

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|-----------|
| CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1. Motivación del trabajo..... | 1 |
| 1.2. Objetivos..... | 1 |
| 1.2.1. Objetivo General..... | 1 |
| 1.2.2. Objetivos Específicos..... | 2 |
| 1.3. Alcances..... | 2 |
| CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES | 3 |
| 2.1. Geología y Geotecnia..... | 4 |
| 2.2. Proyecto mina Chuquicamata Subterránea | 6 |
| 2.3. Análisis bibliográfico..... | 9 |
| 2.4. Benchmarking..... | 13 |
| 2.5. Oportunidades tecnológicas..... | 15 |
| 2.6. Conclusiones del Capítulo | 17 |
| CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA | 19 |
| 3.1. Análisis bibliográfico y Benchmarking | 19 |
| 3.2. Determinación de actividades y rendimientos | 20 |
| 3.3. Planificación base/actual..... | 21 |
| 3.4. Estudio de alternativas..... | 22 |
| CAPÍTULO 4. ACTIVIDADES EN HUNDIMIENTO | 25 |
| 4.1. Perforación de Hundimiento..... | 25 |
| 4.1.1. Altura de Hundimiento 20 metros | 25 |
| 4.1.2. Altura de Hundimiento 10 metros | 27 |
| 4.2. Tronadura de Hundimiento..... | 28 |
| 4.3. Perforación Bateas | 29 |
| 4.4. Tronadura de Bateas | 32 |
| 4.5. Perforación y Tronadura de Slot..... | 33 |
| 4.6. Singularidad Rampa fase 3 Sur..... | 34 |
| 4.7. Conclusiones del Capítulo | 36 |

| | |
|---|-----------|
| CAPÍTULO 5. PLANIFICACIÓN BASE EN PMCHS..... | 37 |
| 5.1. Planificación Perforación..... | 38 |
| 5.2. Planificación Tronadura..... | 42 |
| 5.3. Conclusiones del Capítulo | 46 |
| CAPÍTULO 6. ALTERNATIVAS PROPUESTAS..... | 47 |
| 6.1. Secuencia alternativa | 47 |
| 6.2. Planificación optimizada..... | 49 |
| 6.3. Explosivo utilizado | 54 |
| CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES..... | 57 |
| CAPÍTULO 8. RECOMENDACIONES..... | 59 |
| CAPÍTULO 9. BIBLIOGRAFÍA..... | 60 |
| ANEXO A: RENDIMIENTOS DE PERFORACIÓN ESMERALDA (DET) | 62 |
| ANEXO B: ESTIMACIÓN DE COSTO DE HUNDIMIENTO PMCHS | 66 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 2.1. Localización Codelco Norte. (Vicepresidencia de Proyectos. 2013)..... | 3 |
| Figura 2.2. Fallas principales Chuquicamata (Vicepresidencia de Proyectos. 2014)..... | 4 |
| Figura 2.3 Unidades Geotécnicas Básicas y VIF macro-bloques centrales, cota 1.841..... | 5 |
| Figura 2.4. Vista perfil unidades geotécnicas básicas. | 6 |
| Figura 2.5. Orientación esfuerzos principales (Vicepresidencia de Proyectos. 2014). | 6 |
| Figura 2.6. Plan minero Chuquicamata Subterráneo..... | 6 |
| Figura 2.7. Configuración esperada macro-bloques, (Vicepresidencia de Proyectos. 2013). | 7 |
| Figura 2.8. Ubicación macro-bloques centrales Nivel 1. | 7 |
| Figura 2.9. Vista isométrica macro-bloques tipo..... | 8 |
| Figura 2.10. Vista en planta macro-bloques N01-S01..... | 8 |
| Figura 2.11. Zona afectada por FH (Vicepresidencia de Proyectos. 2013)..... | 9 |
| Figura 2.12. Variante de hundimiento convencional (Rojas & Cavieres, 1993)..... | 10 |
| Figura 2.13. Secuencia constructiva de bateas, hundimiento convencional, (Rodríguez, 2014). . | 10 |
| Figura 2.14. Forma de frente de hundimiento (Laubscher, 2000). | 11 |
| Figura 2.15. Control esperado del frente de hundimiento (Laubscher, 2000)..... | 11 |
| Figura 2.16. Dirección preferente para enfrentar fallas mayores, (Laubscher, 2000). | 11 |
| Figura 2.17. Forma de enfrentar estructuras mayores, (Laubscher, 2000). | 12 |
| Figura 2.18. Distancia máxima permisible en frente de hundimiento, (Laubscher, 2000). | 12 |
| Figura 2.19. Esquema dirección de avance frente de hundimiento (Ferguson, 1979). | 12 |
| Figura 2.20. Tiempo de evacuación de gases (fuente: Orica). | 17 |
| Figura 3.1. Diagrama etapas metodología. | 19 |
| Figura 4.1. Diseño de perforación altura 20 metros (BCTEC)..... | 26 |
| Figura 4.2. Diseño de perforación altura 10 metros (BCTEC)..... | 27 |
| Figura 4.3. Secuencia cóncava de hundimiento (Vicepresidencia de Proyectos, 2014). | 29 |
| Figura 4.4. Disposición de bateas en macro-bloques centrales. | 30 |
| Figura 4.5. Vista perfil batea de producción (BCTEC). | 30 |
| Figura 4.6. Vista en planta diagrama de perforación batea completa (BCTEC). | 31 |
| Figura 4.7. Vista en planta diagrama de perforación media batea (BCTEC). | 31 |
| Figura 4.8. Vista perfil diagrama de perforación media batea (BCTEC). | 31 |
| Figura 4.9. Diseño y disposición paradas slot (BCTEC)..... | 33 |
| Figura 4.10. Diagrama Chimenea slot (BCTEC). | 33 |
| Figura 4.11. Vista perfil intersección rampa fase 3 sur con nivel de hundimiento (BCTEC)..... | 34 |
| Figura 4.12. Vista en planta singularidad fase 3 sur en nivel de hundimiento (BCTEC). | 34 |
| Figura 4.13. Alternativa diseño hundimiento (BCTEC)..... | 35 |
| Figura 4.14. Sectores de diseño singularidad fase 3 Sur (BCTEC)..... | 35 |
| Figura 4.15. Alternativas de diseño singularidad rampa fase 3 sur (BCTEC). | 35 |
| Figura 5.1. Actividades previas al inicio del proceso de hundimiento. | 37 |
| Figura 5.2. Gráfico perforación mensual. | 39 |
| Figura 5.3. Planificación perforación bateas. | 41 |
| Figura 5.4. Planificación perforación de hundimiento. | 42 |

| | |
|--|----|
| Figura 5.5. Planificación tronadura de bateas..... | 43 |
| Figura 5.6. Estrategia tronadura de slot..... | 44 |
| Figura 5.7. Planificación tronadura de hundimiento..... | 45 |
| Figura 5.8. Carta Gantt proceso de hundimiento, caso base..... | 46 |
| Figura 6.1. Secuencia propuesta, inicio desde Sur-Oeste..... | 47 |
| Figura 6.2. Diagrama de perforación emulsión 10 metros optimizado (BCTEC)..... | 49 |
| Figura 6.3. Cantidad de metros barrenados nueva planificación..... | 50 |
| Figura 6.4. Planificación propuesta, perforación bateas..... | 51 |
| Figura 6.5. Planificación propuesta, perforación hundimiento..... | 51 |
| Figura 6.6. Planificación propuesta, tronadura de bateas..... | 52 |
| Figura 6.7. Planificación propuesta, tronadura de hundimiento..... | 53 |
| Figura 6.8. Carta Gantt planificación propuesta..... | 54 |
| Figura 6.9. Diseño de perforación considerado ANFO (BCTEC)..... | 54 |
| Figura 9.1. Rendimiento (mb/hr) por operador, mes enero..... | 62 |
| Figura 9.2. Disponibilidad y Utilización Jumbos radiales, Enero..... | 62 |
| Figura 9.3. Distribución tiempos perforación radial Asarco, Enero..... | 63 |
| Figura 9.4. Rendimiento (mb/hr) por operador, mes Febrero..... | 63 |
| Figura 9.5. Disponibilidad y Utilización Jumbos radiales, Febrero..... | 63 |
| Figura 9.6. Distribución tiempos perforación radial Asarco, Febrero..... | 64 |
| Figura 9.7. Rendimiento (mb/hr) por operador, mes Marzo..... | 64 |
| Figura 9.8. Disponibilidad y Utilización Jumbos radiales, Marzo..... | 64 |
| Figura 9.9. Distribución tiempos perforación radial Asarco, Marzo..... | 65 |
| Figura 9.10. Plan de incorporación de área..... | 66 |
| Figura 9.11. Vector dotacional proceso hundimiento..... | 67 |
| Figura 9.12. Vector de equipos de perforación radial según explosivo..... | 68 |
| Figura 9.13. Costo de tronadura a lo largo del tiempo..... | 69 |
| Figura 9.14. Distribución de gasto en costo de tronadura..... | 69 |
| Figura 9.15. Costo de perforación a lo largo del tiempo..... | 69 |
| Figura 9.16. Distribución de gasto en perforación..... | 70 |
| Figura 9.17. Costo total de hundimiento por año..... | 70 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 2.1. Distancia tolerable entre frente de hundimiento(Vicepresidencia de Proyecto, 2014). | 12 |
| Tabla 2.2. Benchmarking alturas de hundimiento (modificado Rivero, 2008). | 14 |
| Tabla 2.3. Benchmarking tronadura de bateas. | 15 |
| Tabla 4.1. Parámetros de diseño altura 20 metros (BCTEC). | 26 |
| Tabla 4.2. Parámetros de diseño altura 10 metros (BCTEC). | 28 |
| Tabla 4.3. Parámetros de diseño bateas. | 32 |
| Tabla 4.4. Parámetros de perforación chimenea y tiros slot. | 34 |
| Tabla 6.1. Comparación diagramas de emulsión altura 10 metros. | 49 |
| Tabla 6.2. Parámetros de diseño ANFO y Emulsión 10 metros. | 55 |
| Tabla 6.3. Tabla comparativa uso ANFO vs Emulsión. | 56 |
| Tabla 9.1. Proyección de rendimientos para DCH. | 65 |
| Tabla 9.2. Operadores proceso de hundimiento. | 66 |
| Tabla 9.3. Materiales considerados para estimación. | 67 |
| Tabla 9.4. Rendimiento principales aceros de perforación. | 67 |
| Tabla 9.5. Consumo principales equipos de hundimiento. | 68 |
| Tabla 9.6. Principales insumos considerados. | 68 |