

Tabla de contenido

Abstract.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Tabla de contenido.....	v
Índice de Tablas.....	viii
Índice de Figura.....	x
Índice de gráficos.....	xiii
1. Introducción.....	1
1.1. Objetivo.....	3
1.1.1. Objetivo general.....	3
1.1.2. Objetivos específicos.....	3
1.2. Alcances.....	3
1.3. Metodología de trabajo.....	4
2. Antecedentes de la Preparación Minera Subterránea.....	6
2.1. Etapas de un Proyecto de Minería Subterránea.....	6
2.2. Método de explotación block/panel caving.....	8
2.3. Obras de Preparación Minera en Block/Panel Caving.....	10
2.3.1. Desarrollos Horizontales.....	11
2.3.2. Desarrollos verticales.....	14
2.3.3. Sistemas de traspaso.....	15
2.4. Extracción de Marina.....	17
2.5. Caso de Estudio: División El Teniente.....	23
2.4.1. Preparación Minera en El Teniente: Gerencia de Obras Mina.....	24
2.4.2. Acumulación de Marina al interior mina.....	27
2.4.2.1. Disponibilidad de puntos de vaciado.....	28
2.4.2.2. Consideración de marinas en la producción DET.....	30
2.4.2.3. Acopios de Marina.....	32
2.4.2.4. Impacto en el presupuesto de preparación de minas.....	36
2.4. Resumen del capítulo.....	38
3. Sistemas de manejo de marinas actual.....	39
3.1. Distancias de transporte de las rutas.....	39
3.2. Sistema de manejo de marinas por sector.....	40
3.2.1. Reservas Norte.....	40
3.2.1.1. Nivel de Hundimiento.....	40

3.2.1.2. Nivel de Producción	41
3.2.1.3. Nivel de Acarreo	43
3.2.1.4. Subnivel de Ventilación	44
3.2.1.5. Flota de Equipos	45
3.2.2. Dacita	46
3.2.2.1. Nivel de Hundimiento	46
3.2.2.2. Nivel de producción	47
3.2.2.3. Nivel de acarreo	48
3.2.2.4. Sub nivel de ventilación	49
3.2.2.5. Flota de equipos	50
3.2.3. Esmeralda Sur	51
3.2.3.1. Nivel de hundimiento	51
3.2.3.2. Nivel de producción	52
3.2.3.3. Nivel de acarreo	53
3.2.3.4. Sub nivel de ventilación	54
3.2.3.5. Flota de Equipos	55
3.3. Principales problemas del sistema de manejo actual	55
3.4. Resumen del capítulo	57
4. Sistemas de manejo de marinas alternativo	59
4.1. Extracción de marina alternativa	59
4.2. Consideraciones en el diseño	63
4.2.1. Vaciaderos del Nivel de Hundimiento	63
4.2.2. Efectos en el sistema de ventilación de la DET	63
4.2.3. Requerimientos de marina a transportar	64
4.2.4. Sistemas de traspaso	65
4.2.5. Estocadas de carguío y vaciado	68
4.3.6. Metodología de Diseño	71
4.4. Sistema de manejo alternativo por sector	73
4.4.1. ADIT 58 Reservas Norte	73
4.4.2. ADIT 58 Dacita	77
4.4.3. ADIT 56 Esmeralda Sur	81
4.5. Capacidad Sistema de Manejo de Marinas	86
4.5.1. Reservas Norte	88
4.5.2. Dacita	90

4.5.3. Esmeralda	91
4.6. Resumen del capítulo	92
5. Costo de implementación del sistema alternativo	94
5.1. Costo de Inversión (CAPEX)	94
5.2. Costo Operacional (OPEX)	95
5.2.1. Estimación del gasto en transporte independizando el sistema de manejo de marinas.....	96
5.2.2. Estimación del gasto usando el sistema alternativo para extraer sólo el remanente de marina no ingresado a producción.....	97
5.3. Estimación del gasto sin implementar el sistema alternativo	102
5.3. Resumen del capítulo.....	105
6. Conclusiones y Recomendaciones.....	107
6.1. Recomendaciones.....	109
Bibliografía.....	110
Anexos.....	113
A.1. Medición horas disponibles por turno	113
A.2. Cálculo de cantidad de marina Programa Rev.B. 2015	114
A.3. Mensura Acopios del Control de Marinas GOBM-ITO	115
A.3.1. Reservas Norte.....	115
A.3.2. Dacita	118
A.4. Generación de marina programada 2016.....	126
A.4.1. Reservas Norte.....	126
A.4.2. Dacita	127
A.4.3. Esmeralda	128
A.5. Fórmulas para el cálculo de la capacidad del sistema.....	129
A.6. Ubicación zonas de carguío y de espera	133
A.6.1. Reservas Norte.....	133
A.6.2. Dacita	135
A.6.3. Esmeralda	136

Índice de Tablas

Tabla 1: Tasas de avance en metros al año en proyectos de block/panel caving	17
Tabla 2: Detalle de obras por sector en preparación año 2016.....	24
Tabla 3: Horas disponibles totales y disponibilidad de puntos de vaciado por sector.....	29
Tabla 4: Causas de la no utilización y de la no disponibilidad de puntos de vaciado	30
Tabla 5: Tonelaje de marina considerado en el PAM de producción y el programa Rev.B	31
Tabla 6: Diferencia entre el tonelaje considerado por producción y el Rev.B por sector	32
Tabla 7: Variación Anual de los acopios al interior mina	33
Tabla 8: Indicador de metros cúbicos re acarreados por metro lineal desarrollado	37
Tabla 9: Reservas Norte - Nivel de hundimiento. Distancias de acarreo marinas 2016	41
Tabla 10: Reservas Norte - Nivel de producción. Distancia de acarreo marinas 2016.....	42
Tabla 11: Reservas Norte - Nivel de acarreo. Distancias de acarreo marinas 2016.....	43
Tabla 12: Reservas Norte- Subnivel de ventilación. Distancia de acarreo marinas 2016	44
Tabla 13: Reservas Norte. Flota de equipos extracción de marina.....	45
Tabla 14: Dacita - Nivel de hundimiento. Distancias de acarreo marinas 2016	46
Tabla 15: Dacita - Nivel de producción. Distancias de acarreo marinas 2016	48
Tabla 16: Dacita - Nivel de acarreo. Distancias de acarreo marinas 2016.....	49
Tabla 17: Dacita - Subnivel de ventilación. Distancia de acarreo marinas 2016.....	50
Tabla 18: Dacita. Flota de equipos extracción de Marina.....	50
Tabla 19: Esmeralda - Nivel de hundimiento. Distancias de acarreo marinas 2016	52
Tabla 20: Esmeralda - Nivel de producción. Distancias de acarreo marinas 2016	53
Tabla 21: Esmeralda - Nivel de acarreo. Distancia de acarreo marinas 2016	54
Tabla 22: Esmeralda - Subnivel de ventilación. Distancias de acarreo de marinas 2016.....	55
Tabla 23: Esmeralda. Flota de equipos extracción de marina.....	55
Tabla 24: Resumen de las distancias medias de transporte de marina y el acopio de cada sector	58
Tabla 25: Dimensiones LHD para diseño del sistema.....	68
Tabla 26: Reservas Norte. Características de diseño sistema de traspaso nivel de producción – subnivel de ventilación.....	74
Tabla 27: Reservas Norte. Características de diseño sistema de traspaso nivel de acarreo – subnivel de ventilación.....	75
Tabla 28: Reservas Norte. Distancias de rutas de marina con el sistema alternativo y el sistema actual.	76
Tabla 29: Dacita. Características de diseño sistema de traspaso nivel de producción – nivel de acarreo.....	78
Tabla 30: Dacita. Características de diseño sistema de traspaso nivel de acarreo – subnivel de ventilación.....	79
Tabla 31: Dacita Distancias de rutas de marina con el sistema alternativo y el sistema actual. .	80
Tabla 32: Esmeralda Bloque 1. Características de diseño sistema de traspaso nivel de producción – subnivel de ventilación.	82
Tabla 33: Esmeralda Bloque 2. Características de diseño sistema de traspaso nivel de producción – subnivel de ventilación.	83
Tabla 34: Esmeralda. Distancias de rutas de marina con el sistema alternativo y el sistema actual.	85

Tabla 35: Reservas Norte. Distancias rutas de extracción subnivel de ventilación-portal ADIT 58	88
Tabla 36: Reservas Norte. Rendimiento Sistema de manejo 1 pala - 1 camión <i>dumper</i>	89
Tabla 37: Reservas Norte. Rendimientos del sistema para 1 pala variando el número de <i>dumpers</i>	90
Tabla 38: Dacita. Rendimientos del sistema para 1 pala variando el número de <i>dumpers</i>	90
Tabla 39: Esmeralda- Bloque1. Rendimientos del sistema para 1 pala variando el número de <i>dumpers</i>	91
Tabla 40: Esmeralda-Bloque 2. Rendimientos del sistema para 1 pala variando el número de <i>dumpers</i>	91
Tabla 41: Reservas Norte. Desglose de las inversiones a realizar	94
Tabla 42: Costo de inversión en construcción de infraestructura por sector	95
Tabla 43: Costo de operación por hora de los equipos utilizados para el transporte de marina.	96
Tabla 44: Flota de equipos utilizados en la ruta subnivel de ventilación-Stock Pile Rajo Sur por sector y costo de transporte unitario.....	96
Tabla 45: Gasto estimado del transporte de toda la marina que se generará el 2016 más el acopio actual.....	97
Tabla 46: Estimación de marinas transportadas por no disponibilidad durante el 2015	101
Tabla 47: Gasto en transporte de la marina que se generará el 2016 y no puede ser depositada en sistemas de traspaso de producción, más el costo	101
Tabla 48: Marinas re acarreadas 2015 y porcentaje respecto a las generadas.....	103
Tabla 49: Gasto en re acarreo proyectado para el 2016, manteniendo el porcentaje de re acarreo del año 2015.....	103
Tabla 50: Marina acopiada proyectada a enero 2017, sin implementar el sistema alternativo .	104
Tabla 51: Medición de horas disponibles de sistemas de traspaso	113
Tabla 52: Reservas Norte - Acopio de marina por nivel.....	115
Tabla 53: Dacita - Acopio de marina por nivel.....	118
Tabla 54: Diablo Regimiento - Acopio de marina por nivel.....	121
Tabla 55: Esmeralda - Acopio de marina por nivel.....	123
Tabla 56. Reservas Norte – Generación de marinas total por mes del 2016.....	126
Tabla 57: Dacita – Generación de marinas total por mes del 2016.....	127
Tabla 58: Esmeralda – Generación de marinas total por mes del 2016.....	128
Tabla 59: Características de los equipos que integran la flota de transporte.....	132
Tabla 60: Dacita. Distancias rutas de extracción subnivel de ventilación-portal ADIT 58	135
Tabla 61: Esmeralda Bloque 1. Distancias rutas de extracción subnivel de ventilación-portal ADIT 56.....	138
Tabla 62: Esmeralda Bloque 2. Distancias rutas de extracción subnivel de ventilación-portal ADIT 56.....	138

Índice de Figura

Figura 1: Estado acopio de marina actual en los sectores más críticos. Fuente: Elaboración propia.....	2
Figura 2: Esquema de los estados tensionales provocados por el frente de socavación en el método panel caving. Fuente (Salgado, 2009).....	9
Figura 3: Infraestructura típica de una mina explotada por panel caving con hundimiento convencional. Fuente: (Brannon <i>et al</i> , 2011).....	10
Figura 4: Ciclo de Excavación Desarrollos Horizontales con método de perforación y tronadura (P y T). Fuente: Elaboración propia.....	12
Figura 5: Distribución porcentual de tiempos del ciclo de excavación en desarrollos horizontales en Oyu Tolgoi y División El Teniente. Fuente: Elaboración propia. Datos (Li, 2012; Camhi, 2012).....	13
Figura 6: Esquema del manejo de materiales en una mina explotada por panel caving convencional (lado izquierdo) y en el nivel de producción (lado derecho). Fuente: Elaboración propia.....	19
Figura 7: Proyecto PTFI Grasberg Block Caving. Fuente: (Brannon, 2012)	20
Figura 8: Proyecto Grasberg Block Caving Facilidades del Ridge Camp Rail Yard. Fuente: (Brannon, 2012).....	21
Figura 9: <i>Footprint</i> Hugo North Lift 1. Proyecto Oyu Tolgoi. Fuente: Sinuhaji (2012)	22
Figura 10: Ritmo de extracción de mineral diario por sector 2016. Fuente: Elaboración propia. Datos (SGP, 2016)	23
Figura 11: Mapa estratégico DPM-GOBM. Fuente: (Díaz y Arce, 2015).....	25
Figura 12: Leyenda Desarrollos Horizontales Rev.B 2016. Fuente (Rev. B, 2016)	39
Figura 13: Reservas Norte-Nivel de hundimiento. Desarrollos programados y rutas de marina año 2016. Fuente: Elaboración propia.....	41
Figura 14: Reservas Norte-Nivel de producción. Desarrollos programados y rutas de marina año 2016. Fuente: Elaboración propia.....	42
Figura 15: Reservas Norte-Nivel de acarreo. Desarrollos programados y rutas de marina año 2016. Fuente: Elaboración propia.....	43
Figura 16: Reservas Norte-Subnivel de ventilación. Desarrollos programados y rutas de marina año 2016. Fuente: Elaboración propia.....	44
Figura 17: Dacita-Nivel de hundimiento. Desarrollos programados y rutas de marina año 2016. Fuente: Elaboración propia.....	46
Figura 18: Dacita-Nivel de producción. Desarrollos programados y rutas de marina año 2016. Fuente: Elaboración propia.....	47
Figura 19: Dacita – Nivel de acarreo. Desarrollos programados y rutas de marina año 2016. Fuente: Elaboración propia.....	48
Figura 20: Dacita-Subnivel de ventilación. Desarrollos programados y rutas de marina año 2016. A la izquierda subnivel de ventilación, a la derecha nivel de acarreo. Fuente Elaboración propia.	49
Figura 21: Esmeralda –Nivel de hundimiento. Desarrollos programados y rutas de marina año 2016. Fuente: Elaboración propia.....	51
Figura 22: Esmeralda-Nivel de producción. Desarrollos programados y rutas de extracción año 2016. Fuente: Elaboración propia.....	53

Figura 23: Esmeralda-Nivel de acarreo. Desarrollos programados y rutas de marina año 2016. Fuente: Elaboración propia.....	54
Figura 24: Esmeralda-Subnivel de ventilación. Desarrollos programados y rutas de marina año 2016. Fuente: Elaboración propia.....	55
Figura 25: Sistema de manejo de materiales alternativo propuesto para minas explotadas con panel caving en variante convencional. Fuente: Elaboración propia.....	60
Figura 26: Ruta de extracción de marina por superficie. Fuente: Elaboración propia.....	61
Figura 27: Caminos al Rajo Sur. Fuente: (GDR, 2015).....	62
Figura 28: Parámetros de diseño malla triangular clásica. Fuente: (Chacón, 1980.).....	68
Figura 29: Dimensiones estocada de carguío. Fuente: Elaboración propia.....	69
Figura 30: Estocada de vaciado con dos curvas de alta. Fuente: Elaboración Propia.....	70
Figura 31: Dimensiones estocada de vaciado. Fuente: Elaboración propia.....	70
Figura 32: Reservas Norte – Nivel de Producción. Estocada de vaciado y proyección estocada de carguío en el subnivel de ventilación (gris claro). Fuente: Elaboración propia.....	73
Figura 33: Reservas Norte - Nivel de acarreo. Estocada de vaciado y proyección estocada de carguío en el subnivel de ventilación (gris claro). Fuente: Elaboración propia.....	74
Figura 34: Reservas Norte - Subnivel de ventilación. Estocadas de carguío y Rutas hacia ADIT 58 para sistemas de traspaso del nivel de producción y del nivel de acarreo. Fuente: Elaboración propia.....	75
Figura 35: Dacita – Nivel de Producción. Estocada de vaciado y proyección estocada de carguío en el nivel de acarreo (gris claro). Fuente: Elaboración propia.....	77
Figura 36: Dacita - Nivel de acarreo. Estocada de vaciado y proyección estocada de carguío en el subnivel de ventilación (gris claro). Fuente: Elaboración propia.....	78
Figura 37: Dacita - Subnivel de ventilación. Estocada de carguío y Ruta hacia ADIT 58 para sistema de traspaso del nivel de acarreo. Fuente: Elaboración propia.....	79
Figura 38: Esmeralda Bloque 1 – Nivel de Producción. Estocada de vaciado y proyección estocada de carguío hacia subnivel de ventilación (gris claro). Fuente: Elaboración propia.....	81
Figura 39: Esmeralda Bloque 2 – Nivel de Producción. Estocada de vaciado y proyección estocada de carguío hacia subnivel de ventilación (gris claro). Fuente: Elaboración propia.....	82
Figura 40: Esmeralda – Bloque 2. Estocada de Conexión con sistema de traspaso nivel de producción y proyección de estocada de carguío en el subnivel de ventilación (gris claro). Fuente: Elaboración propia.....	83
Figura 41: Esmeralda - Subnivel de ventilación. Estocadas de carguío y Rutas hacia ADIT 56 para sistemas de traspaso de los niveles superiores en el Bloque 1 y Bloque 2. Fuente: Elaboración propia.....	84
Figura 42: Esquema de sistema de transporte de marina en las rutas subnivel de ventilación - Portal ADIT. Fuente: Elaboración propia.....	87
Figura 43: Esquema con los escenarios que se darían utilizando el sistema alternativo para el manejo del remanente de marinas. Fuente: Elaboración propia.....	98
Figura 44: Esquema con los escenarios posibles sin implementar el sistema alternativo. Fuente: Elaboración propia.....	102
Figura 45: Reservas Norte - Nivel de hundimiento. Acopio de marina.....	115
Figura 46: Reservas Norte - Nivel de producción. Acopio de marina.....	116
Figura 47: Reservas Norte - Nivel de acarreo. Acopio de marina.....	116
Figura 48: Reservas Norte – Subnivel de ventilación. Acopio de marina.....	117
Figura 49: Dacita – Nivel de hundimiento. Acopio de marina.....	118

Figura 50: Dacita – Nivel de producción. Acopio de marina.....	119
Figura 51: Dacita – Nivel de acarreo. Acopio de marina	119
Figura 52: Dacita – Subnivel de ventilación. Acopio de marina.....	120
Figura 53: Diablo Regimiento – Nivel de hundimiento. Acopio de marina.....	121
Figura 54: Diablo Regimiento – Nivel de producción Fase 4. Acopio de marina.....	122
Figura 55: Diablo Regimiento – Nivel de producción Fase 5. Acopio de marina.....	122
Figura 56: Esmeralda – Nivel de hundimiento. Acopio de marina.....	123
Figura 57: Esmeralda – Nivel de producción. Acopio de marina.....	124
Figura 58: Esmeralda – Nivel de acarreo. Acopio de marina	124
Figura 59: Esmeralda – Subnivel de ventilación. Acopio de marina.....	125
Figura 60: Reservas Norte – Subnivel de ventilación. Ubicación zonas de carguío y espera para camiones <i>dumpers</i>	133
Figura 61: Reservas Norte. Ubicación zonas de carguío para <i>dumpers</i> y distancias de acarreo de LHD.....	134
Figura 62: Dacita. Ubicación zonas de carguío para <i>dumpers</i> y distancias de acarreo de LHD	135
Figura 63: Esmeralda Bloque 1– Subnivel de ventilación. Ubicación zonas de carguío y espera para camiones <i>dumpers</i>	136
Figura 64: Esmeralda Bloque 2– Subnivel de ventilación. Ubicación zonas de carguío y espera para camiones <i>dumpers</i>	137
Figura 65: Esmeralda. Ubicación zonas de carguío para <i>dumpers</i> y distancias de acarreo de LHD.....	137

Índice de gráficos

Gráfico 1: Cumplimiento de la Preparación Minera y Gastos periodo 2000-2012. Fuente (Díaz y Arce, 2015)	26
Gráfico 2: Porcentaje de incidencia de interferencias de responsabilidad de la División. (Díaz y Arce, 2015)	26
Gráfico 3: Porcentaje de incidencia de pérdidas operacionales de responsabilidad del Contratista (Díaz y Arce, 2015)	27
Gráfico 4: Variación del acopio de marina en enero 2015- enero 2016. Fuente: Elaboración propia.....	33
Gráfico 5: Volumen de marina re acarreado y metros lineales desarrollados por año periodo 2011-2015. Fuente: Elaboración propia	36
Gráfico 6: Tonelaje de marina a producir en una base mensual por sector año 2016. Fuente: Elaboración propia.....	64
Gráfico 7: Histograma de los diámetros bajo los cuales. Fuente: Elaboración Propia	65
Gráfico 8: Granulometría post tronadura de avance en Reservas Norte- Nivel de producción. Fuente: (Music, 2007).....	66
Gráfico 9: Reservas Norte – Programa de generación de marina 2016.....	126
Gráfico 10: Dacita – Programa de generación de marina 2016	127
Gráfico 11: Esmeralda – Programa de generación de marina 2016	128