

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**Monitoreo de las vibraciones de voladura para evaluar
el daño al macizo rocoso en la rampa 8600 de la Cía.
Minera San Ignacio de Morococha S. A. A. (SIMSA) –
Unidad Económica Administrativa Palmapata 2019**

Luis Victor Moises De la Cruz Acevedo
Kevin Manuel Rodriguez Loayza

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2020

INDICE

Asesor	II
Dedicatoria	IV
Lista de tablas	VIII
Lista de figuras	X
Resumen	XII
Introducción	XV
Capítulo I Planteamiento del estudio.....	16
1.1 Planteamiento y formulación del problema	16
1.1.1 Planteamiento del problema.....	16
1.1.2 Formulación del problema	17
1.2 Objetivos.....	18
1.2.1 Objetivo general.....	18
1.2.2 Objetivos específicos	18
1.3 Justificación e importancia.....	18
1.3.1 Justificación metodológica.....	18
1.3.2 Justificación social.....	19
1.3.3 Justificación económica	19
1.4 Hipótesis de la investigación	19
1.4.1 Hipótesis general.....	19
1.4.2 Hipótesis específicas.....	19
1.5 Identificación de variables.....	20
1.5.1 Variable independiente	20
1.5.2 Variables dependientes	20
1.6 Matriz de Operacionalización de variables	20
Capítulo II Marco teórico.....	21
2.1 Antecedentes del problema	21
2.1.1 Antecedentes Internacionales.....	21
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	22
2.2 Generalidades de la mina	23
2.2.1 Ubicación.....	23
2.2.2 Accesibilidad	24
2.2.3 Historia.....	25
2.3 Geología	25

2.3.1 Geología Regional.....	25
2.3.2 Estratigrafía.....	26
2.3.3 Geología Local.....	29
2.3.4 Geología Estructural.....	30
2.3.5 Tipo de depósito	30
2.4 Bases teóricas.....	31
2.4.1 Fundamentos de vibración por voladura.....	31
2.4.2 Principales propiedades de las ondas.....	33
2.4.3 Tipos de ondas en vibraciones	37
2.4.4 Características de las vibraciones por voladura.....	39
2.4.5 Variables que afectan a las vibraciones.....	45
2.4.6 Predicción del nivel de vibraciones.....	46
2.5 Definición de términos básicos.....	47
2.6 Geomecánica de la zona Ayala inferior – Rampa 8600	48
2.6.1 Aspectos litológicos.....	48
2.6.2 Distribución de las discontinuidades	48
2.6.3 Aspectos estructurales.....	49
2.6.4 Clasificación de la masa rocosa.....	50
2.6.5 Zonificación Geomecánica de la masa rocosa.....	51
2.6.6 Resistencia de la roca.....	52
2.6.7 Condiciones de agua subterránea	55
2.6.8 Esfuerzos in-situ	56
2.7 Evaluación de las condiciones de estabilidad – Rampa 8600	58
2.7.1 Direcciones preferenciales de avance de las excavaciones.....	58
2.7.2 Aberturas máximas de las excavaciones y sostenimiento	59
2.7.3 Estabilidad estructuralmente controlada.....	63
2.8 Diseño de la rampa 8600.....	63
2.8.1. Características de la rampa 8600.....	63
2.8.2 Ubicación de los geófonos	66
2.8.3 Influencia de la voladura en la ocurrencia de eventos sísmicos- Rampa 8600	67
2.9 Evaluación técnica.....	74
2.9.1 Programa de avances– Forecast 8600 rampa	74
2.9.2 Capex de implementación de geófonos – rampa 8600	75

2.8.3 Capex de rampa 8600.....	75
2.8.4 Opex de la Rampa 8600.....	76
Capítulo III Metodología de la investigación	81
3.1 Método y alcances de la investigación	81
3.1.1 Método de la investigación	81
3.1.2 Alcances de la investigación	82
3.2 Diseño de la investigación	82
3.2.1 Tipo de diseño de investigación.....	82
3.3 Población y muestra	82
3.3.1 Población.....	82
3.3.2 Muestra.....	82
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	82
3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos	82
3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos.....	83
Capítulo IV Análisis e interpretación de resultados	87
4.1 Replanteo al diseño actual de la malla de perforación	87
4.1.1 Malla inicial.....	87
4.1.2 Malla propuesta	94
4.1.3 Análisis de la PPV de la malla inicial y propuesta.....	99
4.1.4 Costos para la malla propuesta	100
Conclusiones.....	102
Recomendaciones.....	105
Referencias	105
Anexos	107

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ruta a la unidad de producción Palmapata desde Lima	24
Tabla 2. Modelos de predicción de vibraciones.....	46
Tabla 3. Criterio para la clasificación de la masa rocosa	50
Tabla 4. Resumen resultados de laboratorio.....	53
Tabla 5 Resultados de los ensayos de corte directo	53
Tabla 6. Parámetros de resistencia de la masa rocosa – Blocks 260, 261, 262.....	54
Tabla 7. Magnitud de los Esfuerzos in-situ.....	56
Tabla 8. Aberturas máximas de las excavaciones permanentes.....	59
Tabla 9. Sostenimiento para labores de avance permanentes.....	60
Tabla 10. Sostenimiento para labores de avance temporal para dominios DE-III A, DE-III B y DE-IV A.....	61
Tabla 11. Aberturas máximas y tiempos de autosostenimiento para tajeos.....	62
Tabla 12 Dimensiones máximas de longitud de tajeos abiertos – Ayala Blocks 260, 261 y 262	62
Tabla 13. Distribución de cargas en la rampa 8600	65
Tabla 14. Accesorios de voladura utilizados	66
Tabla 15. Cronograma de ejecución proyecto rampa 8090 (-)	74
Tabla 16. Resumen del presupuesto geófonos	75
Tabla 17. Gastos de capital RP 8600.....	76
Tabla 18. Mano de obra para la Rampa 8600	76
Tabla 19. Costos de los materiales, aceros	77
Tabla 20. Costos de los materiales (suministros).....	77
Tabla 21. Equipos de protección personal	79
Tabla 22. Equipos y maquinarias	79
Tabla 23. Costo de explosivos y accesorios.....	80
Tabla 24. Costo combustible	80
Tabla 25 .Cálculos de regresión y correlación de datos	88
Tabla 26. Logaritmo de la distancia escalar y de la PPV	89
Tabla 27. Distancia entre los taladros de acuerdo a la dureza de la roca	95
Tabla 28. Factor de la roca en función a la dureza	95
Tabla 29.Cálculo de Burden y sección arranque.....	96

Tabla 30. Distribución de taladros malla propuesta.....	97
Tabla 31. PPV de la malla inicial y propuesta	99
Tabla 32. Costo de los materiales(aceros) malla propuesta	100
Tabla 33. Explosivos y accesorios malla propuesta	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Plano de ubicación Mina San Vicente	24
Figura 2. Mapa geológico regional Cía. Minera Simsa.....	26
Figura 3. Columna estratigráfica del área de estudio	27
Figura 4 Proceso de detonación.....	32
Figura 5. Rotura radial.....	33
Figura 6. Amplitudes de onda A1 y A2	34
Figura 7. Registro completo de la onda de vibración	35
Figura 8. Calculo de la velocidad de propagación usando dos geófonos a 300 m.....	36
Figura 9. Velocidad de propagación a través de cada tipo de roca.....	37
Figura 10. Ondas primarias (P)	37
Figura 11. Onda de cizallamiento (S)	38
Figura 12. Registro de ondas para un geófono triaxial.....	39
Figura 13. Onda de un barreno medida a veinte metros	40
Figura 14. Espectro de amplitud de Fourier para dos frecuencias	41
Figura 15. Espectro Fourier de la amplitud	41
Figura 16. Espectro de energía	42
Figura 17. Desplazamiento del terreno	42
Figura 18. Voladura de 120 barrenos.....	43
Figura 19 Espectro de energía	44
Figura 20. Clasificación geomecánica RMR sección transversal ST-01, Ayala	51
Figura 21. Compósito de zonificación geomecánica en secciones transversales	52
Figura 22. Encampane de la zona de estudio	57
Figura 23. Dirección preferencial de avance de excavaciones.....	58
Figura 24. Guía para el sostenimiento de excavaciones permanentes	60
Figura 25. Malla de perforación y voladura Rampa 8600	64
Figura 26. Distribución de los geófonos Rampa 8600.....	67
Figura 27. Eventos producidos en la primera semana RP 8600	68
Figura 28. Evento microsísmico después de la voladura	69
Figura 29. Ubicación del evento microsísmico	69

Figura 30 Eventos segunda semana.....	70
Figura 31 Evento microsísmicos segunda semana	70
Figura 32. Ubicación del evento microsísmico segunda semana.....	71
Figura 33 .Eventos tercera semana	71
Figura 34. Evento tercera semana	72
Figura 35. Ubicación del evento microsísmico tercera semana	72
Figura 36. Eventos cuarta semana.....	73
Figura 37. Ondas vibratorias	73
Figura 38 Ubicación del evento microsísmico cuarta semana.....	73
Figura 39. Desplazamiento del geófono	83
Figura 40. Registro en función a la frecuencia del geófono	84
Figura 41. Esquema de sensibilidad un geófono.....	84
Figura 42. Arreglo para un geófono triaxial	85
Figura 43. Ley de atenuación exponencial	89
Figura 44. Modelo de vibraciones campo lejano	90
Figura 45. Malla de perforación Inicial.....	91
Figura 46. Malla inicial rampa 8600 con tiempos de retardo de 200 m/s y 25 m/s	92
Figura 47. Carga máxima detonada frente a tiempo de detonación para una distancia de 5 m	93
Figura 48. Carga máxima detonada frente a tiempo de detonación para una distancia de 500 m	93
Figura 49. Distribución de la energía del explosivo malla inicial.....	94
Figura 53. Carga máxima detonada frente a tiempo de detonación simulado..	98
Figura 54. Planos en sección planta y transversal	112
Figura 55. Reporte de geomecánica	123

RESUMEN

La compañía minera San Ignacio de Morococha viene desarrollando operaciones de profundización en la Unidad Económica Administrativa Palmapata, esta zona de profundización tiene un problema de inestabilidad del macizo rocoso debido a la geomecánica, la cual va desde media (clase III) a mala (clase IV) según clasificación geomecánica de *Bieniawski* o clasificación RMR, debido a la ocurrencia de incidentes y accidentes llegando a ser fatales en algunos casos. Se puso como objetivo, reducir el daño al macizo rocoso ocasionado por las labores de perforación y voladura con la ayuda del monitoreo microsísmico.

En la primera parte se mencionan los objetivos de esta tesis las cuales son: corroborar que el monitoreo microsísmico es importante para la reducción de daño al macizo rocoso. Otros objetivos son la demostración de que existe una relación entre la secuencia de encendido y la reducción de daño al macizo rocoso, la carga operante son determinantes para la reducción de daño como objetivo final se busca reducir los costos de avance.

En la segunda parte se nombran teorías básicas para poder desarrollar los objetivos, como el modelo de campo lejano, fórmulas de regresión y correlación entre variables, el comportamiento de las ondas vibratorias los tipos que esta genera en una voladura.

En la tercera parte se utilizó el modelo de campo lejano, Devine, como medio para comparar la generación de ondas vibratorias entre la malla de perforación que actualmente se utiliza en la zona de profundización, específicamente en la rampa 8600 y la malla propuesta. Con esta nueva malla de perforación se busca reducir el efecto sumatorio entre las ondas vibratorias, mediante la carga operante y distribuyendo mejor la malla de perforación, además de la selección adecuada de retardos.

Finalmente, con la ayuda de softwares como Excel, JKsimblas se simuló la distribución de las cargas, como también las ondas generadas. Asimismo, se

determinó el número de taladros que salen al mismo tiempo, de esta manera se llegaron a las conclusiones de la investigación.

Palabras clave: Macizo rocoso, voladura, monitoreo microsísmico, ondas vibratorias, mallas de perforación.

ABSTRACT

The mining company San Ignacio de Morococha is carrying out deepening operations in the Palmapata Administrative Economic Unit, this deep zone has a rock mass instability problem due to geomechanics, which ranges from half class III to Mala IV according to the Bieniawski geometric classification or RMR classification, due to the occurrence of incidents and accidents becoming fatal in some cases, the objective was to reduce the damage to the rock mass caused by drilling and blasting laboratories with the help of microseismic monitoring.

In the first part, the objectives of this thesis are mentioned, which are to corroborate that microseismic monitoring is important for reducing damage to the rock mass. Other objectives are the demonstration that there is a relationship in the ignition sequence, the operating load are decisive for the reduction of damage, and the final objective is to reduce advance costs.

In the second part, basic theories are named to demonstrate the objectives, such as the far field model, regression formulas and correlation between variables, the behavior of vibratory waves and the types of waves that a blast generates.

In the third part, the far-field model, Devine, was used as a means to compare the generation of vibratory waves between the drilling mesh that is currently used in the deepening zone, specifically on the 8600 ramp and the proposed mesh. With this new perforation mesh, the aim is to reduce the summation effect between the vibratory waves, reducing the operating load and better distributing the perforation mesh, with the appropriate selection of delays, the generation of vibratory waves was further reduced.

Finally, with the help of softwares like Excel, JKsimblas simulated the distribution of loads, the waves generated, the number of holes that come out at the same time was also determined. This helped develop the research findings.

Keywords: Rock mass, blasting, microseismic monitoring, vibratory waves perforation meshes