

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Implementación de shotcrete mecanizado para la  
disminución del tiempo del ciclo de minado para  
incrementar la producción en las labores de una mina  
subterránea convencional de mediana escala en el  
distrito de Caylloma, departamento de Arequipa**

Juan Carlos 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** : 2 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 SHOTCRETE MECANIZADO PARA LA DISMINUCIÓN DEL TIEMPO DEL CICLO MINADO PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN EN LAS LABORES DE UNA MINA SUBTERRÁNEA CONVENCIONAL DE MEDIANA ESCALA EN EL DISTRITO DE CAYLLOMA, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA", perteneciente al estudiante NOA PPACCO JUAN CARLOS, 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 14 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:


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

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,



---

Mg. Yamil Zevallos Luque  
Asesor de tesis

# ÍNDICE

Asesor .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.1.2 Formulación del problema.....	3
1.1.2.1 Problema general .....	3
1.1.2.2 Problemas específicos.....	3
1.2 OBJETIVOS .....	3
1.2.1 Objetivo general .....	3
1.2.2 Objetivos específicos .....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO .....	4
1.3.1 Justificación técnica .....	4
1.3.2 Justificación económica .....	4
1.4 HIPÓTESIS .....	4
1.4.1 Hipótesis general .....	4
1.4.2 Hipótesis específicas.....	4
1.5 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES .....	5
1.5.1 Variable independiente.....	5
1.5.2 Variable dependiente .....	5
1.5.3 Matriz de operacionalización de variables .....	5
1.6 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA .....	6
2.1.1 Antecedentes internacionales .....	6
2.1.2 Antecedentes nacionales .....	7
2.2 BASES TEÓRICAS .....	8

2.2.1	Ciclo de minado .....	8
2.2.1.1	Perforación de roca .....	8
2.2.1.2	Voladura de roca .....	8
2.2.1.3	Ventilación de las labores .....	8
2.2.1.4	Desatado de rocas sueltas .....	9
2.2.1.5	Limpieza y acarreo .....	9
2.2.2	Sostenimiento de labores .....	9
2.2.2.1	Sostenimiento pasivo.....	9
2.2.2.2	Sostenimiento activo.....	9
2.2.3	Shotcrete.....	10
2.2.3.1	Shotcrete convencional vía seca .....	10
2.2.3.2	Shotcrete mecanizado vía húmeda.....	10
2.2.4	Evaluación de mezclas de shotcrete .....	12
2.2.4.1	Antes de aplicar shotcrete .....	12
2.2.4.2	Procedimiento de mezclado.....	12
2.2.5	Funciones del maestro lanzador de concreto .....	13
2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS .....	14
2.3.1	Equipo.....	14
2.3.2	Términos e insumos utilizados en shotcrete .....	16
2.3.3	Diseño de la mezcla proyectada vía húmeda .....	19
2.3.4	Diseño de la mezcla proyectada vía seca .....	19
2.3.5	Prueba de slump (ASTM C. 143).....	19
2.3.5.1	Equipos para determinar el slump del concreto .....	19
2.3.5.2	Procedimiento para realizar la prueba del slump .....	20
2.3.6	Cubicación de labores mineras .....	21
2.3.7	Términos generales.....	22
2.3.8	Términos de seguridad y medio ambiente .....	23
2.3.9	Personal responsable.....	23
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....</b>		<b>25</b>
3.1	MÉTODOS Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
3.2	ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN .....	25
3.3	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
3.3.1	Tipo de investigación.....	25
3.3.2	Nivel de investigación.....	26

3.4	POBLACIÓN Y MUESTRA .....	26
3.4.1	Población .....	26
3.4.2	Muestra.....	26
3.5	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	26
3.5.1	Descripción de las técnicas empleadas.....	26
3.6	INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN LA RECOLECCIÓN DE DATOS. ....	26
3.6.1	Herramientas.....	26
3.6.2	Equipos.....	27
3.6.3	Software.....	27
3.6.4	Locales o lugares .....	27
3.6.5	Análisis estadístico.....	27
	<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>28</b>
4.1	INFLUENCIA DEL MÉTODO DE SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE CONVENCIONAL EN LOS CICLOS DE MINADO Y CUMPLIMIENTO DE PRODUCCIÓN .....	28
4.1.1	Método de explotación .....	28
4.1.2	Operaciones de la mina .....	29
4.1.2.1	Secciones típicas de la mina .....	29
4.1.3	Producción de la mina.....	30
4.1.4	Requerimiento de concreto proyectado de la mina.....	33
4.1.5	Rendimiento del concreto proyectado por m <sup>2</sup> .....	38
4.1.6	Línea base de concreto proyectado .....	38
4.1.7	Horarios de Voladura .....	38
4.1.8	Influencia del método de sostenimiento con shotcrete convencional en el tiempo del ciclo de minado. ....	39
4.1.9	Impacto del proceso de shotcrete convencional en el cumplimiento de la producción en el tajo 556. ....	41
4.2	INFLUENCIA DEL MÉTODO DE SOSTENIMIENTO CON SHOTCRETE MECANIZADO EN LA EFICIENCIA DE LOS CICLOS DE MINADO Y CUMPLIMIENTO DE PRODUCCIÓN .....	43
4.2.1	Requerimiento de concreto proyectado de la mina.....	43
4.2.2	Insumos utilizados en concreto proyectado por m <sup>3</sup> .....	47
4.2.3	Cálculo de rendimiento de 1 m <sup>3</sup> .....	48
4.2.3.1	Reducción Volumétrica del Shotcrete .....	49

4.2.3.2	Densidad aparente del cemento .....	50
4.2.3.3	Determinación del rebote.....	51
4.2.3.4	Pérdidas operacionales .....	52
4.2.3.5	Compactación del shotcrete .....	52
4.2.3.6	Relleno de oquedades.....	52
4.2.3.7	Rendimiento volumétrico .....	53
4.2.3.8	Rendimiento superficial del shotcrete .....	56
4.2.3.9	Cálculo de volumen requerido para el tajo 556 .....	56
4.2.4	Traslado de concreto proyectado a las labores de la mina .....	57
4.2.4.1	Influencia del método de sostenimiento con shotcrete mecanizado en el tiempo de ciclo de minado .....	58
4.2.4.2	Comparación de tiempos de lanzado entre shotcrete convencional vs shotcrete mecanizado.....	60
4.2.4.3	Repercusión del método de sostenimiento con shotcrete mecanizado en el cumplimiento de la producción del tajo 556 .....	61
4.2.4.4	Control de producción en tajo 556 con el método de shotcrete mecanizado .....	63
4.2.4.5	Repercusión del método de sostenimiento con shotcrete mecanizado en la producción general de las labores mineras.....	67
4.2.4.6	Implementación del recurso humano .....	68
4.2.4.7	Costo de personal shotcrete convencional.....	68
4.2.4.8	Costo de personal shotcrete mecanizado .....	69
4.3	ANÁLISIS ESTADÍSTICO:.....	70
	CONCLUSIONES .....	73
	RECOMENDACIONES.....	74
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
	ANEXOS.....	78

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Matriz de operacionalización de variables .....	5
Tabla 2.	Labores de la mina .....	30
Tabla 3.	Producción de la mina en toneladas, método convencional, año 2019 .....	31
Tabla 4.	Producción diaria promedio por tajo en toneladas, octubre 2019 .....	31
Tabla 5.	Producción diaria promedio por tajo en toneladas, noviembre 2019 .....	32
Tabla 6.	Producción diaria promedio por tajo en toneladas, diciembre 2019 .....	32
Tabla 7.	Tabla de cumplimiento de producción del año 2019 .....	33
Tabla 8.	Lanzado de labores de la mina en m <sup>3</sup> , método convencional, 2019 .....	34
Tabla 9.	Requerimiento de concreto, método convencional, octubre 2019 .....	35
Tabla 10.	Requerimiento de concreto, método convencional, noviembre 2019 .....	36
Tabla 11.	Requerimiento de concreto, método convencional, diciembre 2019 .....	37
Tabla 12.	Tabla de cumplimiento con shotcrete convencional .....	37
Tabla 13.	Insumos que se utiliza con método convencional, 2019.....	38
Tabla 14.	Horarios de voladura .....	39
Tabla 15.	Control de tiempos con shotcrete convencional, día 1 .....	39
Tabla 16.	Control de tiempos con shotcrete convencional, día 2 .....	40
Tabla 17.	Control de tiempos con shotcrete convencional, día 3 .....	41
Tabla 18.	Producción con shotcrete convencional, día 1 .....	42
Tabla 19.	Producción con shotcrete convencional, día 2 .....	42
Tabla 20.	Producción con shotcrete convencional, día 3 .....	42
Tabla 21.	Programa y cumplimiento de producción con shotcrete convencional .....	43
Tabla 22.	Requerimiento de concreto, shotcrete mecanizado, enero 2020.....	44
Tabla 23.	Requerimiento de concreto, shotcrete mecanizado, enero 2020.....	45
Tabla 24.	Requerimiento de concreto, shotcrete mecanizado, febrero 2020 .....	46
Tabla 25.	Requerimiento de concreto, shotcrete mecanizado, marzo 2020.....	47
Tabla 26.	Material insumos utilizados en 1 m <sup>3</sup> .....	48
Tabla 27.	Volumen de mezcla seca para diferentes dosificaciones .....	50
Tabla 28.	Rendimiento volumétrico de shotcrete a 2" .....	55
Tabla 29.	Espesor del shotcrete. ....	56
Tabla 30.	Distancia y tiempo de traslado de concreto proyectado .....	57
Tabla 31.	Control de tiempos, shotcrete mecanizado, día 1. ....	59
Tabla 32.	Control de tiempos, shotcrete mecanizado, día 2. ....	59
Tabla 33.	Control de tiempos, shotcrete mecanizado, día 3. ....	60

Tabla 34.	Descripción de reducción de tiempo entre los métodos de sostenimiento .....	61
Tabla 35.	Programa de producción con shotcrete mecanizado enero a marzo 2020 .....	62
Tabla 36.	Producción con shotcrete mecanizado, día 1 .....	63
Tabla 37.	Producción con shotcrete mecanizado, día 2 .....	64
Tabla 38.	Producción con shotcrete mecanizado, día 3 .....	64
Tabla 39.	Producción programada vs producción real, shotcrete mecanizado .....	65
Tabla 40.	Producción de la mina en toneladas, shotcrete mecanizado 2020 .....	67
Tabla 41.	Personal, cantidad y costo en total, shotcrete convencional .....	68
Tabla 42.	Personal, cantidad y costo en total, shotcrete mecanizado .....	69
Tabla 43.	Cuadro comparativo costo de personal .....	69
Tabla 44.	Comparación de costos shotcrete convencional y shotcrete mecanizado .....	70
Tabla 45.	Prueba estadística de grupo .....	70
Tabla 46.	Prueba de muestras independientes .....	71
Tabla 47.	Características del equipo Mixkret 4 .....	79
Tabla 48.	Características del equipo proyector de concreto .....	82
Tabla 49.	Prueba de muestras independientes .....	95



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Lanzado de shotcrete mecanizado con robot lanzador. ....	11
Figura 2.	Equipo mixer en posición de inicio del trasegado de concreto al equipo robot lanzador.....	15
Figura 3.	Robot lanzador de shotcrete mecanizado estacionado antes de iniciar el proceso de lanzado de concreto. ....	15
Figura 4.	Cono de Abrams.....	20
Figura 5.	Prueba de consistencia y trabajabilidad del concreto con cono de Abrams. ...	21
Figura 6.	Supervisor de operaciones en el proceso de lanzado de shotcrete mecanizado. ....	24
Figura 7.	Método de explotación.....	29
Figura 8.	Volumen de mezcla seca por 1000 lts. de arena.....	49
Figura 9.	Compactación del shotcrete. ....	52
Figura 10.	Comparación de perfiles de la rugosidad de la roca/shotcrete. ....	53
Figura 11.	Vista transversal de los niveles de la mina.....	58
Figura 12.	Tiempo del ciclo de minado con shotcrete convencional vs Tiempo del ciclo de minado con shotcrete mecanizado, tajo 556, por día de muestra. ....	61
Figura 13.	Producción con shotcrete convencional vs Producción con shotcrete mecanizado, tajo 556, día 1 de muestra. ....	66
Figura 14.	Producción con shotcrete convencional vs Producción con shotcrete mecanizado, tajo 556, día 2 de muestra. ....	66
Figura 15.	Producción con shotcrete convencional vs Producción con shotcrete mecanizado, tajo 556, día 3 de muestra. ....	66
Figura 16.	Diferencia de productividad entre shotcrete convencional vs shotcrete mecanizado. ....	71
Figura 17.	Equipo Mixkret 4.....	79
Figura 18.	Equipo OCMER-030.....	85
Figura 19.	Sección típica, vista longitudinal para un ScoopTrams. ....	89
Figura 20.	Sección típica, vista frontal para un ScoopTram. ....	90
Figura 21.	Sección típica, vista longitudinal para un volquete. ....	91
Figura 22.	Sección típica, vista frontal para un volquete. ....	92
Figura 23.	Sección típica, vista longitudinal de una rampa positiva para un volquete. ....	93
Figura 24.	Sección típica, vista frontal de una rampa positiva para un volquete. ....	94

## RESUMEN

En Perú, la minería subterránea carece de optimización en el ciclo de minado debido a un exceso en los tiempos de sostenimiento, lo cual afecta directamente en la producción, por consiguiente, el objetivo de este estudio fue analizar la implementación de shotcrete mecanizado para optimizar la producción en una mina subterránea convencional de mediana escala asentada en el territorio del distrito de Caylloma, provincia del departamento de Arequipa, desarrollándose en un enfoque cuantitativo, de alcance descriptivo, método de investigación comparativo y con un diseño de investigación no experimental. La población estudiada contempla todas las labores que aplican el shotcrete convencional en una mina subterránea de mediana escala ubicada en el distrito de Caylloma, en el departamento de Arequipa, y la muestra está compuesta por el tajo 556 con deficiencias en la producción y cumplimiento de metas. La metodología que se empleó fue el levantamiento de información de datos con instrumentos como formatos para cálculo de ciclos de minado y producción de mineral. Los resultados muestran que el tiempo de ciclo de minado con shotcrete convencional para el sostenimiento implica un tiempo de 3 horas en promedio llegando a perjudicar la operación, lógicamente la producción de mineral solo alcanzó un cumplimiento de 49.6 %; sin embargo, con la implementación del shotcrete mecanizado mejora la eficiencia en el ciclo de minado, llegando a demorar para el sostenimiento un tiempo de 45 minutos, como incrementando la producción al 99.1 %. En cuanto a la producción del tajo 556, con el método convencional son obtenidos 131 tn. por día, correspondiendo al 49.6 % de la meta programada y con el shotcrete mecanizado se incrementa a 265 tn. por día. Todo ello impacta en la producción general de mina, logrando un incremento en 106.5 % mensual del 2019 al 2020, permitiendo que se cumpla con el 99.1 % de lo programado para el nivel de producción total de la mina.

**Palabras clave:** Mina subterránea, shotcrete convencional, shotcrete mecanizado, tiempo de ciclo de minado, producción.

## ABSTRACT

In Peru, underground mining lacks optimization in the mining cycle due to excessive holding times, which directly affects production, which is why this research sought to evaluate the implementation of mechanized shotcrete to optimize the production in a medium-scale conventional underground mine situated within the Caylloma district, administrative unit of Arequipa, developing in a quantitative approach, descriptive scope, comparative research method and with a non-experimental research design.

The population studied includes all the tasks that apply conventional shotcrete in a medium-scale underground mine located in the district of Caylloma, in the department of Arequipa and the sample is made up of 22 tasks with deficiencies in production and achievement of goals. The approach employed centered on gathering informational data with instruments such as formats for calculating mining cycles and mineral production.

The results show that the mining cycle time with conventional shotcrete for support implies a time of 3 hours on average, which is detrimental to the operation; logically, mineral production only reached a compliance of 49.6 %, however, with the Implementation of mechanized shotcrete improves efficiency in the mining cycle, taking a maintenance time of 45 minutes, increasing production to 99.1 %. Regarding the production of pit 556, with the conventional method 131 tons per day are obtained, corresponding to 49.6 % of the programmed goal and with the mechanized shotcrete it increases to 265 tons per day. All of this impacts the general production of the mine, achieving an increase of 106.5 % monthly from 2019 to 2020, allowing 99.1 % of what was programmed for the total production level of the mine to be met.

**Keywords:** Underground mine, conventional shotcrete, mechanized shotcrete, mining cycle time, production.