

Tabla de Contenido

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Contexto.....	1
1.2 Objetivos	1
1.2.1 Objetivo general.....	1
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Alcances	2
1.4 Estructura de la memoria	2
CAPÍTULO 2: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Introducción	3
2.2 Generalidades.....	3
2.2.1 Perforación y tronadura	3
2.2.2 Macizo rocoso.....	4
2.3 Geología	5
2.3.1 Unidades geológicas en Minera Los Pelambres.....	6
2.3.2 Fallas y estructuras en Minera Los Pelambres.....	9
2.3.3 Datos geotécnicos de la roca en Minera Los Pelambres.....	9
2.4 Mecanismo de ruptura de la roca mediante tronadura.....	10
2.5 Rendimiento energético de la tronadura	13
2.6 Vibraciones originadas por tronadura	15
2.7 Ondas	17
2.8 Equipos de medición.....	19
2.8.1 Instalación y manejo	20
2.9 Modelos predictivos de vibraciones y de daño inducidos por tronadura.....	22
2.9.1 Campo cercano - Holmberg y Persson.....	26
2.9.2 Campo lejano.....	28
2.9.3 Criterio de daño basado en PPV crítico	29
2.9.4 Implicancia de la presencia de agua en el macizo rocoso	33
2.10 Métodos de estimación	36
2.10.1 Interpolación por el vecino más cercano	37
2.10.2 Inverso de la distancia.....	37
2.10.3 Kriging	38
2.10.4 Otros métodos de estimación	41
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA.....	43
3.1 Definición de factores relevantes para el estudio.....	43
3.2 Recolección y verificación de la calidad de datos	44
3.3 Implementación de modelos	45
3.4 Estimación de input del PPVc	45
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47

4.1	Resultados de vibraciones para campo cercano	47
4.2	Resultados de vibraciones para campo lejano.....	49
4.3	Resultado criterio de daño	52
4.3.1	Ábaco de diseño UGT 1	55
4.3.2	Ábaco de diseño UGT 2.....	55
4.3.3	Ábaco de diseño UGT 3.....	56
4.3.4	Ábaco de diseño UGT 5.....	56
	Ábaco de diseño UGT 6.....	57
4.3.5	Ábaco de diseño UGT 9.....	57
CAPÍTULO 5: CONCLUSIÓN		58
CAPÍTULO 6: RECOMENDACIONES		60
CAPÍTULO 7: BIBLIOGRAFÍA		61
CAPÍTULO 8: ANEXO.....		63
8.1	Anexos capítulo 2 ilustraciones.....	63
8.2	Anexos capítulo 4, ilustraciones.....	64
8.2.1	Ilustraciones campo cercano	64
8.2.2	Ilustraciones campo lejano sin filtrar	67
8.2.3	Ilustraciones campo lejano con datos filtrados	72
8.2.4	Ilustraciones estimaciones.....	81
8.2.5	Ilustraciones diseño ENAEX.....	82
8.3	Anexos capítulo 4, tablas	83
8.3.1	Tablas campo cercano.....	83
8.3.2	Tablas campo lejano sin filtrar	84
8.3.3	Tablas campo lejano con datos filtrados	86
8.3.4	Tablas de estimaciones	87

Índice de ilustraciones

Ilustración 1.	Efecto escala, Hoek y Brown (1980).....	5
Ilustración 2.	Características de las UGT.....	6
Ilustración 3.	Unidades geológicas, vista en planta cota 3,500, geotecnia MLP (2017).....	8
Ilustración 4.	Unidades geológicas, perfil Nor este-Sur oeste 59,000, MLP (2016).....	9
Ilustración 5.	Esfuerzos de tensión y tracción y agrietamiento radial, Manual de perforación y tronadura, Instituto Geológico y minero de España (1994).....	11
Ilustración 6.	Fracturamiento por liberación de carga, Cook (1966).....	12
Ilustración 7.	Rotura por flexión, Manual de perforación y tronadura, Instituto Geológico y minero de España (1994).....	12
Ilustración 8.	Mecanismo de rotura, Manual de perforación y tronadura, Instituto Geológico y minero de España (1994).....	13
Ilustración 9.	Diagrama P-V de los gases de tronaduea, Lownds (1986).....	14
Ilustración 10.	Consumo específico del explosivo v/s velocidad de partícula, Manual de perforación y tronadura, Instituto Geológico y minero de España (1994).....	16

Ilustración 11. Ondas, Investigación de terremotos y ondas sísmicas, Universidad da Coruña (2002).	18
Ilustración 12. Tipos de geófonos, Altamirano (2014).	22
Ilustración 13. gráficas de las variables de Holmberg y Persson, ENAEX (1993). 26	
Ilustración 14. Gráfico relación RQD con razón módulo de deformación escalado y roca intacta, Vergara (2014).	32
Ilustración 15. Esquema utilizado para determinar onda Vp s-mr, Vergara (2014).33	
Ilustración 16. Relación entre el módulo de deformación drenado vs no drenado, Celada (1995).	35
Ilustración 17. Zona V.	39
Ilustración 18. Modelo de campo cercano para las distintas UGT.....	47
Ilustración 19. Campo lejano toda la mina k95, k50.	49
Ilustración 20. Modelos campo lejano por explosivos.	50
Ilustración 21. Modelos campo lejano por fases.....	52
Ilustración 22. Ábaco de diseño UGT 1 en función del largo de la carga.	55
Ilustración 23. Ábaco de diseño UGT 2 en función del largo de la carga.	55
Ilustración 24. Ábaco de diseño UGT 3 en función del largo de la carga.	56
Ilustración 25. Ábaco de diseño UGT 5 en función del largo de la carga.	56
Ilustración 26. Ábaco de diseño UGT 6 en función del largo de la carga.	57
Ilustración 27. Ábaco de diseño UGT 9 en función del largo de la carga.	57
Ilustración 28. Ejemplo de malla y propuesta de secuencia en minera los pelambres.	63
Ilustración 29. Imagen de geófono utilizado para las mediciones.	64
Ilustración 30. Modelo campo cercano UGT 1.	64
Ilustración 31. Modelo campo cercano UGT 2.	65
Ilustración 32. Modelo campo cercano UGT 3.	65
Ilustración 33. Modelo campo cercano UGT 5.	66
Ilustración 34. Modelo campo cercano UGT 6.	66
Ilustración 35. Modelo campo cercano UGT 9.	67
Ilustración 36. Gráfico campo lejano sin filtrar toda la mina.	67
Ilustración 37. Gráfico campo lejano sin filtrar en fase 10.	68
Ilustración 38. Gráfico campo lejano sin filtrar en fase 11.	68
Ilustración 39. Gráfico campo lejano sin filtrar en fase 9.	69
Ilustración 40. Gráfico campo lejano sin filtrar en fase 7.	69
Ilustración 41. Gráfico campo lejano sin filtrar con blendex 950.....	70
Ilustración 42. Gráfico campo lejano sin filtrar con blendex 930.....	70
Ilustración 43. Gráfico campo lejano sin filtrar con vertex 950.	71
Ilustración 44. Gráfico campo lejano sin filtrar con vertex 970.	71
Ilustración 45. Campo lejano toda la mina >45 [m].....	72
Ilustración 46. Gráfico campo lejano en fase 10.....	72
Ilustración 47. Gráfico campo lejano en fase 11.....	73
Ilustración 48. Gráfico campo lejano en fase 9.....	73
Ilustración 49. Gráfico campo lejano en fase 7.....	74
Ilustración 50. Gráfico campo lejano con Blendex 950.....	74
Ilustración 51. Gráfico campo lejano con Blendex 950.....	75
Ilustración 52. Gráfico campo lejano con Blendex 930.....	75
Ilustración 53. Gráfico campo lejano con Vertex 950.	76

Ilustración 54. Gráfico campo lejano con Vertex 970.	76
Ilustración 55. Modelo campo lejano Fase 7, K95, K50 y datos post modelo.....	77
Ilustración 56. Modelo campo lejano Fase 11, K95, K50 y datos post modelo.....	77
Ilustración 57. Modelo campo lejano Fase 9, K95, K50 y datos post modelo.....	78
Ilustración 58. Modelo campo lejano Fase 10, K95, K50 y datos post modelo.....	78
Ilustración 59. Modelo campo lejano Blendex 930, K95, K50 y datos post modelo.	79
Ilustración 60. Modelo campo lejano Blendex 950, K95, K50 y datos post modelo	79
Ilustración 61. Modelo campo lejano Vertex 950, K95, K50 y datos post modelo.	80
Ilustración 62. Modelo campo lejano vertex 970, K95 y K50.	80
Ilustración 63. Vista de perfil de la validación del modelo de estimación, sección 89,840.	81
Ilustración 64. Vista en planta de la validación del modelo de bloque, cota 3360.	81
Ilustración 65. Diseño de distancia de pozos y de carga para la UGT 1 (Manual de diseño por UGT, octubre 2018, realizada por ENAEX para Minera los Pelambres).	82
Ilustración 66. Diseño de distancia de pozos y de carga para la UGT 2 (Manual de diseño por UGT, octubre 2018, realizada por ENAEX para Minera los Pelambres)	82
Ilustración 67. Diseño de distancia de pozos y de carga para la UGT 3 (Manual de diseño por UGT, octubre 2018, realizada por ENAEX para Minera los Pelambres).	82
Ilustración 68. Diseño de distancia de pozos y de carga para las UGT 5 y 6 (Manual de diseño por UGT, octubre 2018, realizada por ENAEX para Minera los Pelambres).	83
Ilustración 69. Diseño de distancia de pozos y de carga para la UGT 9 (Manual de diseño por UGT, octubre 2018, realizada por ENAEX para Minera los Pelambres).	83

Índice de Tablas

Tabla 1. Características de los explosivos distribuidos por ENAEX	4
Tabla 2. Características de la roca por UGT, geotecnia MLP.	10
Tabla 3. Reparto de energía de la onda de choque, Rascheff y Geomans (1977).	14
Tabla 4. Energía asociada a las distintas zonas del diagrama P-V, Lownds (1986).	15
Tabla 5. Comparación de modelos 1, Sun (2013).	23
Tabla 6. Comparación de modelos 2, Sun (2013).	24
Tabla 7. Escala de daño mediante PPV crítico, McKenzie (1992).	30
Tabla 8. Datos de las propiedades geotécnicas de la UGT 1.....	36
Tabla 9. Resumen de factores K, K95%, alpha y beta.	48
Tabla 10. Factores modelo campo lejano por explosivos.....	50
Tabla 11. Factores modelo campo lejano por fases.	52
Tabla 12. Datos del Módulo de Deformación [GPa].	53
Tabla 13. Resistencia a la Tracción [MPa].	53
Tabla 14. Velocidad de partícula [m/s].	54
Tabla 15. VPPc [mm/s].....	54
Tabla 16. Factores campo cercano UGT 1.....	83
Tabla 17. Factores campo cercano UGT 2.....	83
Tabla 18. Factores campo cercano UGT 3.....	84
Tabla 19. Factores campo cercano UGT 5.....	84
Tabla 20. Factores campo cercano UGT 6.....	84

Tabla 21. Factores campo cercano UGT 9.....	84
Tabla 22. Factores campo lejano toda la mina sin filtrar.	84
Tabla 23. Factores campo lejano fase 10 sin filtrar.	84
Tabla 24. Factores campo lejano fase 11 sin filtrar.	85
Tabla 25. Factores campo lejano fase 9 sin filtrar.	85
Tabla 26. Factores campo lejano fase 7 sin filtrar.	85
Tabla 27. Factores campo lejano Blendex 950 sin filtrar.	85
Tabla 28. Factores campo lejano Blendex 930 sin filtrar.	85
Tabla 29. Factores campo lejano Vertex 950 sin filtrar.	85
Tabla 30. Factores campo lejano Vertex 930 sin filtrar.	85
Tabla 31. Factores campo lejano toda la mina.....	86
Tabla 32. Factores campo lejano fase 10.....	86
Tabla 33. Factores campo lejano fase 11.....	86
Tabla 34. Factores campo lejano fase 9.....	86
Tabla 35. Factores campo lejano fase 7.....	86
Tabla 36. Factores campo lejano Blendex 950.	86
Tabla 37. Factores campo lejano Blendex 930.	87
Tabla 38. Factores campo lejano Vertex 950.	87
Tabla 39. Factores campo lejano Vertex 970.	87
Tabla 40. Velocidad de partícula estimado [m/s].....	87
Tabla 41. Módulo de deformación de Young [GPa].....	88
Tabla 42. Resistencia a la tracción estimada [MPa].....	88
Tabla 43. Velocidad peak de partícula crítica [mm/s].	89