



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**REDUCCIÓN DE COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA
CON EL REDISEÑO DE MALLA Y CALCULO DEL FACTOR DE
CARGA EXPLOSIVA EN EL TAJEO ESPERANZA DE LA
EMPRESA MINERA ARAPA S.A.C. – AREQUIPA.**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. RONALD CAUNA QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERÚ

2024



NOMBRE DEL TRABAJO

REDUCCIÓN DE COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA CON EL REDISEÑO DE MALLA Y CALCULO DEL FACTOR DE CARGA

AUTOR

RONALD CAUNA QUISPE

RECuento DE PALABRAS

13036 Words

RECuento DE CARACTERES

68675 Characters

RECuento DE PÁGINAS

76 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

791.0KB

FECHA DE ENTREGA

Jul 1, 2024 12:44 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 1, 2024 12:45 PM GMT-5

● **14% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 13% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 20 palabras)



M.Sc. Amilcar G. Terán Dianderas
CATEDRÁTICO FIM - UNA
CODIGO 2007913



Dr. Américo Arizaca Avalos
Director de la Unidad de Investigación
Facultad de Ingeniería de Minas

Resumen



DEDICATORIA

A mi madre, Ynosencia Quispe Capajaña, cuyo amor incondicional, sacrificio y su constante apoyo han sido mi mayor inspiración en este camino. Sus palabras de aliento y su presencia han sido el faro que me ha guiado en los momentos más difíciles. Este trabajo no solo es un reflejo de mis esfuerzos, sino también de su dedicación y ejemplo.

Ronald Cauna Quispe.



AGRADECIMIENTOS

A Dios por su amor y bondad hacia mi persona para desarrollar mis conocimientos para superar las dificultades de la vida cotidiana.

A mis padres y toda mi familia por todo el esfuerzo y sacrificio para brindarme todo el amor, comprensión, el apoyo incondicional inculcándome el respeto, la humildad y la confianza para seguir adelante.

A la Universidad Nacional del Altiplano, mi alma mater, por haber permitido estar en sus aulas y dentro de ellas formarme como una persona íntegro y ampliar la visión de mis conocimientos.

Ronald Cauna Quispe.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	14
ABSTRACT.....	15
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	16
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.2.1. Pregunta general.....	17
1.2.2. Preguntas específicas	17
1.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	17
1.3.1. Hipótesis general.....	17
1.3.2. Hipótesis específicas	17
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.4.1. Objetivo general.....	18
1.4.2. Objetivos específicos	18
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	18



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.	ANTECEDENTES	20
2.2.	MARCO TEÓRICO	24
2.2.1.	Perforación	24
2.2.2.	Perforación de producción	25
2.2.3.	Diseño de un disparo	25
2.2.4.	Parámetros de perforación.....	26
2.2.5.	Parámetros de voladura de rocas	27
2.2.6.	Propiedades de la roca.....	28
2.2.7.	Modelo matemático Konya	28
2.2.8.	Diseño de voladura.....	31
2.2.9.	Indicadores de costos en minería	36
2.3.	DEFINICIONES CONCEPTUALES	37
2.3.1.	Reducción.....	37
2.3.2.	Rediseño	37
2.3.3.	Perforación	38
2.3.4.	Malla de perforación	38
2.3.5.	Longitud de taladro	38
2.3.6.	Voladura.....	38
2.3.7.	Macizo rocoso	38
2.3.8.	Tajeo	38
2.3.9.	Parámetros.....	39
2.3.10.	Burden	39
2.3.11.	Espaciamiento	39



2.3.12. Cara libre	39
2.3.13. Costo en minería	39

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO	40
3.1.1. Ubicación	40
3.1.2. Accesibilidad	40
3.2. DISEÑO METODOLÓGICO.....	41
3.2.1. Tipo de investigación	41
3.2.2. Enfoque de la investigación	41
3.2.3. Diseño de investigación	42
3.3. POBLACION Y MUESTRA.....	43
3.3.1. Población.....	43
3.3.2. Muestra.....	44
3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	44
3.4.1. Variable Independiente	44
3.4.2. Variable dependiente.....	44
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	45
3.5.1. Técnicas de recolección de datos	45
3.5.2. Instrumentos de recolección de datos	45
3.5.3. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	46



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DETERMINAR LA REDUCCIÓN DE LOS COSTOS DE PERFORACIÓN CON EL REDISEÑO DE MALLA EN EL TAJEO ESPERANZA.	47
4.1.1. Malla de perforación empírica del tajeo Esperanza	47
4.1.2. Número de taladros en la malla empírica.....	47
4.1.3. Costos estimados de la malla de perforación empírica	48
4.1.4. Costos de la nueva malla (rediseño) de perforación	51
4.1.5. Número de taladros de la nueva malla	51
4.1.6. Costos estimados de la nueva malla de perforación.....	53
4.1.7. Resumen y comparación de costos	56
4.2. DETERMINAR LA REDUCCIÓN DE COSTOS DE VOLADURA CON EL CÁLCULO DEL FACTOR DE CARGA EXPLOSIVA,.....	57
4.2.1. Análisis de costos de voladura con malla empírica en el tajeo Esperanza..	57
4.2.2. Análisis de costos de la voladura con la malla nueva en el tajeo Esperanza	60
4.2.3. Análisis comparativo de los costos de la voladura en el tajeo Esperanza.	62
4.2.4. Prueba de hipótesis.....	64
4.3. DISCUSIÓN	65
V. CONCLUSIONES.....	66
VI. RECOMENDACIONES.....	67
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	68
ANEXOS.....	72



Área : Ingeniería de Minas

Tema : Análisis de costos y comercialización de minerales

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 04 de julio del 2024.



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Coordenadas de concesión minera de la empresa minera Arapa S.A.C... 40	40
Tabla 2. Accesibilidad a la Empresa Minera Arapa S.A.C	41
Tabla 3. Operacionalización de variables e indicadores.....	45
Tabla 4. Parámetros de la malla de perforación empírica.	47
Tabla 5. Costos de mano de obra.....	48
Tabla 6. Costos de equipo, aceros y accesorios de perforación.....	49
Tabla 7. Costos de las herramientas y materiales	49
Tabla 8. Costos de los implementos de seguridad (EPP)	50
Tabla 9. Parámetros de la nueva malla de perforación	51
Tabla 10. Costos de mano de obra.....	53
Tabla 11. Costos de equipo, aceros y accesorios de perforación.....	53
Tabla 12. Costos de las herramientas y materiales	54
Tabla 13. Costos de los implementos de seguridad (EPP)	55
Tabla 14. Comparación de costos de perforación.....	56
Tabla 15. Estimación del consumo de explosivo semesa 65% durante la voladura empírica	57
Tabla 16. Resultados obtenidos en la voladura emperica.....	59
Tabla 17. Costos de explosivos y accesorios de voladura con la malla empírica	59
Tabla 18. Consumo de explosivo semesa 65% en la voladura con nueva malla.....	60
Tabla 19. Resultados obtenidos en la voladura con malla nueva	62
Tabla 20. Costos de explosivos y accesorios de voladura con nueva malla.....	62
Tabla 21. Análisis de los costos comparativos de voladura	63
Tabla 22. Prueba de hipótesis	64



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Tipos de Perforación en tajos en minería subterránea.....	25
Figura 2. Factores influyentes en un disparo.	26
Figura 3. Correcciones por el número de hileras	29
Figura 4. Correcciones por tipo de deposito	30
Figura 5. Corrección por condición de estructuras	30
Figura 6. Cálculo de espaciamiento entre taladros	31
Figura 7. Distribución del explosivo en un taladro.....	33
Figura 8. Diagrama de flujo de estudio de investigación para el rediseño de mallas	43
Figura 9. Diseño en perfil de taladros en la malla empírica.	48
Figura 10. Diseño en perfil de taladros en la malla según modelo matemático de Konya.	52
Figura 11. Resumen de los costos comparativos	56
Figura 12. Resumen de costos comparativos.....	63



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. Mapa de Ubicación.....	72
ANEXO 2. Datos para prueba de hipótesis	73
ANEXO 3. Perforación vertical en el Tajeo Esperanza	74
ANEXO 4. Declaración jurada de autenticidad de tesis.....	75
ANEXO 5. Autorización para el deposito de tesis en el Repositorio Institucional.....	76



ACRÓNIMOS

S.A.C.:	Sociedad anónima cerrada
Tm:	tonelada métrica
Kg:	kilogramo
t:	toneladas
m.s.n.m.:	metros sobre el nivel del mar
m ³ :	metro cúbico
m:	metro
mm:	milímetro
U.T.M.:	Universal Transversal Mercator
Mpa:	Mega pascal
RQD:	Rock Quality Designation
RMR:	Rock Mass Rating



RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la empresa minera Arapa S.A.C. - Arequipa, explota el tajeo Esperanza utilizando el método de Corte y Relleno Ascendente Convencional. La dimensión del block tiene una longitud de 30 m por 2,00 m de ancho y una altura de 40 m, con una ley de 7,56 g Au/TM. Al realizar la evaluación en los 3 primeros disparos, se encontró problemas de elevados costos unitarios de perforación y voladura en el tajeo Esperanza. El objetivo de la investigación ha sido determinar la reducción de los costos de perforación y voladura con el rediseño de malla y cálculo del factor de carga explosiva en el tajeo Esperanza. La metodología utilizada fue de un enfoque cuantitativo y tipo de investigación descriptivo y cuasiexperimental, donde se evaluó los costos unitarios de perforación y voladura verificando la malla de perforación, el burden, espaciamiento, cantidad de taladros, tipo de roca y el factor de carga explosiva; el modelo matemático aplicado para el diseño de la malla de perforación fue la de Konya. Con lo cual se logró reducir los costos unitarios de Perforación y Voladura de 15,80 US\$/t a 10,30 US\$/t. Concluyendo de esta manera un beneficio de 5,50 US\$/t en el tajeo Esperanza de la empresa minera Arapa S.A.C. – Arequipa.

Palabras clave: Costos, malla, Perforación, Rediseño, Reducción, Voladura.



ABSTRACT

This research work was carried out in the mining company Arapa S.A.C. - Arequipa, which exploits the Esperanza stope using the conventional upcut and fill method. The block dimension is 30 m long by 2.00 m wide and 40 m high, with a grade of 7.56 g Au/TM. When evaluating the first 3 shots, problems of high unit costs of drilling and blasting were found in the Esperanza stope. The objective of the research has been to determine the reduction in drilling and blasting costs with the redesign of the mesh and calculation of the explosive charge factor in the Esperanza stope. The methodology used was a quantitative approach and a descriptive and quasi-experimental type of research, where the unit costs of drilling and blasting were evaluated by verifying the drilling mesh, burden, spacing, number of drills, type of rock and the explosive load factor; the mathematical model applied for the design of the drilling mesh was that of Konya. With this, it was possible to reduce the unit costs of Drilling and Blasting from 15.80 US\$/t to 10.30 US\$/t. In this way, a benefit of 5.50 US\$/t was achieved in the Esperanza stope of the mining company Arapa S.A.C. – Arequipa.

Key words: Costs, mesh, Redesign drilling, Reduction, Blasting.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El sector minero se enfrenta a grandes desafíos como la reducción de costos operacionales para incrementar su rentabilidad. La Empresa Minera Arapa S.A.C. no es ajeno en ese ámbito, actualmente viene explotando el yacimiento aurífero aplicando el sistema de Corte y Relleno Ascendente de manera convencional. Una de las labores de producción es el tajo Esperanza, donde las dimensiones del block son de 30x40x2 metros con una ley de oro de 7,56 g/Tm.

En el tajo Esperanza se pudo observar en los 3 primeros disparos del tajeo, que el diseño de la malla de perforación y la distribución de la carga explosiva en la voladura lo realiza el maestro perforista a criterio de su experiencia, lo cual no se apreciaba un paralelismo entre taladros y este suceso se debió a la no utilización de guidores. Asimismo, no se realizaban el cálculo del factor de carga explosiva. Por ende, se observaba disparos soplado, tiros cortados y una granulometría de grandes bolones. Por lo tanto, los costos operativos de la empresa minera Arapa SAC., estaban elevados en la etapa de perforación y voladura.

Bajo esa problemática, en el presente trabajo de investigación se plantea la reducción de costos de perforación y voladura con el rediseño de malla y cálculo del factor de carga explosiva en el tajo Esperanza de la empresa minera Arapa S.A.C.



1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Pregunta general

- ¿Cómo se reduce los costos de perforación y voladura en el tajeo Esperanza de la empresa minera Arapa S.A.C.?

1.2.2. Preguntas específicas

- ¿Cómo afecta la malla de perforación en los costos en el tajeo Esperanza de la empresa minera Arapa S.A.C.?
- ¿Cómo afecta la carga explosiva en la voladura los costos en el tajeo Esperanza de la empresa minera Arapa S.A.C.?

1.3. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis general

- El rediseño de malla y cálculo del factor de carga explosiva nos permite reducir los costos de perforación y voladura en el tajeo Esperanza de la empresa minera Arapa S.A.C.

1.3.2. Hipótesis específicas

- Mediante el rediseño de la malla, nos permite reducir los costos de perforación en el tajeo Esperanza de la empresa minera Arapa S.A.C.
- Mediante el cálculo del factor de carga explosiva nos permite reducir los costos de voladura en el tajeo Esperanza de la empresa minera Arapa S.A.C.



1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

- Determinar la reducción de los costos de perforación y voladura con el rediseño de malla y cálculo del factor de carga explosiva en el tajeo Esperanza de la empresa minera Arapa S.A.C.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la reducción de los costos de perforación con el rediseño de malla en el tajeo Esperanza de la empresa minera Arapa S.A.C.
- Determinar la reducción de costos con el cálculo del factor de carga explosiva en el tajeo Esperanza de la empresa minera Arapa S.A.C.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La empresa minera Arapa S.A.C., para continuar la explotación del yacimiento aurífero, según los estudios realizados posee buen potencial de reservas de mineral probado y probable con una ley promedio de Au7,56 g/Tm. Para recuperar estas reservas de mineral es importante reducir los costos operativos de perforación y voladura en los tajeos de explotación de la empresa Minera.

En la empresa minera Arapa S.A.C., el método de explotación es por corte y relleno ascendente de manera convencional. En el tajeo Esperanza, durante el ciclo de minado se viene apreciando fallas durante la perforación y voladura, generando tiros cortados, sopladados y una fragmentación inadecuada, estas complicaciones son los resultados de las malas aplicaciones en la perforación, como son los parámetros y factores de perforación. Y en la voladura consumo excesivo o deficiente de explosivos y accesorios de voladura que originan mayores costos en las operaciones unitarias.



En el presente trabajo de investigación se plantea la reducción de costos de perforación y voladura con el rediseño de malla y cálculo del factor de carga explosiva en el tajo esperanza de la empresa minera Arapa S.A.C. trabajo que consiste en la evaluación de las variables como: características del macizo rocoso, burden, espaciamiento, diámetro, longitud de taladro y explosivo a empelar.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

Cruz y Rapre (2022) en su trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar la optimización de la perforación y voladura de los tajeos para incrementar la producción de mineral de la veta Guísela, unidad minera Chungar. Donde se ha aplicado el modelo matemático de Langeford para realizar el replanteo del diseño de malla de perforación y voladura. Concluyendo su análisis en las dos condiciones de voladura, en un medio actual se muestra un costo total de voladura de 2.38 \$/m³, y en la condición óptima, un costo total de voladura de 1.09 \$/m³, optimizándose de esta manera en 1.29 \$/m³.

Portugal (2023) en su estudio de investigación se plantea como objetivo reducir los costos de producción del Tj-395 a través del diseño de malla de perforación y voladura en breasting. La metodología utilizada para esta investigación fue de muestreo de Tj – 395 mediante corte analizado que representa la recopilación de datos y corte optimizado que representa datos post implementación de malla de perforación y voladura. Obtuvo como resultados la reducción de costos de producción de 14,54 US\$/TM a 13,58 US\$/TM y concluye que con la implementación de una malla de perforación y voladura se logró la reducción de costos de producción en el Tj-395.

Izquierdo (2023) en su estudio de investigación plantea como objetivo determinar el costo /utilidad del diseño de la malla de perforación para la optimización de voladura en el tajeo 8680. La metodología utilizada para esta investigación es la recopilación de reportes y registros anteriores de perforación y voladura. Obtuvo como resultado un mejor avance en la voladura aplicando la malla implementada, reduciendo el consumo de



emulsión en el tajeo 8680. Se concluye que se optimizó los costos de operación de \$ 227.04 a \$ 219.91 donde hubo una reducción significativa de \$7.13 por labor.

Mejía (2019) en su estudio de investigación plantea como objetivo optimizar el sistema de perforación y voladura en minería subterránea. Donde se realizó un levantamiento de información en campo para evaluar el macizo rocoso y posteriormente para implementar el modelo matemático Langenfors y Kihlstrom, con la finalidad de diseñar la malla de perforación y voladura. Donde concluye que se consiguió mayor volumen en el arranque, consumo controlado de explosivo y mayor avance de la labor; donde se alcanzó resultados muy favorables que beneficiaron a la empresa minera.

Barrientos y Durand (2020) en su estudio de investigación titulado se plantea como objetivo calcular una nueva malla de perforación y voladura para que mejore la fragmentación de la roca y definir una carga explosiva adecuada. La metodología utilizada para esta investigación fue de muestreo de tajeo 6662 mediante la caracterización geomecánica y el rediseño de la malla de perforación con el modelo matemático de Langenfors y el modelo matemático de López Jimeno. Obtuvo como resultados mejorar el diseño de malla de perforación después de la aplicación de modelo Langenfors y que con estas logró la reducción de factor potencia que tenía una variación de 0.23 Kg/TM a 0.99 Kg/TM ahora tiene una variación mínima de 0.50Kg/TM y concluye que mejoró la fragmentación de roca.

Choque (2019) en su trabajo de investigación se planteó como objetivos determinar en qué medida el modelo matemático de Langenfors permite optimizar el diseño de mallas de perforación y voladura para reducir los costos de perforación y voladura. Se determinó bajo la metodología de modificación de parámetros geométricos de burden y espaciamiento aplicando el modelo matemático de Langenfors, considerando



la muestra de investigación en este caso el tajo 770 y los datos recolectados. El autor concluye que, modificando las variables geométricas de burden y espaciamento, se optimizó el diseño de mallas de perforación, la reducción de factor carga explosiva de 0.62 kg/TM a 0.35 kg/TM y finalmente la optimización de costos en un 25.7% respecto al anterior.

Chancasanampa (2019) su estudio de investigación tiene como objetivo exponer la factibilidad de incrementar la productividad de tajeos mediante la aplicación de un diseño de malla de perforación y voladura. La metodología aplicada fue de análisis comparativo de la producción de tajeos antes y después de experimentar el diseño de malla propuesto, se concluye que con la nueva dimensión planteada de burden y espaciamento de 0.50m x0.50m de acuerdo al modelo matemático de Konya, tuvo un impacto positivo en la reducción de consumo de aceros de perforación de 1869.6 pies perforados a 1033.6 pies perforados y en voladura se redujo el consumo de explosivo de 1.05kg/TM a 0.53 Kg/TM, y que puede ser aplicado para otras unidades mineras de similares características, para diseños de taladros cortos de producción.

Araca (2019) su trabajo de investigación tiene como objetivo optimizar los costos de producción mina, mediante la evaluación de las operaciones unitarias de perforación y voladura en los tajeos Mariana y Alexia. La metodología desarrollada en la presente investigación fue de control de operaciones unitarias y análisis de burden, espaciamento, número de taladros, tipo de roca y la carga explosiva utilizada. Como resultados obtuvo la reducción de número de taladros de 347 taladros a 312 taladros bajando el consumo de explosivos y concluye que se optimizó los costos unitarios de 7.84 US\$/TM a 7.54 US\$/TM por corte en el tajeo Mariana de compañía minera Arcata S.A. – Arequipa.



Reategui (2018) su artículo de investigación tiene como objetivo maximizar la producción minimizando el costo mediante el control de la fragmentación. La metodología utilizada se basa en la combinación del diseño geométrico con el modelo matemático de kuz ram y estimar la cantidad de explosivo a través de su energía y velocidad. El autor concluye que el diseño de la malla y la distribución de la energía de explosivos es importante ya que son variables que aseguran los siguientes procesos de la mina.

Ortega et al, (2019) su artículo de investigación tuvo como objetivo caracterización del macizo rocoso para el arranque de perforación y voladura. La metodología utilizada se basa en una serie de ensayos en voladuras con las cuales se busca determinar qué tipo de malla de perforación se ajusta más a cada tipo de roca en diferentes paneles. Los autores concluyen que con las mallas de 0.8mx0.8m se tendría un ahorro en costo de 30% más que con la malla 0.6mx0.6m, al analizar la tabla geomecánica la roca es de baja calidad y se originó una sobre rotura de 5 veces menor que el requerido.

Zúñiga (2015) su estudio de investigación realizado en Chile se plantea como objetivo la implementación de nuevas metodologías operacionales de diseño de malla de perforación y tronadura, para controlar y optimizar los costos asociados a esta operación. La metodología utilizada para este estudio consistió en ajustes de las mallas de tronadura, los cuales se compararon los resultados de diseño actual y el diseño propuesto para realizar el análisis granulométrico, concluye que mediante la aplicación de estos cambios significó la reducción del factor carga de 300 (g/t) a 220 (g/t) y 290 (g/t) en minerales y en cuanto al costo, se obtuvo la disminución de 2 US\$/TM del costo global y el impacto del costo de P&T bajo en un 3.8%.



Cruz y Rapre (2022), en su trabajo de investigación lograron “la optimización de la perforación y voladura de los tajeos para reducir el costo de minado del método de explotación bench and fill, de la Veta Guísela, se tiene en la situación actual, una longitud de taladro de 6 metros, con un costo de perforación de 14.00 \$/m³ y en la situación óptima se tiene una longitud de taladro de 10 metros, con un costo de perforación es de 8.02 \$/m³, optimizándose en 5.98 \$/m³. En la comparación del análisis en los dos escenarios de voladura, se tiene en la situación actual un costo total de voladura de 2.38 \$/m³, y en la situación óptima, un costo total de voladura de 1.09 \$/m³, optimizándose en 1.29 \$/m³”.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Perforación

De acuerdo a EXSA, (2009), “la perforación es la primera operación en la preparación de una voladura. Su propósito es el de abrir en la roca huecos cilíndricos destinados a alojar al explosivo y sus accesorios iniciadores, denominados taladros, barrenos, hoyos o blast holes”. Además, para la romper de roca se efectúa mediante dos operaciones básicas: la penetración y la fragmentación de la roca. Los más utilizados se clasifican de la siguiente manera:

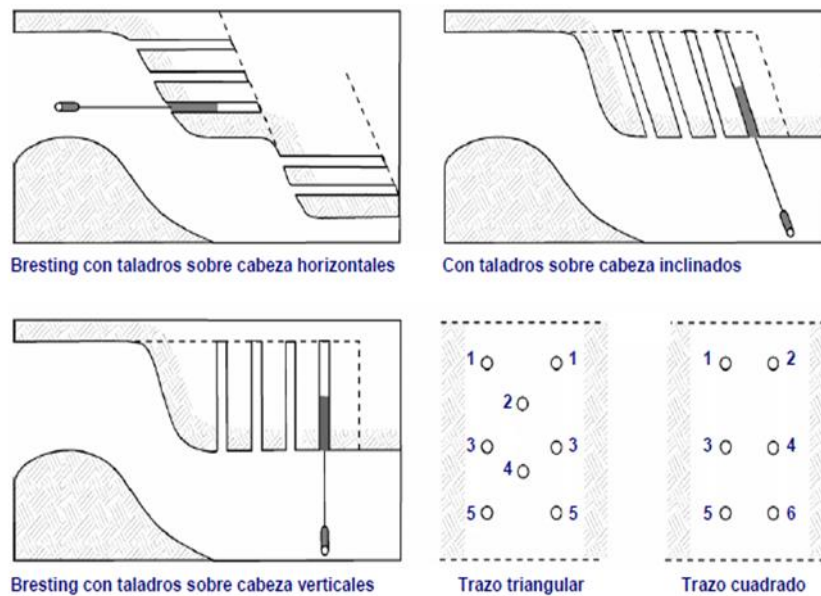
- Percusión. Son efectos de golpe y corte, producidos como las de un cincel o martillo.
- Percusión-Rotación. Son efectos de golpe, corte y giro.
- Rotación. Son producidos de corte por fricción para rocas de dureza fuerte; la roca se gaste sin que sufra algún tipo de golpe.
- Fusión. Es causado bajo una llama, tal que funde la roca y el mineral que son muy duros; como son los yacimientos de hierro.

2.2.2. Perforación de producción

Generalmente utilizada en minería subterránea, donde estas labores son de extracción de mineral. Los métodos y equipos de perforación varían de acuerdo a los sistemas de explotación, un hecho fundamental y muy común son los espacios reducidos para efectuar la perforación (López et al., 2006).

Figura 1.

Tipos de Perforación en tajos en minería subterránea



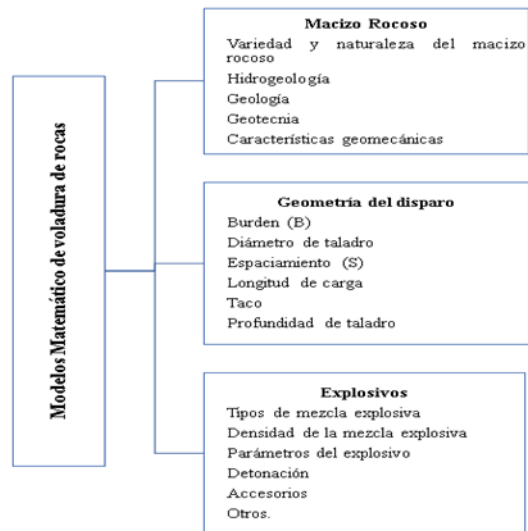
Nota: Esquema de trazos de perforación (EXSA, 2009).

2.2.3. Diseño de un disparo

Para el diseño de un disparo interactúa varios factores, parámetros y variables muy complicadas y estocásticas. Por ende, hacer una aproximación al diseño de una voladura óptimo debemos tener en cuenta un modelo matemático que influyan parámetros, tales como el macizo rocoso, geometría del disparo y explosivos. Factores que son determinantes un disparo (Agreda, 2014).

Figura 2.

Factores influyentes en un disparo.



Nota: Diseño de disparos primarios. Adecuada de (Agreda,2014).

2.2.4. Parámetros de perforación

Los siguientes parámetros se pueden manipular para conseguir mejores resultados.

- **Burden (B).** Conocido también como piedra o línea menor resistente a la cara libre. También la distancia entre las filas de los taladros en un disparo. Por lo tanto, es uno de los parámetros mas importante en una voladura de rocas. De forma practica el burden se considera igual al diámetro del taladro (EXSA, 2019).
- **Espaciamiento (S).** Distancia entre dos taladros perforados adyacentes en la misma fila. Asimismo, El espaciamiento depende de factores, como la dureza, resistencia del macizo rocoso, el tamaño del mineral deseado y el tipo de explosivo utilizado (Bernaola et al., 2013).



- **Diámetro (Φ).** El diámetro de perforación óptimo para una voladura depende de varios factores, como las propiedades del macizo rocoso, la fragmentación requerida y la configuración de cargas (López et al., 2006).
- **Inclinación del taladro.** Básicamente se puntualiza como el ángulo medido debidamente a la vertical, este ángulo no debe ser mayor de 30° . Caso contrario afecta el performance del explosivo y por ende la fragmentación y avance (EXSA, 2009).
- **Altura de perforación.** Es la distancia vertical entre cada nivel horizontal de corte. Dicha altura estará sujeta a las características físicas del depósito, dilución y la producción requerida (López et al., 2006).
- **Taco (T).** Se define como el material inerte cuya función es retener a los gases compuestos durante la explosión, únicamente durante unos segundos, capaces de evitar que los gases huyan como un soplo por la embocadura del taladro y más bien actúen en la fragmentación y desplazamiento del material a volar en toda la longitud de la columna de carga explosiva (EXSA, 2009).

2.2.5. Parámetros de voladura de rocas

- **Presión de Detonación.** De acuerdo a EXSA, (2009), “es la presión que existe en el plano “CJ” detrás del frente de detonación, en el recorrido de la onda de detonación. Es función de la densidad y del cuadrado de velocidad y su valor se expresa en kilobares (kbar) o en megapascuales (MPa). Así, en los explosivos comerciales varía entre 500 y 1,500 MPa”.
- **Energía de los explosivos.** Es un valor teórico, donde nos indica una advertencia sobre el potencial energético de un explosivo, cabe mencionar y siendo directamente entendido que sólo una parte de este potencial ayuda durante la voladura de rocas; el resto se pierde (EXSA, 2009).



- **Potencia.** Para López et al., (2006) la potencia es una de las características más importantes, debido a que define la energía disponible para originar efectos mecánicos. Asimismo, hay muchas formas de medir la potencia de un explosivo como mortero balístico, método crater, método traulz, etc.
- **Presión de taladro.** Llamado también presión de explosión es la presión máxima realizada al interior del taladro al completar la reacción explosiva medida detrás del plano Chapman-Jouquet. En definitiva, las presiones posteriormente de la detonación dentro del taladro son menor al 30% de la presión teórica de detonación (Ames, 2015).

2.2.6. Propiedades de la roca.

El rendimiento de la voladura generalmente se ve influenciado más por las propiedades de la roca que por las propiedades del explosivo. Las rocas muestran numerosos planos de debilidad, fisuras naturales y grietas formadas como resultado de explosiones anteriores (Dessureault, 2006). Es decir, estas propiedades son la densidad, resistencia a la compresión, fricción interna, contenido de agua, porosidad, módulo elástico, orientación de las estructuras, etc.

2.2.7. Modelo matemático Konya

Modelo basado en una relación matemática entre la densidad de la roca y la fuerza de la misma. Asimismo, la densidad del explosivo y su energía liberada. No obstante, los explosivos como las emulsiones excluyen esta generalidad en cuanto a dicha relación (Konya, 1998). Para los explosivos tipo emulsión Konya propone una ecuación matemática que considera la potencia relativa de un explosivo comparado con la potencia relativa de un explosivo estándar (ANFO).

$$B = 0.67 * D_e * (RBS/SGr)^{1/3} \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

B = Burden (ft)

De = Diámetro del explosivo (in)

RBS = Potencia relativa por volumen (ANFO=100)

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

- **Correcciones para números de filas.** En voladuras no solo se realiza uno o dos hileras, en lo general se utiliza tres o más filas de taladros. Si esta sincronización de taladros en la voladura no es lo adecuado, es muy difícil fragmentar las últimas filas de taladros, esto sucede porque las filas previas están adicionando resistencia y confinamiento. Razón a ello, se ajusta las cargas en las filas 3, 4 y posteriores a ello, usando el factor de corrección K_r (Konya, 1998), como podemos apreciar en la siguiente figura 3.

Figura 3.

Correcciones por el número de hileras

Filas	K_r
1 o 2 filas de taladros	1.0
3 o más filas de taladros	0.9

Nota: Factor de corrección K_r (Konya, 1998).

- **Corrección por condiciones geológicas.** - La condición que los estratos están inmersos en el macizo rocoso, tiene dominio en la proporción de explosivo usado. Conforme a la inmersión de las discontinuidades en el macizo rocoso se incluye un factor de corrección (Konya, 1998).

Figura 4.

Correcciones por tipo de deposito

Orientación de los Estratos	Kd
Estratos hacia el corte	1.18
Estratos hacia la cara	0.95
Otros tipos de depósitos	1.00

Nota: Los valores de kd (Konya, 1998).

Así también, tenemos la corrección por estructura geológica, que se tiene en cuenta las fracturas de las rocas, la frecuencia de planos de debilidad como también el tipo de relleno en las fracturas.

Figura 5.

Corrección por condición de estructuras

Estructura geológica	Ks
Altamente fracturada, relleno débil de juntas	1.3
Capas finas bien rellenas con juntas apretadas.	1.1
Roca masiva e intacta	0.95

Nota: Valores de ks (Konya, 1998).

Estos factores antes mencionados tienen una influencia multiplicativa inmediata en el cálculo del burden plasmando. Es decir, cuando se considera, la naturaleza del depósito y el tamaño de la voladura el burden final será:

$$B_{\text{corregido}} = B \times K_r \times K_d \times K_s \dots \dots \dots (2)$$

Por consiguiente, el espaciamiento se define según la figura 6.

Figura 6.

Cálculo de espaciamiento entre taladros

Tipo de voladura	H≤4B	H>4B
Iniciación instantánea	$S=(H+2B) /3$	$S=2B$
Iniciación retardada	$S=(H+7B) /8$	$S=1.4B$

Nota: Valores de ks (Konya, 1998).

También, definimos el taco según tipo de rocas:

$T = B$ cuan la roca es masiva y

$T = 0.7B$ cuando la roca es estratificada.

2.2.8. Diseño de voladura

Luego de realizar la perforación, comienza el proceso de voladura de la roca, es la actividad final que se realiza en las operaciones unitarias de perforación y voladura, producto de la detonación de explosivos utilizados en el carguío de los taladros perforados en macizo rocoso. El proceso de voladura es uno de los medios principales de extracción de minerales en las operaciones de minería subterránea y como parámetro se utiliza factor carga, factor potencia y factor avance (López et al., 2006)

El propósito principal de la voladura es la fragmentación de la roca, por lo que se necesita una gran cantidad de energía, para ello se requiere una gran cantidad de explosivos (Ghasemi, Sari, & Ataei, 2012).

- Factor de carga

Es uno de los indicadores que permite conocer en que fragmento se emplearía el total de energía extenuada en un día, sabiendo que, si el empleo de explosivo sería alta relativamente subiría el consumo carga generando mayor



costo en la tronadura de rocas (López et al., 2006) Se expresa de la siguiente manera:

$$FC = (We/V) \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

FC = Factor de carga.

We = Peso del explosivo

V = Volumen del material roto.

- **Columna explosiva**

López et al., (2006) hace mencion que la parte más activa en un taladro, es donde se genera la reacción explosiva y la presión inicial de los gases dentro de las paredes de un taladro, la distribución de carga explosiva en un taladro es importante, están basadas en el tipo de roca y la energía necesaria de un explosivo, y estas pueden estar entre 1/2 a 2/3 de la longitud total de taladro de manera continua o segmentada.

a) Carga de fondo (CF)

Es la carga explosiva de mayor densidad y potencia requerida al fondo del taladro para romper la parte más confinada y garantizar la rotura al piso y controlar la sobre perforación.

$$CF = 1.3 \times B \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

CF=Representa la carga fondo (kg/m o lb/pie)

B=Representa al burden (m).

b) Carga de columna

Es la parte de menor potencia y baja concentración de densidad ya que en esa zona el confinamiento de roca es menor en el taladro. Se determina con la siguiente ecuación:

$$CC = L - (CF + T) \dots \dots \dots (6)$$

Donde:

L=Longitud de taladro

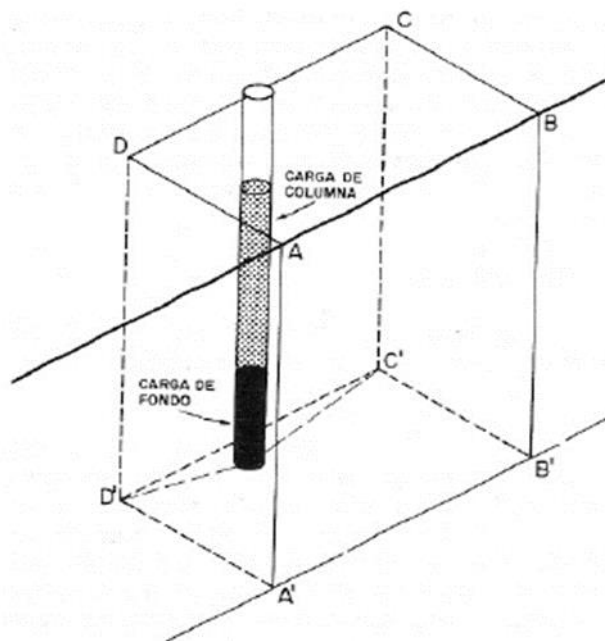
CF=Carga fondo

T=Taco

B=Representa al burden.

Figura 7.

Distribución del explosivo en un taladro



Nota: Carga distribuida para fragmentar la roca (López et al., 2006)

- **Estimación de la carga.**

De acuerdo a López et al., (2006) hace mención a la siguiente ecuación:

$$V = (B \times E \times L) \dots \dots \dots (7)$$



Donde:

V = Volumen a romper por taladro.

B = Burden.

E = Espaciamiento.

L = Longitud del taladro.

Por lo tanto, el Tonelaje es estimado: el volumen por la densidad de la roca o mineral.

- **Volumen de explosivo.**

De acuerdo a López et al., (2006) el volumen lo define como el diámetro de taladro por longitud de la columna explosiva o también por la sumatoria de las cargas segmentadas.

$$V_e = (\emptyset \times C_e) \dots\dots\dots (8)$$

Donde:

V_e = Volumen de explosivo.

∅ = Diámetro del taladro.

C_e = Columna explosiva.

- **Factor carga**

EXSA, (2009) define como un indicador que determina la cantidad de explosivo requerido por metro cubico de roca volada.

$$FC = \frac{W_e}{V} \dots\dots\dots (9)$$

Donde:

FC = Factor de carga.

W_e = Peso del explosivo



V = Volumen del material roto.

- **Tonelaje roto.**

Definido como el volumen del material roto por la densidad de dicho material (EXSA, 2009)

$$\text{Tonelaje roto} = (V \times p) \dots \dots \dots (10)$$

Donde:

V = Volumen del material roto

p = Densidad del material

- **Densidad de carga**

La densidad de carga esta expresada mediante la siguiente ecuación:

$$DC = 0.57 \times pe \times \emptyset^2 \times (L-T) \dots \dots \dots (11)$$

Dónde:

DC = Densidad de carga, en kg/tal.

0.57 = Factor.

\emptyset = Diámetro del taladro

pe = Densidad del explosivo a usar.

L = Longitud de perforación.

T = Taco



2.2.9. Indicadores de costos en minería

El control de costos es imprescindible en la industria minera, para la toma de decisiones en las operaciones de una empresa minera, para la planificación, direccionamiento del capital que se tiene y los gastos que se ejecutara a corto, mediano y largo plazo. La estimación de costos en operaciones mineras se basa en gastos unitarios y elementales, que definen el comportamiento del costo en US\$/TM o US\$/m.

2.2.9.1. Gestión de costos en minería

La gestión de costos es un proceso mediante el cual los encargados de cada área de operaciones aseguran la eficacia y la eficiencia de los recursos. Para una buena gestión se requiere de una visión global dentro de la estructura de costos de la empresa minera, para ello se necesita: Conocer los costos a lo largo de todas las actividades operativas del proceso de explotación, identificar los factores de costos, medir el comportamiento de los costos en función de los parámetros operacionales (Chambergó, 2013).

2.2.9.2. Costos operativos de perforación y voladura

Son costos operativos en el proceso de perforación y voladura que están dados por la sumatoria de costos en las actividades o tareas unitarias como la mano de obra en la perforación, implementos de seguridad en las tareas realizadas, explosivos y accesorios requeridos para el proceso de voladura (Chambergó, 2013).



Existen dos tipos de componentes del costo uno es considerado como variable en función del proceso, mientras el segundo fijo en función de la estructura administrativa que lo asigna (López Álvarez, 2008)

A. Costos variables

Son costos que varían dependiendo de la actividad del proceso minero, son los costos de los procesos productivos como perforación, voladura, carguío y acarreo y actividades auxiliares en mina, definiéndose esto en los costos de personal de producción, materiales e insumos, equipos (Chambergó, 2013).

B. Costos fijos

Son costos que no cambian en el proceso productivo minero, se consideran independientes de la producción, estos costos varían en función del nivel de producción y no están directamente relacionados con la producción generada (Chambergó, 2013).

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

2.3.1. Reducción

Es un proceso de optimización para mejorar la eficiencia de una determinada actividad en la minería, esto se realiza para lograr mejores resultados respecto de lo que se tiene en la actualidad.

2.3.2. Rediseño

Es el proceso que influye en la actualización de un diseño, podríamos decir replantea la creación anterior, es decir para reconstruirlo y evaluarlo.



2.3.3. Perforación

La perforación es la primera operación de la voladura que se realiza mediante el impacto del barreno que al golpear a la roca se abre huecos (taladros) para depositar la carga explosiva.

2.3.4. Malla de perforación

La malla de perforación se refiere a la distribución de los taladros en un frente de desarrollo o producción y se considera parámetros geométricos para dimensionar el burden, espaciamiento y dirección con la profundidad de taladros.

2.3.5. Longitud de taladro

Esta es la distancia perforada dentro de la masa rocosa y se mide progresivamente de acuerdo al avance perforado.

2.3.6. Voladura

Es un proceso que consiste en el movimiento y fragmentación del macizo rocoso mediante el empleo de explosivos que son cargados en los taladros.

2.3.7. Macizo rocoso

Es un conjunto de bloques de la matriz rocosa y discontinuidades, y que tienen características heterogéneas y discontinuos.

2.3.8. Tajeo

Este es un block mineralizado con objetivos de desarrollo limitados, se trata de un bloque mineralizado delimitado por chimeneas y galerías, donde se realizan operaciones de producción como perforación, voladura, limpieza, relleno



y, en caso de ser necesario, apoyo de sostenimiento para la extracción del mineral económicamente valioso.

2.3.9. Parámetros

Son ratios obtenidos en la práctica y que se utilizan para su valoración, durante las operaciones, para resolver dentro de un trabajo y que son imprescindibles para lograr el objetivo.

2.3.10. Burden

Es la distancia perpendicular entre un taladro cargado con explosivo a la cara libre de una malla de perforación, el burden depende del diámetro de perforación, propiedades de roca y las características del explosivo que se va emplear.

2.3.11. Espaciamiento

Esta es la distancia lateral entre taladros cargados con explosivos en la misma fila o zona de influencia en un diseño de malla de perforación.

2.3.12. Cara libre

Es creado con el fin de generar una abertura que sirva para el desplazamiento del material fragmentado y a si continuar con la voladura de los siguientes taladros sin tener inconvenientes en el área de operación.

2.3.13. Costo en minería

Se conocen como costos principales de las operaciones mineras en el proceso productivo de perforación, voladura, así también los costos de materiales, servicios y equipos.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ÁMBITO DE ESTUDIO

3.1.1. Ubicación

La empresa minera Arapa S.A.C.- Arequipa, se encuentra ubicada en el flanco occidental de la Cordillera Occidental de los Andes, en la ladera de Posco, políticamente dentro de la jurisdicción de Región Arequipa, Provincia de Camaná y Distrito de Mariano Nicolas Valcárcel (ver Anexo 1).

Se encuentra ubicado en la hoja de Carta Nacional 32-P de la Zona 18S. Está en las coordenadas U.T.M. WGS84 y son los siguientes:

Tabla 1.

Coordenadas de concesión minera de la empresa minera Arapa S.A.C.

Vértices	Coordenadas UTM, WGS84 - Zona 18	
	Norte	Este
1	8,232,629.52	693,777.24
2	8,231,629.51	693,777.27
3	8,231,629.51	691,777.30
4	8,232,629.51	691,777.28

3.1.2. Accesibilidad

El acceso al asiento minero se realiza mediante la carretera Panamericana Sur asfaltada en la ruta Arequipa- Ocoña a través del siguiente itinerario (Ver Tabla 2).



Tabla 2.

Accesibilidad a la Empresa Minera Arapa S.A.C

Itinerario	Distancia (Km)	Tipo de vía	Tiempo recorrido (Horas)
Arequipa – Camaná	172	Asfalto	5
Camaná – Cruce Ocoña	60	Asfalto	1
Cruce Ocoña – Mariano N.Valcárcel	51	Afirmada	1
Mariano N. Valcárcel – Empresa Minera Arapa	45	Trocha	1
TOTAL	328		8 horas

3.2. DISEÑO METODOLÓGICO

3.2.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo descriptiva, porque trata de dar a conocer de qué manera se realizará el rediseño de la malla y cálculo de carga explosiva para reducir los costos de perforación y voladura en el tajeo esperanza de la empresa minera Arapa S.A.C. Hernández et al., (2014) define como la descripción de situaciones y eventos. Es decir, se miden las variables de manera independiente con lo que se tiene que ver con el problema de investigación.

3.2.2. Enfoque de la investigación

La presente investigación es de un enfoque cuantitativo, debido a que el estudio está orientado en la reducción de costos de perforación y voladura mediante el rediseño de malla de perforación y cálculo del factor carga explosiva en el tajeo esperanza de la empresa minera Arapa S.A.C. Según a Hernandez et al., (2010) la investigación cuantitativa “usa la recolección de datos para probar



una hipótesis, con base en la medición numérica y análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías”.

3.2.3. Diseño de investigación

El diseño general de este estudio de investigación fue cuasi experimental, debido a que el lugar de la aplicación del rediseño de malla no fue asignado de manera aleatoria tal como si requiere la investigación experimental; lo que si se hizo es escoger el tajeo de explotación para evaluar los resultados durante 10 guardias del mes de junio del año 2021 de la aplicación de rediseño de mallas y cálculo de factor carga explosiva, y su incidencia en los costos de perforación y voladura. Para Hernandez et al., (2010) indica que en los cuasiexperimentales tiene algo de control sobre las variables externas, que permiten la asignación aleatoria de sujetos a grupos.

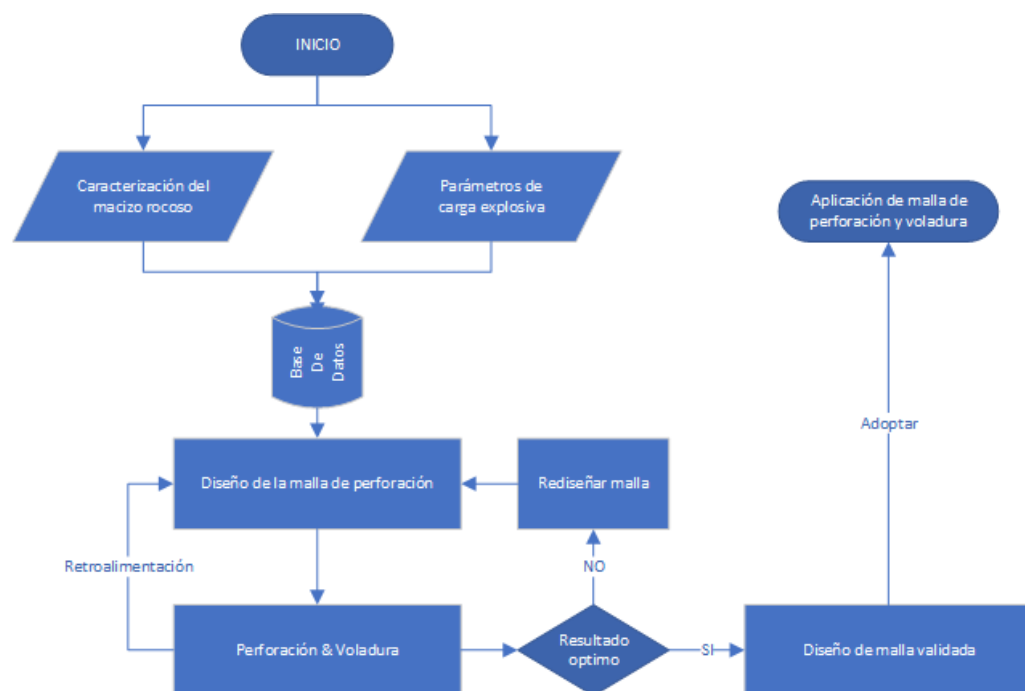
El procedimiento para desarrollar el estudio de investigación consistió en realizar la evaluación de las operaciones de perforación y voladura anterior, en donde se analizó la malla de perforación teniendo en cuenta el burden, espaciamiento, número de taladros, tipo de roca y el factor de carga explosiva utilizada. Los datos se recolectaron en las fichas de control. En el estudio de investigación se rediseñó la malla de perforación según las características de la roca, en donde se analizó la distribución del número de taladros, espaciamiento, burden, tipo de roca y factor de carga explosiva a utilizar. Con los resultados obtenidos, se analizó los costos de perforación y voladura anterior y actual en el Tajeo Esperanza de la Empresa Minera Arapa S.A.C. – Arequipa. El método utilizado para reducir los costos de perforación y voladura fue el rediseño la malla

de perforación y la determinación del factor de carga explosiva adecuada según las características del macizo rocoso.

A continuación, se muestra el resumen de la metodología para desarrollar el presente estudio de investigación:

Figura 8.

Diagrama de flujo de estudio de investigación para el rediseño de mallas



3.3. POBLACION Y MUESTRA

3.3.1. Población

La población para el presente estudio de investigación está constituida por todos los tajos de explotación de la empresa minera Arapa S.A.C. – Arequipa. Según Hernandez S et al., (2014) la población o universo es un conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones.



3.3.2. Muestra

La muestra está constituida por el tajeo Esperanza con una dimensión del block de 30x2x40m, desarrollado en roca semidura con una densidad promedio de $2,67 \text{ Tm/m}^3$ de la empresa minera Arapa S.A.C. – Arequipa. Al respecto Hernandez S et al., (2014) define que la muestra es un subgrupo de la población, es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población.

3.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.4.1. Variable Independiente

Rediseño de malla de perforación y cálculo del factor de carga explosiva en el tajeo Esperanza de la empresa minera Arapa S.A.C.

3.4.2. Variable dependiente

Costos de perforación y voladura en el tajeo Esperanza de la empresa minera Arapa S.A.C.

Tabla 3.

Operacionalización de variables e indicadores

Variables	Indicadores	Escala de medición
Variable independiente:		
Rediseño de malla de perforación y cálculo del factor de carga explosiva en el tajeo Esperanza.	–Tipo de roca	–Dura, semidura, suave
	–N° de taladros	–Pies perforados
	–Espaciamiento	–m
	–Burden	–m
	–Factor carga	–Kg/Tm
<hr/>		
Variables Dependiente:		
Costo de perforación y voladura en el tajeo Esperanza.	–Costo de brocas	–US\$/t
	–Costo de barrenos	–US\$/t
	–Costo de herramientas	–US\$/t
	–Costo de explosivos	–US\$/t
	–Costo de accesorios	–US\$/t

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. Técnicas de recolección de datos

La técnica usada para la presente investigación fue análisis documental y la observación directa en los procesos de perforación y voladura, mediante la recolección de datos para luego procesar en el registro de la base de datos y realizar el cálculo de los costos unitarios de perforación y voladura.

3.5.2. Instrumentos de recolección de datos

La recolección de datos se realizó mediante instrumentos como: datos de campo (in situ), formatos de campo, informes operativos de equipo, reportes de guardia, libros teóricos e información bibliográfica.



Los procedimientos de recolección de datos estuvieron en función al cronograma de estudio de investigación, así como la información actual con la que cuenta la empresa minera Arapa SAC, y en el trabajo de campo se hace la observación directa de las actividades de perforación y voladura en el tajeo de explotación, y recopilar los datos que son los siguientes:

- Tajeo de explotación
- Número de taladros perforados
- Consumo de explosivos y accesorios de voladura (cantidad de explosivo utilizado)
- Metro lineal perforado
- Equipo utilizado.

3.5.3. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento de los datos, se utiliza programas como Excel, Minitab18 y AutoCAD, para desarrollar los cálculos y usar como base de datos para llevar el control operativo de perforación y voladura de este trabajo de investigación. Para el análisis de datos, se utiliza los resultados e indicadores establecidos en esta investigación, para así lograr los objetivos de reducción de costos de perforación y voladura con el rediseño de malla y el cálculo de factor carga explosiva en el tajeo Esperanza.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DETERMINAR LA REDUCCIÓN DE LOS COSTOS DE PERFORACIÓN CON EL REDISEÑO DE MALLA EN EL TAJEO ESPERANZA.

4.1.1. Malla de perforación empírica del tajeo Esperanza

En la malla de perforación empírica se ha desarrollado de acuerdo a la experiencia del perforista. No considerando las teorías de voladura, características del macizo rocoso, malla de perforación, entre otros. En la tabla 4 se tiene los siguientes parámetros:

Tabla 4.

Parámetros de la malla de perforación empírica.

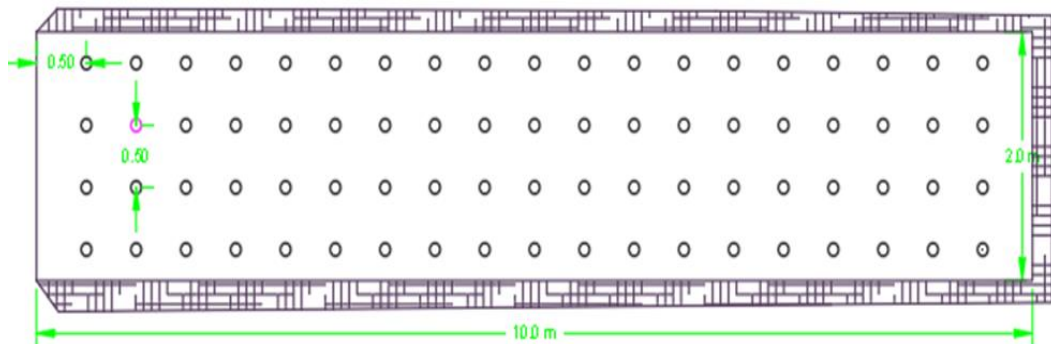
Parámetros	Unidades	Medida
Burden	m	0,50
Espaciamiento	m	0,50
Ancho del Tajeo	m	2,00
Diámetro de Taladro	mm	38,00
Longitud del taladro	m	1,83

4.1.2. Número de taladros en la malla empírica

El diseño de la malla de perforación empírica realizado por el maestro perforista es de tipo cuadrada con un burden de 0.50m y un espaciamiento de 0.50m distribuido en una sección de 10m x 2m. Por lo tanto, se tiene un total de 76 taladros perforados, teniendo 4 filas x 19 columnas tal como podemos observar en la figura 9.

Figura 9.

Diseño en perfil de taladros en la malla empírica.



4.1.3. Costos estimados de la malla de perforación empírica

Para la estimación de los costos se ha considerado como es: mano de obra, equipo de perforación, accesorio de perforación, aceros para la perforación, EPP, herramientas y otros materiales.

Tabla 5.

Costos de mano de obra.

Mano de obra	Jornal	Cantidad	S/.			
	S/.	Personal	Incidencia	BB.SS.	disparo	US\$/m ³ *
Perforista	90	1	1,00	102,00%	181,80	0,52
Ayudante Perforista	80	1	1,00	102,00%	161,60	0,46
Bodeguero	70	1	0,13	102,00%	18,38	0,05
Sub total			2,13		361,78	1,03
Supervisión	Sueldo S/.					
Residente de Mina	5,500	1	0,13	102,00%	48,14	0,14
Jefe de Seguridad	5,000	1	0,13	102,00%	43,77	0,13
Jefe de Guardia	4,000	1	0,13	102,00%	35,01	0,10
Capataz	3,000	1	0,13	102,00%	26,26	0,07
Sub total			0,52		153,18	0,44
Costo total						1,47

*Tipo de cambio 1US\$= 3,75

La tabla 5, muestra los costos de mano obra durante perforación de una malla empírica, los cuales se estima que tenemos un costo de 1,47US\$/m³ que equivale 3,93US\$/t.

Tabla 6.

Costos de equipo, aceros y accesorios de perforación

Equipo	Unid.	Cant.	S/.x und	S/. disparo	Costo US\$/m³
Máquina Perforadora	pies	456	0,488	222,30	0,63
Barreno integral de 4'	pies	304	0,511	155,27	0,44
Barreno integral de 6'	pies	152	0,674	102,49	0,29
Manguera de Jebe de 1"	m	20	0,142	2,84	0,01
Manguera de Jebe de 1/2"	m	20	0,191	3,81	0,01
Aceite	gln	0.25	36,00	9,00	0,03
Costo total					1,42

*Tipo de cambio 1US\$= 3,75

En la tabla 6, se observa los costos del equipo de perforadora tipo Jack Leg, cuyo costo fue de 0,63US\$/ m³. Para los aceros de 4' y 6' asciende un costo de 0,74US\$/m³ y los costos de los accesorios de perforación suman 0,05US\$/ m³. Por consiguiente, el costo total es de 1,42 US\$/ m³ que equivale a 3,78US\$/t.

Tabla 7.

Costos de las herramientas y materiales

Descripción	Unid.	Vida útil/día	Costo US\$	Costo US\$/ m³
Atacador de madera	pza	30	1,40	0,000
Punzón de cobre	pza	180	8,50	0,001
Barretilla de 4'	pza	120	21,53	0,002
Barretilla de 6'	pza	120	26,56	0,002
Barretilla de aluminio 8'	pza	120	41,25	0,004
Combo de 8 lb	pza	120	12,44	0,001
Cucharilla	pza	60	6,00	0,001
Escantillón	pza	180	20,00	0,001
Lampa Minera	pza	60	9,73	0,002
Llave francesa de 14"	pza	180	25,00	0,001
Llave Stilson de 14"	pza	180	18,40	0,001
Pico Minero	pza	60	8,50	0,002
Afilador de barreno	pza	1080	4522,00	0,004
Saca Barreno	pza	60	13,70	0,002



Pintura	Gln	30	10,11	0,004
Alambre negro n° 16	kg	10	1,05	0,001
Plataforma de perforación	pza	270	120,00	0,005
Total				0,06

*Tipo de cambio 1US\$= 3,75

En la tabla 7, se observa los costos estimados de las herramientas utilizadas durante la perforación de la malla empírica y este costo es de 0,06 US\$/m³ que equivale a 0,16US\$/t.

Tabla 8.

Costos de los implementos de seguridad (EPP)

Descripción	Und.	Cant.	S/.x und	S/.x tarea	Costo US\$/ m ³
Ropa de Jebe	jgo.	3	0,98	2,59	0,01
Guantes de neoprene	par	3	2,80	7,42	0,02
Botas de Jebe	par	3	0,37	0,98	0,00
Mameluco	pza	3	0,50	1,32	0,00
Casco de Seguridad	pza	3	0,12	0,31	0,00
Correa de porta lámpara	pza	3	0,09	0,23	0,00
Respirador contra polvo-3M	pza	3	0,27	0,72	0,19
Filtro contra polvo-3M	par	3	1,50	3,98	0,01
Tapón Auditivo	pza	3	0,12	0,30	0,00
Anteojos de Seguridad	pza	3	0,08	0,22	0,00
Barbiquejo	pza	3	0,17	0,44	0,00
Lampara de Bateria	pza	3	1,85	4,91	0,01
Cargador de Lampara	pza	3	0,59	1,55	0,01
Total					0,07

*Tipo de cambio 1US\$= 3,75

En la tabla 8, se visualiza los costos estimados de los implementos de seguridad requeridos para el personal de perforación (mano de obra directa) y esto asciende en 0,07 US\$/m³ que equivale a 0,19US\$/t.

Por consiguiente, tenemos el costo total de la malla de perforación empírica realizada,

Costo total = Sumatoria de costos parciales estimados

Costo total = 3,93 + 3,78 + 0,16 + 0,19

Costo total de la malla de perforación empírica = **8,06 US\$/t.**

4.1.4. Costos de la nueva malla (rediseño) de perforación

Para rediseñar la malla de perforación se tomó en consideración las características de la masa rocosa y el factor del explosivo a utilizar para la voladura y se implementó nuevos parámetros de burden, Tomando como base el modelo matemático de Konya, Con la nueva dimensión calculada se estima el número taladros a perforar y posteriormente los costos,

Tabla 9.

Parámetros de la nueva malla de perforación

Parámetros	Unidades	Medida
Burden	m	0,46
Espaciamiento	m	0,92
Ancho del Tajeo	m	2,00
Diámetro de Taladro	mm	38
Longitud del taladro	m	1,83

4.1.5. Número de taladros de la nueva malla

El diseño de la nueva malla de perforación realizado es de tipo dos en fondo con un burden de 0,46m y un espaciamiento de 0,92m distribuido en una sección de 10m x 2m, Por lo tanto, se tiene un total de 53 taladros perforados, teniendo 3 filas x 11 columnas de tres taladros y 2 filas x 10 columnas de dos taladros, Ver figura 10 la distribución de los taladros para el tajeo,

$$B = 0.67 De (RBS/SGr)^{1/3}$$

Densidad de la roca = 2,67 g/cm³

Diámetro del explosivo = 0,88 pulg,

Potencia relativa por volumen = 112,00

B = 0,55m

$$B_{\text{corregido}} = B \times K_r \times K_d \times K_s$$

$K_r = 0,9$

$K_d = 1$

$K_s = 0,95$

Por lo tanto, el valor calculado del Burden es:

$B_{\text{correg}} = 0,46 \text{ m}$,

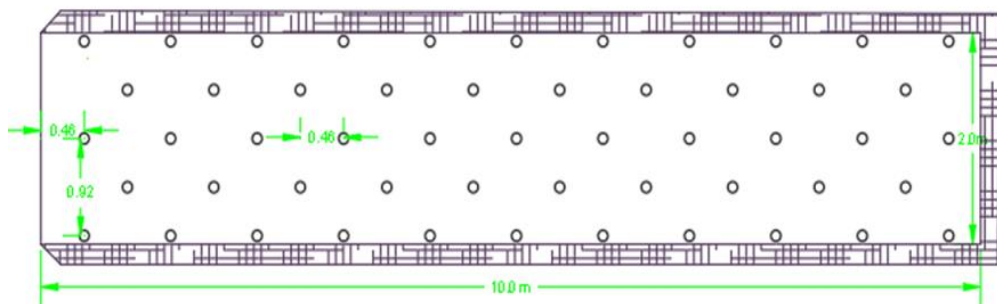
Para calcular el Espaciamiento tenemos $S = \sqrt{H * B_{\text{correg}}}$

$H = 1,8 \text{ m}$

$S = 0,92 \text{ m}$

Figura 10.

Diseño en perfil de taladros en la malla según modelo matemático de Konya.



4.1.6. Costos estimados de la nueva malla de perforación

Para la estimación de los costos se ha considerado como es: mano de obra, equipo de perforación, accesorio de perforación, aceros para la perforación, EPP, herramientas y otros materiales,

Tabla 10.

Costos de mano de obra.

Mano de obra	Jornal S/,	Cantidad Personal	Incidencia	BB,SS,	S/, disparo	US\$/ m³ *
Perforista	90	1	1,00	102,00%	181,80	0,49
Ayudante Perforista	80	1	1,00	102,00%	161,60	0,43
Bodeguero	70	1	0,13	102,00%	18,38	0,05
Sub total			2,13		361,78	0,98
Supervisión	Sueldo S/,					
Residente de Mina	5,500	1	0,13	102,00%	48,14	0,13
Jefe de Seguridad	5,000	1	0,13	102,00%	43,77	0,12
Jefe de Guardia	4,000	1	0,13	102,00%	35,01	0,09
Capataz	3,000	1	0,13	102,00%	26,26	0,07
Sub total			0,52		153,18	0,41
Costo total						1,39

*Tipo de cambio 1US\$= 3,75

La tabla 10, muestra los costos de mano obra para la perforación de una nueva malla, los cuales se refleja un mismo costo que para la malla empírica de 1,39 US\$/m³ que equivale a 3,71US\$/t.

Tabla 11.

Costos de equipo, aceros y accesorios de perforación

Equipo	Unid,	Cant,	S/,x und	S/, disparo	Costo US\$/m³
Máquina Perforadora	pies	456	0,488	155,03	0,42
Barreno integral de 4'	pies	304	0,511	108,28	0,29
Barreno integral de 6'	pies	152	0,674	71,47	0,19
Manguera de Jebe de 1"	m	20	0,142	2,84	0,01
Manguera de Jebe de 1/2"	m	20	0,191	3,81	0,01
Aceite	gln	0,25	36,000	9,00	0,02
Costo total					0,94

*Tipo de cambio 1US\$= 3,75



En la tabla 11, se observa los costos del equipo de perforadora tipo Jack Leg, cuyo costo fue de 0,42\$/m³, Para los aceros de 4' y 6' asciende un costo de 0,48US\$/m³ y los costos de los accesorios de perforación suman 0,04US\$/disparo, Por consiguiente, el total es de 0,94 US\$/m³ que equivale a 2,51US\$/t.

Tabla 12.

Costos de las herramientas y materiales

Descripción	Unid,	Vida útil/día	Costo US\$	Costo US\$/ m ³
Atacador de madera	pza	30	1,40	0,000
Punzón de cobre	pza	180	8,50	0,000
Barretilla de 4'	pza	120	21,53	0,002
Barretilla de 6'	pza	120	26,56	0,002
Barretilla de aluminio 8'	pza	120	41,25	0,003
Combo de 8 lb	pza	120	12,44	0,001
Cucharilla	pza	60	6,00	0,001
Escantillón	pza	180	20,00	0,001
Lampa Minera	pza	60	9,73	0,002
Llave francesa de 14"	pza	180	25,00	0,001
Llave Stilson de 14"	pza	180	18,40	0,001
Pico Minero	pza	60	8,50	0,001
Afilador de barreno	pza	1080	4522,00	0,004
Saca Barreno	pza	60	13,70	0,002
Pintura	Gln	30	10,11	0,003
Alambre negro n° 16	kg	10	1,05	0,001
Plataforma de perforación	pza	270	120,00	0,004
Total				0,05

*Tipo de cambio 1US\$= 3,75

En la tabla 12, se observa los costos estimados de las herramientas utilizadas durante la perforación de la nueva malla trasciende un costo de 0,05 US\$/m³ que equivale a 0,13US\$/t.

Tabla 13.*Costos de los implementos de seguridad (EPP)*

Descripción	Und,	Cant,	S/,x und	S/,x disparo	Costo US\$/m ³
Ropa de Jebe	jgo,	3	0,98	2,59	0,008
Guantes de neoprene	par	3	2,80	7,42	0,019
Botas de Jebe	par	3	0,37	0,98	0,003
Mameluco	pza	3	0,50	1,32	0,003
Casco de Seguridad	pza	3	0,12	0,31	0,000
Correa de porta lámpara	pza	3	0,09	0,23	0,000
Respirador contra polvo-3M	pza	3	0,27	0,72	0,003
Filtro contra polvo-3M	par	3	1,50	3,98	0,011
Tapón Auditivo	pza	3	0,12	0,30	0,000
Anteojos de Seguridad	pza	3	0,08	0,22	0,000
Barbiquejo	pza	3	0,17	0,44	0,000
Lampara de Batería	pza	3	1,85	4,91	0,013
Cargador de Lampara	pza	3	0,59	1,55	0,005
Total					0,06

*Tipo de cambio 1US\$= 3,75

En la tabla 13, se visualiza los costos estimados de los implementos de seguridad requeridos para el personal de perforación es de 0,06 US\$/m³ que equivale a 0,16US\$/t.

Por consiguiente, tenemos el costo total de la malla de perforación empírica realizada,

Costo total = Sumatoria de costos parciales estimados

Costo total = 3,70 + 2,51 + 0,13 + 0,16

Costo total de la nueva malla de perforación = **6,51 US\$/t.**

4.1.7. Resumen y comparación de costos

Tabla 14.

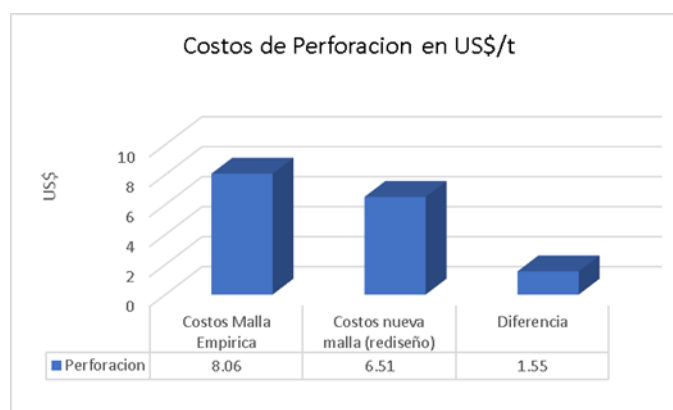
Comparación de costos de perforación

Descripción	Perforación con malla empírica	Perforación con nueva malla	Diferencia
Taladros Perforados	76	53	23
Eficiencia de Perforación	90%	95%	5%
Longitud Efectiva (m)	1,66	1,75	0,09
Metros Perforados (m)	139,02	96,95	42,07
Costo US\$/m ³	3,02	2,44	0,58
Costo US\$/t	8,06	6,51	1,55

La tabla 14 y figura 11 nos muestran una reducción **23 taladros perforados** entre la malla empírica y el nuevo diseño de la malla para el tajeo Esperanza, Por lo tanto, se ha reducido en **42,07m perforados**, lo que significa que tenemos una reducción de **0,58US\$/m³** que equivale a **1,55US\$/t**.

Figura 11.

Resumen de los costos comparativos



4.2. DETERMINAR LA REDUCCIÓN DE COSTOS DE VOLADURA CON EL CÁLCULO DEL FACTOR DE CARGA EXPLOSIVA,

4.2.1. Análisis de costos de voladura con malla empírica en el tajeo

Esperanza

Para calcular la cantidad de explosivos por cada taladro se realizó una adecuada distribución de carguío del explosivo en la malla de perforación emperica del tajeo Esperanza,

Para calcular la cantidad de cartuchos por taladro para el disparo del tajeo Esperanza se ha usado Semexsa 65% (7/8x7") aplicando la siguiente expresión matemática,

$$\text{N}^{\circ}\text{Cart,}/\text{taladro} = \frac{\frac{2}{3} \times \text{Ltal}}{\text{Lc}}$$
$$\text{N}^{\circ}\text{Cart,}/\text{taladro} = \frac{\frac{2}{3} \times 1,83\text{m}}{0,20\text{m}} = 6$$

Tabla 15.

Estimación del consumo de explosivo semesa 65% durante la voladura empírica

Descripción	Taladros perforados	N° cart,/taladro	Total cartuchos	Peso del cartucho kg	Peso total kg
Corte de 10m x 2					
m	76	6	456	0,080	36,48

La tabla 15, hace referencia el consumo de explosivo durante la voladura empírica en un corte, y este consumo es de 36,48 kg, que representa un total de 456 cartuchos de dinamita Semexsa 65%,



- **Cálculo del volumen roto,**

$$V_{roto} = A_{perforada} \times L_p$$

Donde:

$$V_{roto} = \text{Volumen (m}^3\text{)}$$

$$A = \text{Área perforada (m}^2\text{)}$$

$$L_p = \text{Longitud perforado (m)}$$

$$V_{roto} = 10\text{m} \times 2\text{ m} \times 1,66\text{ m}$$

$$V_{roto} = \mathbf{93,37\text{ m}^3}$$

Considerando un factor de esponjamiento de 25 %

$$V_e = 93,37\text{ m}^3 + 23,34\text{ m}^3$$

$$V_e = \mathbf{116,71\text{ m}^3}$$

- **Cálculo el tonelaje roto**

$$\text{Tonelaje roto} = V \times dr$$

$$\text{Tonelaje roto} = 116,71\text{ m}^3 \times 2,67\text{ t/m}^3$$

$$\text{Tonelaje roto} = \mathbf{311,62\text{ Tm}}$$

- **Factor de carga**

$$F_c = \frac{Kg\text{-explosivo}}{\text{Volumen roto}}$$

$$F_c = 36,48\text{kg}/116,71\text{m}^3$$

$$F_c = \mathbf{0,31\text{ kg/m}^3}$$

Factor de potencia

$$F_p = \frac{Kg\text{-explosivo}}{\text{Tonelaje roto}}$$

$$F_p = 36,48\text{kg}/311,62\text{Tm}$$

$$F_p = 0,12 \text{ kg/Tm}$$

Tabla 16.

Resultados obtenidos en la voladura empírica

Parámetros	Dinamita Semexsa 65%
kg/disparo	36,48 kg
Volumen roto	116,71m ³
Toneladas rotas	311,62 Tm
Factor de carga	0,31 kg/m ³
Factor de potencia	0,12 kg/Tm

La tabla 16, muestra los resultados estimados para la voladura empírica en el tajeo Esperanza, en donde visualizamos un volumen roto de 116,71 m³ y un factor de carga explosiva de 0,31 kg/m³,

- **Costos de la voladura con malla empírica en el tajeo Esperanza**

Tabla 17.

Costos de explosivos y accesorios de voladura con la malla empírica

Insumos	Und,	Cant,	S/,	S/,x disparo	US\$/m³
Semexa 65%	car	456,00	1,50	684,00	1,95
Carmex	pza	76,00	2,00	151,99	0,43
Mecha rápida	m	152,00	1,17	178,18	0,51
Total					2,90

*Tipo de cambio 1US\$= 3,75

La tabla 17, muestra los costos de explosivos y accesorios de voladura utilizados en la malla empírica en el tajeo Esperanza, cuyo costo ha sido estimado en **2,90 US\$/m³** que equivale a **7,74US\$/t**.

4.2.2. Análisis de costos de la voladura con la malla nueva en el tajeo

Esperanza

Para calcular la cantidad de explosivos por cada taladro en la nueva malla de perforación del tajeo Esperanza, se ha usado Semexsa 65% (7/8x7”), asimismo aplicamos la siguiente expresión matemática,

$$N^{\circ}\text{Cart,}/\text{taladro} = \frac{\frac{2}{3} \times L_{\text{tal}}}{L_c}$$

$$N^{\circ}\text{Cart,}/\text{taladro} = \frac{\frac{2}{3} \times 1,83\text{m}}{0,20\text{m}} = 6$$

Tabla 18.

Consumo de explosivo semesa 65% en la voladura con nueva malla

Descripción	Taladros perforados	N° cart,/taladro	Total cartuchos	Peso del cartucho kg	Peso total kg
Corte de 10m x 2 m	53	6	318	0,080	25,44

La tabla 18, hace referencia el consumo de explosivo durante la voladura con malla nueva en un corte, y este consumo es de 25,44 kg, que representa un total de 318 cartuchos de dinamita Semexsa 65%,

- **Cálculo del volumen roto,**

$$V_{\text{roto}} = A_{\text{perforada}} \times L_p$$

Donde:

$$V_{\text{roto}} = \text{Volumen (m}^3\text{)}$$

$$A = \text{Área perforada (m}^2\text{)}$$

$$L_p = \text{Longitud perforado (m)}$$



$$V_{roto} = 10\text{m} \times 2\text{ m} \times 1,75\text{ m}$$

$$V_{roto} = 99,02\text{ m}^3$$

Considerando un factor de esponjamiento de 25 %

$$V_e = 90,54\text{ m}^3 + 24,76\text{ m}^3$$

$$V_e = 123,78\text{ m}^3$$

- **Cálculo el tonelaje roto**

$$\text{Tonelaje roto} = V \times dr$$

$$\text{Tonelaje roto} = 123,78\text{ m}^3 \times 2,67\text{ t/m}^3$$

$$\text{Tonelaje roto} = 330,48\text{ Tm}$$

- **Factor de carga**

$$F_c = \frac{\text{Kg-explosivo}}{\text{Volumen roto}}$$

$$F_c = 25,44\text{kg}/123,78\text{m}^3$$

$$F_c = 0,21\text{ kg/m}^3$$

Factor de potencia

$$F_p = \frac{\text{Kg-explosivo}}{\text{Tonelaje roto}}$$

$$F_p = 25,44\text{kg}/330,48\text{Tm}$$

$$F_p = 0,077\text{ kg/Tm}$$

Tabla 19.*Resultados obtenidos en la voladura con malla nueva*

Parámetros	Dinamita Semexsa 65%
kg/disparo	25,44 kg
Volumen roto	123,75 m ³
Toneladas rotas	330,48 Tm
Factor de carga	0,21 kg/m ³
Factor de potencia	0,08 kg/Tm

La tabla 19, muestra los resultados estimados para la voladura con malla nueva en el tajeo Esperanza, en donde visualizamos un volumen roto de 123,78 m³ y un factor de carga explosiva de 0,21 kg/m³,

Tabla 20.*Costos de explosivos y accesorios de voladura con nueva malla*

Insumos	Und,	Cant,	S/,	S/,x guardia	US\$/m³
Semexa 65%	car	318,00	1,50	477,00	1,07
Carmex	pza	53,00	2,00	105,99	0,29
Mecha rápida	m	106,00	1,17	124,26	0,06
Total					1,42

*Tipo de cambio 1US\$= 3,75

La tabla 20, muestra los costos de explosivos y accesorios de voladura utilizados en la nueva malla del tajeo Esperanza, cuyo costo ha sido estimado en **1,42 US\$/m³** que equivale a **3,79US\$/t.**

4.2.3. Análisis comparativo de los costos de la voladura en el tajeo Esperanza

En la tabla 21 y figura 12, se muestra los resultados de los parámetros y costos de voladura en el tajeo Esperanza, con malla empírica y nueva de malla de perforación, En el consumo de dinamita se tiene una diferencia de 11,04 kg. Por

lo tanto, un factor de carga $0,10 \text{ kg/m}^3$ de diferencia, En consecuencia, tenemos una diferencia de costo de $3,95 \text{ US\$/t}$

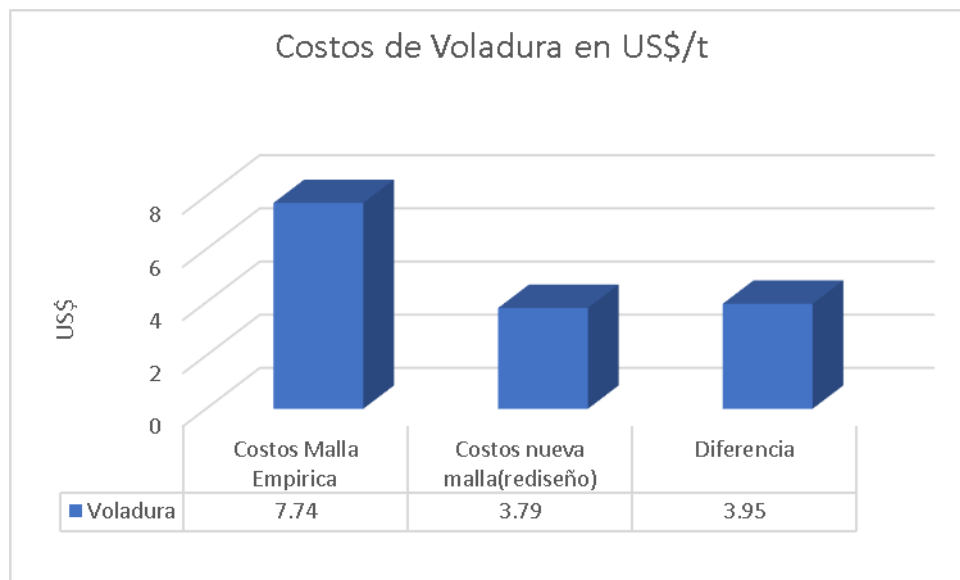
Tabla 21.

Análisis de los costos comparativos de voladura

Descripción	Voladura con malla empírica	Voladura con nueva malla	Diferencia
kg/disparo	36,48	25,44	11,04
Volumen roto (m^3)	116,71	123,75	7,04
Toneladas rotas TM	311,62	330,48	18,86
Factor de carga (kg/m^3)	0,31	0,21	0,10
Factor de potencia (kg/Tm)	0,12	0,08	0,04
Costo $\text{US\$/m}^3$	2,90	1,42	1,48
Costo $\text{US\$/t}$	7,74	3,79	3,95

Figura 12.

Resumen de costos comparativos



4.2.4. Prueba de hipótesis

La prueba de hipótesis se ha realizado mediante la t de dos muestras, Donde se realizó el método de medias con el fin de demostrar si existe diferencias de las medias entre los costos con la malla empírica y con la malla nueva en el tajeo Esperanza,

H0: Las medias de los costos de perforación y voladura del tajeo Esperanza son iguales.

Hipótesis alternativa H1: Las medias de los costos de perforación y voladura del tajeo Esperanza son diferentes.

Si el p-valué es menor que 0,05 se determina que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

Tabla 22.

Prueba de hipótesis

IC y Prueba T pareada: Malla Empírica (US\$/t); Malla a (US\$/t)
Estadísticas descriptivas

Muestra		N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media
Malla Empírica (US\$/t)		10	15,800	0,732	0,231
Malla Nueva (US\$/t)		10	10,300	0,211	0,067
Estimación de la diferencia pareada					
Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para la diferencia_μ		
5,500	0,789	0,249	(4,936; 6,064)		
<i>diferencia_μ: media de (Malla Empírica (US\$/t) - Malla Nueva (US\$/t))</i>					
Prueba					
Hipótesis nula		H ₀ : diferencia_μ = 0			
Hipótesis alterna		H ₁ : diferencia_μ ≠ 0			
Valor T	Valor p				



22,05 0,000

En la tabla 22 se visualiza la prueba de hipótesis, y los resultados nos muestran un p-valué de 0,000 esto quiere decir que es menor a 0,05; entonces, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, Lo que se demuestra que las medias son diferentes,

4.3. DISCUSIÓN

En el presente estudio de investigación, los resultados fueron positivos y cumplieron con los objetivos propuestos, entre ellos la reducción de costos de perforación y voladura la nueva malla (rediseño) y cálculo carga explosiva, el cual se logró una reducción de 5,50 US\$/t en el tajeo Esperanza, Estos resultados son similares al estudio realizado por autores como Cruz y Rapre (2022), quienes lograron una reducción de costos de perforación y voladura en un 3,50US\$/t en la veta Guisela de la unidad minera Chungar.

Con la nueva malla (rediseño) de perforación, los costos se redujeron de 8,06US\$/t a 6,51US\$/t, teniendo un beneficio a favor de la empresa minera Arapa S.A.C. de 1,55US\$/t en el tajeo Esperanza, A ello, Araca (2019) en su estudio de investigación concluye que se optimizo los costos de perforación de 7.84 US\$/TM a 7.54 US\$/TM por corte en el tajeo Mariana de compañía minera Arcata S.A. – Arequipa.

Con el cálculo del factor de carga explosiva se redujeron los costos de voladura en el tajeo Esperanza de la empresa minera Arapa S.A.C., de 7,74US\$/t a 3,79 US\$/t. logrando un beneficio de 3,95US\$/t. Del mismo modo Portugal (2023) ha reducido los costos de voladura de14,54 US\$/TM a 13,58 US\$/TM.



V. CONCLUSIONES

- En lo general los costos estimados con la nueva malla (rediseño) de perforación y el cálculo del factor de carga explosiva para el tajeo Esperanza, los costos se redujeron de 15,80 US\$/t a 10,30 US\$/t donde se ha tenido un beneficio a favor de la empresa minera Arapa S.A.C., de 5,50US\$/t.
- Con la nueva malla (rediseño) de perforación, los costos se redujeron de 8,06US \$/t a 6,51US\$/t, obteniendo un beneficio de 1,55US\$/t en el tajeo Esperanza de la unidad minera Arapa S.A.C., dichos logros se han basado en aplicar el modelo matemático de Konya.
- Con el cálculo del factor de carga explosiva determinada, se redujeron los costos de voladura de 7,74 US\$/t a 3,79 US\$/t. Teniendo así, un beneficio de 3,95 US\$/t en el tajeo Esperanza de la unidad minera Arapa S.A.C.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar la investigación de los costos de perforación mediante la aplicación de modelos matemáticos para el diseño de mallas según tipo de macizo rocoso.
- Se recomienda realizar la investigación de los costos de voladura utilizando distintos tipos de explosivos y agentes de voladura.
- Se recomienda realizar la investigación el diseño de malla de perforación mediante una evaluación geotécnica de las labores mineras subterráneas.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ames Lara, V, A, (2015), *Tecnología de Explosivos*, Huancayo,
- Araca Mamani, R, (2019), *Optimización de costos de producción mina mediante la evaluación de las operaciones unitarias de perforación y voladura en los Tajeos Mariana y Alexia de la Compañía minera Arcata S,A, - Arequipa*, [Universidad Nacional del Altiplano], Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20,500,14082/16308>
- Barrientos Llacua, R., & Durand Lanazca, G, A, (2020), *Diseño de la malla de perforación para optimizar la fragmentación en el tajeo 6662 nivel 3780 veta Lilia en la Mina Socorro– Unidad Minera Uchucchacua – Compañía de Minas Buenaventura S,A,A, ,* [Univer
- Bernaola, J., Castilla, J., & Herrera, J, (2013), *Perforación y voladura de rocas en minería*, In *Universidad Politécnica de Madrid*, <https://doi.org/10,20868/UPM,book,21848>
- Chambergu Guillermo, I, (2013), *Estructura de costos en las operaciones de la empresa minera, Area contabilidad y costos,IV-1*,
- Chancasanampa Gomez, W, (2019), *Diseño de la malla de perforación y voladura para incrementar la productividad de tajeos en la Compañía Minera Great Panther Coricancha S,A*, [Universidad Nacional del Centro del Perú], Huancayo, Obtenido de <http://hdl.handle.net/20,500,12894/5431>
- Choque Choccelahua, J, C, (2019), *Modelo matemático de langefors para optimizar el diseño de mallas de perforación y voladura de taladros largos – unidad Yauliyacu*, [Universidad Nacional del Centro del Perú], Huancayo, Obtenido de <http://hdl.handle.net/20,500,12894/5141>
- Dessureault, D, S, (2006), *Rock Excavation*, Arizona,
- EXSA, (2009), *Manual practico de voladura (Especial)*, file:///C:/Users/lucio/Downloads/MANUAL PRÁCTICO DE VOLADURA EXSA (1).pdf



- EXSA, (2019), Manual práctico de voladura, In *Exasa Soluciones exactas* (5ta, Edici),
file:///C:/Users/lucio/Downloads/MANUAL PRÁCTICO DE VOLADURA
EXSA (1).pdf
- Franca, L, (2012), *A bit-rock interaction model for rotary-percussive drilling*,
International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Australia,
doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2011.05.007>
- Ghasemi, E., Sari, M., & Ataei, M, (2012), Development of an empirical model for
predicting the effects of controllable blasting parameters on flyrock distance in
surface mines, doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2012.03.011>
- Hernandez S, R., Fernandez C, C., & Baptista L, P, (2014), *Metodología de la
investigacion* (S, A, D, C, V, McGRAW-HILL / INTERAMERICANA
EDITORES (ed.); 6ta, Edici),
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P, (2010),
Metodología de la Investigación, In *Metodología de la investigación científica y
educativa* (5 Edicion), <https://doi.org/10.22533/at.ed.6962318092>
- Izquierdo Castillo, D, F, (2022), *Diseño de Malla de Perforación para la Optimización
de La Voladura en el Tajeo 8680 acceso uno sur de la Unidad Minera San Vicente
de Morococha 2022* , [Universidad Nacional de Moquegua], Obtenido de
<http://repositorio.unam.edu.pe/handle/UNAM/353>
- Konya, C, (1998), *Manual de Voladura*, <https://ingenieriademinaswil.blogspot.com/>
- Langefors, U., & Kilstrom, (1987), *Técnica Moderna de Voladura de Rocas*, Suecia:
Urmo, S,A, de Ediciones, Obtenido de
<https://es.scribd.com/document/373409543/Tecnica-Moderna-de-Voladura-de-Roca-U-Langefors>
- López Álvarez, M, A, (2008), *Análisis y Gestión de Costos en Explotación Minera a Cielo
Abierto*, [Universidad de Chile], Santiago de Chile, Obtenido de
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/103187>
- López Jimeno, C, (2003), *Manual de Perforación y Voladura de Rocas*, [Instituto
Tecnológico GeoMinero de España], España,



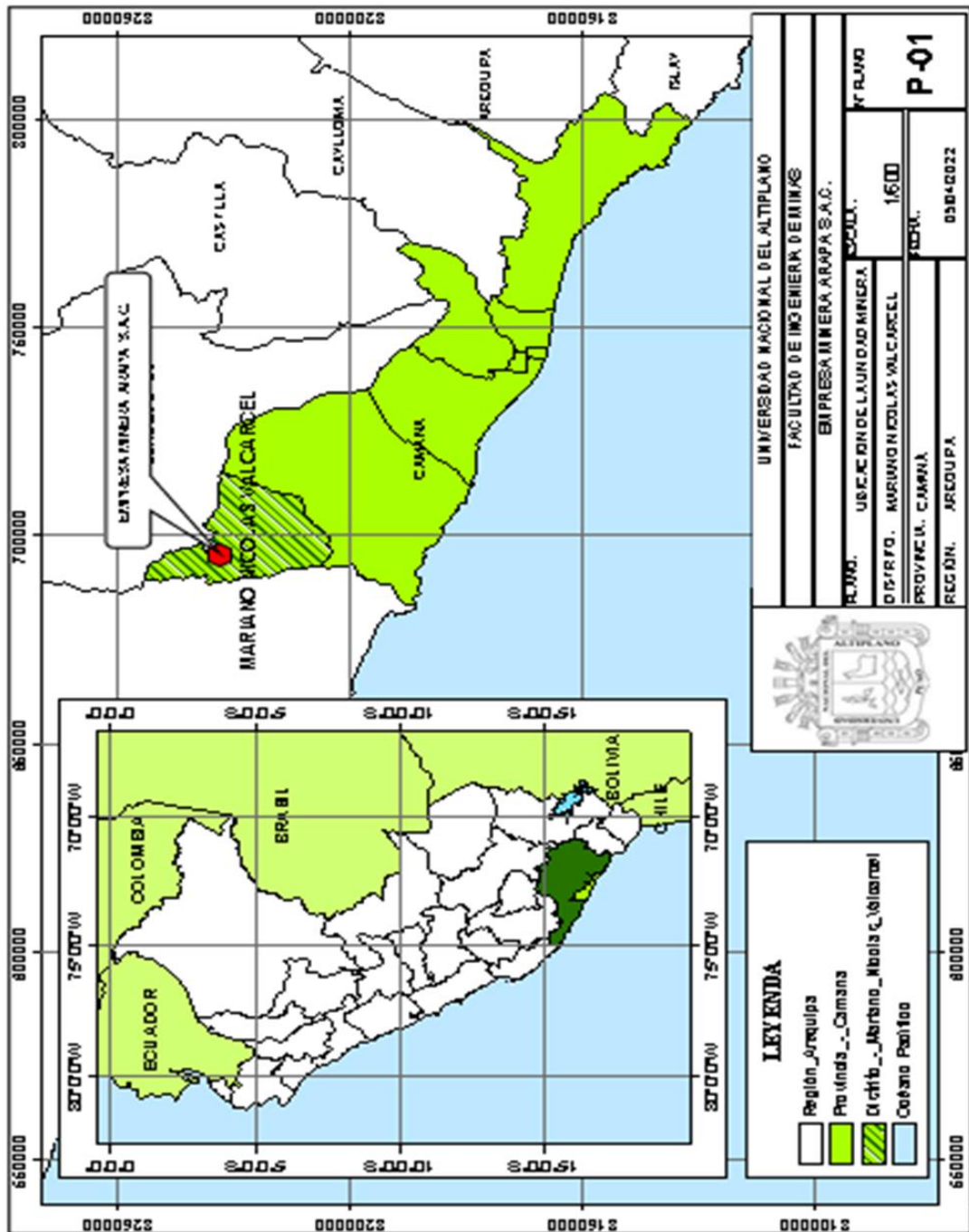
- Lopez Jimeno, (1987), Manual De Perforacion y Voladura, In *Manual de Perforacion y Voladura de Rocas* (pp, 219–235), <https://elibro.net/es/ereader/epoch/101798?page=1>
- López Jimeno, C., Pernia Llera, J., Lopez Jimeno, E., & Ortiz de Urbina, F, (2006), Manual de Perforación y Voladura de Rocas, In *Instituto geologico y minero de España*, http://www.entornografico.com/ingepres/Ing_119/ing119_sum.htm
- Lozada Ramos, J, L, (2023), *Aplicación del Método de Explotación Corte y Relleno Ascendente para Optimizar la producción en la Unidad Minera Peruvian Golden Mining*, [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa], Obtenido de <http://hdl.handle.net/20,500,12773/15614>
- Muruaga Rojas, S, I, (2016), *Selección de métodos de explotación para vetas angostas*, [Universidad de Chile], Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/139743>
- Music Garrido, A, A, (2007), *Diagnóstico y optimización de disparos en desarrollo horizontal, Mina el Teniente*, [Universidad de Chile], Santiago de Chile, Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104674>
- Ortega Ramos, C., Jaramillo Gil, A, F., & Molina Escobar, J, M, (2016), *Modification of the blDrilling grid blasting upgrading based on geological Strength Index (GSI), case "La Maruja" mine, Colombia*, [Universidad Nacional de Colombia], doi:<http://dx.doi.org/10,15446/rbct,n40,52199>
- Portugal Quispe, w, (2023), *Reducción de los costos de producción del Tj-395 a través del diseño de malla de perforación y voladura en la U,M, LAS ÁGUILAS – CIEMSA*, [Universidad Nacional del Altiplano], Obtenido de <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20,500,14082/20602>
- Quiroga Acuña, M, A, (2013), *Análisis de la perforación y Tronadura en el Soldado*, [Universidad de Chile], Santiago de Chile, Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/114484>



- Ramírez Oyanguren , P., & Monge Leandro, A, (2004), *Mecánica de Rocas Fundamento e Ingeniería de Taludes*, Lima,
- Reátegui Ordóñez, F, (2018), *Aplicación del modelo de kuz ram y la teoría de daño por vibraciones para el diseño de los parámetros de perforación y voladura*, Obtenido de <https://investigacion.ucsm.edu.pe/vrinvestigacion/>
- Wang , F., Renc , T., Hungerford , F., TU , S., & Aziz , N, (2012), *Advanced directional drilling technology for gas drainage and exploration in Australian coal mines, First International Symposium on Mine Safety Science and Engineering, Sciverse Science Direct, China*, doi:doi:10,1016/j.proeng,2011,11,2136
- Zamora Paredes, V, E, (2020), *Propuesta de diseño de mallas de perforación y voladura empleando modificación al modelo matemático de Pearse con la finalidad de optimizar la fragmentación de rocas en la mina Tacaza de Consorcio de Ingenieros Ejecutores Mineros S,A, (CIEMSA)*, [Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas], Lima, Obtenido de <http://hdl.handle.net/10757/654495>
- Zúñiga Torres, P, D, (2015), *Diseño de tronaduras y su impacto en el costo mina de Compañía Minera Cerro Negro*, [Universidad de Chile], Santiago, Obtenido de <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/137507>

ANEXOS

ANEXO 1. Mapa de Ubicación





ANEXO 2. Datos para prueba de hipótesis

Disparos/guardia	Malla Empririca (US\$/t)	Malla Nueva (US\$/t)
10/06/2021	16.80	10.60
11/06/2021	17.20	10.10
12/06/2021	15.80	10.30
13/06/2021	15.50	10.20
14/06/2021	14.70	10.60
15/06/2021	15.90	10.50
16/06/2021	15.30	10.40
17/06/2021	15.90	10.10
18/06/2021	15.30	10.10
19/06/2021	15.60	10.10

ANEXO 3. Perforación vertical en el Tajeo Esperanza





ANEXO 4. Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo RONALD CAJANA QUISPE
identificado con DNI 70167536 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERÍA DE MINAS

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
“ REDUCCIÓN DE COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA CON EL DISEÑO
DE MALLA Y CALCULO DEL FACTOR DE CARGA EXPLOSIVA EN EL TAJEO
ESPERANZA DE LA EMPRESA MINERA ARAPA S.A.C. - AREQUIPA ”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 27 de JUNIO del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



ANEXO 5. Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo RONALD CAUNA QUISPE
identificado con DNI 70167536 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA DE MINAS

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

" REDUCCIÓN DE COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA CON EL DISEÑO DE MALLA Y CALCULO DEL FACTOR DE CARGA EXPLOSIVA EN EL TASEO ESPERANZA DE LA EMPRESA MINERA ARAPA S.A.C. - AREQUIPA "

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 27 de JUNIO del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella