

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Implementación de una malla de perforación con
sección 3.5 x 3.5 m para la reducción de costos de
voladura en una pequeña mina en el sur de la región
Arequipa**

Mario Noa Ppacco

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Arequipa, 2024

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS

A : Dr. Felipe Néstor Gutarra Meza
Decano de la Facultad de Ingeniería

DE : Mg. Yamil Zevallos Luque
Asesor de tesis

ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

FECHA : 1 de Julio de 2024

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "IMPLEMENTACIÓN DE UNA MALLA DE PERFORACIÓN CON SECCIÓN 3.5 X 3.5 M PARA LA REDUCCIÓN DE COSTOS DE VOLADURA EN UNA PEQUEÑA MINA EN EL SUR DE LA REGIÓN AREQUIPA", perteneciente al estudiante NOA PPACCO MARIO, de la E.A.P. de Ingeniería de Minas; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 10 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- | | | | | |
|---|----|-------------------------------------|----|-------------------------------------|
| • Filtro de exclusión de bibliografía | SI | <input checked="" type="checkbox"/> | NO | <input type="checkbox"/> |
| • Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
(Nº de palabras excluidas: 20) | SI | <input checked="" type="checkbox"/> | NO | <input type="checkbox"/> |
| • Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante | SI | <input type="checkbox"/> | NO | <input checked="" type="checkbox"/> |

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

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original

(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	2
1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.1.2 Formulación del problema	2
1.1.3 Problemas específicos.....	3
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.2.1 Objetivo General	3
1.2.2 Objetivos específicos.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN	3
1.3.1 Justificación metodológica.....	3
1.3.2 Justificación técnica.....	4
1.3.3 Justificación Económica	4
1.4 HIPÓTESIS	5
1.4.1 Hipótesis general	5
1.4.2 Hipótesis específica	5
1.5 VARIABLES.....	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	6
2.1.1 Antecedentes Internacionales	6
2.1.2 Antecedentes Nacionales	7
2.1.3 Antecedentes Locales	8
2.2 BASES TEÓRICAS.....	8
2.2.1 Perforación	8
2.2.1.1 Condiciones de perforación.....	8
2.2.1.2 Velocidad de penetración.....	9
2.2.1.3 Fallas de disparos.....	9

2.2.2	Macizo rocoso	10
2.2.2.1	Tipo de roca.....	10
2.2.3	Explosivos.....	13
2.2.3.1	Potencia de los explosivos	13
2.2.3.2	Clasificación de los explosivos	14
2.2.3.3	Características y propiedades de los explosivos.....	15
2.2.3.4	Características prácticas de los explosivos.....	18
2.2.4	Voladura.....	25
2.2.5	Limpieza	25
2.2.6	Malla de perforación.....	25
2.2.7	Diferencia entre costo y gasto	31
2.2.8	Reservas de minerales.....	32
2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	33
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA		36
3.1	MÉTODOS Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	36
3.1.1	Métodos de la investigación.....	36
3.1.2	Alcance de la investigación.....	36
3.1.3	Diseño de la investigación	36
3.1.4	Nivel de investigación.	36
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA	37
3.2.1	Población.....	37
3.2.2	Muestra	37
3.2.3	Técnicas e instrumentos para recopilar información	37
3.2.3.1	Técnica.....	37
3.2.3.2	Instrumento	37
3.2.4	Forma de tratamiento de los datos	38
3.3	MÉTODOS.....	39
3.3.1	Etapa 1. Establecimiento de una línea base detallada de los resultados anteriores en el proceso de perforación y voladura para el frente de 3,5 x 3,5 metros	39
3.3.1.1	Análisis Estructural del macizo rocoso.....	39
3.3.2	Etapa 3. Determinar el porcentaje de reducción de costos en perforación y voladura por metro lineal de avance al aplicar la malla de perforación diseñada.....	42

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
4.1 ETAPA 1. ESTABLECIMIENTO DE UNA LÍNEA BASE DETALLADA DE LOS RESULTADOS ANTERIORES EN EL PROCESO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA EL FRENTE DE 3,5 X 3,5 METROS.	43
4.1.1 Características Geológicas:	43
4.1.2 Condición Actual.....	43
4.1.3 Infraestructura Existente	44
4.1.4 Métodos de Perforación Actuales.....	46
4.1.4.1 Parámetros de perforación en frentes de avance con sección de 3.5 x 3.5 m.....	46
4.1.4.2 Mallas de Perforación y voladura recopilado con arranques de 3 y 2 taladros de alivio rimados.....	46
4.2 ETAPA 2. IMPLEMENTACIÓN DE UNA MALLA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA APROPIADA PARA EL FRENTE DE 3,5 X 3,5 METROS.....	59
4.2.1 Malla de perforación y voladura de acuerdo con la clasificación geomecánica.....	59
4.2.2 Diseño de malla y esquema de carguío de taladros utilizado en el XC_520_Z4 antes del estudio.....	69
4.2.3 Diseño de malla y esquema de carguío de taladros utilizado en el XC_797N_Z3 antes del estudio	70
4.2.4 Cronograma de implementación del programa de pruebas para las mallas de perforación y voladura.....	72
4.3 ETAPA 3. FACTOR DE AVANCE Y PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE COSTOS EN PERFORACIÓN Y VOLADURA POR METRO LINEAL AL APLICAR LA MALLA DE PERFORACIÓN EN EL FRENTE DE 3.5 X 3.5 CONSIDERANDO UNA EVALUACIÓN DEL MACIZO ROCOSO	74
4.3.1 Resultados de Avance Ejecutado y Factor de Avance labor XC_520N_Z4	74
4.3.2 Resultado final de Costo Programado y Ejecutado XC 520_ZN 4.....	75
4.3.3 Resultados de la Longitud y Factor de avance en XC 797N_Z3.....	76
4.3.4 Resultado final de Avances y Costos Programado y Ejecutado XC_797N_Z3	77
4.3.5 Resultados y controles de las perforaciones en XC_230N_Z1	78
4.3.6 Resultados de la Implementación de los diseños de malla de perforación.....	80
4.3.7 Comparación de los cumplimientos de los avances en función de la programación y lo ejecutado.	81
4.3.8 Incremento de avances y ahorros generados	83
4.3.9 Pérdidas en el proceso – Sobrecosto de voladura por metro de avance.....	84

4.3.10	Mejora en la eficiencia de perforación y voladura implementado, y disminución de costos con el diseño de malla.	85
4.3.11	Comparación de los resultados 2020 (línea base) y 2021.	86
CONCLUSIONES		87
RECOMENDACIONES		88
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		89
ANEXOS.....		92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Variables, dimensiones e indicadores.....	5
Tabla 2.	Clasificación de poros	12
Tabla 3.	Escala de la dureza en los materiales	13
Tabla 4.	Características del Fanel.....	19
Tabla 5.	Retardo del FANEL en serie estándar	20
Tabla 6.	Retardo del FANEL en serie universal.....	21
Tabla 7.	Características del Superfam DOS (ANFO).....	22
Tabla 8.	Características del Emulnor.....	22
Tabla 9.	Características del Emulnor por cajas	23
Tabla 10.	Características de la mecha de seguridad	23
Tabla 11.	Características del block de sujeción.....	23
Tabla 12.	Características del block del conector	24
Tabla 13.	Características del fulminante común	24
Tabla 14.	Características técnicas de Pentacord 16P Y16E	24
Tabla 15.	Características físicas del Pentacord 16P y 16E	25
Tabla 16.	Valores de tipo de roca - constante dt y k.....	27
Tabla 17.	Ecuaciones para el cálculo de burden.....	28
Tabla 18.	Fórmulas del Burden y Espaciamiento en Cada Cuadrante.....	29
Tabla 19.	Clasificación del tipo de roca.....	38
Tabla 20.	Tipo de material en unidad minera de estudio	44
Tabla 21.	Disponibilidad y utilización de los equipos que se tiene en mina.....	45
Tabla 22.	Parámetros de perforación de frentes antes del estudio.....	46
Tabla 23.	Diagrama de Gantt para la programación de las pruebas.	73
Tabla 24.	Resultado de avance XC_520N_Z4	74
Tabla 25.	Resultado final factor de avance	75
Tabla 26.	Resultado final de costo por metro (programa y ejecutado)	75
Tabla 27.	Avance programado y ejecutado XC_797N_Z3	76
Tabla 28.	Resultado final factor de avance XC_797N_Z3	77
Tabla 29.	Resultado final de costo por metro (programado y ejecutado)	77
Tabla 30.	Longitud de Avance Ejecutado con diseño de malla implementado en el estudio.....	79
Tabla 31.	Resultado final factor de avance	79
Tabla 32.	Resultado final de costo por metro (programado y ejecutado)	80
Tabla 33.	Cumplimientos de los avances en el año 2020.....	81

Tabla 34.	Programa y cumplimiento de los avances en el año 2021.	82
Tabla 35.	Comparación de programas de avance, ejecutado y cumplimiento	83
Tabla 36.	Descripción del incremento de producción	84
Tabla 37.	Comparación de resultados 2020 y 2021.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Clasificación de los explosivos según informó Codelco.	15
Figura 2.	Estándar de malla de perforación.	26
Figura 3.	Índice geológico de resistencia (GSI) – Parte 1.	40
Figura 4.	Índice geológico GSI - Parte 2.	41
Figura 5.	Clasificación geomecánica de masa rocosa y minera.	42
Figura 6.	Disponibilidad Mecánica vs Utilización.	45
Figura 7.	Malla de perforación con arranque con 3 taladros rimados Tipo de roca III-A.	47
Figura 8.	Malla de perforación con arranque con 2 rimados, Tipo de roca III-B.	48
Figura 9.	Malla de perforación - Labor XC 520N_ZN 4	49
Figura 10.	Prueba 1 XC_520_Z4 (Levantamiento topográfico y resultados), se visualiza el resultado de longitud de avance con malla de perforación de dos taladros rimados.	50
Figura 11.	Prueba 2 XC_520N_Z4 resultado de longitud de avance y malla de perforación con tres taladros de alivio. Toma de datos voladura número 2.	51
Figura 12.	Prueba 3 XC 520N_Z4 resultado de longitud de avance y malla de perforación con dos taladros de alivio. Toma de datos voladura número 3.	52
Figura 13.	Prueba 4 XC_520_Z4 resultado de longitud de avance y malla de perforación con tres taladros de alivio. Toma de datos voladura número 4.	53
Figura 14.	Prueba 5 XC_520N_Z4 Resultado de longitud de avance con malla de perforación con dos taladros de alivio. Toma de datos de voladura número 5	54
Figura 15.	Diseño de malla y esquema de carguío y voladura en XC 797N_Z3.	55
Figura 16.	Levantamiento topográfico prueba N°6 en XC 797N_Z3	56
Figura 17.	Levantamiento topográfico prueba N°7 en XC 797N_Z3	57
Figura 18.	Levantamiento topográfico prueba N°9 el día 02/03/2021 turno día en XC 797N_Z3 58	
Figura 19.	Levantamiento topográfico prueba N°9 día 02/03/2021 en XC 797N_Z3	59
Figura 20.	Diseño de malla de Perforación y esquema de carguío para roca de tipo II A-B.	60
Figura 21.	Malla de perforación para roca de tipo II-B y III-A.	61
Figura 22.	Malla de perforación para roca de tipo III A-B.	62
Figura 23.	Malla de perforación para roca de tipo IV A-B	63
Figura 24.	Diseño de malla de perforación y resultados de las pruebas 10, 11 y 12 de la labor XC_230N_Z1.	64
Figura 25.	Resultados de la prueba 10 - XC 230 N-Z1	65
Figura 26.	Diseño de malla y resultados de la prueba 11 XC 230 N-Z 1	66
Figura 27.	Diseño de malla y resultados de la prueba 11 XC 230 N-Z 1	67

Figura 28.	Diseño de malla de perforación para las pruebas 13 Y 14 XC_230N-Z1	67
Figura 29.	Levantamiento topográfico prueba 13 XC_230N_Z1	68
Figura 30.	Diseño de malla y resultados de la prueba 14 XC 230 N-Z 1.....	69
Figura 31.	Diseño y esquema de carguío XC 520N-ZN4	70
Figura 32.	Diseño y esquema de carguío XC 797N-Z3	71
Figura 33.	Costo de la voladura en XC_520N_Z4.....	76
Figura 34.	Costo de la voladura en XC_797N_Z3.....	78
Figura 35.	Sobrecosto de la voladura en XC_230N_Z1.	80
Figura 36.	Reducción de costos con nuevo diseño de malla de perforación en XC_230N_Z1.....	81
Figura 37.	Cumplimiento de avances lineales año 2020.	82
Figura 38.	Cumplimiento de avances lineales año 2021	82
Figura 39.	Ejecutado Año 2020 y 2021.....	83
Figura 40.	Resumen de sobrecosto por metro – XC_520N_Z4.....	84
Figura 41.	Resumen de sobrecosto por metro XC_797N_Z3.....	85
Figura 42.	Resumen de sobrecosto por metro XC_230N_Z1.....	85
Figura 43.	Eficiencia con la implementación de la malla de perforación y voladura	86

RESUMEN

El estudio se centra en la introducción de una red de pozos con una sección transversal de 3,5 x 3,5 metros, con el objetivo de aumentar la eficiencia minera y reducir los costos asociados a la perforación y voladura en minas de pequeña escala en la región sur de Arequipa. Los métodos utilizados fueron de naturaleza experimental y produjeron resultados positivos tanto para el estudio como para la empresa. La población y muestra estudiadas, cubrieron el frente de un tramo de 3.5 x 3.5 metros de la unidad minera y XC 230 respectivamente. Los resultados muestran que en el año 2020 se utilizaron 110 kilogramos de explosivos en el frente de 3,5x3,5 metros y el avance lineal alcanzó un promedio de 2,6 metros con un factor de carga lineal de 42,28 kg/m. registrados durante el mismo período. Antes de la implementación de la malla de perforación, el porcentaje de cumplimiento era del 86 %. Sin embargo, con la introducción de la malla de perforación estandarizada, este cumplimiento experimentó un notable incremento, alcanzando el 100,3 %. Esto se reflejó en un avance lineal promedio de 3,03 metros. Al comparar estos resultados con informes anteriores, se observó una disminución de costos en el proceso de perforación y voladura posterior a su implementación, demostrando su efectividad para mejorar la eficiencia operativa y reducir costos en la mina, marcando avances significativos en el proceso. extracción.

Palabras clave: *Perforación, voladura, malla de perforación.*

ABSTRACT

The present research focused on the implementation of a drilling mesh with a section of 3.5 x 3.5 meters, aiming to enhance mining progress efficiency and reduce drilling and blasting costs in a small mine located in the southern region of Arequipa. The research methodology was based on an experimental approach, which yielded positive results for both the study and the company. The study population and sample included the advance fronts with a section of 3.5 x 3.5 meters in the mining unit and XC 285, respectively. Findings revealed that in 2020, the linear advance reached 2.7 meters using 76 kilograms of explosives for sections of 3.5 x 3.5 meters. In contrast, in 2021, advances of 2.56 meters were recorded with a linear charge of 42.28 kg/m. Before implementing the standardized drilling mesh, compliance stood at 86 %. However, with the standardization of the drilling mesh, compliance significantly increased to 101 %. This translated into a 3-meter linear advance. A comparison with previous reports demonstrated a reduction in costs in the drilling and blasting process after the implementation, proving its effectiveness in enhancing operational efficiency and reducing costs in the mine, representing a significant advancement in the extraction process.

Keywords: *Drilling, blasting, drilling mesh, underground mine.*