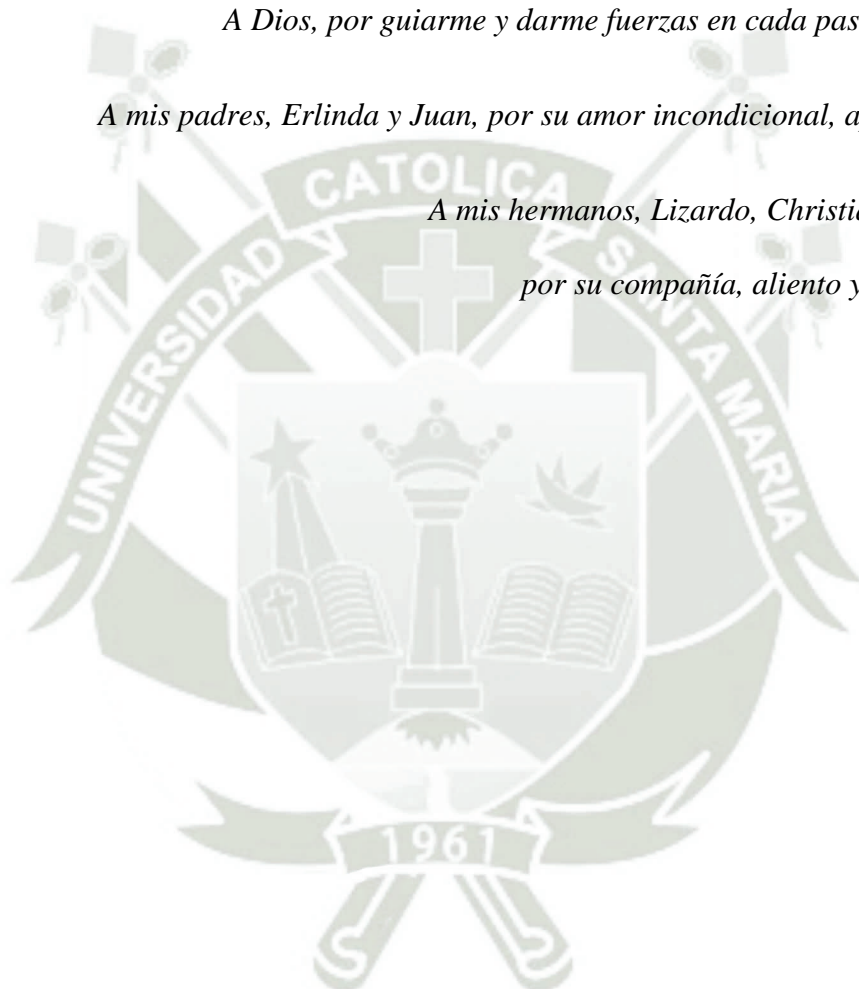
1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	2%
3	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
5	vsip.info Fuente de Internet	1%
6	apirepositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	tramite.ingemmet.gob.pe Fuente de Internet	1%
8	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	repositorio.unamba.edu.pe Fuente de Internet	<1%
10	es.scribd.com Fuente de Internet	<1%
11	repositorio.ucsm.edu.pe	

Dedicatoria

A Dios, por guiarme y darme fuerzas en cada paso de este camino.

A mis padres, Erlinda y Juan, por su amor incondicional, apoyo y sacrificio.

*A mis hermanos, Lizardo, Christian, Lesly y Elizet,
por su compañía, aliento y confianza en mí.*



Agradecimientos

*A la Universidad Católica de Santa María y mis docentes,
por las enseñanzas brindadas.*

A mi asesor, por su guía y acompañamiento

*A la empresa y a mis compañeros,
por su colaboración durante el proceso de investigación.*

*A la persona que caminó a mi lado durante todo este proceso, brindándome amor, apoyo y
paciencia en cada etapa*

A mis amigos, por su amistad y por estar presentes en este camino.

Epígrafe

La minería, provee minerales para el desarrollo de la humanidad.

Victor E. Gobitz

La eficiencia en minería comienza con un diseño óptimo de la voladura.

Konya, C.J. y Walter, E.J.



RESUMEN

En este trabajo el objetivo general fue, reducir los costos operativos a través del diseño de geometría de perforación y voladura empleando el modelo matemático de López Jimeno, buscando la mejora de fragmentación y reduciendo la dilución en los tajos de producción en la veta angosta Koricancha Nv 2720 NE Yarabamba Arequipa.

El tipo de investigación es aplicada y nivel fue correlacional. Tanto la población y muestra este último es no probabilística y fueron dos tajos Codo 3 y 455 del nivel 2720 NE. Mientras las técnicas e instrumentos de recolección de datos han sido por un lado la guía de observación y por otro la lista de cotejo.

Los resultados arribados son: en la línea base se encontró piedra pequeña de 0.30 m y 0.40 m de espacio, en tramos de 8 de longitud de perforación y voladura, lo cual generó mayor costo de US\$ 274.84 en tajo Codo 3, así mismo en el tajo 455 alcanzó US\$ de 267; la dilución alcanzó hasta de 56%, fragmentación gruesa, y sobre excavación. Las características geomecánicas de las labores en promedio dieron de 53 de RMR189, roca regular. El diseño de geometría de perforación y voladura empleando el modelo matemático de López Jimeno C., donde la piedra calculada fue de 0.7 m mientras que el espacio resultó en 0.9 m, sin embargo, la veta de mineral de cobre es en roca dacita posee menor onda de propagación por lo que se justifica una piedra de 0.70 m dicho valor en la prueba 4, t-Codo 3, y el espacio de 0.9 m. Se logró reducir de costos de perforación y voladura en el tajo Codo 3 W- E, en US\$ 104. De similar forma en el tajo 455 se alcanzó reducir a US\$ 99.97.

En conclusión, se hizo la reducción de costos de perforación y voladura en los tajos de vetas angosta y mejoró la fragmentación, dilución y sobre excavación, lo que implica la optimización de la producción en los tajos de vetas angostas.

Palabras claves: Diseño, perforación y optimización.

ABSTRACT

The overall objective of this work was to reduce operating costs through the design of drilling and blasting geometry using the López Jimeno mathematical model, seeking to improve fragmentation and reduce dilution in the production pits in the narrow Koricancha vein Nv 2720 NE Yarabamba, Arequipa.

The type of research was applied and the level was correlational. Both the population and the sample, the latter being nonprobabilistic, comprised two pits, Codo 3 and 455, at level 2720 NE. The data collection techniques and instruments were, on the one hand, the observation guide and, on the other, the checklist.

The results obtained are: small stones measuring 0.30 m and 0.40 m in spacing were found at the baseline, in sections of 8 meters long of drilling and blasting, which generated a higher cost of US\$274.84 in the Codo 3 pit, and US\$267 in pit 455; dilution reached up to 56%, coarse fragmentation, and over-excavation. The geomechanical characteristics of the workings averaged 53 of RMR189, regular rock. The design of drilling and blasting geometry using the mathematical model of López Jimeno C., where the calculated stone was 0.7 m while the space resulted in 0.9 m, however, the copper ore vein is in dacite rock has less propagation wave so a stone of 0.70 m is justified, said value in test 4, t-Codo 3, and the space of 0.9 m. It was possible to reduce drilling and blasting costs in the Codo 3 W- E pit by US \$ 104. Similarly, in pit 455 it was possible to reduce it to US \$ 99.97.

Conclusions Drilling and blasting costs were reduced in narrow vein pits and fragmentation, dilution and over-excavation were improved, which implies production optimization in narrow vein pits.

Keywords: design, drilling, optimization

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

EPÍGRAFE

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I..... 3

1. Planteamiento de la Investigación..... 4

1.1. Planteamiento del problema 4

1.2. Objetivos 4

1.2.1. General..... 4

1.2.2. Específicos..... 5

1.3. Preguntas de investigación 5

1.4. Línea de investigación..... 6

1.5. Palabras clave..... 6

1.6. Solución propuesta..... 6

1.6.1. Justificación e importancia 6

1.6.2. Descripción de la solución 7

1.7. Variables 8

1.7.1. Variable independiente..... 8

1.7.2. Variable dependiente..... 8

1.8. Hipótesis.....	8
CAPÍTULO II	9
2. Fundamentos Teóricos o Cuerpo del Trabajo	10
2.1. Estado del arte.....	10
2.2. Bases teóricas de la investigación	12
2.2.1. Diseño	12
2.2.2. Geometría	13
2.2.3. Perforación y voladura para tajos en vetas angostas	13
2.2.4. Diseño geométrico en tajos de explotación con cara libre.....	14
2.2.5. Explotación de vetas angostas.....	15
2.2.6. Geometría de voladura, carga, tiempo del diseño de voladura y característica de roca y explosivos	17
2.2.7. Optimizar.....	19
2.2.8. Elementos de costos: clasificación de costos	19
CAPÍTULO III.....	21
3. Marco Metodológico.....	22
3.1. Descripción litológica local de Compañía Minera Aurífera S.A Yarabamba..	22
3.1.1. Ubicación	33
3.2. Alcances y limitaciones	35
3.3. Aporte.....	35
3.4. Tipo y nivel de investigación	35
3.5. Población y muestra o universo	35

3.6. Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	37
3.7. Plan de análisis estadístico de los datos y procesamiento de datos.....	40
3.8. Descripción de la propuesta	40
CAPÍTULO IV	43
4. Análisis y Discusión de Resultados.....	44
4.1. Determinación de la línea base.....	44
4.2. Características geomecánicas del yacimiento	47
4.3. Diseño de la nueva geometría de perforación y voladura empleando el modelo matemático de López	48
4.4. Capacitación del personal de perforación y voladura en vetas angostas	82
4.5. Recolección de datos post perforación y voladura en vetas angostas del nivel 2720 NE	82
4.6. Productividad	85
4.6.1. Optimización Productiva en los Tajos Codo 3 y 455, por Número de Taladros	87
4.7. Discusión de resultados.....	88
CONCLUSIONES.....	91
RECOMENDACIONES	92
REFERENCIAS.....	93

ÍNDICE DE TABLAS

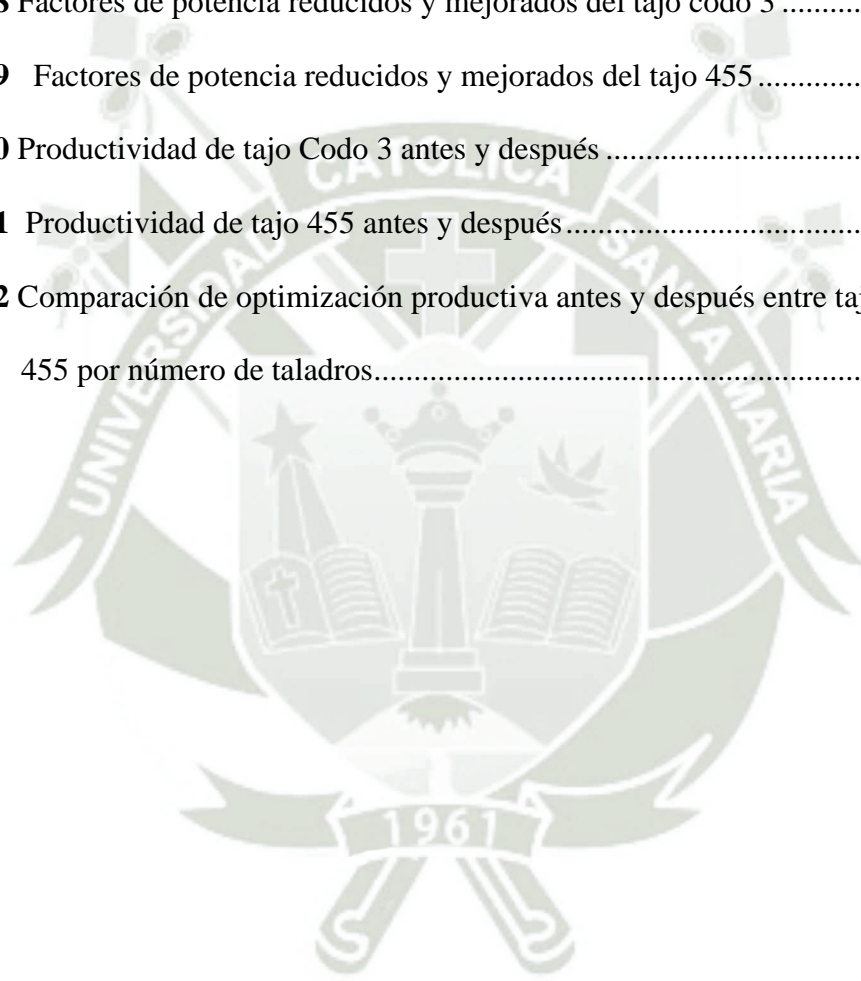
Tabla 1 Clasificación de costos.....	20
Tabla 2 Resultado operativo	26
Tabla 3 Precios unitarios.....	29
Tabla 4 Costo de Precios unitarios de minado antes de optimizar del Tajo Codo 3.....	30
Tabla 5 Costo de precios unitarios de minado antes de optimizar del Tajo 455.....	32
Tabla 6 Puntos de Ruta de Acceso a la Minera Aurífera Yarabamba.....	34
Tabla 7 Guía de observación.....	38
Tabla 8 Lista de Cotejo	39
Tabla 9 Factor de potencia tajo 455, antes de la optimización	47
Tabla 10 Factor de potencia en tajo Codo 3, antes de la optimización.....	47
Tabla 11 Características geomecánicas de roca encajonante.....	48
Tabla 12 Resumen de pruebas de perforación y voladura en vetas angostas de tajos Codo 3 E y W ,t- 455	50
Tabla 13 Costos de perforación y voladura de optimizar tajo Codo 3 W-E, antes de la optimización.....	55
Tabla 14 Costos de perforación y voladura Tajo Codo 3 W-E prueba 1, después de la optimización	57
Tabla 15 Costos de perforación y voladura t-Codo 3 prueba 2 después de la optimización ..	59
Tabla 16 Costos de perforación y voladura t-Codo 3 W-E prueba 3 después de la optimización	61
Tabla 17 Costos de perforación y voladura t-Codo 3 W-E prueba 4, después de la optimización	63
Tabla 18 Costos de perforación y voladura t-455 antes de la optimización	65
Tabla 19 Costos de perforación y voladura t-455 prueba 1 después mejorado	67

Tabla 20 Costos de perforación y voladura t-455 prueba 2 después mejorado	69
Tabla 21 Costos de perforación y voladura t-455 prueba 3, después mejorado	71
Tabla 22 Costos de perforación y voladura t-455 prueba 4, después mejorado	73
Tabla 23 Diferencia de costos de perforación y voladura antes y después de la optimización	75
Tabla 24 Diferencia de costos de perforación y voladura antes y después de la optimización	76
Tabla 25 Factor de potencia en la prueba 1 del tajo Codo 3	77
Tabla 26 Factor de potencia en la prueba 2 tajo Codo 3	77
Tabla 27 Factor de potencia en la prueba 3 tajo Codo 3	78
Tabla 28 Factor de potencia en la prueba 4 tajo Codo 3	78
Tabla 29 Factor de potencia en prueba 1 tajo 455	78
Tabla 30 Factor de potencia en prueba 2, tajo 455	79
Tabla 31 Factor de potencia en prueba 3 tajo 455	79
Tabla 32 Factor de potencia en prueba 4 de tajo 455	79
Tabla 33 Reducción del Factor de potencia en pruebas de tajo Codo 3	80
Tabla 34 Reducción del Factor de potencia en pruebas de tajo Codo 455	81
Tabla 35 Recolección de datos en los tajos Codo 3 prueba 1	83
Tabla 36 Recolección de datos con la lista de cotejo prueba 4 tajo Codo 3	84
Tabla 37 Productividad en el tajo Codo 3 antes y después	85
Tabla 38 Productividad en el tajo Codo 455 antes y después	86
Tabla 39 Optimización productiva entre los tajos Codo 3 y 455 por número de taladros	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Diseño de geometría de perforación y voladura ancho de minado de 0.9 m y RMR 55.....	16
Figura 2	Diseño de geometría de perforación y voladura en vetas angostas en ancho de minado de 0.7 m y RMR 40	17
Figura 3	Interacción entre explosivo y masa rocosa, después de Little y Van Rooyen 1988	18
Figura 4	Plano a Esc 1/1000 niveles 2750,2720, 2675 de mina Koricancha.....	23
Figura 5	Ubicación de mina.....	33
Figura 6	Mapa de Ubicación y Ruta de Acceso a la Minera Aurífera Yarabamba	34
Figura 7	Metodología de investigación	37
Figura 8	Foto de fragmentación gruesa línea base	46
Figura 9	Esquema de perforación y trazo en línea base	46
Figura 10	Geometría de perforación en tajo codo 3	51
Figura 11	Resultado de la voladura y buena fragmentación en tajo codo 3	51
Figura 12	Foto de sobre excavación (dilución) en tajo codo 3 mejorado y estable.....	52
Figura 13	Geometría de perforación en tajo 455	53
Figura 14	Resultado de la voladura y buena fragmentación en tajo 455.....	53
Figura 15	Foto de sobre excavación (dilución) en tajo 455 mejorado y estable	54
Figura 16	Geometría de perforación tajo Codo 3 antes de la optimización	56
Figura 17	Geometría de perforación en tajo codo 3, prueba 01	58
Figura 18	Geometría de perforación en tajo codo 3, prueba 02	60
Figura 19	Geometría de perforación en tajo codo 3, prueba 03	62
Figura 20	Geometría de perforación en tajo codo 3, prueba 04	64
Figura 21	Geometría de perforación del tajo 455. Antes de la optimización	66
Figura 22	Geometría de perforación de tajo 455, prueba 1	68

Figura 23 Geometría de perforación tajo 455, prueba 2	70
Figura 24 Geometría de perforación t-455, prueba 3.....	72
Figura 25 Geometría de perforación t-455, prueba 4.....	74
Figura 26 Costos de perforación y voladura con mejoras del tajo Codo 3	75
Figura 27 Costos de perforación y voladura con mejoras del tajo 455.....	76
Figura 28 Factores de potencia reducidos y mejorados del tajo codo 3	80
Figura 29 Factores de potencia reducidos y mejorados del tajo 455	81
Figura 30 Productividad de tajo Codo 3 antes y después	85
Figura 31 Productividad de tajo 455 antes y después	86
Figura 32 Comparación de optimización productiva antes y después entre tajos Codo 3 y 455 por número de taladros.....	87



INTRODUCCIÓN

La industria minera como cualquier otro es un negocio, donde se necesita diseño geométrico de perforación y voladura con resultados adecuados de rotura del material pétreo y buena fragmentación (curva granulométrica), que implica obtener menores costos para generar utilidad a la empresa, y esto constituye hacer ingeniería.

El autor Little and van Rooyen (1988), sostienen la interacción entre el explosivo y masa rocosa, en conjunción de tres áreas como geometría de voladura, diseño de carga y sincronización de tiempo, características del macizo rocoso y explosivo. El ingreso del macizo rocoso está en función del entorno geológico del yacimiento. Las características de los explosivos son escogidos por el ingeniero de voladuras en función de las propiedades del macizo rocoso y objetivo de voladura deseado. El diseño de la voladura implementa los explosivos y la secuencia de iniciación dada la geología y la geometría disponible. (diámetro del taladro de voladura, longitud del taladro de voladura, número de plataformas, etc.) para enfocar la energía disponible en el objetivo de la voladura. Como ocurre con cualquier disciplina de ingeniería, un ingeniero de voladura necesita tener confianza en el resultado de su diseño.

El collar del taladro, las ubicaciones son de suma importancia en la voladura y su ubicación entre sí respecto a las caras libres son fundamentales para una voladura exitosa. Un análisis simplificado demuestra variaciones bastante significativas en los factores de carga efectivos (masa de explosivos por unidad de volumen de roca) por la mala ubicación de los collares (Spathis 2006), como cito (Singh & Sinha, 2012), p 27. A menudo se asume que el diámetro del taladro de voladura es igual al tamaño nominal de la broca. Un pequeño cambio en el diámetro real del barrenado puede causar un cambio significativo en el volumen de explosivo utilizado y modificar su colocación efectiva a lo largo del taladro. El cambio de diámetro puede ser causado por una broca desgastada o se desmorona la pared del taladro. Hutchings (1990)

describe un sistema de registro con cable que utiliza tres calibres a 120 grados entre sí para medir el diámetro de los barrenos.

En buen sentido, las zonas de monitoreo (after Cunningham 1990) en la voladura en pre voladura son: características de geología, composición del explosivo (densidad, estabilidad, sensibilidad), geometría de voladura (perfil del agujero, proximidad de los agujeros a la superficie, y la estructura de las rocas), iniciación (Fuerza de posición y orientación de los cebadores, robustez y precisión del sistema). Durante la voladura son: VOD, historia de la presión del pozo, relación entre las presiones posterior (atrás) y delante de los barrenos, historia del tiempo de presión con distancia desde el agujero, efecto de la tensión de múltiples agujeros sobre el desarrollo de la fractura y el movimiento, efecto de la partición de energía en diferentes tipos de rocas, interacción dinámica de barrenos: simpatía, desensibilización, tiempo. Después de la voladura son: condición de la roca remanente, dimensionamiento de fragmentación: finos, demasiado grande, intermedio; forma de pila del material volado: suelto y movido. Profundidad de ruptura, y humos; viabilidad: tasas de carga, consumo de energía y combustible, tasas de producción y costos de perforación.



1. Planteamiento de la Investigación

1.1. Planteamiento del problema

Es conocido, según el precio de las materias primas, el caso del metal rojo cobre, está alcanzando a US\$ 4.5601 /lb. ó US\$ 9,968/t. Esto motiva a buscar alternativa de herramientas y tecnologías adecuadas para mejorar la producción en los tajos de vetas angostas en el laboreo minero. Sin embargo, se presentan la existencia de 16 modelos matemáticos para calcular los parámetros de diseño de voladura en banco, estos son: Andersen (1952), Fraenkel (1952), Pearse (1955), Hino (1959), Allsman (1960), Ash (1963), Langefors (1963), Hansen (1957), Ucar (1972), Konya (1976), Foldesi (1980), Praillet (1980), López Jimeno (1980), Berta (1985), Bruce Car (1985) y Konya y Walter (1985). Tanto los softwares o modelos matemáticos, simulan el diseño de geometría de perforación y voladura, predicen el movimiento del material, fragmentación, vibración, dilución, daños y sobre excavación, en superficie y subterráneo, pero fallan en el ingreso de datos.

Actualmente en los tajos de la veta angosta Koricancha Nv 2720 NE, se viene usando la malla de 0.30 m como burden x 0.40 m de espaciamiento horizontal zigzag, donde los problemas y errores que se presenta es la alta dilución, reduciendo la ley de 4 % Cu a 3% Cu aproximadamente, también se presenta una mala fragmentación de la roca, teniendo resultados de 8 a 12 pulg, cuando lo esperado es que sea 6 pulg y finalmente la sobre excavación en las paredes de las cajas, ampliando la sección en un rango de 0.8m a 1.10m, dándonos mayor tiempo de limpieza (carguío), baja producción de mineral y un mayor costo operativo.

Objetivos de la investigación

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Reducir los costos operativos a través del diseño de geometría de perforación y voladura empleando el modelo matemático de López Jimeno, buscando la mejora de fragmentación y

reduciendo la dilución en los tajos de producción en la veta angosta Koricancha Nv 2720 NE Yarabamba Arequipa.

1.2.2. Específicos

- Determinar la línea base, evaluando el daño y condiciones actuales en los tajos de la veta angosta Koricancha Nv 2720 NE.
- Evaluar las características Geomecánicas del mineral y de las rocas encajonantes en los tajos de la veta angosta Koricancha Nv 2720 NE.
- Diseñar la nueva geometría de perforación y voladura empleando el modelo matemático de López Jimeno en la veta angosta de Koricancha Nv 2720 NE.
- Capacitar al personal de los tajos con el cargo de perforista y ayudante para aplicar el diseño de la nueva malla de perforación y voladura en la veta angosta Koricancha NV 2720 NE, acorde a los parámetros de diseño calculados.
- Recolectar los datos post perforación y voladura en los tajos del Nv 2720 NE, en función a la optimización productiva y obtención de resultados.

1.3. Preguntas de investigación

Por lo que surgen las siguientes interrogantes:

- ¿Cuál es la relación entre la línea de base de evaluación de condiciones actuales de los tajos de la Veta Angosta Koricancha Nv 2720 NE?
- ¿Cuál es la relación entre la evaluación de las características geomecánicas del mineral y las rocas encajonantes en los tajos de la veta angosta Koricancha Nv 2720 NE?
- ¿Cuál es la relación entre el diseño de la nueva geometría de perforación y voladura empleando el modelo matemático López Jimeno en la veta angosta de Koricancha Nv 2720 NE?

- ¿Cuál es la relación entre la capacitación del personal a cargo de perforación y ayudante para aplicar el diseño de la nueva malla de perforación y voladura en los tajos de veta angosta de Koricancha Nv 2720 NE?
- ¿Cuál es la relación entre recolectar los datos post perforación y voladura en los tajos del Nv 2720 NE y optimización productiva?

1.4. Línea de investigación

Línea: Sistemas de información y base de datos

Sub línea: Formulación y evaluación de proyectos

1.5. Palabras clave

Diseño, perforación y optimización

1.6. Solución propuesta

1.6.1. Justificación e importancia

Según Morris (2024) de Rumbo Minero, a nivel global del planeta Tierra, el cobre crecerá su demanda a 9,5 millones de toneladas en la próxima década y el Perú es uno de los principales productores; donde el actual gobierno viene impulsando los proyectos mineros, motivando llevar a cabo la presente. A su vez existe la transición energética de China y otros países, para mitigar los gases de efecto invernadero. Se precisa que las empresas de servicios públicos necesitaran 30% más y transporte 15% adicional, lo que implica un impacto económico, social y ambiental. Siendo beneficiarios la población en la calidad de vida y beneficios a las empresas porque alineará a la sostenibilidad de la económica circular. El uso de cobre, obliga a mejorar los procesos de operaciones unitarias de perforación y voladura en tajos de vetas angostas y eje de producción.

El impacto del presente proyecto de investigación recaerá en el diseño de la geometría de perforación y voladura en tajos con el método del modelo matemático de López Jimeno en

diámetros menores a 165 mm en este caso para bancos, es decir la veta pertenece a subterránea, pero tiene cara libre; por tanto, contiene impacto de innovación, a través de uso racional de insumos y dirigido con orden, disciplina y sistemática. Tendrá impacto económico, con la propuesta del nuevo diseño de geometría (de explosivos, ahorro de aceros de perforación y otros), y tendrá impacto medioambiental, debido a la ejecución con aplicación de datos reales como la velocidad sísmica en la veta y velocidad de detonación del Emulnor, con menores impactos negativos, lo que constituye un beneficio para la empresa y tecnología. Así también la utilidad de esta investigación está en la fiabilidad y validez de los instrumentos (guía de observación y lista de cotejo) que garantizan que la información recabada sea relevante y ayuda a la verificación científica; de igual modo resalta el diseño metodológico en vista que facilita la aplicación del modelo matemático de López, relacionadas al diseño geométrico de perforación y voladura. También la factibilidad de este estudio esta favorecida gracias a la accesibilidad hacia la muestra de los tajos de la veta angosta Koricancha Nv 2720 NE.

Además, se puede afirmar que esta investigación busca contribuir de manera científica al manejo de los datos de entrada, tanto de explosivos y de la veta angosta Koricancha.

1.6.2. Descripción de la solución

Según Cueva y Cuno, afirman que ocurren rocas del Batolito “La Caldera”, con dirección SW-NW, instruyendo al basamento de la cordillera de la costa, a través de consecutivos pulsos magmáticos que muestran una diferenciación desde rocas maficas hasta rocas félsicas como citaron a The Coastal Batholith of central Perú, Cobbing y Pitcher (1972) primera etapa: dioritas, granodioritas y adamelitas: segunda etapa: granitos; y tercera etapa: diques aplíticos – microgranito – brechas de turmalina. Esta brecha, es un indicador de mineralización y explica la fase tardía de ascensión de fluidos hidrotermales junto con el intrusivo Yarabamba como hospedante, donde pertenecen a la unidad Yarabamba entre ~ 66-64Ma. Cuya geología económica es muy rica en sulfuros (pirita y calcopirita) y óxidos, en

forma de vetillas entre 5 a 10 cm en una extensión longitudinal de 5 m. Razones por las cuales su extracción será selectiva de circado, tomando en la alteración hidrotermal lo que implica heterogénea su resistencia tanto la veta y roca encajonante de dacita, se aplicará el modelo matemático de López Jimeno, y se espera obtener como diseño de geometría de perforación y voladura, una piedra de 0.70 m y espaciamiento de 0.90 m, esto constituye taladros en Zigzag para un ancho de minado de 0.4 m, en los tajos de la veta Koricancha Nv 2720 NE.

1.7. Variables

1.7.1. Variable independiente

Diseño de Perforación y voladura

1.7.2. Variable dependiente

Optimización productiva.

1.8. Hipótesis

H1: Existe relación entre el diseño de Geometría de Perforación y Voladura en Tajos con Modelo Matemático de López Jimeno y Optimización Productiva en Veta Angosta Koricancha Nv 2720 NE Yarabamba Arequipa

Ho: No existe relación entre el Diseño de Geometría de Perforación y Voladura en Tajos con Modelo Matemático de López Jimeno y Optimización Productiva en Veta Angosta Koricancha Nv 2720 NE Yarabamba Arequipa.



2. Fundamentos Teóricos o Cuerpo del Trabajo

2.1. Estado del arte

De acuerdo a Chancasanampa (2019), planteo objetivo específico de: diseñar la malla de perforación y voladura para incrementar la productividad de tajos en Huarochirí Lima; el resultado está en función de las propiedades de roca, geometría de perforación, explosivo con ello determinó la productividad en tajo 068, donde propuso el método zigzag de 0.50x0.5 m, y reduce el factor de potencia de 1.05 a 0.53 kg/t, e incremento la productividad por taladro de 1.4 a 2.5 t.

Por otro lado, Enciso (2024), propuso el objetivo de realizar la caracterización geomecánica mediante el RMR_{89} para determinar su influencia en el diseño de malla de perforación en el Nivel 820, Zona 1, Veta Sheyla de la mina San Cristóbal, en Huancayo; obtuvo RMR de 47, empleando Emulnor e 1 1/2"x12" y con malla breasting en mineral de 0.6x0.6 m, logro fragmentación de 0.2.m como máximo (p.42). <http://hdl.handle.net/20.500.12894/10609>.

Así mismo, el autor Mantari (2018), en su investigación la finalidad fue diseñar la malla de perforación y voladura en método de tajeo por subniveles en vetas angostas en roca III, IV, conforme a la clasificación de Bieniawski, 1989, en la veta Daniela, donde el RMR, fue de 54, hizo simulaciones con el modelo de Pearse para estimar la piedra y carguío de taladros, determino indicadores técnicos para llegar al objetivo.

En la misma línea, Quispe (2024) plantea uno de los objetivos específicos, proponer una mejora en las operaciones de perforación y voladura en la veta San Martin tajo 140 nv 400 en la mina Cerrito Pecoy, en Arequipa, partió de malla antigua de piedra por espacio: 0.38 m * 0.33 m, diámetro de taladro 36 mm, maquina jackleg YT.29, y el explosivo que empleó fue

emulnor 5000; luego aplicó el software JKsimblast, como optimo uso parámetros de roca, y diseño de nueva malla, llegó a establecer la piedra de $0.35 \text{ m} \times 0.4 \text{ m}$.

Mientras que Campos (2023) se planteó el siguiente objetivo de aplicar el método de explotación de circado en las operaciones de veta en la mina la Soledad, Retamas, para ello hizo perforación con maquina RNP 250, de 36 mm de diámetro, y 4 pies de longitud, cuya densidad de roca fue de 2.92 kg/m^3 , siendo la malla en veta de zigzag, de 0.78 m, el método de circado, aprovechó el buzamiento de veta de 80° dejo la veta (potencia de 0.3m) al lado izquierdo de frente, donde primero dispara en estéril y luego en mineral.

Continuando se tiene a Manrique (2024) que tuvo como objetivo de optimizar la perforación y voladura en las vetas angostas con el método selectivo, para la mejorar la productividad en los tajeos de Coricancha en Arequipa, siguiendo iteraciones de modelos para calcular la piedra y espaciamiento en función al explosivo, y roca, estableció la malla en zigzag de $0.9 \text{ m} \times 1.1 \text{ m}$ y obtuvo un factor de carga de 0.24 kg/t, p.105.

Siguiendo este rubro el autor Fuentes y Gargate (2021) en su tesis, plantearon el objetivo de implementar el diseño de malla de perforación en el tajeo de explotación de vetas angostas, en la Libertad; calculó la piedra (burden) según la fórmula de Ash, donde obtuvo la piedra teórica de 0.95 m, en cambio tanto la piedra practico y espacio determino en 0.50 m. empleo dinamita semexsa 65% de $7/8'' \times 7''$, de 91 unidades, obteniendo el factor de potencia de 0.7 kg/t; para sección de $1.4 \text{ m} \times 1.8 \text{ m}$, roca tipo III, además hizo simulaciones con la herramienta de software JK simblast. Pp. 115-135.

En cuanto a la variable de mejora productiva se menciona a Gamboa (2022), su objetivo fue proponer el método de explotación por taladros largos en vetas angostas, en la unidad Huachocolpa, hizo labores preparación y desarrollo rampas de $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ con gradiente de 15%, cruceros perpendiculares hacia la veta, chimeneas de echaderos de mineral y desmonte, logro

como resultados proponer el incremento de producción en tajos de mineral de dimensiones 100 m de longitud * 1.2 m de ancho * 10 m de altura de banco, mediante taladros largos de 250 t/d, a un costo de US\$ 37/t, reduciendo US\$ 10/t. pp. 43-44.

Continuando sobre el diseño de la geometría de perforación y voladura en vetas angostas, se tiene a Rivas (2021), que plantea la capacidad de perforación en los tajos, en función de longitud de taladro, cambio de barrenos, número de cambios, y velocidad de penetración; mientras para el diseño de malla de perforación en vetas angostas, estableció la densidades de la roca de 3 t/m^3 y explosivo en 1.12 g/cc y sostuvo el *burden* de 0.35 m y espacio de 0.6 m, pp.61-65.

Finalmente, para la variable Optimización productiva mejora productiva se menciona a Avalos y Juro (2022) quienes plantearon como objetivo general de mejorar la productividad aplicando el método de explotación por subniveles en vetas angostas, Región Lima- Huarochirí de mina Yaulliyacu; estableció un RMR de 45, para lo cual determinó la geometría de $0.7 \text{ m} * 0.7 \text{ m}$ en triángulo (V) en el tajo 395, siendo método de explotación de corte y relleno semi mecanizado y taladros largos tajo 1575, logrando mejorar la productividad de US\$ 81 a US\$ 512, donde la producción mensual promedio fue de 1335 t en corte y relleno con costo de US\$ 16.4/t en cambio producción promedio por mes ha sido de 5223 t por taladros largos al costo de US\$10.21/t, pp. 52-112.

2.2. Bases teóricas de la investigación

2.2.1. Diseño

Es concepción original de un objeto u obra destinados a la producción en serie, y diseño gráfico industrial (Real Academia Española, sf)

A su vez Tomas Maldonado sostiene al diseño, como perito erigido científicamente conducido por la academia hacia la producción industrial en serie, por medio de una estrategia

didáctica definibles y repetibles en dirección al funcionamiento exacto y ergonómicos, citado por (De Salvo, 2019, p. 81).

El autor Macha (2022) destaca el diseño de las mallas de perforación de voladuras en las labores mineras de Kolpa, tomó los modelos matemáticos de Ash y Pearse, los cuales relacionan parámetros importantes para un buen diseño de malla de perforación, esto consiste en considerar al explosivo, masa rocosa y geometría de disparo

2.2.2. Geometría

El concepto es el estudio de las propiedades y de las medidas de las figuras en el plano o en el espacio, según la RAE, (Real Academia Española, sf)

Según Macha Bruno (2022) plantea la geometría de disparo determina la voladura que originan los cortes, trazos, mallas de perforación, en donde existen variables controlables: diámetro de taladro, profundidad, burden, espaciamiento, cara libre, sobre excavación, inclinación, altura de carga explosiva, taco. Carga de fondo y de columna.

2.2.3. Perforación y voladura para tajos en vetas angostas

El sistema de percusión en un martillo funciona a través del desplazamiento alternativo de un pistón dentro de un cilindro. Este movimiento es generado por la presión de un fluido, como aire o aceite, que actúa sobre un área específica del pistón. La distancia que recorre dicho pistón, conocida como carrera, está determinada por el diseño del equipo y generalmente es constante (Condori Burgos, 2022, p. 54).

2.2.3.1. Perforación neumática.

El fluido es aire comprimido con valores entre 7 -25 bar, donde la percusión es fuera del taladro y transmite la energía a la broca a través de la sarta de varillaje, este proceso es llamado martillo en cabeza, en dicho impacto es consecuencia de tres de factores: presión

efectiva, área y carrera, posee los principios como: percusión, rotación, empuje y barrido con agua de detritus (Bernaola et al., 2013, p.13).

2.2.4. Diseño geométrico en tajos de explotación con cara libre

Se deben considerar los siguientes indicadores:

Diámetro de perforación: se empleará la perforadora neumática YT29A, por tanto, varía entre 34-42 mm ($\Theta = 1 \frac{1}{2}''$), son diámetros pequeños según López Jimeno.

Piedra (*burden*): debe ser reducida a fin de lograr lo deseado, y se calcula con la siguiente relación:

$$B = 0.76 * D * F \quad \text{para } D > 165 \text{ mm} \quad \text{ecuación 1}$$

$$B = 0.9(0.76 * D * F), \text{ para } D < 165 \text{ mm} \quad \text{ecuación 2}$$

Donde:

B= piedra (*burden*) en m

D= diámetro en pulgadas

F= factor de corrección en función de la clase de roca y tipo de explosivo

F= fr*fe, donde a su vez es similar a la siguiente ecuación:

$$fr = [(2.7 \times 3500) / (pr \times VC)]^{0.33} \quad \text{ecuación 3}$$

$$fe = [(pe \times VD^2) / (1.3 \times 3660^2)]^{0.33} \quad \text{ecuación 4}$$

donde:

pr = Densidad de la roca (g/cm^3)

pe = Densidad de la carga explosiva (g/cm^3)

VC = Velocidad sísmica de propagación del macizo rocoso (m/s)

VD = Velocidad de detonación del explosivo (m/s)

Espaciamiento: s se determinará con la siguiente ecuación:

$$S = 1.15 * B \text{ (m)} \quad \text{ecuación 5}$$

En la cual la relación $S/B = 1.15$, que permite establecer una malla triangular.

Profundidad del taladro: siendo variable entre 3 a 4 pies (1.22 m).

Taco: el taco corresponde a $1/3$ de la profundidad del taladro.

Sobre perforación: en este caso no se dispone este indicador, porque es subterránea, (Luis Correa & Martínez Díaz, 2017), pp. 78-81.

2.2.5. Explotación de vetas angostas

Se aplica en estructuras mineralizadas con potencia de veta entre 0.2-2 m, siendo extraídos por variados métodos, conforme a la valoración geomecánica y características de veta y roca encajante. Persigue los siguientes objetivos: a) obtener mínimo daño a la roca aledaña y mitigar riesgos de caída de rocas y costos de fortificación, b) mejorar la fragmentación del mineral, c) estimar rendimientos y eficiencias de perforación y voladura, d) disminuir los costos de perforación y voladura y e) reducir la dilución del mineral e incremento del valor por tonelada (VPT). Dan recomendaciones técnicas de perforación: 1) pintar los contornos de la veta y geometría de perforación fila por fila, conforme al buzamiento, y marcar al sección de los hastiales y techos y los puntos de posicionamiento del equipo, 2) mantener el paralelismo de perforación ser importante y evitar la dilución del mineral, cuando se usan Jack legs o stopers se deben usar tres guidores de madera, 3) los pisos donde se apoyará el pie de avance de perforadora debe ser firme y horizontal, 4) al iniciar la perforación de taladros en el emboquillado se debe hacer con menor presión de aire hasta introducir la broca al hoyo, 5) informar la presencia de geodas, fallas, etc. a la sección de geología, 6) en la perforación en

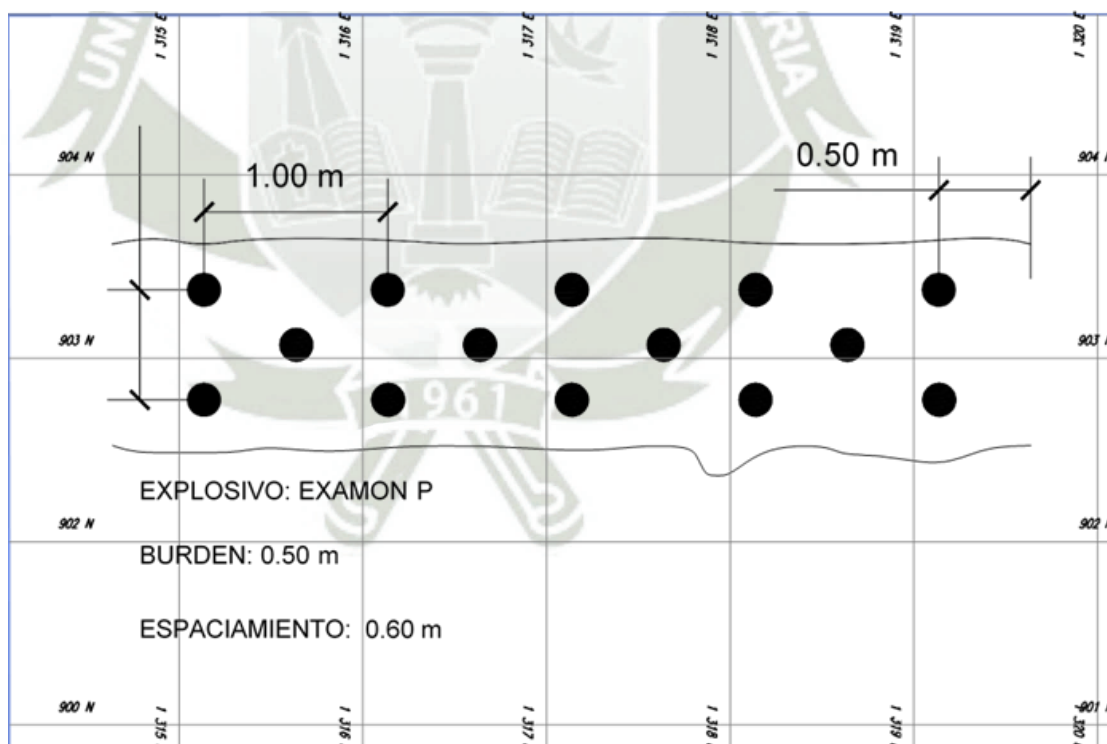
realce con maquina stopers u otro, la altura de perforación libre del piso al techo debe ser de 2.4 m para permitir el inicio con barra de dos pies, 7) el techo del tajo debe estar horizontal a fin de conseguir corte homogéneo, que la profundidad del taladro sean congruentes y fácil de cargar los explosivos, conexión con mecha rápida o amarre con exsaneles con el cordón detonante.

Geometría o malla de perforación

Varía de acuerdo a la potencia de la veta y pueden ser en zig-zag, cuadradas, rectangulares y triangulares (Exsa soluciones exactas, 2019, p.228).

Figura 1

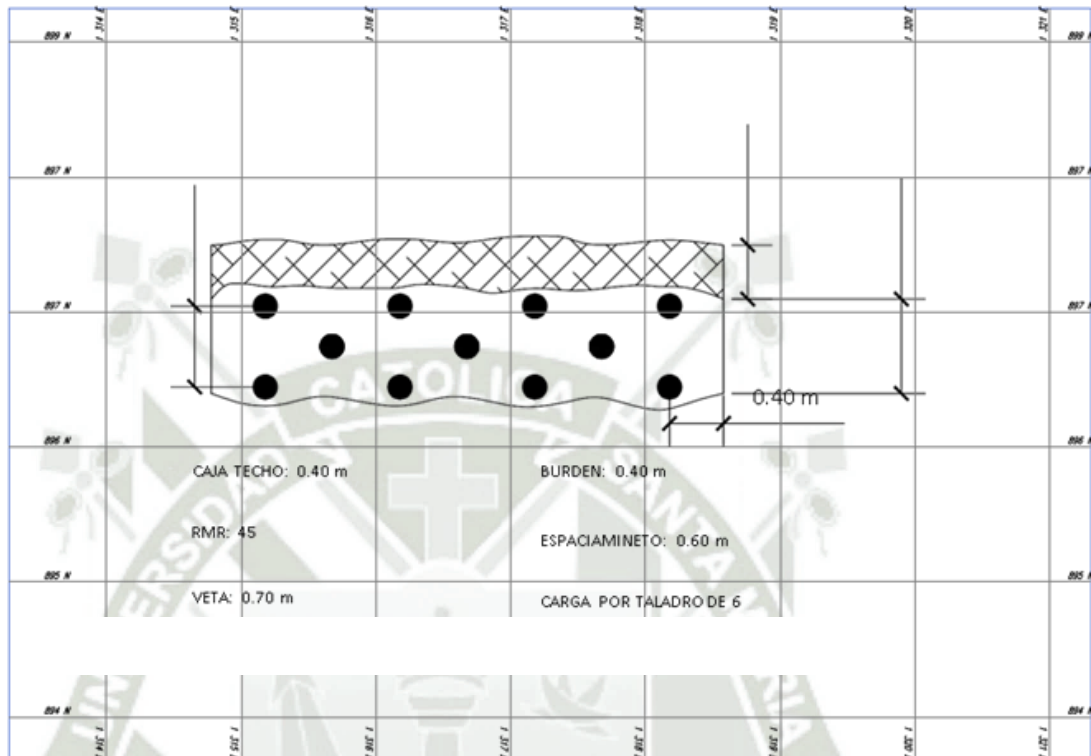
Diseño de geometría de perforación y voladura ancho de minado de 0.9 m y RMR 55.



Nota. Adaptado de Exsa soluciones exactas, 2019

Figura 2

Diseño de geometría de perforación y voladura en vetas angostas en ancho de minado de 0.7 m y RMR 40



Nota. Adaptado de Exsa soluciones exactas, 2019

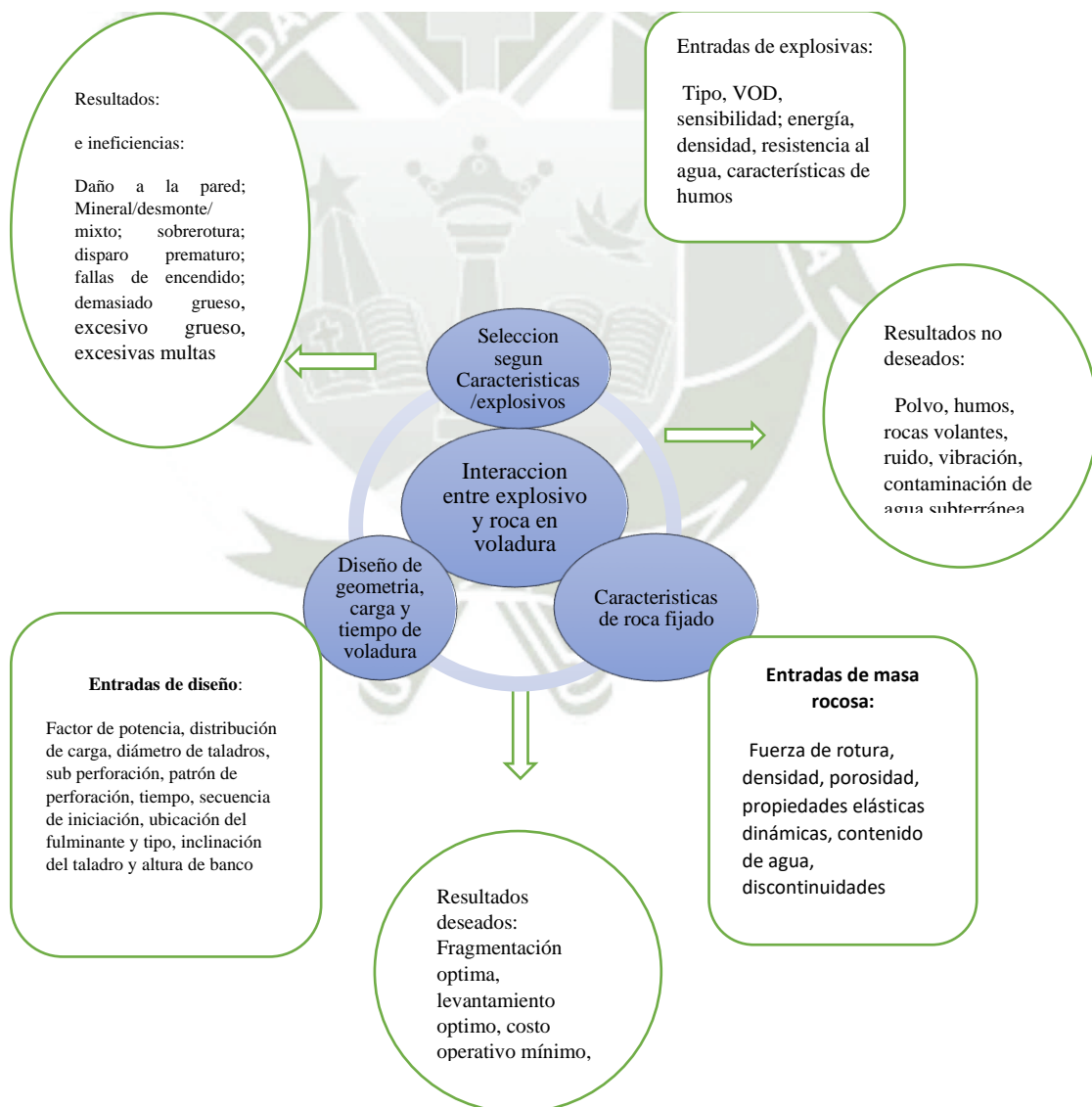
2.2.6. Geometría de voladura, carga, tiempo del diseño de voladura y característica de roca y explosivos

La voladura es un proceso complejo que involucra la interacción entre tres aspectos dominantes: la geología del macizo rocoso; la geometría de las superficies expuestas y los taladros; los explosivos y la secuencia de iniciación. La rápida liberación de la energía que sirve para fragmentar y mover la roca de su entorno geológico y hacer que la roca rota esté disponible para la excavación, transporte y más, generalmente, trituración mecánica. La energía química de los explosivos utilizados en las voladuras no todos utilizan trabajo completo parte de ella se convierte en energía sísmica (vibraciones del suelo), energía acústica (ruido o

chorro de aire) y calor. Una voladura produce material fino de utilidad limitada, gases no deseados y polvo en suspensión. En algún nivel, todos los resultados de una voladura tienen un efecto económico para la minería, cantera o proyecto de construcción, como sostiene Little and van Rooyen (1988), citado por (Singh & Sinha, 2012), p.23, luego en la figura 3, se muestra dicha interacción de los dominios señalados (muestra las tres áreas: geometría de voladura, carga y tiempo diseño de voladura; características del macizo rocoso; y características explosivas).

Figura 3

Interacción entre explosivo y masa rocosa, después de Little y Van Rooyen 1988



Nota. Adaptado de Torres, Little, y Van Rooyen (1988, p. 23).

2.2.7. Optimizar

Buscar la mejor manera de realizar una actividad, según

<https://dle.rae.es/optimizar>

1.2.7.1 Productiva:

Que tiene virtud de producir. En economía, que arroja un resultado favorable de valor entre precios y costos, según (Española, <https://dle.rae.es/productivo>, 2024).

2.2.8. Elementos de costos: clasificación de costos

- a) Materiales directos: Que intervienen en el proceso productivo: dinamita, fulminantes, guía de seguridad, barrenos, etc.;
- b) Mano de obra: Trabajadores extrayendo el mineral dentro de la mina.
- c) Costos indirectos: Son gastos que forman parte del proceso de transformación del concentrado que se extrae.

2.2.8.2.1. Clasificación de costos de producción minero

En la tabla se presenta

Tabla 1

Clasificación de costos

Costo de producción por unidad	Extracción mineral+ costo de planta +costo total de energía+ costo de unidades de servicio
Costo total de la empresa	Costo producción unidad +gastos administrativos +gasto de ventas +gastos financieros
Costo de extracción de mineral	Costo de prospección + exploración + preparación+ explotación+ mantenimiento de mina +costos de servicios + auxiliares a la producción + depreciación de mina
Costo de planta concentradora	Costo de operación de planta de beneficio +costo de mantenimiento de planta + costos administrativos de la planta + depreciación de planta

Nota. Adaptado de Torres Orihuela, Gustavo (s.f.)



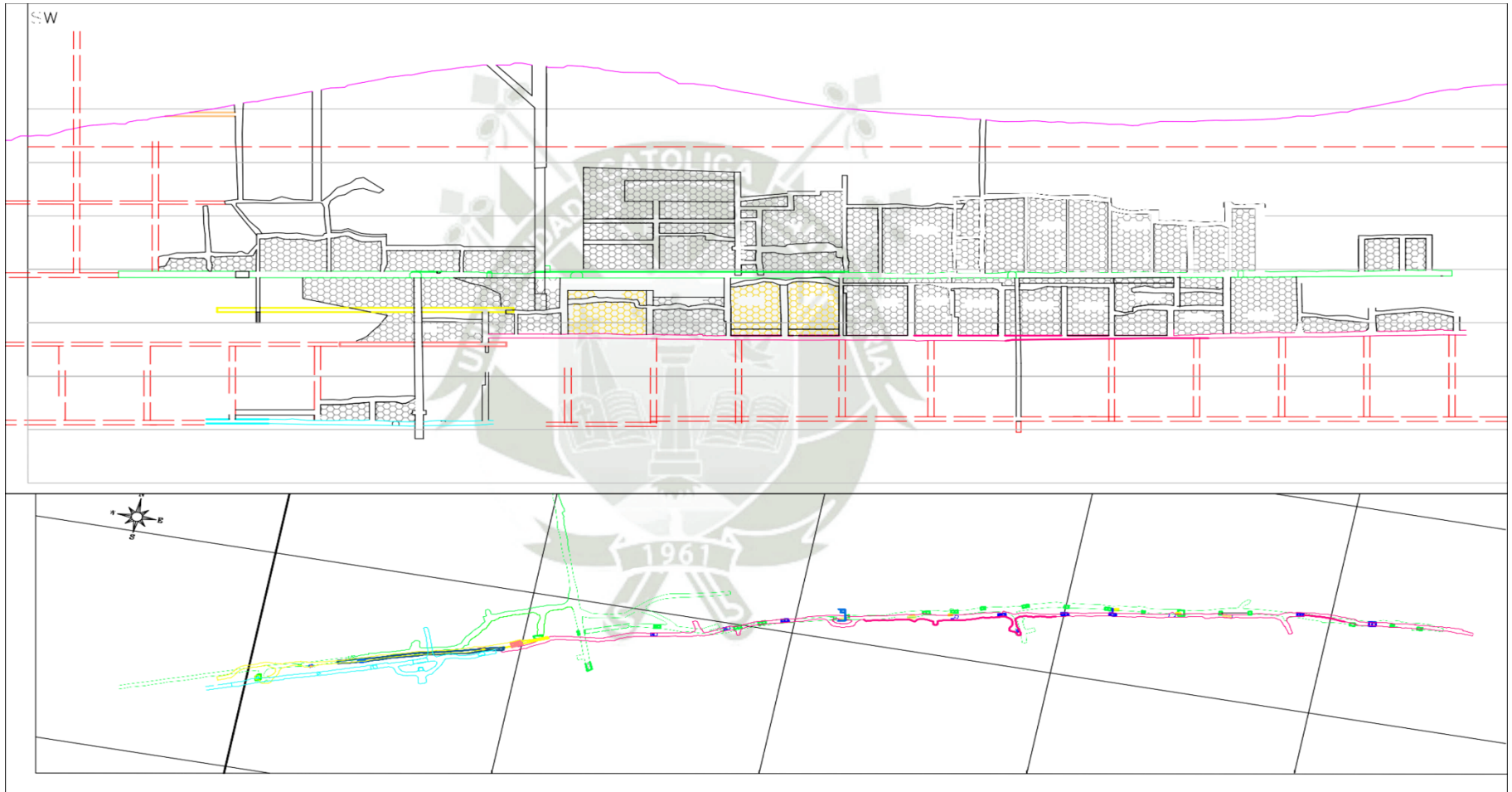
3. Marco Metodológico

3.1. Descripción litológica local de Compañía Minera Aurífera S.A Yarabamba

El proyecto minero El Explorador: Afloran las siguientes unidades. A) Grupo Yura, son areniscas cuarzosas de grano fino a medio. B) intrusivos, son 1) granodiorita Yarabamba, es roca receptora de mineralización principal; domina la parte baja hacia el norte y noreste, las vetas conocidas son Elisa, Koricancha, M, Valenciana y Esperanza, posee 68 m.a. 2) granodiorita Tiabaya, domina las cumbres altas y sur, por erosión están de bloques entre 0.4 a 3 m, tiene color gris claro. 3) pórfido dacítico, situado en interior mina tanto en la veta M y Koricancha en los diques de intrusión en las fallas, tiene asociación con mineralización en los pórfidos de Cerro verde y Don Javier. La principal falla y fracturas que controlan la mineralización es Incapuquio con dirección NO. La veta Koricancha, tiene 800 m de longitud en superficie y 500 m en el nivel 2750, espesor de 90 m, de dirección N75°E, y buzamiento de 80° SW, y potencia 0.25 m, por lo tanto, el recursos medidos, indicados e inferidos es sulfuros que alcanza a 209 757 t, con ley de 4.68% Cu/t, (2023). El proyecto en el nivel 2720 subnivel 380 NE, además la zona SW, tiene desarrollo de 90 m, así como también la galería 580 W otros 80 m, y existe una reserva de 5300 t, con ley de 4.2%Cu. Ver figura siguiente:

Figura 4

Plano a Esc 1/1000 niveles 2750,2720, 2675 de mina Koricancha



Continuando, para el objetivo específico 1 (OE1), en la línea base se evaluará el daño y condiciones actuales de los tajos mediante la observación directa y registros de las datas anteriores, la alta dilución de mineral se determinará en las muestras de mineral de los tajos que son enviadas al laboratorio, dándonos como resultado que los tajos tienen una ley promedio de 4% de Cu, pero después de realizar la extracción del mineral, este se reduce a 3%. Para objetivo específico 2 (O.E2): se obtendrá de investigaciones (área de geomecánica) de mapeo geo mecánico del Nv. 2720, de los tajos, consistente de RMR, variable entre 41-50, tipo III-B, calidad regular, requiere soporte, y RMR variable entre 51-60, tipo III-A, resistencia moderada, RDQ intermedio, discontinuidades espaciadas, cierta estabilidad. En cambio, para cumplir el objetivo específico 3 (O.E3), para diseño de geometría, fue a través del modelo matemático de López Jimeno, considerando los parámetros: diámetro de perforación, velocidad sísmica, características de explosivos (VOD), piedra, espaciamiento, taco, longitud de perforación y densidad lineal de carga explosiva de emulnor 3000, 1000 y 500. Por otro lado, según el objetivo específico 4 (OE4): se hizo capacitación al personal del área perforación y voladura en la sala de reuniones por el supervisor y luego entrenamiento practico en los tajos Codo 3 W-E y 455, siendo el instrumento de competencia para aplicar el nuevo diseño. Finalmente, el objetivo específico (OE5), se cumplió, haciendo la recolección de datos en hoja Excel con la técnica de observación directa y aplicando el instrumento de guía de observación y lista de cotejo, y luego se procesó con tablas dinámicas de Excel.

En la compañía Aurífera Yarabamba se explota principalmente cobre y secundariamente oro y plata, el cual para su extracción se realiza con el método de explotación corte relleno ascendente convencional con circado, se perfora con máquinas Jack leg YT 29A y RNP 250, la limpieza del material es de forma manual y el acarreo se realiza con el carro minero Z20 a pulso y la minidumper en el Nv 2720, luego se continua con el U-35 de rieles

con locomotora en el NV 2750. Siendo así, en las siguientes tablas 2, 3 y 4 se adjunta el resultado operativo de mina, los precios unitarios y antes de optimizar.



Tabla 2

Resultado operativo

Detalles de los costos de operaciones de mayo 2025

CECO	SUB CECO	<i>Tipo de Cambio de Soles a dólares</i>			\$ 3.78
Costos de seguridad					
				CON IGV	SIN IGV
101100	101102	EPP	S/ 7,992.10	\$ 2,114.31	\$ 1,791.79
<i>Total, de costos de seguridad</i>				\$ 2,114.31	\$ 1,791.79
Costos de administración					
				CON IGV	SIN IGV
			<i>camioneta (VDI-880</i>		
			<i>/ BOU-812)</i>		
102100	102112	<i>Combustible (Camioneta y Otros)</i>	S/ 981.12	\$ 12,655.57	\$ 10,725.06

		grupo de 450 kw	S/ 46,856.95		
		(mina+planta)			
		Mina	S/ 8,112.50		
		Planta	S/ 6,619.80	\$ 5,422.07	\$ 4,594.97
	Retroexcavadora	Administración	S/ 5,763.12		
	Total, de costos de administración			\$ 12,655.57	\$ 10,725.06
Costos de mina					
				CON IGV	SIN IGV
		Brocas	S/ 7,007.68		
103101	Varillaje (Brocas y barrenos)	Barrenos	S/ 5,590.09	\$ 3,332.74	\$ 2,824.36
103106	Sostenimiento (Tablas, puntales, split set, Cacho de toros)	Puntales	S/ 10,190.48		
		Tablas, listones y escaleras	S/ 17,071.50		
		Split set	S/ 1,411.03	\$ 8,212.87	\$ 6,960.06
		Malla	S/ 1,021.64		
		Cacho de Toros	S/ 1,350.00		

103107	Combustible (Compresora y grupo electrógeno)	Compresora	S/ 18,834.00		
		Grupo de 35kv	S/ 1,022.00	\$ 5,252.91	\$ 4,451.62
103100	Material critico (Emulsión encartuchada,	Explosivos y			
103108	fulminante, conector, mecha rápida, mecha lenta)	accesorios	S/ 64,703.16	\$ 17,117.24	\$ 14,506.13
Total, de costos de mina				\$ 33,915.76	\$ 28,742.17
Costos totales				\$ 48,685.65	\$ 41,259.02

Nota. Elaboración propia

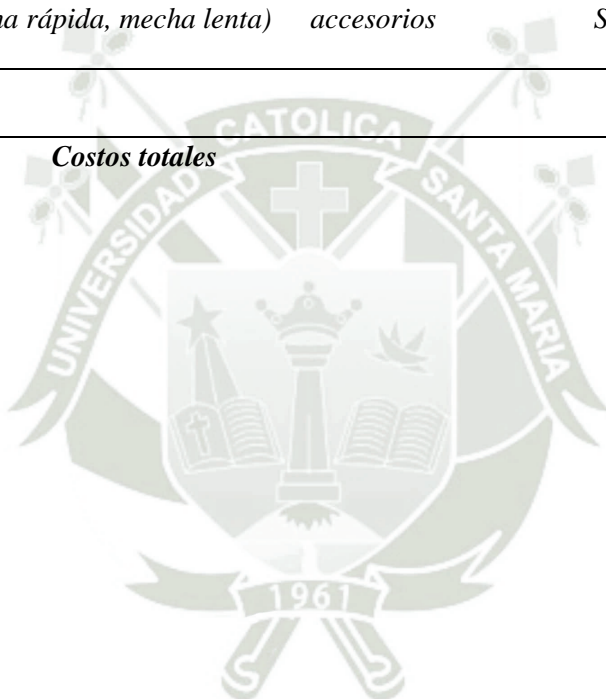


Tabla 3

Precios unitarios

<i>Precios unitarios (\$)</i>				
<i>N°</i>	<i>Descripción</i>	<i>cantidad</i>	<i>p.u (\$)</i>	<i>unidad</i>
1	<i>Mano de obra directa</i>			
1.1	<i>perforista</i>	1	\$ 736.84	<i>mensual</i>
1.2	<i>ayudante de perforista</i>	1	\$ 631.58	<i>mensual</i>
2	<i>Varillaje</i>			
2.1	<i>broca cónica 7/8' x 11 x 34mm</i>	1	\$ 0.1006	<i>p.p</i>
2.2	<i>broca cónica 7/8' x 11 x 36mm</i>	1	\$ 0.1046	<i>p.p</i>
2.3	<i>barra cónica 2 pies 11 7/8</i>	1	\$ 0.0828	<i>p.p</i>
2.4	<i>barra cónica 3 pies 11 7/8</i>	1	\$ 0.0917	<i>p.p</i>
2.5	<i>barra cónica 4 pies 11 7/8</i>	1	\$ 0.1035	<i>p.p</i>
3	<i>Explosivo</i>			
3.1	<i>Emulnor 5000 (1" x 7")</i>	1	\$ 0.5660	<i>unidad</i>
3.2	<i>Emulnor 3000 (1" x 7")</i>	1	\$ 0.4890	<i>unidad</i>
3.3	<i>Emulnor 1000 (1" x 7")</i>	1	\$ 0.4358	<i>unidad</i>
3.4	<i>Emulnor 500 (1" x 7")</i>	1	\$ 0.3268	<i>unidad</i>
3.5	<i>CARMEX 1.50 m</i>	1	\$ 1.4632	<i>unidad</i>
3.6	<i>CARMEX 1.80 m</i>	1	\$ 1.5458	<i>unidad</i>

3.7 MECHA RAPIDA Z-18 (150 m) 1 \$ 0.6490 metros

4 Equipo

4.1 Maquina perforadora YT-29 1 \$ 0.0085 p.p

Nota. Elaboración propia.

Tabla 4

Costo de Precios unitarios de minado antes de optimizar del Tajo Codo 3

PRECIOS UNITARIOS ANTES DE LA OPTIMIZACIÓN (\$)						
N°	DESCRIPCION	CANTIDAD	P/U (\$)	UNIDAD	COSTO (\$)	UNIDAD
0	DATOS					
	Sección	0.8 x 2.2		m		
	Longitud de Minado	8		m		
	Ancho de minado	0.4		m		
	Altura de minado	1.1		m		
	Pies Perforados	4		pies		
	Burden	0.30		m		
	Espaciamiento	0.40		m		
	N° de Taladros	48		#		
	Pies Perforados	192		pies		
	Explosivo/ Taladro	3		#		
	Tipo de Roca	Dura				
1	MANO DE OBRA DIRECTA					
1.1	PERFORISTA	1	\$ 736.84	mensual	\$ 36.84	Tarea
1.2	AYUDANTE DE PERFORISTA	1	\$ 631.58	mensual	\$ 31.58	Tarea
2	VARILLAJE					
2.1	BROCA CONICA 7/8' X 11 X 34MM	1	\$ 0.1006	P.P	\$ 19.31	Tarea
2.2	BROCA CONICA 7/8' X 11 X 36MM	1	\$ 0.1046	P.P	\$ -	
2.3	BARRA CONICA 2 PIES 11 7/8	1	\$ 0.0828	P.P		

2.4	BARRA CONICA 3 PIES 11 7/8	1	\$ 0.0917	P.P	\$ 17.61	Tarea
2.5	BARRA CONICA 4 PIES 11 7/8	1	\$ 0.1035	P.P	\$ 19.87	Tarea
3 EXPLOSIVO						
3.1	Emulnor 5000 (1" x 7")	1	\$ 0.5660	unidad	\$ -	
3.2	Emulnor 3000 (1" x 7")	1	\$ 0.4890	unidad	\$ 23.47	Tarea
3.3	Emulnor 1000 (1" x 7")	1	\$ 0.4358	unidad	\$ 41.84	Tarea
3.4	Emulnor 500 (1" x 7")	1	\$ 0.3268	unidad	\$ -	
3.5	CARMEX 1.50 m	1	\$ 1.4632	unidad	\$ 70.23	Tarea
3.6	CARMEX 1.80 m	1	\$ 1.5458	unidad	\$ -	
3.7	MECHA RAPIDA Z-18 (150 m)	1	\$ 0.6490	metros	\$ 12.46	Tarea
4 EQUIPO						
4.1	MAQUINA PERFORADORA YT-29	1	\$ 0.0085	P.P	\$ 1.63	Tarea
TOTAL					\$ 274.84	Tarea

Nota. Elaboración propia.

Tabla 5

Costo de precios unitarios de minado antes de optimizar del Tajo 455

<i>PRECIOS UNITARIOS ANTES DE LA OPTIMIZACIÓN (\$)</i>						
<i>N°</i>	<i>DESCRIPCION</i>	<i>CANTIDAD</i>	<i>P/U (\$)</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>COSTO (\$)</i>	<i>UNIDAD</i>
0	DATOS					
	<i>Sección</i>	<i>0.8 x 2.2</i>		<i>m</i>		
	<i>Longitud de Minado</i>	<i>8</i>		<i>m</i>		
	<i>Ancho de minado</i>	<i>0.4</i>		<i>m</i>		
	<i>Altura de minado</i>	<i>1.1</i>		<i>m</i>		
	<i>Pies Perforados</i>	<i>4</i>		<i>pies</i>		
	<i>Burden</i>	<i>0.30</i>		<i>m</i>		
	<i>Espaciamiento</i>	<i>0.40</i>		<i>m</i>		
	<i>N° de Taladros</i>	<i>48</i>		<i>#</i>		
	<i>Pies Perforados</i>	<i>192</i>		<i>pies</i>		
	<i>Explosivo/ Taladro</i>	<i>3</i>		<i>#</i>		
	<i>Tipo de Roca</i>	<i>Suave</i>				
1	MANO DE OBRA DIRECTA					
<i>1.1</i>	<i>PERFORISTA</i>	<i>1</i>	<i>\$ 736.84</i>	<i>mensual</i>	<i>\$ 36.84</i>	<i>Tarea</i>
<i>1.2</i>	<i>AYUDANTE DE PERFORISTA</i>	<i>1</i>	<i>\$ 631.58</i>	<i>mensual</i>	<i>\$ 31.58</i>	<i>Tarea</i>
2	VARILLAJE					
	<i>BROCA CONICA 7/8' X 11 X</i>					
<i>2.1</i>	<i>34MM</i>	<i>1</i>	<i>\$ 0.1006</i>	<i>P.P</i>	<i>\$ 19.31</i>	<i>Tarea</i>
	<i>BROCA CONICA 7/8' X 11 X</i>					
<i>2.2</i>	<i>36MM</i>	<i>1</i>	<i>\$ 0.1046</i>	<i>P.P</i>	<i>\$ -</i>	
<i>2.3</i>	<i>BARRA CONICA 2 PIES 11 7/8</i>	<i>1</i>	<i>\$ 0.0828</i>	<i>P.P</i>		
<i>2.4</i>	<i>BARRA CONICA 3 PIES 11 7/8</i>	<i>1</i>	<i>\$ 0.0917</i>	<i>P.P</i>	<i>\$ 17.61</i>	<i>Tarea</i>
<i>2.5</i>	<i>BARRA CONICA 4 PIES 11 7/8</i>	<i>1</i>	<i>\$ 0.1035</i>	<i>P.P</i>	<i>\$ 19.87</i>	<i>Tarea</i>
3	EXPLOSIVO					
<i>3.1</i>	<i>Emulnor 5000 (1" x 7")</i>	<i>1</i>	<i>\$ 0.5660</i>	<i>unidad</i>	<i>\$ -</i>	
<i>3.2</i>	<i>Emulnor 3000 (1" x 7")</i>	<i>1</i>	<i>\$ 0.4890</i>	<i>unidad</i>		

3.3	Emulnor 1000 (1" x 7")	1	\$ 0.4358	unidad	\$ 41.84	Tarea	
3.4	Emulnor 500 (1" x 7")	1	\$ 0.3268	unidad	\$ 15.68	Tarea	
3.5	CARMEX 1.50 m	1	\$ 1.4632	unidad	\$ 70.23	Tarea	
3.6	CARMEX 1.80 m	1	\$ 1.5458	unidad	\$ -		
3.7	MECHA RAPIDA Z-18 (150 m)	1	\$ 0.6490	metros	\$ 12.46	Tarea	
4	EQUIPO						
4.1	MAQUINA PERFORADORA YT-29	1	\$ 0.0085	P.P	\$ 1.63	Tarea	
	TOTAL				\$ 267.05	Tarea	

Nota. Elaboración propia

3.1.1. Ubicación

Está ubicado en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, entre las elevaciones de 2735 - 3155 msnm, área de 600 Has. Cuyas coordenadas UTM 19S, Datum WGS84, siguientes: N:8163192; E: 231500.

Coordenadas geográficas: 16°31' 20.3"S y 71°31' 105"W Siendo accesible por dos rutas desde Lima, por vía aérea (1h20min), y terrestre 16 horas. Luego de Arequipa hacia Yarabamba es carretera asfaltada (21 km), al último de Yarabamba, existe 10 km de camino afirmado hacia la mina. Ver figura 4

Figura 5

Ubicación de mina



Nota. Fuente. Referencia de Google Maps.

Figura 6

Mapa de Ubicación y Ruta de Acceso a la Minera Aurífera Yarabamba

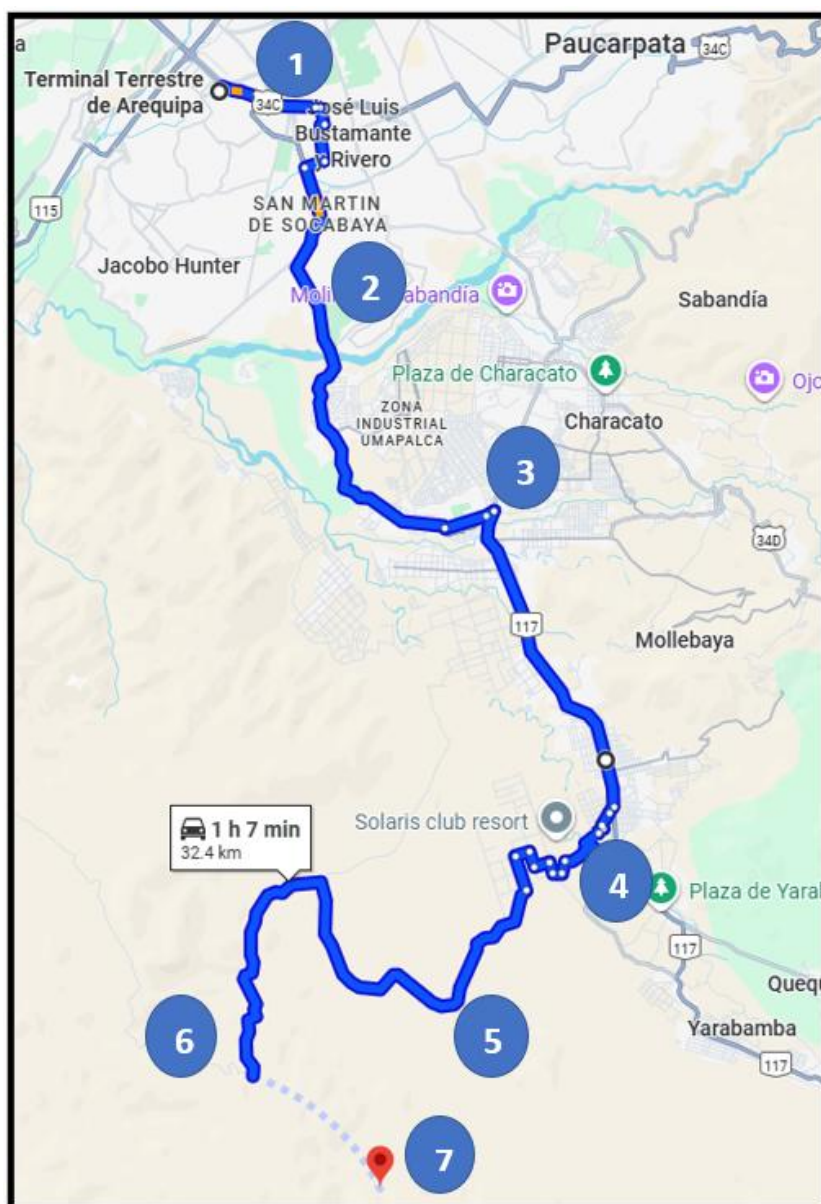


Tabla 6

Puntos de Ruta de Acceso a la Minera Aurífera Yarabamba

	RUTAS	TIEMPOS
PUNTO 1	TERMINAL TERRESTE DE AREQUIPA	
PUNTO 2	VIA SABANDIA	
PUNTO 3	VIA CHARACATO	47 MINUTOS
PUNTO 4	VIA YARABAMBA	
PUNTO 5	CAMINO AFIRMADO	20 MINUTOS
PUNTO 6	GARITA DE CERRO VERDE	
PUNTO 7	CIA AURIFERA YARABAMBA	25 MINUTOS

Nota. Elaboración propia.

3.2. Alcances y limitaciones

En cuanto a alcances, es el diseño geométrico de perforación y voladura en vetas angostas de potencia promedio 0.25 m, y ley de 3.15% Cu, en la veta Koricancha del nivel 2750 SW entre óxidos y sulfuros, considerando evitar la dilución en la explotación por corte y relleno convencional, siempre aplicar el circado. Las limitaciones son: condiciones de seguridad y accesibilidad tanto al interior mina y superficie para tomar muestras; presupuestos para exploración y adecuación; planificación a corto, mediano y largo plazo; evaluación del macizo rocoso; acceso a software de ingeniería de voladura y limitación para acceder a datos de operaciones.

3.3. Aporte

Es la aplicación tecnológica y científica de la interacción entre tres dimensiones fundamentales, la geología del macizo rocoso; la geometría de las superficies expuestas y los taladros; los explosivos y la secuencia de iniciación, para el diseño geométrico (malla) según Little and van Rooyen (1988).

3.4. Tipo y nivel de investigación

El tipo, atendiendo al objeto de estudio, si el objetivo se basa en aumentar el conocimiento, es investigación aplicada, (Sanca Tinta, 2011).

Nivel de investigación, según Valderrama (2016) como se citó en (Condori Ojeda, 2020), es correlacional, debido a la existencia de relación de concomitancia.

3.5. Población y muestra o universo

Población, es un conjunto de elementos accesibles o unidad de análisis que pertenece al ámbito especial donde se desarrolla el estudio, según (Condori-Ojeda, 2020), p.3. En este caso están constituidos por la veta Koricancha del nivel 2750 SW, NE, los siguientes tajos (tj): 455, Codo 3 W-E, 485, 505, 665, 690, 715 y 745.

Muestra, es un subconjunto de la población con las mismas características generales de la población, tal como sostiene (Condori-Ojeda, 2020), p.3. a continuación se muestra los tipos de muestreo. Hay diferentes tipos de muestreo: Aleatorio, cuando se selecciona al azar y cada miembro tiene igual oportunidad de ser incluido. Estratificada, cuando se subdivide en estratos según las características o variables que se pretende investigar. Cada estrato corresponde proporcionalmente a la población y sistemática, cuando se establece un patrón o criterio al seleccionar la muestra.

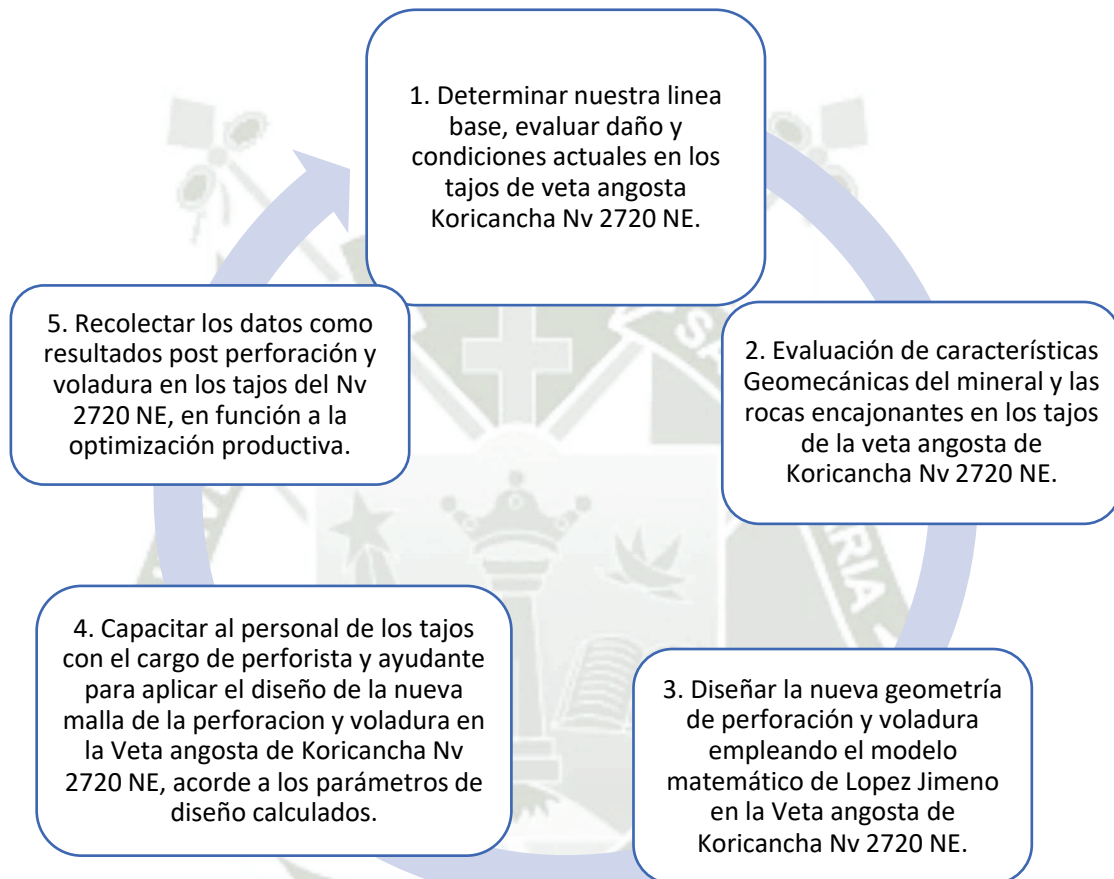
Los Métodos de Muestreo pueden ser dos: Probabilístico: Muestreo aleatorio simple, muestreo sistemático, muestreo estratificado. No Probabilístico: Muestreo proporcional, muestreo intencionado, muestreo de juicio. Siendo la muestra de tipo no probabilístico intencionado, de 6 voladuras de los tajos 455 y tajo codo 3 W, del Nv 2720 NE.

3.6. Métodos, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Método: se representa en la siguiente figura:

Figura 7

Metodología de investigación



Técnicas:

Será de observación directa, de tipo registro general y abordaje de observación estructurada.

Instrumentos:

- a) Flexómetro
- b) guía de observación y
- c) lista de cotejo, ver tablas 1, 2 siguientes:

Tabla 7

Guía de observación

Guía de observación del comportamiento de perforación y voladura en vetas angostas

Aspecto observado:

Lugar:

Nivel:

Veta:

Orientación:

Fecha de observación:

Tiempo de duración de la observación:

1. Factores internos que considera de la perforación y voladura _____
2. Tiempo de precisión para la perforación y voladura _____

3. Nivel de importancia que tiene la perforación y voladura _____

Nota. Elaboración propia.

Tabla 8

Lista de Cotejo

Lista de cotejo de diseño geométrico de perforación y voladura en vetas angostas

Nombre del tajo: Vida de labor:

Nivel.....orientación:

Nombre de veta:ancho de veta:

Poner X, Tipo de circado de veta: a) 1° perforación en veta:b) 2° perforación en
caja:

Geometría de perforación y voladura actual, colocar una X:

Piedra o burden (m):

Espaciamiento (m)

Dirección de taladro:

Realce/ horizontal:

Nominación:

Zigzag: alternado:

Explosivos usados

En cebo:

Carga de columna:

Tipo de iniciación:

Convencional:

Detonador no eléctrico:

Electrónico:

Nota. Elaboración propia.

3.7. Plan de análisis estadístico de los datos y procesamiento de datos

Se empleó el análisis estadístico descriptivo y herramientas estadísticas de tipo medidas de tendencia central, medidas de variabilidad, para describir las características del conjunto de datos como tablas de frecuencia, etc.

El procesamiento, se hizo del siguiente modo:

- La línea base, por revisión de reportes anteriores y levantamiento topográfico quincenal.
- La evaluación de la calidad de roca (RMR), por medio investigaciones de mapeo geomecánica del nivel 2720 NE, que hizo el área de respectivo, del cual se obtuvo dichos valores.
- El diseño geométrico, para la nueva malla, a través tablas dinámicas de Excel, y AutoCAD.
- Para la capacitación del personal de perforación y voladura, se hizo empleando canva y power point, herramientas digitales de comunicación.
- En la recolección de datos, fue en tablas dinámicas de Microsoft Excel
- Microsoft Word: Para la redacción del presente proyecto de tesis.

3.8. Descripción de la propuesta

El cálculo de geometría de perforación y voladura aplicando el modelo matemático de López Jimeno Carlos, es siguiendo la formula:

$$B= 0.9*(0.76*D*F)$$

Donde:

B= piedra (*burden*) en m

D= diámetro del taladro en pulgadas

F= factor de corrección en función de la clase de roca/mineral (Fr) y tipo de explosivo empleado (Fe), siendo igual a $F = Fr * Fe$, esto es a su vez es similar a:

$$Fr = \left(\frac{2.7 * 3500}{\rho_r * V_c} \right)^{0.33}$$

$$Fe = \left(\frac{\rho_e * VD^2}{1.3 * 3660^2} \right)^{0.33}$$

Los símbolos de la ecuación se interpretan así:

ρ_r = densidad de la roca/mineral en g/cm^3 (g/cc)

V_c = velocidad sísmica de roca/ mineral en m/s

ρ_e = densidad del explosivo usado (caso emulnor de 1000), según el fabricante

VD = velocidad de detonación del explosivo, según catalogo del fabricante.

Luego, procedemos a ingresar los datos reales de campo:

ρ_r = densidad de roca caja granodiorita Yarabamba = 2.7 g/cc (desmonte); y del mineral calcopirita ($CuFeS_2$) (sulfuro) en veta es= 4.3 g/cc (Victoria Jorge, 2015), considerando las alteraciones en la zona de sulfuros primarios de argílica y sericita, se trabaja con el valor de 4.3 g/cc. Este valor se toma, debido al efectuar el diseño de geometría en zona mineralizada.

V_c = Velocidad sísmica del mineral calcopirita = 6000 m/s

ρ_e = densidad de emulnor 1000 del cebo como carga de fondo: 1.13 g/cc

VD = velocidad de detonación del emulnor 1000 = 5700 m/s

D = Diámetro del taladro (34mm o 1.33 Pulg)

Remplazando los valores descritos y explicados, en las ecuaciones 1,2,3, y 4 (sección 2.2.4.), se obtiene:

$$Fr = \left(\frac{2.7 \cdot 3500}{4.3 \cdot 6000} \right)^{0.33} =$$

Por tanto, el valor calculado es $Fr = 0.72$

$$Fe = \left(\frac{1.13 \cdot 5700}{1.3 \cdot 3660} \right)^{0.33} =$$

De similar forma el valor calculado es $Fe = 1.28$

$$F = Fr \cdot Fe =$$

$$F = 0.72 \cdot 1.28$$

$$F = 0.92$$

Donde la piedra resulta calculada es:

$$B = 0.9 \cdot (0.76 \cdot D \cdot F)$$

$$B = 0.9 \cdot (0.76 \cdot 1.33 \cdot 0.92)$$

$$B = 0.7 \text{ m}$$

A su vez el espaciamiento será:

$$S = 1.33 \cdot B$$

$$S = 1.33 \cdot 0.7$$

$$S = 0.9 \text{ m.}$$



4. Análisis y Discusión de Resultados

4.1. Determinación de la línea base

Objetivo específico 1: determinar la línea base, evaluando el daño y condiciones actuales en los tajos de la veta angosta Koricancha NV 2720 NE:

Se perfora en realce con barras de 3 y 4 pies con un ángulo de 75° a 85, con maquina YT-29 para tajos y consume 80 CFM, en tramos de 30 metros, haciendo 20 taladros/ guardia y burden de 0.30 m por 0.40 m de espaciamiento, en zigzag, existiendo dilución debido al resultado de sobre excavación hasta de 25%. Para tajos se usan:

- Broca Cónica 7/8' x 11 x 34 mm
- Barra cónica 2 pies 11 7/8'
- Barra cónica 3 pies 11 7/8'
- Barra cónica 4 pies 11 7/8'.

Potencia de veta variable entre 10 a 20 cm, ancho de labor es 80 cm, de los cuales 40 cm a 50 cm es desmonte y el ancho de veta es de 10 a 20 cm según el comportamiento de la veta. Se realiza el circado, que consiste, primero se dispara mineral sobre una manta de jebe para recuperar lo mayor posible, según el ancho de veta se puede disparar entre 30 y 40 cm de mineral, luego de la limpieza se procede a disparar desmonte para rellenar el piso y seguir avanzando en el tajo.

Se usa el explosivo en tajos: Emulnor 1000 1"x7" (Emulsión o Hidrogel encartuchada) y Emulnor 3000 1"x7" (Emulsión o Hidrogel encartuchada). Los accesorios de voladura utilizados son:

- a) Carmex de 1.50 m (conector, mecha de seguridad, Fulminante)
- b) Carmex de 1.80 m (conector, mecha de seguridad, Fulminante)

c) mecha rápida Z-18 (150 m) (cordón de ignición).

Fórmula para calcular el porcentaje de dilución (método O'Hara)

$$\% \text{ dilución} = \frac{25}{\sqrt{A.V. * \text{sen } \beta}} \quad \text{ecuación 6}$$

Donde.

A.V = Ancho de Veta

A.V = Promedio 0.2 m

$\text{sen } \beta = 80^\circ = 0.9988$

reemplazando valores, obtenemos:

% dilución = 56.

Luego calculamos desmonte = 0.5 m (ancho de dilución).

En la siguiente foto, se presenta la fragmentación obtenida:

Figura 8

Foto de fragmentación gruesa línea base



Figura 9

Esquema de perforación y trazo en línea base



Tabla 9

Factor de potencia tajo 455, antes de la optimización

PARAMETROS		
Longitud de Minado	8	m
Ancho de minado	0.4	m
Altura de minado	1.1	m
Pies Perforados	4	
Metros Cubicos	3.52	m ³
Densidad	2.7	Kg/m ³
Tonelaje	9.504	Tn
EXPLOSIVO		
Emulnor 3000	9.091	Kg
Emulnor 1000	3.776	Kg
Explosivo Total	12.867	Kg
FACTOR DE POTENCIA	1.35	Kg/Tn

Nota. Elaboración propia.

Tabla 10

Factor de potencia en tajo Codo 3, antes de la optimización

PARAMETROS		
Longitud de Minado	8	m
Ancho de minado	0.4	m
Altura de minado	1.1	m
Pies Perforados	4	
Metros Cúbicos	3.52	m ³
Densidad	2.7	Kg/m ³
Tonelaje	9.504	Tn
EXPLOSIVO		
Emulnor 3000	4.62	Kg
Emulnor 1000	9.09	Kg
Explosivo Total	13.71	Kg
FACTOR DE POTENCIA	1.44	Kg/Tn

Nota. Elaboración propia.

4.2. Características geomecánicas del yacimiento

Objetivo específico 2: evaluar las características geomecánicas del mineral y las rocas encajonantes en los tajos de la veta angosta Koricancha nivel 2720 NE.

En la siguiente tabla se presentan los valores según la clasificación de R.M.R 1989.

Tabla 11

Características geomecánicas de roca encajonante

Labores	Nivel	RMR	Valoración
Tajo 525	2720	51	REGULAR
Tajo 505	2720	51	REGULAR
Tajo 645	2720	42	REGULAR
Galería 585 W	2720	43	REGULAR
Galería 585 E	2720	64	BUENO
Pique 585	2720	72	BUENO

Nota. Elaboración propia.

4.3. Diseño de la nueva geometría de perforación y voladura empleando el modelo matemático de López

Objetivo específico 3: Diseñar la nueva geometría de perforación y voladura empleando el modelo matemático de López Jimeno en la veta angosta Koricancha nivel 2720 NE.

En este cálculo es para veta, considerando está emplazada en el mineral. Por tanto, se tiene:

$$Fr = \left(\frac{2.7 * 3500}{2.46 * 5000} \right)^{0.33}$$

Donde

La densidad de roca (Mineral) = 4.3 g/cc

VC= velocidad sísmica de mineral = 6000 m/s

Resulta FR = 0.72

Mientras el valor de fe:

$$Fe = \left(\frac{1.14 * 5700}{1.3 * 3660} \right)^{0.33}$$

Donde:

Densidad del explosivo emulnor 1000= 1.13 g/cc

VOD= velocidad de detonación del emulnor 1000= 5700 m/s

Por tanto, el valor de FE= 1.28

$$F = FR * FE$$

$$F = 0.72 * 1.28$$

$$Fe = 0.92$$

En nuevo burden o piedra = B= 0.9 (0.76*D*F)

$$\text{Dando valores } B = 0.9 * (0.76) * (1.33) * (0.92)$$

$$B = 0.7 \text{ m}$$

$$S = 1.33 * 0.7 = 0.9 \text{ m}$$

En la sección se presenta la aplicación en la veta codo 3 W, NV 2720 NE, optimizando del siguiente modo:

Tabla 12*Resumen de pruebas de perforación y voladura en vetas angostas de tajos Codo 3 E y W ,t- 455*

Labor	Ancho de minado m	Calidad de roca	Burden m	Espaciamiento m	Altura de corte	Emulnor 3000	Emulnor 1000	Emulnor 500	Fragmentación	Sobre excavación
CODO 3 W	0.4	dura	0.35	0.47	1.1	1	2	0	buena	aceptable
CODO 3 W	0.4	dura	0.5	0.67	1.1	1	2	0	buena	aceptable
CODO 3 W	0.4	dura	0.55	0.73	1.1	1	2	0	buena	aceptable
CODO 3 W	0.4	dura	0.7	0.93	1.1	1	2	0	buena	aceptable
Tajo 455	0.4	regular	0.35	0.47	1.1	0	2	1	buena	aceptable
Tajo 455	0.4	regular	0.5	0.67	1.1	0	2	1	buena	aceptable
Tajo 455	0.4	regular	0.55	0.73	1.1	0	2	1	buena	aceptable
Tajo 455	0.4	regular	0.7	0.93	1.1	0	2	1	buena	aceptable

Nota. Elaboración propia.

A continuación, se ilustra con fotos del Tajo Codo 3 corroborando la tabla anterior:

Figura 10

Geometría de perforación en tajo codo 3



Figura 11

Resultado de la voladura y buena fragmentación en tajo codo 3



Figura 12

*Foto de sobre excavación (dilución) en tajo codo 3
mejorado y estable*



A continuación, se ilustra con fotos del Tajo 455 corroborando la tabla anterior:

Figura 13

Geometría de perforación en tajo 455



Figura 14

Resultado de la voladura y buena fragmentación en tajo 455



Figura 15

Foto de sobre excavación (dilución) en tajo 455 mejorado y estable



Seguidamente se demuestran los resultados de las pruebas en el tajo Codo 3W - E, y tajo 455, antes y después el mejorado, con reducción de costos de las actividades e insumos empleados:

Tabla 13

Costos de perforación y voladura de optimizar tajo Codo 3 W-E, antes de la optimización

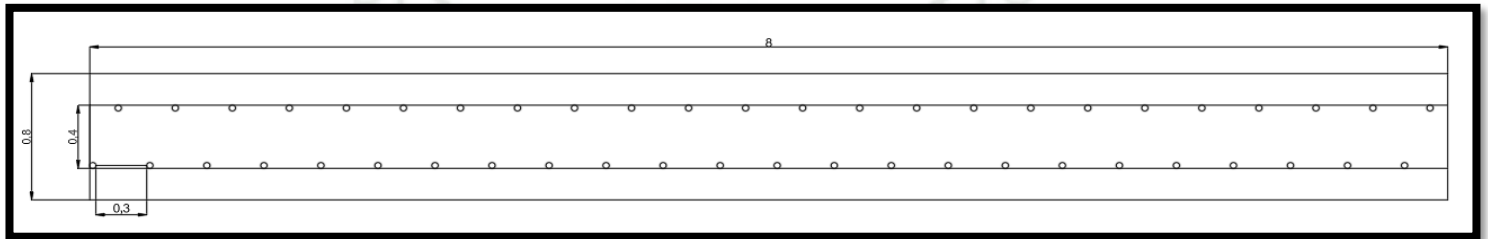
TAJO CODO 3 - ANTES DE LA OPTIMIZACIÓN

N°	DESCRIPCION	CANTIDAD	P/U (\$)	UNIDAD	COSTO (\$)	UNIDAD
0 DATOS						
	Longitud de Minado	8		m		
	Ancho de minado	0.4		m		
	Altura de minado	1.1		m		
	Pies Perforados	4		pies		
	Burden	0.30		m		
	Espaciamiento	0.40		m		
	N° de Taladros	48		#		
	Pies Perforados	192		pies		
	Explosivo/ Taladro	3		#		
	Tipo de Roca	Dura				
1 MANO DE OBRA DIRECTA						
1.1	PERFORISTA	1	\$ 736.84	mensual	\$ 36.84	Tarea
1.2	AYUDANTE DE PERFORISTA	1	\$ 631.58	mensual	\$ 31.58	Tarea
	TOTAL				\$ 68.42	
2 VARILLAJE						
2.1	BROCA CONICA 7/8' X 11 X 34MM	1	\$ 0.1006	P.P	\$ 19.31	Tarea
2.4	BARRA CONICA 3 PIES 11 7/8	1	\$ 0.0917	P.P	\$ 17.61	Tarea
2.5	BARRA CONICA 4 PIES 11 7/8	1	\$ 0.1035	P.P	\$ 19.87	Tarea
	TOTAL				\$ 56.78	
3 EXPLOSIVO						
3.2	Emulnor 3000 (1" x 7")	1	\$ 0.4890		\$ 23.47	Tarea
3.3	Emulnor 1000 (1" x 7")	2	\$ 0.4358	unidad	\$ 41.84	Tarea
3.5	CARMEX 1.50 m	1	\$ 1.4632	unidad	\$ 70.23	Tarea
3.7	MECHA RAPIDA Z-18 (150 m)	19	\$ 0.6490	m	\$ 12.46	Tarea

TOTAL					\$ 148.00	
4 EQUIPO						
4.1	MAQUINA PERFORADORA YT-29	1	\$ 0.0085	P.P	\$ 1.63	Tarea
TOTAL					\$ 1.63	
TOTAL					\$ 274.84	Tarea

Figura 16

Geometría de perforación tajo Codo 3 antes de la optimización



Nota. Elaboración propia.

Tabla 14

Costos de perforación y voladura Tajo Codo 3 W-E prueba 1, después de la optimización

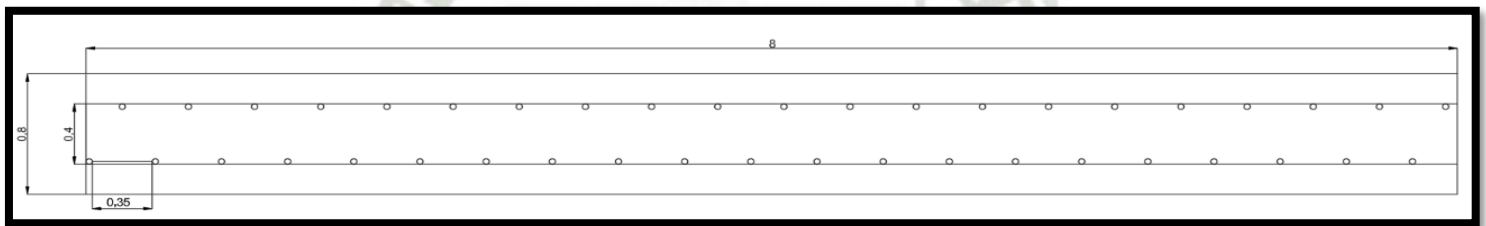
TAJO CODO 3 - PRUEBA 1

N°	DESCRIPCION	CANTIDAD	P/U (\$)	UNIDAD	COSTO (\$)	UNIDAD
0	DATOS					
	Longitud de Minado	8		m		
	Ancho de minado	0.4		m		
	Altura de minado	1.1		m		
	Pies Perforados	4		pies		
	Burden	0.35		m		
	Espaciamiento	0.47		m		
	N° de Taladros	42		#		
	Pies Perforados	168		pies		
	Explosivo/ Taladro	3		#		
	Tipo de Roca	Dura				
1	MANO DE OBRA DIRECTA					
1.1	PERFORISTA	1	\$ 736.84	mensual	\$ 36.84	Tarea
1.2	AYUDANTE DE PERFORISTA	1	\$ 631.58	mensual	\$ 31.58	Tarea
	TOTAL				\$ 68.42	
2	VARILLAJE					
2.1	BROCA CONICA 7/8' X 11 X 34MM	1	\$ 0.1006	P.P	\$ 16.90	Tarea
2.4	BARRA CONICA 3 PIES 11 7/8	1	\$ 0.0917	P.P	\$ 15.41	Tarea
2.5	BARRA CONICA 4 PIES 11 7/8	1	\$ 0.1035	P.P	\$ 17.39	Tarea
	TOTAL				\$ 49.69	
3	EXPLOSIVO					
3.2	Emulnor 3000 (1" x 7")	1	\$ 0.4890	unidad	\$ 20.54	Tarea

3.3	Emulnor 1000 (1" x 7")	2	\$ 0.4358	unidad	\$ 36.61	Tarea
3.5	CARMEX 1.50 m	1	\$ 1.4632	unidad	\$ 61.45	Tarea
3.7	MECHA RAPIDA Z- 18 (150 m)	20	\$ 0.6490	mensual	\$ 12.72	Tarea
TOTAL					\$ 131.32	
4 EQUIPO						
4.1	MAQUINA PERFORADORA YT- 29	1	\$ 0.0085	P.P	\$ 1.43	Tarea
TOTAL					\$ 1.43	
TOTAL					\$ 250.86	Tarea

Figura 17

Geometría de perforación en tajo codo 3, prueba 01



Nota. Elaboración propia.

Tabla 15

Costos de perforación y voladura t-Codo 3 prueba 2 después de la optimización

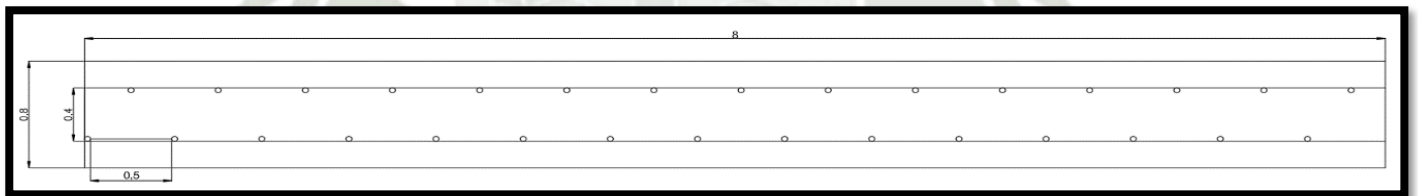
TAJO CODO 3 - PRUEBA 2

N°	DESCRIPCION	CANTIDAD	P/U (\$)	UNIDAD	COSTO (\$)	UNIDAD
0 DATOS						
	Longitud de Minado	8		m		
	Ancho de minado	0.4		m		
	Altura de minado	1.1		m		
	Pies Perforados	4		pies		
	Burden	0.50		m		
	Espaciamiento	0.67		m		
	N° de Taladros	30		#		
	Pies Perforados	120		pies		
	Explosivo/ Taladro	3		#		
	Tipo de Roca	Dura				
1 MANO DE OBRA DIRECTA						
1.1	PERFORISTA	1	\$ 736.84	mensual	\$ 36.84	Tarea
1.2	AYUDANTE DE PERFORISTA	1	\$ 631.58	mensual	\$ 31.58	Tarea
TOTAL					\$ 68.42	
2 VARILLAJE						
2.1	BROCA CONICA 7/8' X 11 X 34MM	1	\$ 0.1006	P.P	\$ 12.07	Tarea
2.4	BARRA CONICA 3 PIES 11 7/8	1	\$ 0.0917	P.P	\$ 11.00	Tarea
2.5	BARRA CONICA 4 PIES 11 7/8	1	\$ 0.1035	P.P	\$ 12.42	Tarea
TOTAL					\$ 35.49	
3 EXPLOSIVO						

3.2	Emulnor 3000 (1" x 7")	1	\$ 0.4890	unidad	\$ 14.67	Tarea
3.3	Emulnor 1000 (1" x 7")	2	\$ 0.4358	unidad	\$ 26.15	Tarea
3.5	CARMEX 1.50 m	1	\$ 1.4632	unidad	\$ 43.90	Tarea
3.7	MECHA RAPIDA Z-18 (150 m)	20	\$ 0.6490	metros	\$ 12.98	Tarea
TOTAL					\$ 97.69	
4 EQUIPO						
4.1	MAQUINA PERFORADORA YT-29	1	\$ 0.0085	P.P	\$ 1.02	Tarea
TOTAL					\$ 1.02	
TOTAL					\$ 202.63	Tarea

Figura 18

Geometría de perforación en tajo codo 3, prueba 02



Nota. Elaboración propia.

Tabla 16

Costos de perforación y voladura t-Codo 3 W-E prueba 3 después de la optimización

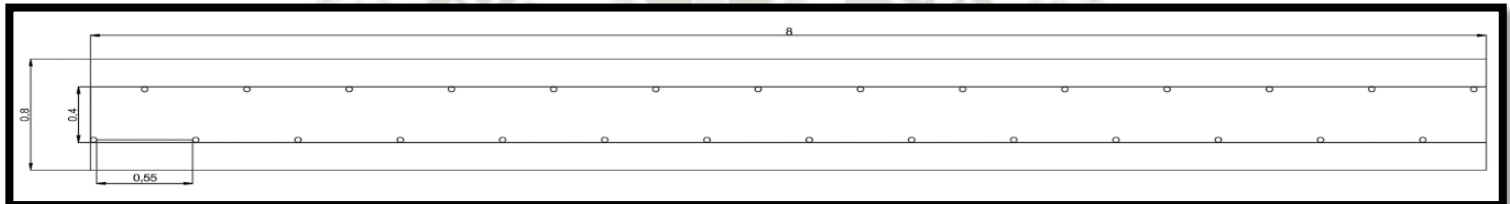
TAJO CODO 3 - PRUEBA 3

N°	DESCRIPCION	CANTIDAD	P/U (\$)	UNIDAD	COSTO (\$)	UNIDAD
0	DATOS					
	Longitud de Minado	8		m		
	Ancho de minado	0.4		m		
	Altura de minado	1.1		m		
	Pies Perforados	4		pies		
	Burden	0.55		m		
	Espaciamiento	0.73		m		
	N° de Taladros	28		#		
	Pies Perforados	112		pies		
	Explosivo/ Taladro	3		#		
	Tipo de Roca	Dura				
1	MANO DE OBRA DIRECTA					
1.1	PERFORISTA	1	\$ 736.84	mensual	\$ 36.84	Tarea
1.2	AYUDANTE DE PERFORISTA	1	\$ 631.58	mensual	\$ 31.58	Tarea
	TOTAL				\$ 68.42	
2	VARILLAJE					
2.1	BROCA CONICA 7/8' X 11 X 34MM	1	\$ 0.1006	P.P	\$ 11.26	Tarea
2.4	BARRA CONICA 3 PIES 11 7/8	1	\$ 0.0917	P.P	\$ 10.27	Tarea
2.5	BARRA CONICA 4 PIES 11 7/8	1	\$ 0.1035	P.P	\$ 11.59	Tarea
	TOTAL				\$ 33.12	
3	EXPLOSIVO					
3.2	Emulnor 3000 (1" x 7")	1	\$ 0.4890	unidad	\$ 13.69	Tarea
3.3	Emulnor 1000 (1" x 7")	2	\$ 0.4358	unidad	\$ 24.40	Tarea
3.5	CARMEX 1.50 m	1	\$ 1.4632	unidad	\$ 40.97	Tarea

3.7	MECHA RAPIDA Z-18 (150 m)	21	\$ 0.6490	metros	\$ 13.33	Tarea
TOTAL					\$ 92.39	
4 EQUIPO						
4.1	MAQUINA PERFORADORA YT-29	1	\$ 0.0085	P.P	\$ 0.95	Tarea
TOTAL					\$ 0.95	
TOTAL					\$ 194.89	Tarea

Figura 19

Geometría de perforación en tajo codo 3, prueba 03



Nota. Elaboración propia.

Tabla 17

Costos de perforación y voladura t-Codo 3 W-E prueba 4, después de la optimización

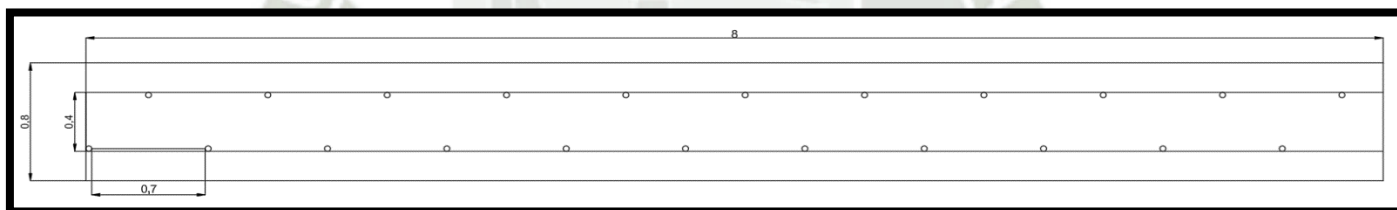
TAJO CODO 3 - PRUEBA 4

N°	DESCRIPCION	CANTIDAD	P/U (\$)	UNIDAD	COSTO (\$)	UNIDAD
0 DATOS						
	Longitud de Minado	8		m		
	Ancho de minado	0.4		m		
	Altura de minado	1.1		m		
	Pies Perforados	4		pies		
	Burden	0.70		m		
	Espaciamiento	0.93		m		
	N° de Taladros	22		#		
	Pies Perforados	88		pies		
	Explosivo/ Taladro	3		#		
	Tipo de Roca	Dura				
1 MANO DE OBRA DIRECTA						
1.1	PERFORISTA	1	\$ 736.84	mensual	\$ 36.84	Tarea
1.2	AYUDANTE DE PERFORISTA	1	\$ 631.58	mensual	\$ 31.58	Tarea
TOTAL					\$ 68.42	
2 VARILLAJE						
2.1	BROCA CONICA 7/8' X 11 X 34MM	1	\$ 0.1006	P.P	\$ 8.85	Tarea
2.4	BARRA CONICA 3 PIES 11 7/8	1	\$ 0.0917	P.P	\$ 8.07	Tarea
2.5	BARRA CONICA 4 PIES 11 7/8	1	\$ 0.1035	P.P	\$ 9.11	Tarea
TOTAL					\$ 26.03	
3 EXPLOSIVO						

3.2	Emulnor 3000 (1" x 7")	1	\$ 0.4890	unidad	\$ 10.76	Tarea
3.3	Emulnor 1000 (1" x 7")	2	\$ 0.4358	unidad	\$ 19.18	Tarea
3.5	CARMEX 1.50 m	1	\$ 1.4632	unidad	\$ 32.19	Tarea
3.7	MECHA RAPIDA Z-18 (150 m)	21	\$ 0.6490	metros	\$ 13.33	Tarea
TOTAL					\$ 75.45	
4 EQUIPO						
4.1	MAQUINA PERFORADORA YT- 29	1	\$ 0.0085	P.P	\$ 0.75	Tarea
TOTAL					\$ 0.75	
TOTAL					\$ 170.65	Tarea

Figura 20

Geometría de perforación en tajo codo 3, prueba 04



Nota. Elaboración propia.

Tabla 18

Costos de perforación y voladura t-455 antes de la optimización

TAJO 455 - ANTES DE LA OPTIMIZACIÓN

N°	DESCRIPCION	CANTIDAD	P/U (\$)	UNIDAD	COSTO (\$)	UNIDAD
0	DATOS					
	Longitud de Minado	8		m		
	Ancho de minado	0.4		m		
	Altura de minado	1.1		m		
	Pies Perforados	4		pies		
	Burden	0.30		m		
	Espaciamiento	0.40		m		
	N° de Taladros	48		#		
	Pies Perforados	192		pies		
	Explosivo/ Taladro	3		#		
	Tipo de Roca	Regular				
1	MANO DE OBRA DIRECTA					
1.1	PERFORISTA	1	\$ 736.84	mensual	\$ 36.84	Tarea
1.2	AYUDANTE DE PERFORISTA	1	\$ 631.58	mensual	\$ 31.58	Tarea
	TOTAL				\$ 68.42	
2	VARILLAJE					
2.1	BROCA CONICA 7/8' X 11 X 34MM	1	\$ 0.1006	P.P	\$ 19.31	Tarea
2.4	BARRA CONICA 3 PIES 11 7/8	1	\$ 0.0917	P.P	\$ 17.61	Tarea
2.5	BARRA CONICA 4 PIES 11 7/8	1	\$ 0.1035	P.P	\$ 19.87	Tarea
	TOTAL				\$ 56.78	

3 EXPLOSIVO

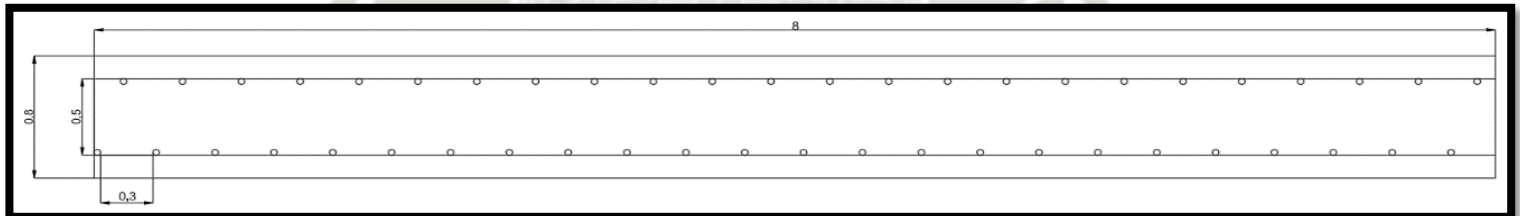
3.3	Emulnor 1000 (1" x 7")	2	\$ 0.4358	unidad	\$ 41.84	Tarea
3.4	Emulnor 500 (1" x 7")	1	\$ 0.3268	unidad	\$ 15.68	Tarea
3.5	CARMEX 1.50 m	1	\$ 1.4632	unidad	\$ 70.23	Tarea
3.7	MECHA RAPIDA Z-18 (150 m)	19	\$ 0.6490	metros	\$ 12.46	Tarea
TOTAL					\$ 140.22	

4 EQUIPO

4.1	MAQUINA PERFORADORA YT-29	1	\$ 0.0085	P.P	\$ 1.63	Tarea
TOTAL					\$ 1.63	
TOTAL					\$ 267.05	Tarea

Figura 21

Geometría de perforación del tajo 455. Antes de la optimización



Nota. Elaboración propia.

Tabla 19

Costos de perforación y voladura t-455 prueba 1 después mejorado

TAJO 455 - PRUEBA 1

N°	DESCRIPCION	CANTIDAD	P/U (\$)	UNIDAD	COSTO (\$)	UNIDAD
0	DATOS					
	Longitud de Minado	8		m		
	Ancho de minado	0.4		m		
	Altura de minado	1.1		m		
	Pies Perforados	4		pies		
	Burden	0.35		m		
	Espaciamiento	0.47		m		
	N° de Taladros	42		#		
	Pies Perforados	168		pies		
	Explosivo/ Taladro	3		#		
	Tipo de Roca	Regular				
1	MANO DE OBRA DIRECTA					
1.1	PERFORISTA	1	\$ 736.84	mensual	\$ 36.84	Tarea
1.2	AYUDANTE DE PERFORISTA	1	\$ 631.58	mensual	\$ 31.58	Tarea
	TOTAL				\$ 68.42	
2	VARILLAJE					
2.1	BROCA CONICA 7/8' X 11 X 34MM	1	\$ 0.1006	P.P	\$ 16.90	Tarea
2.4	BARRA CONICA 3 PIES 11 7/8	1	\$ 0.0917	P.P	\$ 15.41	Tarea
2.5	BARRA CONICA 4 PIES 11 7/8	1	\$ 0.1035	P.P	\$ 17.39	Tarea
	TOTAL				\$ 49.69	

3 EXPLOSIVO

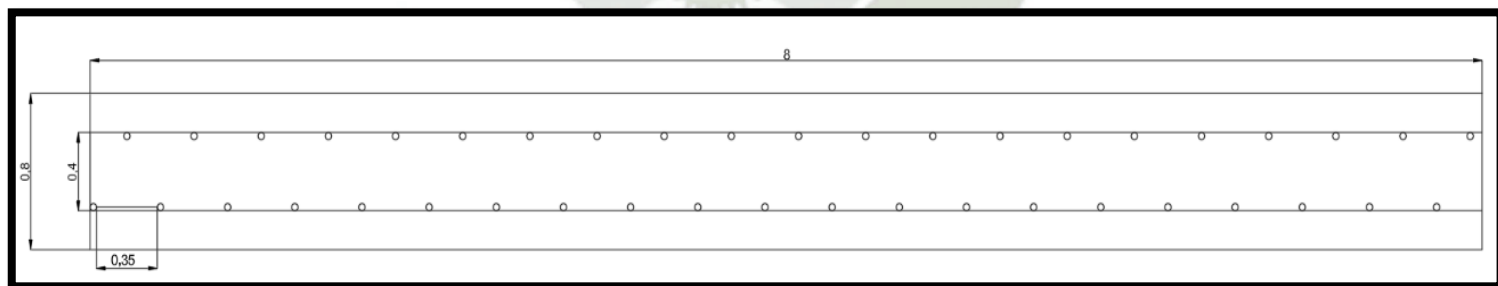
3.3	Emulnor 1000 (1" x 7")	2	\$ 0.4358	unidad	\$ 36.61	Tarea
3.4	Emulnor 500 (1" x 7")	1	\$ 0.3268	unidad	\$ 13.72	Tarea
3.5	CARMEX 1.50 m	1	\$ 1.4632	unidad	\$ 61.45	Tarea
3.7	MECHA RAPIDA Z-18 (150 m)	20	\$ 0.6490	metros	\$ 12.72	Tarea
TOTAL					\$ 124.51	

4 EQUIPO

4.1	MAQUINA PERFORADORA YT-29	1	\$ 0.0085	P.P	\$ 1.43	Tarea
TOTAL					\$ 1.43	
TOTAL					\$ 244.04	Tarea

Figura 22

Geometría de perforación de tajo 455, prueba 1



Nota. Elaboración propia.

Tabla 20

Costos de perforación y voladura t-455 prueba 2 después mejorado

TAJO 455 - PRUEBA 2

N°	DESCRIPCION	CANTIDAD	P/U (\$)	UNIDAD	COSTO (\$)	UNIDAD
0	DATOS					
	Longitud de Minado	8		m		
	Ancho de minado	0.4		m		
	Altura de minado	1.1		m		
	Pies Perforados	4		PIES		
	Burden	0.50		m		
	Espaciamiento	0.67		m		
	N° de Taladros	30		#		
	Pies Perforados	120		PIES		
	Explosivo/ Taladro	3		#		
	Tipo de Roca	Regular				
1	MANO DE OBRA DIRECTA					
1.1	PERFORISTA	1	\$ 736.84	MENSUAL	\$ 36.84	TAREA
1.2	AYUDANTE DE PERFORISTA	1	\$ 631.58	MENSUAL	\$ 31.58	TAREA
	TOTAL				\$ 68.42	
2	VARILLAJE					
2.1	BROCA CONICA 7/8' X 11 X 34MM	1	\$ 0.1006	P.P	\$ 12.07	TAREA
2.4	BARRA CONICA 3 PIES 11 7/8	1	\$ 0.0917	P.P	\$ 11.00	TAREA
2.5	BARRA CONICA 4 PIES 11 7/8	1	\$ 0.1035	P.P	\$ 12.42	TAREA
	TOTAL				\$ 35.49	

3 EXPLOSIVO

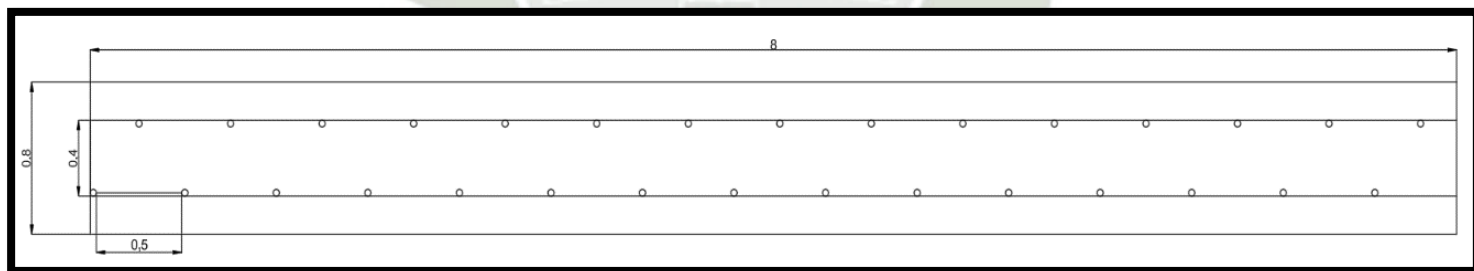
3.3	Emulnor 1000 (1" x 7")	2	\$ 0.4358	UNIDAD	\$ 26.15	TAREA
3.4	Emulnor 500 (1" x 7")	1	\$ 0.3268	UNIDAD	\$ 9.80	TAREA
3.5	CARMEX 1.50 m	1	\$ 1.4632	UNIDAD	\$ 43.90	TAREA
3.7	MECHA RAPIDA Z- 18 (150 m)	20	\$ 0.6490	METROS	\$ 12.98	TAREA
TOTAL					\$ 92.83	

4 EQUIPO

4.1	MAQUINA PERFORADORA YT- 29	1	\$ 0.0085	P.P	\$ 1.02	TAREA
TOTAL					\$ 1.02	
TOTAL					\$ 197.76	TAREA

Figura 23

Geometría de perforación tajo 455, prueba 2



Nota. Elaboración propia

Tabla 21

Costos de perforación y voladura t-455 prueba 3, después mejorado

TAJO 455 - PRUEBA 3

N°	DESCRIPCION	CANTIDAD	P/U (\$)	UNIDAD	COSTO (\$)	UNIDAD
0	DATOS					
	Longitud de Minado	8		m		
	Ancho de minado	0.4		m		
	Altura de minado	1.1		m		
	Pies Perforados	4		PIES		
	Burden	0.55		m		
	Espaciamiento	0.73		m		
	N° de Taladros	28		#		
	Pies Perforados	112		PIES		
	Explosivo/ Taladro	3		#		
	Tipo de Roca	Regular				
1	MANO DE OBRA DIRECTA					
1.1	PERFORISTA	1	\$ 736.84	MENSUAL	\$ 36.84	TAREA
1.2	AYUDANTE DE PERFORISTA	1	\$ 631.58	MENSUAL	\$ 31.58	TAREA
	TOTAL				\$ 68.42	
2	VARILLAJE					
2.1	BROCA CONICA 7/8' X 11 X 34MM	1	\$ 0.1006	P.P	\$ 11.26	TAREA
2.4	BARRA CONICA 3 PIES 11 7/8	1	\$ 0.0917	P.P	\$ 10.27	TAREA
2.5	BARRA CONICA 4 PIES 11 7/8	1	\$ 0.1035	P.P	\$ 11.59	TAREA
	TOTAL				\$ 33.12	

3 EXPLOSIVO

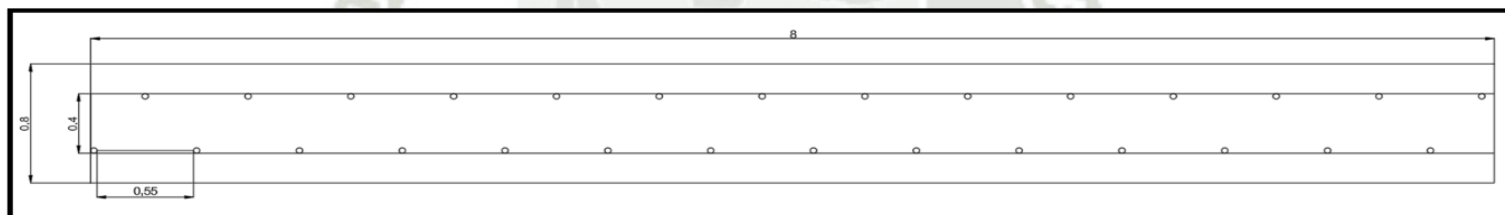
3.3	Emulnor 1000 (1" x 7")	2	\$ 0.4358	UNIDAD	\$ 24.40	TAREA
3.4	Emulnor 500 (1" x 7")	1	\$ 0.3268	UNIDAD	\$ 9.15	TAREA
3.5	CARMEX 1.50 m	1	\$ 1.4632	UNIDAD	\$ 40.97	TAREA
3.7	MECHA RAPIDA Z-18 (150 m)	21	\$ 0.6490	METROS	\$ 13.33	TAREA
TOTAL					\$ 87.85	

4 EQUIPO

4.1	MAQUINA PERFORADORA YT-29	1	\$ 0.0085	P.P	\$ 0.95	TAREA
TOTAL					\$ 0.95	
TOTAL					\$ 190.35	TAREA

Figura 24

Geometría de perforación t-455, prueba 3



Nota. Elaboración propia.

Tabla 22

Costos de perforación y voladura t-455 prueba 4, después mejorado

TAJO 455 - PRUEBA 4

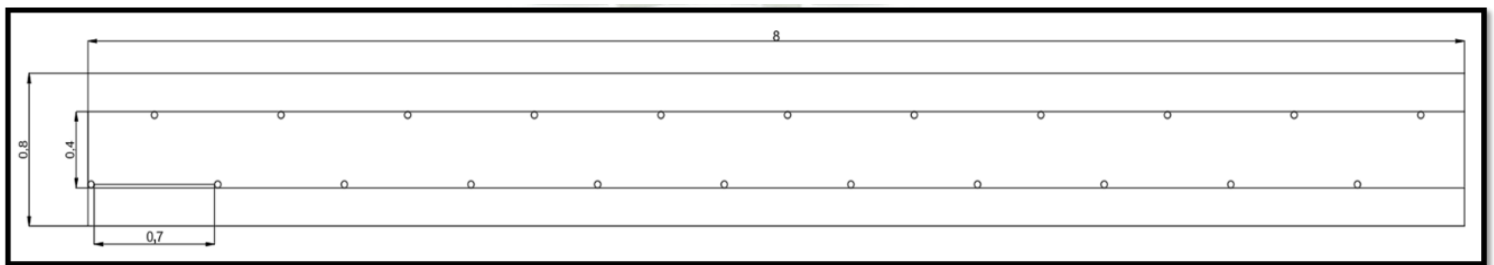
N°	DESCRIPCION	CANTIDAD	P/U (\$)	UNIDAD	COSTO (\$)	UNIDAD
0 DATOS						
	Longitud de Minado	8		m		
	Ancho de minado	0.4		m		
	Altura de minado	1.1		m		
	Pies Perforados	4		PIES		
	Burden	0.70		m		
	Espaciamiento	0.93		m		
	N° de Taladros	22		#		
	Pies Perforados	88		PIES		
	Explosivo/ Taladro	3		#		
	Tipo de Roca	Regular				
1 MANO DE OBRA DIRECTA						
1.1	PERFORISTA	1	\$	MENSUAL	\$ 36.84	TAREA
			736.84			
1.2	AYUDANTE DE PERFORISTA	1	\$	MENSUAL	\$ 31.58	TAREA
			631.58			
	TOTAL				\$ 68.42	
2 VARILLAJE						
2.1	BROCA CONICA 7/8' X 11 X 34MM	1	\$	P.P	\$ 8.85	TAREA
			0.1006			
2.4	BARRA CONICA 3 PIES 11 7/8	1	\$	P.P	\$ 8.07	TAREA
			0.0917			
2.5	BARRA CONICA 4 PIES 11 7/8	1	\$	P.P	\$ 9.11	TAREA
			0.1035			
	TOTAL				\$ 26.03	

3 EXPLOSIVO

3.3	Emulnor 1000 (1" x 7")	2	\$	UNIDAD	\$	19.18	TAREA
						0.4358	
3.4	Emulnor 500 (1" x 7")	1	\$	UNIDAD	\$	7.19	TAREA
						0.3268	
3.5	CARMEX 1.50 m	1	\$	UNIDAD	\$	32.19	TAREA
						1.4632	
3.7	MECHA RAPIDA Z-18 (150 m)	21	\$	METROS	\$	13.33	TAREA
						0.6490	
TOTAL					\$	71.88	
4 EQUIPO							
4.1	MAQUINA PERFORADORA YT-29	1	\$	P.P	\$	0.75	TAREA
						0.0085	
TOTAL					\$	0.75	
TOTAL					\$	167.08	TAREA

Figura 25

Geometría de perforación t-455, prueba 4



Nota. Elaboración propia.

En las siguientes, se presenta los costos de perforación y voladura con geometría según López mejorado después de 4 pruebas respectivamente, son:

Tabla 23

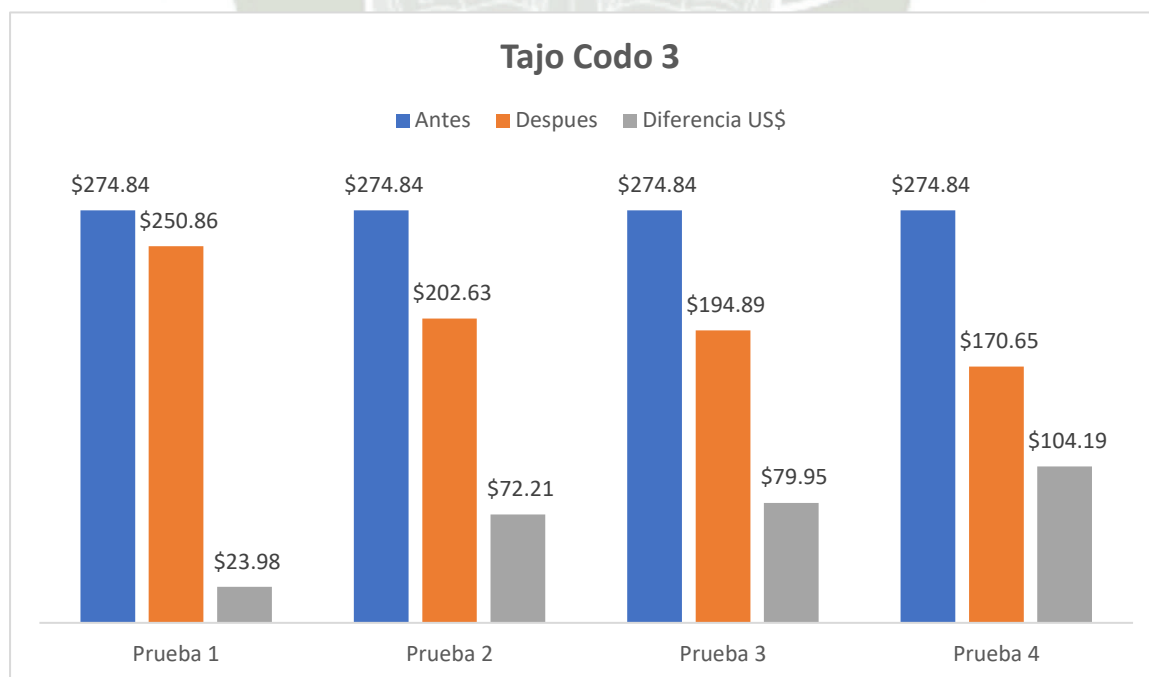
Diferencia de costos de perforación y voladura antes y después de la optimización

Pruebas	Antes	Después	Diferencia US\$
Prueba 1	\$ 274.84	\$ 250.86	\$ 23.98
Prueba 2	\$ 274.84	\$ 202.63	\$ 72.21
Prueba 3	\$ 274.84	\$ 194.89	\$ 79.95
Prueba 4	\$ 274.84	\$ 170.65	\$ 104.19

En la figura 26, se representa la interpretación de la tabla 23:

Figura 26

Costos de perforación y voladura con mejoras del tajo Codo 3



Nota. Elaboración propia.

Tabla 24

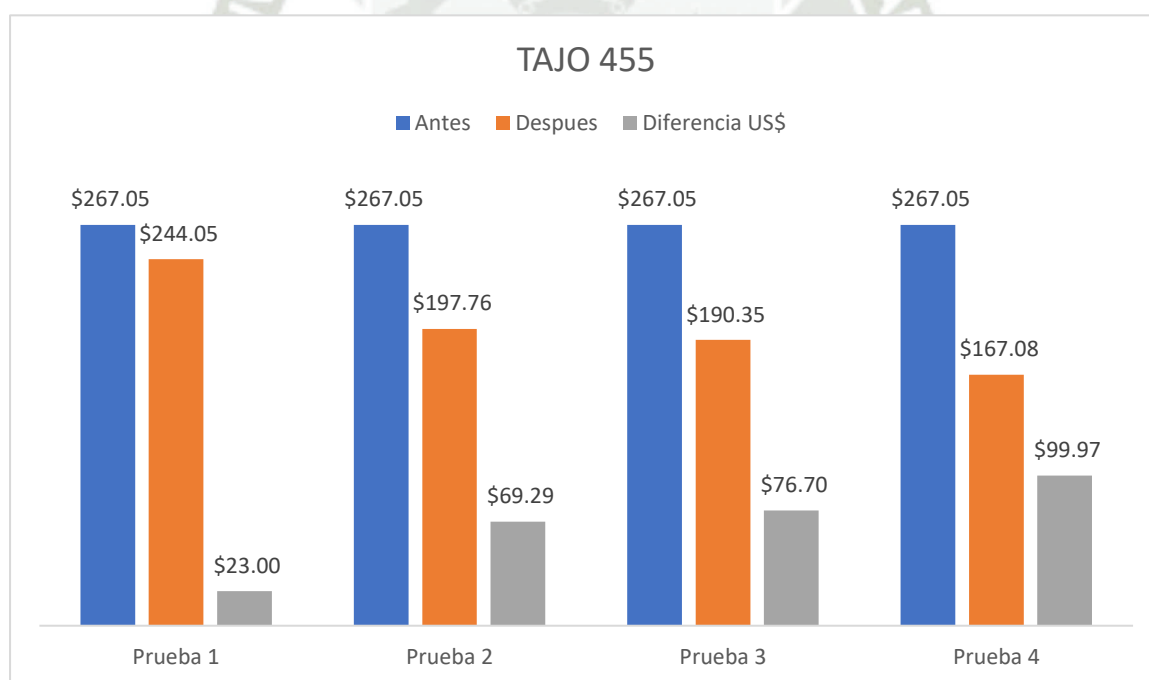
Diferencia de costos de perforación y voladura antes y después de la optimización

Pruebas	Antes	Después	Diferencia US\$
Prueba 1	\$ 267.05	\$ 244.05	\$ 23.00
Prueba 2	\$ 267.05	\$ 197.76	\$ 69.29
Prueba 3	\$ 267.05	\$ 190.35	\$ 76.70
Prueba 4	\$ 267.05	\$ 167.08	\$ 99.97

En la figura 27, se representa la interpretación de la tabla 24:

Figura 27

Costos de perforación y voladura con mejoras del tajo 455



Nota. Elaboración propia.

Seguidamente, se presentan los factores de potencia reducidos en los tajos Codo 3 y 455, luego de las 4 pruebas realizadas, va en orden de la prueba 1 al 4, respectivamente

Tabla 25

Factor de potencia en la prueba 1 del tajo Codo 3

1. TONELAJE		
1.1 Metros Cúbicos	3.52	m ³
1.2 Densidad	2.7	Kg/m ³
1.3 Tonelaje	9.504	Tn
2. EXPLOSIVO		
2.1 Emulnor 3000	4.04	Kg
2.2 Emulnor 1000	7.95	Kg
2.3 Explosivo Total	11.99	Kg
FACTOR DE POTENCIA	1.26	Kg/Tn

Nota. Elaboración propia.

Tabla 26

Factor de potencia en la prueba 2 tajo Codo 3

1. TONELAJE		
1.1 Metros Cúbicos	3.52	m ³
1.2 Densidad	2.7	Kg/m ³
1.3 Tonelaje	9.504	Tn
2. EXPLOSIVO		
2.1 Emulnor 3000	2.88	Kg
2.2 Emulnor 1000	5.68	Kg
2.3 Explosivo Total	8.57	Kg
FACTOR DE POTENCIA	0.90	Kg/Tn

Nota. Elaboración propia.

Tabla 27

Factor de potencia en la prueba 3 tajo Codo 3

1. TONELAJE		
1.1 Metros Cúbicos	3.52	m ³
1.2 Densidad	2.7	Kg/m ³
1.3 Tonelaje	9.504	Tn
2. EXPLOSIVO		
2.1 Emulnor 3000	2.69	Kg
2.2 Emulnor 1000	5.30	Kg
2.3 Explosivo Total	8.00	Kg
FACTOR DE POTENCIA	0.84	Kg/Tn

Nota. Elaboración propia.

Tabla 28

Factor de potencia en la prueba 4 tajo Codo 3

1. TONELAJE		
1.1 Metros Cúbicos	3.52	m ³
1.2 Densidad	2.7	Kg/m ³
1.3 Tonelaje	9.504	Tn
2. EXPLOSIVO		
2.1 Emulnor 3000	2.12	Kg
2.2 Emulnor 1000	4.17	Kg
2.3 Explosivo Total	6.28	Kg
FACTOR DE POTENCIA	0.66	Kg/Tn

Nota. Elaboración propia.

Tabla 29

Factor de potencia en prueba 1 tajo 455

1. TONELAJE		
1.1 Metros Cúbicos	3.52	m ³
1.2 Densidad	2.7	Kg/m ³
1.3 Tonelaje	9.504	Tn
2. EXPLOSIVO		
2.1 Emulnor 1000	7.95	Kg
2.2 Emulnor 500	3.30	Kg
2.3 Explosivo Total	11.26	Kg
FACTOR DE POTENCIA	1.18	Kg/Tn

Tabla 30

Factor de potencia en prueba 2, tajo 455

1. TONELAJE		
1.1 Metros Cúbicos	3.52	m ³
1.2 Densidad	2.7	Kg/m ³
1.3 Tonelaje	9.504	Tn
2. EXPLOSIVO		
2.1 Emulnor 1000	5.68	Kg
2.2 Emulnor 500	2.36	Kg
2.3 Explosivo Total	8.04	Kg
FACTOR DE POTENCIA	0.85	Kg/Tn

Nota. Elaboración propia.

Tabla 31

Factor de potencia en prueba 3 tajo 455

1. TONELAJE		
1.1 Metros Cúbicos	3.52	m ³
1.2 Densidad	2.7	Kg/m ³
1.3 Tonelaje	9.504	Tn
2. EXPLOSIVO		
2.1 Emulnor 1000	5.30	Kg
2.2 Emulnor 500	2.20	Kg
2.3 Explosivo Total	7.51	Kg
FACTOR DE POTENCIA	0.79	Kg/Tn

Nota. Elaboración propia.

Tabla 32

Factor de potencia en prueba 4 de tajo 455

1. TONELAJE		
1.1 Metros Cúbicos	3.52	m ³
1.2 Densidad	2.7	Kg/m ³
1.3 Tonelaje	9.504	Tn
2. EXPLOSIVO		
2.1 Emulnor 1000	4.17	Kg
2.2 Emulnor 500	1.73	Kg
2.3 Explosivo Total	5.90	Kg
FACTOR DE POTENCIA	0.62	Kg/Tn

Seguidamente, se presentan la diferencia de los factores de potencia reducidos en los tajos Codo 3 y 455, luego de las 4 pruebas realizadas.

Tabla 33

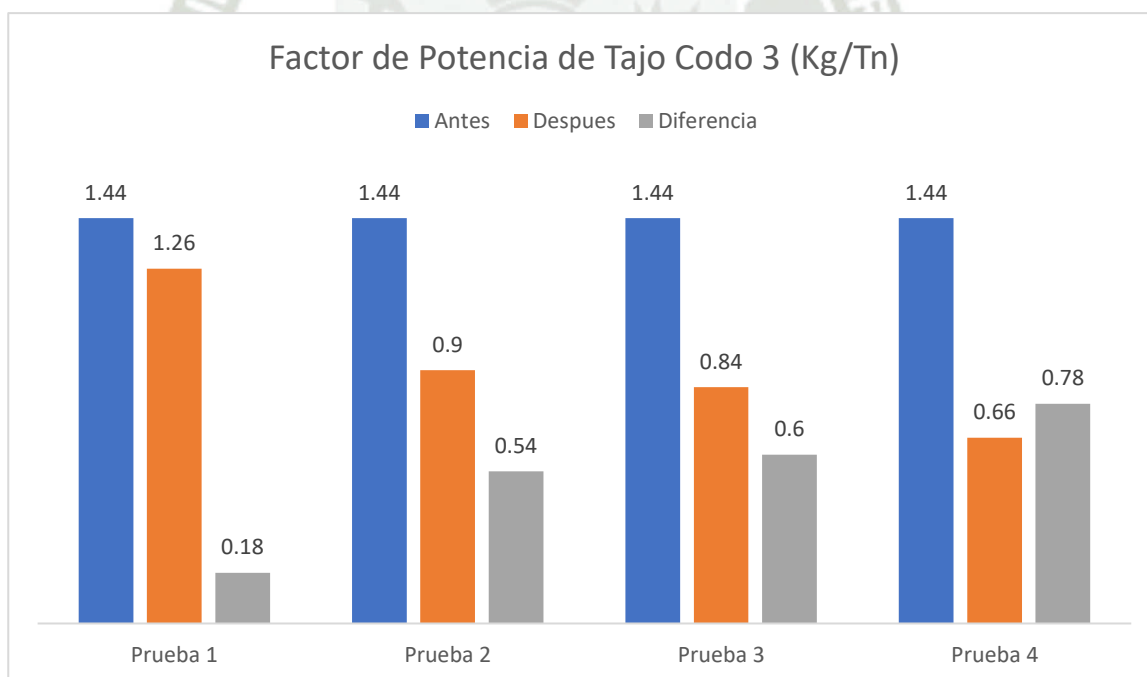
Reducción del Factor de potencia en pruebas de tajo Codo 3

Pruebas	Antes	Después	Diferencia
Prueba 1	1.44	1.26	0.18
Prueba 2	1.44	0.9	0.54
Prueba 3	1.44	0.84	0.6
Prueba 4	1.44	0.66	0.78

En la figura 27, se representa la interpretación de la tabla 32:

Figura 28

Factores de potencia reducidos y mejorados del tajo codo 3



Nota. Elaboración propia.

Tabla 34

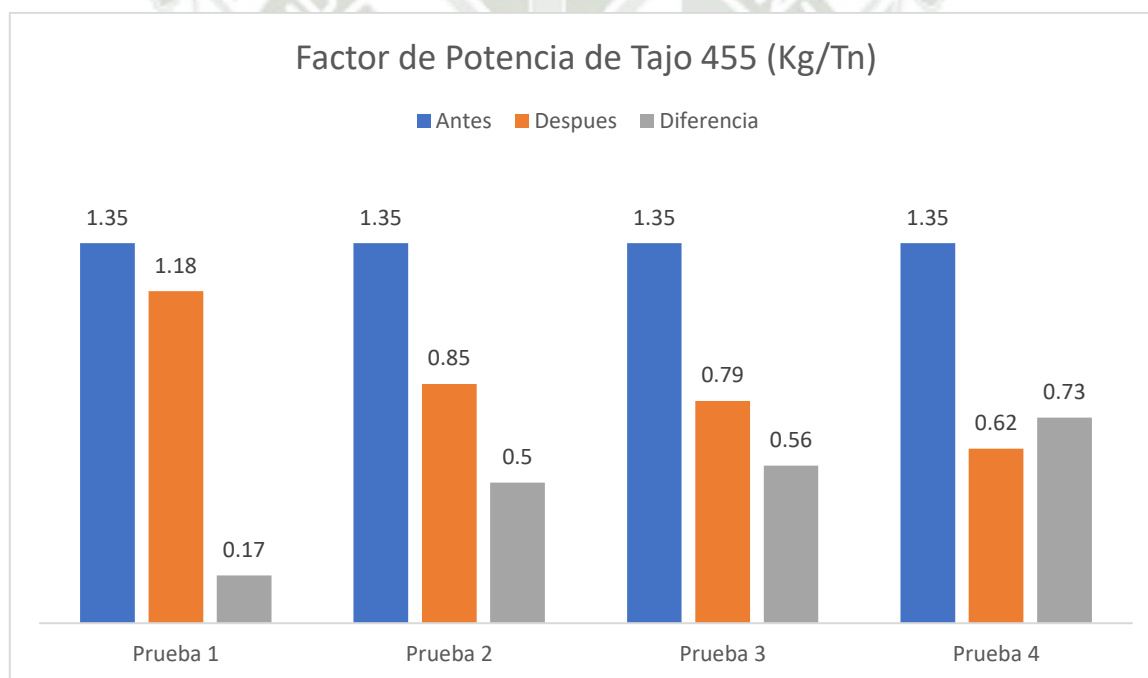
Reducción del Factor de potencia en pruebas de tajo Codo 455

Pruebas	Antes	Después	Diferencia
Prueba 1	1.35	1.18	0.17
Prueba 2	1.35	0.85	0.5
Prueba 3	1.35	0.79	0.56
Prueba 4	1.35	0.62	0.73

En la figura 29, se representa la interpretación de la tabla 34:

Figura 29

Factores de potencia reducidos y mejorados del tajo 455



Nota. Elaboración propia

4.4. Capacitación del personal de perforación y voladura en vetas angostas

Objetivo específico 4: Capacitar al personal de los tajos con nueva geometría de perforación y voladura para aplicar el diseño de malla con modelo matemático de López en la veta angosta Koricancha.

Para lo cual se hizo la capacitación durante dos semanas en el auditorio, de 1.5 horas diarias a la cuadrilla de perforista y ayudantes de ambos turnos A y B, a fin de instruir y luego entrenar en el campo el diseño de mallas de perforación tanto para 3 y 4 pies de barra de longitud, incidiendo en temas de calidad, eficiencia y eficacia de paralelismo, profundidad y dimensiones de piedra y espaciamiento así como manipulación de perforadora YT 29 e explosivos y accesorios de voladura, dando resultados aceptables.

4.5. Recolección de datos post perforación y voladura en vetas angostas del nivel 2720 NE

Objetivo específico 5: Recolectar los datos post perforación y voladura en los tajos de vetas angostas del nivel 2720 NE en función al mejoramiento y producción.

Tabla 35

Recolección de datos en los tajos Codo 3 prueba 1

Guía de observación del comportamiento de perforación y voladura en vetas
angostas

Aspecto observado:

Lugar: Koricancha

Nivel: 2720

Veta: Codo 3 W-E

Orientación: vertical

Fecha de observación: 13/5/2025

Tiempo de duración de la observación:

1. Factores internos que considera de la perforación y voladura: maquina YT-29 y caudal de aire
 2. Tiempo de precisión para la perforación y voladura: 2.5 minutos por pie.
 3. Nivel de importancia que tiene la perforación y voladura: muy alto inicio de producción.
-

Nota. Elaboración propia.

Tabla 36

Recolección de datos con la lista de cotejo prueba 4 tajo Codo 3

Lista de cotejo de diseño geométrico de perforación y voladura en vetas angostas

Nombre del tajo: Codo 3 W-E.....Vida de labor: 4 meses

Nivel: 2720.....orientación: vertical....

Nombre de veta: Koricancha.....ancho de veta: 0.20 m

Poner X, Tipo de circado de veta: X a) 1° perforación en veta: X.....b) 2° perforación en caja: no

Geometría de perforación y voladura actual, colocar una X:

Piedra o burden (m): 0.7 (prueba 4)

Espaciamiento (m) 0.8

Dirección de taladro: Realce/ horizontal: realce

Nominación: Zigzag: X..... alternado:

Explosivos usados En cebo: si, emulnor 3000

Carga de columna: si, emulnor 1000

Tipo de iniciación: Convencional: si

Detonador no eléctrico: no

Electrónico: no

Nota. Elaboración propia.

4.6. Productividad

En las tablas siguientes se representa la productividad obtenida después de las 4 pruebas realizadas en los tajos Codo 3 y 455 en la tesis y ver figura siguiente.

Tabla 37

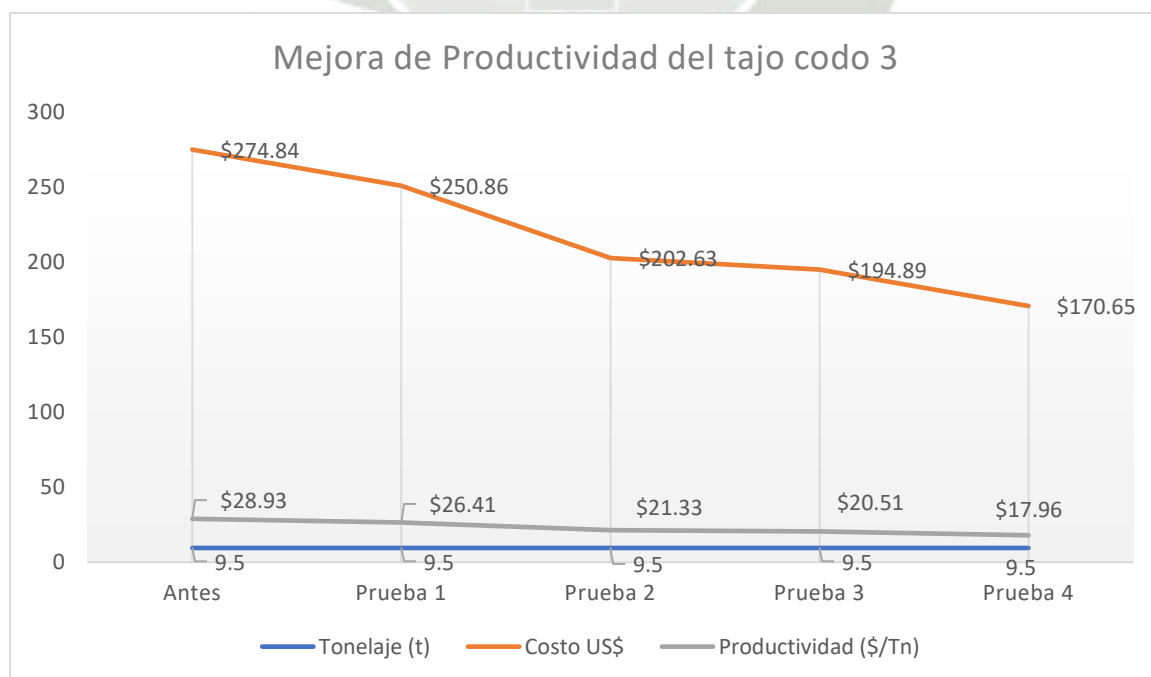
Productividad en el tajo Codo 3 antes y después

ítem	Tonelaje (t)	Costo US\$	Productividad (\$/Tn)
Antes	9.5	\$ 274.84	\$ 28.93
Prueba 1	9.5	\$ 250.86	\$ 26.41
Prueba 2	9.5	\$ 202.63	\$ 21.33
Prueba 3	9.5	\$ 194.89	\$ 20.51
Prueba 4	9.5	\$ 170.65	\$ 17.96

Luego, la figura 30 explica la comparación de productividades entre los tajos Codo 3

Figura 30

Productividad de tajo Codo 3 antes y después



Nota. Elaboración propia.

Tabla 38

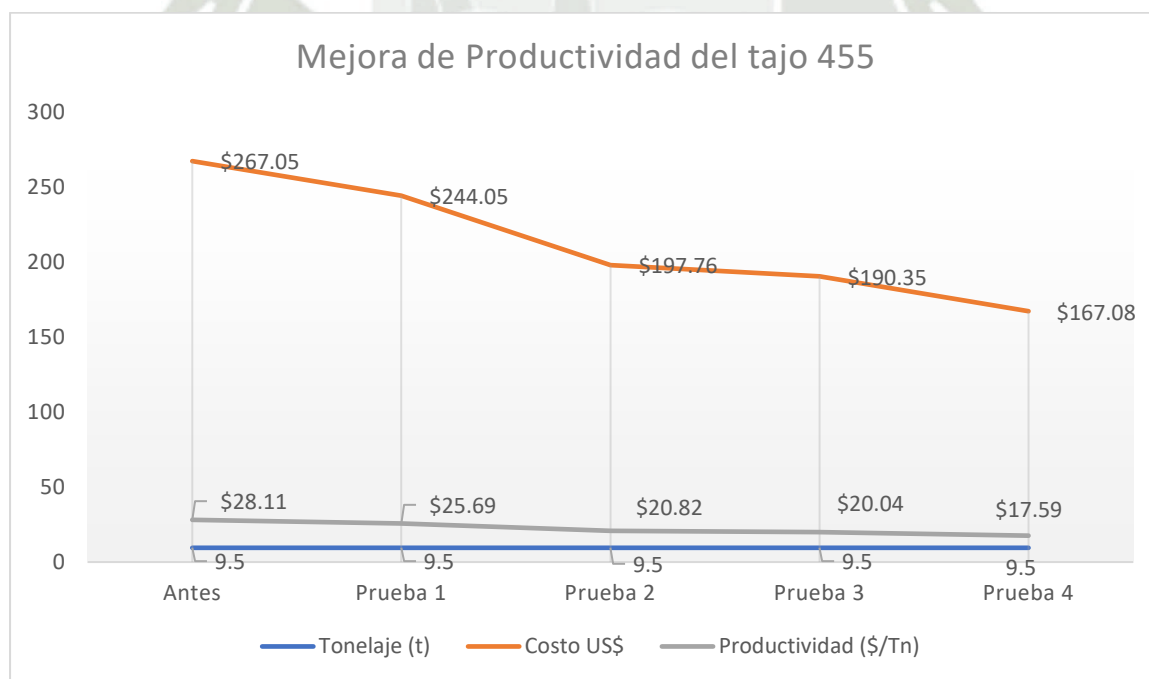
Productividad en el tajo Codo 455 antes y después

Tajo 455				
ítem	Tonelaje (t)	Costo US\$	Productividad (\$/Tn)	
Antes	9.5	\$ 267.05	\$ 28.11	
Prueba 1	9.5	\$ 244.05	\$ 25.69	
Prueba 2	9.5	\$ 197.76	\$ 20.82	
Prueba 3	9.5	\$ 190.35	\$ 20.04	
Prueba 4	9.5	\$ 167.08	\$ 17.59	

Luego, la figura 31 explica la comparación de productividades del tajo 455

Figura 31

Productividad de tajo 455 antes y después



Nota. Elaboración propia.

4.6.1. Optimización Productiva en los Tajos Codo 3 y 455, por Número de Taladros

Esta sección se presenta como resultado después cuatro pruebas realizadas entre los tajos Codo 3 y 455, a fin demostrar la mejora con este trabajo, lo cual se puede observar en la tabla siguiente.

Tabla 39

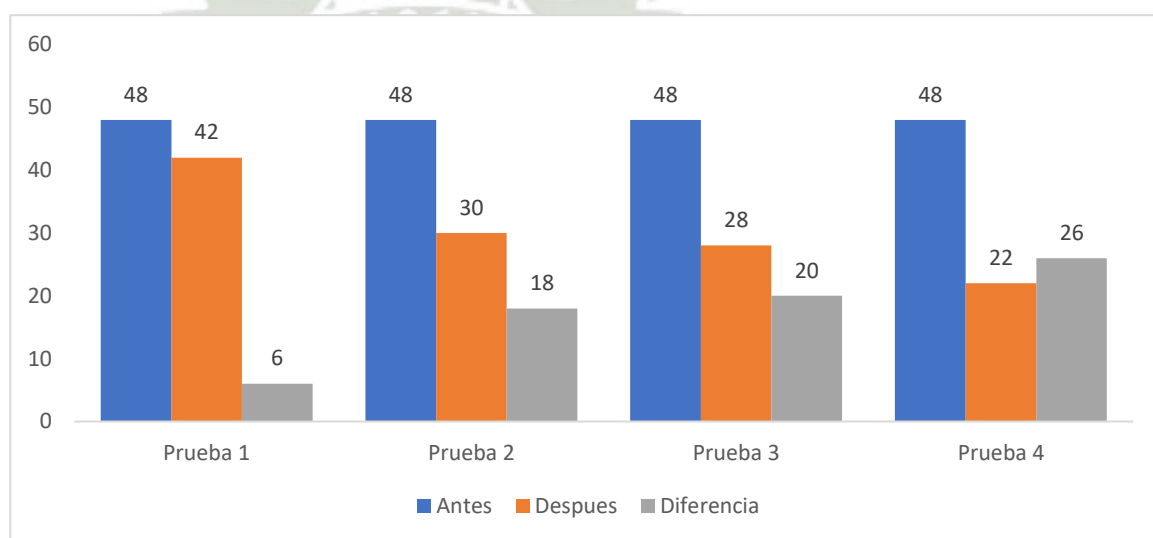
Optimización productiva entre los tajos Codo 3 y 455 por número de taladros

Pruebas	Antes	Después	Diferencia
Prueba 1	48	42	6
Prueba 2	48	30	18
Prueba 3	48	28	20
Prueba 4	48	22	26

Por lo que en la siguiente figura 32 se explica la comparación de optimización productiva entre los tajos Codo 3 y 455, es decir con 22 taladros se produce 9.5 toneladas, con menores recursos.

Figura 32

Comparación de optimización productiva antes y después entre tajos Codo 3 y 455 por número de taladros



Nota. Elaboración propia.

4.7. Discusión de resultados

Según Chancasanampa G. (2019), en su estudio encontró la geometría de perforación y voladura de 0.5 m por 0.5 m en zigzag reduciendo el factor de potencia de 1.05 a 0.53 kg/t, así también aumento la productividad de 1.4 a 2.5 t/taladro, por tanto, comparando con esta investigación en vetas angostas de Koricancha se determinó una geometría de 0.7 m de piedra por 0.9 m de espaciamiento y reducción de factor de potencia de 1.44 a 0.66 kg/t en el tajo codo 3 y 1.35 a 0.62 kg/t en el tajo 455, por otro lado se logró incrementar la productividad, reduciendo los costos de 28.93 \$/Tn a 17.96 \$/Tn en el tajo codo 3 y de 28.11 \$/Tn a 17.59 \$/Tn en el tajo 455, lo que implica que se cumplió con el objetivo de reducir los costos por tarea en el tajo codo 3 donde antes fue US\$ 274.84 y después de la prueba 4 se tiene US\$ 170.65 y también en el tajo 455 donde antes fue US\$ 267.05 y después de la prueba 4 se tiene US\$ 167.08.

De similar forma el autor Enciso (2024), en su tesis, determino la valoración del RMR en 47 y obtuvo una malla (geometría) de 0.6 m por 0.6 de espaciamiento, en este caso en esta investigación se tiene mejor resultado con una valoración de roca de RMR de 53 en promedio.

Así mismo el autor Mantari (2018) trabajo en vetas angostas en roca tipo III y IV, donde uso el modelo matemático de Pearse, comparando con este estudio, se usó el modelo matemático de López Jimeno Carlos, por tanto, es factible de aplicar.

Por otro medio Quispe Mejía (2024), trabajo en la veta San Martin de tajo 140 nivel 400 en mina Cerrito Pecoy Arequipa, en que inicio con una geometría de 0.38 m de piedra por 0.33 m de espaciamiento, de diámetro de 36 mm maquina perforadora modelo Jack ley YT-29, empleando explosivo emulnor de 5000, mucho mayor del caso del presente estudio, y luego llego a diseñar una geometría de perforación y voladura de 0.34 m por 0.4 m.

Continuando con esta sección, Fuentes y Garate (2021), en la Libertad, para diseñar la geometría empleo el modelo matemático de R. L. Ash para el tajo de explotación de vetas angostas y calculando una piedra teórica de 0.95 m sin embargo señaló una malla practica de 0.5 m por 0.5 m, y obtuvo el factor de potencia de 0.7 kg/t, lo que resalta comparando con este estudio mayor y refleja favorable hacia esta tesis, siendo el factor de potencia de 0.62 kg/t

El autor Avalos Aymara y Juro Zavala (2022), en mina Yaulliyacu, aplico el método de corte y relleno semimecanizado en vetas angostas donde logro mejorar la productividad de US\$ 81 a 512 y la producción mensual promedio le resultado en 1335 t a un costo de US\$ 16/t, comparando con este caso del presente motivo de discusión, como consecuencia de las 4 pruebas de los tajos Codo 3 y 455, varía entre US\$ 26 a 17/t, considerando una producción de 9.5 toneladas y costos fueron disminuyendo de US\$ 267.05 a US\$ 167, a modo de discusión tienen acercamiento existiendo una diferencia de una unidad, lo que indica lógica proposicional.

De igual modo el autor Manrique (2024), en mina Coricancha de Arequipa, su objetivo fue optimizar la perforación y voladura en vetas angostas con el método selectivo de circado, para mejorar la productividad en los tajos, halló en dicho circado una geometría de perforación y voladura de 0.9 m de piedra por 1.1 m de espaciamiento, aplico también el modelo matemático de Olofson, y logro mejorar los costos y factor de potencia a 0.24 kg/t y de carga de 0.62 kg/m³, refutando con nuestro estudio solo tiene relación con el modelo matemático en este caso es de López Jimeno, en vista Manrique de dedico al método de circado.

Luego Rivas C. (2021), planteo la capacidad de perforación en tajos en función a la longitud de taladros, cambio de barrenos, numero de cambios y velocidad de penetración, en donde diseño la geometría (malla) de perforación y voladura en vetas angostas con piedra de 0.35 m por 0.6 m de espacio, considerando las densidades tanto de roca (3 t/m³) y explosivos

(1.12 g/cc), contrastando con estos resultados se empleó lo mismos parámetros, empero con resultados mayores que este autor Rivas.



CONCLUSIONES

Primero: En la línea base, el factor de potencia utilizado alcanzó a 1.44 kg/t, en el tajo Codo 3, a su vez en el tajo 455 fue de 1.35 kg/t, mientras la fragmentación fue gruesa, a su vez la dilución resultó alta de 56%, lo que implica la sobre excavación es no aceptable.

Segundo: Las características geomecánicas de yacimiento, según la valoración del macizo rocoso de RMR, resultó promedio de las labores de 53.

Tercero: El diseño de geometría de perforación y voladura, empleando el modelo matemático de López Jimeno Carlos, se obtuvo mediante los cálculos considerando los parámetros de roca y explosivo, diámetro de perforación, se halló una piedra de 0.7 metro con espaciamiento de 0.9 m, los cuales se aplicaron en los tajos Codo 3 y 455 haciendo 4 pruebas de diseños alternando las piedras entre 0.35, 0.5, 0.55 y 0.7 m, donde se logró reducir los costos a US\$ 104.21, el primer tajo Codo 3. De similar acto se hicieron cuatro diseños de perforación y voladura en el tajo 455, variando las piedras entre 0.35, 0.5, 0.55 y 0.7 m logrando reducir cuyos costos a US\$ 99.97, respectivamente. Los factores de potencias, disminuyeron progresivamente en el tajo Codo 3, entre 1.44, 1.26, 0.90, 0.84, y 0.66 kg/t según las pruebas del 1 al 4. Se destaca también la reducción del factor de potencia en el tajo 455, resultado entre 1.35, 1.18, 0.85, 0.79 y 0.62 kg/t según las pruebas del 1 al 4.

Cuarto: La capacitación del personal a cargo de perforación y voladura, para aplicar la nueva geometría de perforación, en los tajos de vetas angostas fue buena debido a que contribuyó en la mejora del proceso de operación y producción.

Quinto: Para la recolección de datos de esta tesis se usó el instrumento de la lista de cotejo y guía de observación, válido en investigaciones de ingeniería.

RECOMENDACIONES

Primero: Se recomienda seguir aplicando el modelo matemático de López Jimeno Carlos, para calcular los parámetros del diseño de perforación y voladura en diámetros pequeños a fin de adaptarlos en vetas angostas de cobre.

Segundo: Recomiendo mayores estudios de las características del comportamiento de geomecánica en la valoración del macizo rocoso de RMR y de las vetas que está emplazada en roca dacita, donde las rocas encajonantes son diferentes como es la granodiorita similar característica de yacimientos cercanos a Yarabamba.

Tercero: Sería bueno hacer estudios de las propiedades físicas de las rocas tanto encajonantes y de la veta en sí, como el RQD, resistencia a compresión uniaxial, porosidad, humedad, a la fecha la unidad minera no cuenta con dichos datos.

Cuarto: Siempre es recomendable la capacitación de la cuadrilla de perforistas y ayudantes y otros en la calidad de perforación y voladura, debido a que la tecnología de esta área avanza de modo permanente y constante.

Quinto: Recomiendo emplear en la rama de ingeniería de minas emplear un determinado instrumento para recojo de datos, siendo vital para las investigaciones.

REFERENCIAS

- Avalos Aymara, J. E., & Juro Zavala, J. C. (2022). *Aplicacion del metodo de explotacion por Subniveles con Taladros Largos en vetas angostas, para mejorar la productividad en la Unidad Minera Yauliyacu - 2018*. tesis, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurimac, Abancay , Abancay
https://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/1156/T_790.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bernaola Alonso, J., Castilla Gomez, J., & Herrera Herber, J. (2013). *Perforacion y voladura de rocas en mineria*. Madrid, España.
- Campos Dominguez, B. B. (2023). *Metodo de explotacion de circado para Incrementar la Productividad en vetas angostas en la mina La Soledad Retamas Parcoy, 2023*. Tesis, Universidad Privada del Norte, La Libertad, Trujillo . Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/36684>
- Chancasanampa Gomez, W. (2019). *Diseño de la Malla de Perforacion y voladura para Incrementar la Productividad de Tajeos en la Compañia Minera Great Panther Coricancha S.A*. Universidad Nacional del Centro del Peru, Huancayo.
<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5431>
- Condori Burgos, C. C. (2022). *Diseño de un martillo hidráulico de percusión tipo fondo para aplicaciones geotécnicas en suelos duros [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano de Puno]*. Repositorio Institucional UNAP.
<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/12245>
- Condori Ojeda, P. (2020). *Niveles de investigacion. Curso taller*.
<https://www.aacademica.org/cporfirio/17.pdf>
- De Salvo, V. (2019). *Diseño y Sociedad; teorías y definiciones. Científico Académica Internacional de Innovación, Investigación y desarrollo en diseño, 14(XI), 8*.
https://www.researchgate.net/publication/337788657_Disenio_y_sociedad_teorias_y_definiciones
- Enciso Sobrevilla, R. (2024). *Optimizacion de los Parametros Geometricos y su Influencia en la fragmentacion de la roca en Mina San Cristobal de Volcan Compañia Minera S.A.A*. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo. Obtenido de

https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/10609/T010_43801762_T%20-%20T010_71933652_T.pdf?sequence=14&isAllowed=y

EXSA Soluciones exactas. (2019). *Manual practico de voladura*. (5.^a ed.).

<https://www.mineriadelibrosycursos.com/2019/10/manual-practico-de-voladura-5ta-edicion.html>

Fuentes Rivera Yon, N. I., & Gargate Gomez, J. B. (2021). *Aplicacion de los criterios fundamentales de la Ingenieria de Voladura para controla r la dilucion en la explotacion de vetas angostas en la mina Sayapullo S.A.* Tesis, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima.

https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/655358/FuentesR_N.pdf;jsessionid=CBA254B9F5996320B4A9130FCC3C918C?sequence=3

Gamboa Perez, E. R. (2022). *Propuesta de mejora para el incremento de Produccion mediante el Metodo de explotacion de Taladros largos en vetas angostas en la compañía Minera Kolpa Huancavelica 2022*. Tesis, Escuela de Posgrado Newman Maestria en gestion Minera Ambiental, Huancavelica. Obtenido de

https://repositorio.epnewman.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12892/456/TRABAJO_DE_INV_MGM_ELMER_GAMBOA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Instituto Geologico Minero y Metalurgico (INGEMMET). (2000). *ESTUDIO DE RECURSOS MINERALES DEL PERU FRANJA N°1*. Lima: Boletin N°8.

<https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/121>

Luis Correa, P., & Martinez Diaz, A. D. (2017). *Diseño del sistema de perforacion y voladura en los bancos D, E y F en la mina de Caliza El Tesoro, contrato de concesion ILI 16111 Ubicada en la Vereda las caleras del municipio de Nobsa-Boyacá*. Monografía propuesta de grado al Titulo de Ingeniero de Minas, Universidad Pedagogica Tecnologica de Colombia .

<https://repositorio.uptc.edu.co/server/api/core/bitstreams/df7e6ff5-e7e5-41d9-9d14-2304132af9db/content>

Macha Bruno, J. H. (2022). *Diseño de la geometria de disparo y su influencia en el rednimiento de perforacion y voladura de rocas en el avance lineal Compañia mineria Kolpa S.A.* tesis, Huancayo.

https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/9867/T010_47898110_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Manrique Zea, M. A. (2024). *Optimización de perforación y voladura en vetas angostas con el Método Selectivo (circado) para mejorar la Productividad en los tajeo de la veta Coricancha, Arequipa*. Tesis, Universidad Católica de Santa María, Arequipa.

Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12920/13800>

Mantari Pastrana, J. J. (2018). *Diseño de la malla de Perforación y Voladura para la explotación de vetas Angostas con el Método de explotación tajeo por subnivles en roca tipo III y IV*. Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. Obtenido de <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/3249282>

Quispe Mejía, E. (2024). *Análisis del proceso de Perforación y voladura en la explotación de la veta San Martín Tajo 140 NV 400 en la mina Cerrito Pecoy - Arequipa*.

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco, Cusco. Obtenido de <https://repositorio.unsaac.edu.pe>

Real Academia Española. (2024). *Mejora*. En *Diccionario de la lengua española* (23.^a ed.).

<https://dle.rae.es/mejora>

Real Academia Española. (2024). *Productivo*. En *Diccionario de la lengua española* (23.^a

ed.). <https://dle.rae.es/productivo>

Rivas Zapata, C. W. (2021). *Diseño de minado en vetas angostas para el control de calidad y costos en la Cia. minera Casapalca*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion , Cerro de Pasco.

Sanca Tinta, M. D. (2011). Tipos de Investigación científica. *Actualización clínica*, 9, 4.

Obtenido de http://revistasbolivianas.umsa.bo/pdf/raci/v12/v12_a11.pdf

Singh, P. K., & Sinha, A. (2012). Rock Fragmentation by Blasting. *PROCEEDINGS OF THE 10TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ROCK FRAGMENTATION BY* . India.

Obtenido de [https://www.routledge.com/Rock-Fragmentation-by-Blasting-Fragblast-](https://www.routledge.com/Rock-Fragmentation-by-Blasting-Fragblast-10/Singh-Sinha/p/book/9780415621434)

[10/Singh-Sinha/p/book/9780415621434](https://www.routledge.com/Rock-Fragmentation-by-Blasting-Fragblast-10/Singh-Sinha/p/book/9780415621434)