

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Rediseño y planificación del flujo gravitacional para la
optimización de la explotación del sublevel Caving en el
cuerpo Catas, Sociedad Minera Corona S. A.**

Carlos Arturo Casas Huamán

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2022

ÍNDICE DE CONTENIDO

Agradecimiento	ii
Dedicatoria	iii
Índice de contenido	iv
Índice de figuras	vii
Índice de tablas	ix
Resumen	x
Abstract	xi
Introducción	xii
CAPÍTULO I	14
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1. Fundamentación del problema.....	14
1.2. Formulación del problema.....	15
1.2.1. Problema general	15
1.2.1.1. Problemas específicos.....	15
1.3. Objetivos de la investigación.....	15
1.3.1. Objetivo general	15
1.3.1.1. Objetivos específicos	15
1.4. Justificación e importancia	16
1.5. Alcances y limitaciones de la presente investigación.....	16
1.5.1. Alcances.....	16
1.5.2. Limitación de la investigación	16
1.6. Hipótesis y variables	17
1.6.1. Hipótesis general.....	17
1.6.2. Hipótesis específicas.....	17
CAPÍTULO II	18
MARCO TEÓRICO	18
2.1. Antecedentes del problema	18
2.1.1. Antecedentes internacionales	18
2.1.2. Antecedentes nacionales	19
2.2. Bases teóricas	20

2.2.1. Descripción del método sub level caving.....	20
2.2.2. Dilución en el método sub level caving.....	21
2.2.2.1. Técnica de estimación visual	21
2.2.2.2. Sistema de muestreo o ensayo	21
2.2.2.3. Sistema de monitoreo basado en la densidad	22
2.2.3. Ensayo con marcadores.....	22
2.2.4. Mecanismo de extracción del hundimiento.....	23
2.2.4.1. Flujo gravitacional.....	23
2.2.4.2. Extracción interactiva.....	25
2.2.4.3. Difusión del vacío o flujo probabilístico	27
2.2.5. Parámetros de diseño de drawpoints en SLC	29
2.2.6. Altura de elipsoide de extracción.....	30
2.2.7. Extracción óptima del mineral	31
2.2.8. Perforación y voladura en SLC.....	33
2.2.8.1. Parámetros de diseño de voladura	34
2.3. Definición de términos.....	37
2.4. Generalidades.....	38
2.4.1. Unidad minera Yauricocha	38
2.4.2. Ubicación.....	38
2.4.3. Reserva y tipo de alteración	39
2.4.4. Geología estructural	39
2.4.5. Métodos de minado	40
CAPÍTULO III.....	41
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	41
3.1. Método y alcances de investigación	41
3.1.1. Método de investigación	41
3.1.2. Alcances de la investigación	41
3.1.2.1. Tipo de investigación	41
3.1.2.2. Nivel de investigación	41
3.2. Diseño de investigación	42
3.3. Población y muestra	42
3.3.1. Población.....	42
3.3.2. Tamaño muestral.....	42
3.4. Técnicas de recolección de datos.....	42

CAPÍTULO IV.....	43
EVALUACIÓN, ANÁLISIS Y RESULTADOS	43
4.1. Evaluación y análisis del rediseño del flujo gravitacional	43
4.2. Datos geomecánicos	43
4.3.1. Parámetros y diseño para sección teórica de 1.50 m x 1.50 m	46
4.3.2. Parámetros y diseño para sección teórica de 2.50 m x 2.50 m	48
4.3.3. Parámetros y diseño para sección teórica de 3.50 m x 3.50 m	49
4.4. Evaluación de recursos en el cuerpo Cata.....	53
4.4.1. Potencial económico de los recursos	53
4.4.2. Recursos remanentes– Catas 60 \$/t	59
4.5. Evaluación de extracción de cimbras.....	60
4.5.1. Retiro de cimbras en niveles superiores.....	60
4.5.1.1. Propósito.....	60
4.5.1.2. Ejecución	60
4.5.1.3. Zonas de aplicación.....	60
4.5.2. Secuencia de minado para la preparación de un drawpoint.....	61
4.5.3. Preparación del drawpoint.....	62
4.6. Ejecución de prueba en SLC	62
4.6.1. Propuesta inicial	62
4.6.2. Nueva propuesta	64
4.6.2.1. Ejecución de trabajos en el piso 16	67
4.6.2.2. Ejecución de trabajos en el piso 8	72
4.6.2.3. Ejecución de trabajos en el piso 00	77
4.7. Resultados encontrados.....	80
Conclusiones.....	86
Recomendaciones.....	87
Lista de referencias.....	88
Anexo	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diseño del método de explotación sub level caving	21
Figura 2. Trial marker	22
Figura 3. Ubicación de los trials markers dentro de los taladros	23
Figura 4. Teoría del elipsoide	24
Figura 5. Extracción interactiva (interactive draw).....	26
Figura 6. Diámetro de extracción independiente y en interacción	27
Figura 7: Difusión del vacío	28
Figura 8. Parámetros de diseño SLC	29
Figura 9. Altura de elipsoide de extracción según la densidad del mineral	30
Figura 10. Ancho efectivo de extracción	31
Figura 11. Curva para estimar una extracción óptima de mineral – I en el método SLC	32
Figura 12. Curva para estimar una extracción optima de mineral – II en el método SLC	32
Figura 13. Aspectos por considerar en voladura SLC	33
Figura 14. Longitud de carga dentro del taladro.....	34
Figura 15. Toe spacing	35
Figura 16. Diseño de perforación en la corona.....	36
Figura 17: Tiempo de detonación vs fragmentación.....	36
Figura 18. Zona mineralizada Yauricocha.....	45
Figura 19. Relación altura elipsoide de extracción - ancho elipse extracción ..	46
Figura 20. Diseño de elipsoides sección 1.50 x 1.50 m	47
Figura 21. Simulación del flujo gravitacional en pilares de 3.60 m	47
Figura 22. Diseño de elipsoides sección 2.50 x 2.50 m	48
Figura 23. Simulación del flujo gravitacional en pilares de 6.0 m	49
Figura 24. Diseño de elipsoides sección 3.50 x 3.50 m	50
Figura 25. Simulación del flujo gravitacional en pilares de 8.40 m	50
Figura 26. Recuperación y dilución de mineral según tamaño del pilar	51
Figura 27. Sección típica 3.00 x 3.50	52

Figura 28. Resultados de simulación ajustando el tamaño de la sección óptima	52
Figura 30. Cimbras dobladas, cuerpo Catas nivel 1020, piso 0	61
Figura 31. Culminación de preparación de ventana 15	62
Figura 32. Malla de perforación con Jack legg	63
Figura 33. Vista de perfil de inclinación de taladros	64
Figura 34. Diseño de malla de perforación - nueva propuesta	65
Figura 35. Vista de perfil de inclinación de taladros	65
Figura 36. Burden y toe spacing.....	66
Figura 37. Amarre y carguío de taladros	68
Figura 38. Perforación de corona v17	69
Figura 39. Perforación en la corona de la ventana 17	71
Figura 40. Carguío y amarre de taladros corona, filas 15 y 14 en la ventana 18	72
Figura 41. Perforación slot derecho fila 14 ventana 15'.....	74
Figura 42. Inicio de perforación de la corona en la ventana 16'	75
Figura 43. Vista longitudinal de las filas de extracción	80
Figura 44. Tonelaje extraído para diferentes tamaños de pilares.....	81
Figura 46. Comparativa ley Cu después del rediseño	83
Figura 47. Comparativa ley Pb después del rediseño	84
Figura 48. Comparativa ley Zn después del rediseño	84
Figura 49. Comparativa ley Ag después del rediseño	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de diseño	29
Tabla 2. Ubicación mina Yauricocha.....	39
Tabla 3. Datos geomecánicos.....	44
Tabla 4. Resultados de parámetros para sección 1.5 x 1.5.....	46
Tabla 5. Resultados de parámetros para sección 2.5 x 2.5.....	48
Tabla 6. Resultados de parámetros para sección 3.2 x 3.2.....	49
Tabla 7. Resultados recuperación y dilución de mineral	51
Tabla 8. Simulación toneladas extraídas por piso	52
Tabla 9. Inputs utilizados para la evaluación económica a diferentes ritmos de explotación	55
Tabla 10. Valores unitarios de los metales	56
Tabla 11. Costo de mina y planta utilizados	56
Tabla 12. Ley de corte y valor del mineral	57
Tabla 13. Evaluación económica a diferentes ritmos de explotación y diferentes leyes de corte	58
Tabla 14. Años de explotación según tpd y ley de corte	58
Tabla 15. Recursos remanentes en el cuerpo Catas 60 \$/t.....	59
Tabla 16. Comparativa del VAN a diferentes ritmos de explotación.....	60
Tabla 17. Tiempo por actividad para la preparación de ventanas	61
Tabla 18. Parámetros de diseño - propuesta inicial.....	63
Tabla 19. Parámetros de diseño slot - nueva propuesta	64
Tabla 20. Parámetros de diseño corona - nueva propuesta.....	65
Tabla 21. Cálculo voladura corna – nueva propuesta	66
Tabla 22. Distribución de carga corona	66
Tabla 23. Secuencia de actividades	67
Tabla 24. Toneladas extraídas en el piso 16	72
Tabla 25. Toneladas extraídas en el piso 8	76
Tabla 26. Toneladas extraídas en el piso 00	79
Tabla 27. Resumen de los resultados.....	80
Tabla 28. Recuperación y dilución de mineral para distintos tamaños de pilares	81
Tabla 29. Producción total por piso.....	82
Tabla 30. Leyes simuladas y observadas en los pisos de explotación.....	83
Tabla 31. Resultados del rediseño del FG.....	85
Tabla 32. Matriz de consistencia.....	91

RESUMEN

Durante años se ha demostrado que la explotación subterránea del método *sub level caving* logra alcanzar altas tasas de producción, logrando un 20 % de dilución de mineral y 80 % de recuperación mineral. A partir de esto, el método se hace inviable cuando la dilución y recuperación exceden o disminuyen dichos valores.

En base a un análisis de información recolectada se observa que existen causas operacionales y de ingeniería (flujo gravitacional) que afectan el ritmo de producción, uno de ellos es el campaneo de mineral. Cuando esto sucede el trabajador hace de provocador de mineral exponiendo su vida e incrementando los tiempos de extracción.

En la presente investigación se realiza un rediseño de los elipsoides de extracción y la simulación del flujo gravitacional, para ver su influencia en el ritmo de producción, recuperación y dilución de mineral. Además, se demuestra cómo la producción afecta el valor actual neto de los recursos en Yauricocha.

Los resultados demostraron que el tamaño óptimo para un flujo gravitacional continuo y con una recuperación de 84.7 % y dilución de 24.5 % es de 6.00 m. Además, el incremento de la producción en 70 % generó un mayor VAN en los recursos de Yauricocha.

ABSTRACT

For years it has been shown that the underground exploitation of the sub level caving method manages to achieve high production rates, achieving 20% ore dilution and 80% ore recovery. From this, the method becomes unfeasible when the dilution and recovery exceed or decrease these values.

Based on an analysis of the information collected, it is observed that there are operational and engineering causes (gravitational flow) that arise from the production rate, one of them is the ringing of ore. When this happens, the worker acts as an ore provocateur, exposing his life and increasing extraction times.

In the present investigation, a redesign of the extraction ellipsoids and the simulation of the gravitational flow is carried out, to see its influence on the rate of production, recovery and dilution of ore. In addition, it is shown how production affects the net present value of resources in Yauricocha.

The results showed that the optimal size to have a continuous gravitational flow, with a recovery of 84.7% and dilution of 24.5%, is 6.00 meters. Also, the 70% increase in production will see a higher NPV in Yauricocha resources.