

Tabla de Contenido

1	Introducción	1
1.1	Contexto del trabajo.....	3
1.2	Objetivos	5
1.2.1	Objetivo General.....	5
1.2.2	Objetivos Específicos	5
1.3	Alcances.....	5
1.4	Metodología	6
1.4.1	Revisión de antecedentes de ingeniería.....	6
1.4.2	Revisión de desempeño operacional.....	7
1.4.3	Análisis de información y Benchmarking	7
1.4.4	Análisis de riesgo para nuevos sectores productivos	7
1.4.5	Conclusiones.....	7
1.5	Estructura del trabajo	8
2	Antecedentes	9
2.1	Resumen del capítulo.....	9
2.2	Antecedentes generales de El Teniente.....	9
2.3	Concepto de Benchmarking.....	11
2.4	Sistemas de manejo de materiales en Block/Panel Caving.....	12
2.5	Variantes del Panel Caving.....	14
2.5.1	Hundimiento Convencional.....	15
2.5.2	Hundimiento Previo.....	16
2.5.3	Hundimiento Avanzado.....	17
2.6	Costos de capital	18
2.7	Costos operacionales.....	18
2.7.1	Costos operaciones unitarias	18
2.7.2	Costos transversales mina.....	19
2.8	Actualización monetaria	19
3	Características de los sistemas de manejo de materiales proyectadas para cada sector.....	21
3.1	Resumen del capítulo.....	21
3.2	Sector 1	21
3.3	Sector 2	23

3.4	Sector 3	24
3.4.1	Fase 1 – Sector 3.....	26
3.4.2	Fase 2 – Sector 3.....	27
3.4.3	Fase 3 – Sector 3.....	27
3.4.4	Fase 4 – Sector 3.....	27
3.4.5	Fase 5 – Sector 3.....	28
3.5	Sector 4	28
3.6	Sector 5	29
3.7	Sector 6	31
3.7.1	Fase 1 – Sector 6.....	32
3.7.2	Fase 2 – Sector 6.....	32
4	Características operacionales de los sistemas de manejo de materiales para cada sector.....	33
4.1	Resumen del capítulo.....	33
4.2	Sector 1	34
4.3	Sector 2	35
4.4	Sector 3	36
4.5	Sector 4	37
4.6	Sector 5	38
4.7	Sector 6	39
5	Análisis de los sistemas de manejo de materiales	41
5.1	Resumen del capítulo.....	41
5.2	Aspectos generales de los sectores	41
5.2.1	Producción	41
5.2.2	Ley Media.....	42
5.2.3	Reservas.....	44
5.2.4	Finos	44
5.3	Costos de Capital	45
5.4	Costos Operacionales.....	48
5.5	Características de los sistemas de manejo de materiales	51
6	Contexto del trabajo para nuevos sectores productivos	53
6.1	Resumen del capítulo.....	53
6.2	Proyecto A	53
6.3	Proyecto B.....	55
6.4	Análisis de los sistemas de manejo de materiales.....	56

6.5	Análisis de riesgo de los proyectos.....	59
7	Conclusiones	62
8	Recomendaciones.....	65
9	Bibliografía.....	66
10	Anexos.....	67
10.1	Anexo A: Costos de Capital.....	67
10.2	Anexo B: Costos de operación.....	76
10.3	Anexo C: Fases Sector 3.....	85
10.4	Anexo D: Análisis de Riesgo.....	86

Índice de Figuras

Figura 1: Diagrama del método de hundimiento Panel Caving. (Henderson, Doepken 1982)	1
Figura 2: Diagrama de sectores en la mina El Teniente.	2
Figura 3: Metodología del trabajo.	6
Figura 4: Localización geográfica de la división El Teniente.	9
Figura 5: Diagrama de sectores en la mina El Teniente.	10
Figura 6: Metodología Benchmarking (Rico, 1997).	11
Figura 7: Ejemplo malla Teniente (Castro R. 2007).	13
Figura 8: Zonas generadas por esfuerzos inducidos (Cavieres P. 2014).	14
Figura 9: Diagrama de panel caving con hundimiento convencional (Brannon, 2011).	15
Figura 10: Vista longitudinal panel caving con hundimiento convencional (Alvarez, 2009).	15
Figura 11: Diagrama de panel caving con hundimiento previo (Brannon, 2011).	16
Figura 12: Vista longitudinal panel caving con hundimiento previo (Alvarez, 2009).	16
Figura 13: Diagrama de panel caving con hundimiento avanzado (Brannon, 2011).	17
Figura 14: Vista longitudinal panel caving con hundimiento avanzado (Alvarez, 2009).	17
Figura 15: Diagrama sistema de manejo de materiales sector 1.....	22
Figura 16. Diagrama sistema de manejo de materiales sector 2.....	24
Figura 17: Ubicación de las fases del sector 3.....	25
Figura 18: Diagrama sistema de manejo de materiales sector 3.....	26
Figura 19: Diagrama sistema de manejo de materiales sector Sector 4.	29
Figura 20: Diagrama sistema de manejo de materiales sector Sector 5.	30
Figura 21: Diagrama sistema de manejo de materiales sector 6.....	32
Figura 22: Disposición general de los sectores. Vista en planta.	33
Figura 23: Plano nivel de producción y transporte intermedio sector 1.....	34
Figura 24: Plano nivel de producción y transporte intermedio sector 2.....	35
Figura 25: Plano nivel de producción sector 3.	37
Figura 26: Plano nivel de producción y transporte intermedio sector 4.....	38
Figura 27: Plano nivel de producción y transporte intermedio sector 5.....	39
Figura 28: Plano nivel de producción y transporte intermedio sector 6.....	40
Figura 29: Diagrama de sistema de manejo de minerales de los distintos sectores de El Teniente. Elaboración propia en base a datos de la división.	51
Figura 30: Diagrama sistema de manejo de materiales proyecto A.	54
Figura 31: Plano nivel de producción proyecto A.....	54
Figura 32: Diagrama sistema de manejo de materiales proyecto B.	55
Figura 33: Plano nivel de producción y transporte intermedio proyecto B.....	56

Índice de Tablas

Tabla 1: Sistema de producción en minas explotadas mediante block/panel caving (Rubio, 2006).	12
Tabla 2: Moneda Control 2016, Codelco.	20
Tabla 3: Niveles Sector 1.....	22
Tabla 4: Orientaciones Comerciales Sector 1.	23
Tabla 5: Niveles Sector 2.....	23
Tabla 6: Orientaciones Comerciales Sector 2.	24
Tabla 7: Niveles Sector 3.....	25
Tabla 8: Orientaciones Comerciales Sector 3 - Fase 1.....	26
Tabla 9: Orientaciones Comerciales Sector 3 - Fase 2.....	27
Tabla 10: Orientaciones Comerciales Sector 3 - Fase 3.....	27
Tabla 11: Orientaciones Comerciales Sector 3 - Fase 4.....	27
Tabla 12: Orientaciones Comerciales Sector 3 - Fase 5.....	28
Tabla 13: Niveles Sector 4.....	28
Tabla 14: Orientaciones Comerciales Sector 4.....	29
Tabla 15: Niveles Sector 5.....	30
Tabla 16: Orientaciones Comerciales Sector 5.....	30
Tabla 17: Niveles Sector 6.....	31
Tabla 18: Orientaciones Comerciales Sector 6 – Fase 1.	32
Tabla 19: Orientaciones Comerciales Sector 6 – Fase 2.	32
Tabla 20: Diferencias de capital por sector de la división El Teniente.	46
Tabla 21: Diferencias de costos operacionales por sector de la división El Teniente.....	49
Tabla 22: Niveles Proyecto A.....	53
Tabla 23: Niveles proyecto B.	55
Tabla 24: Matriz de Riesgo (PMBOK® Guide, 2013).....	60
Tabla 25: Valoración del Riesgo	60
Tabla 26: Riesgo costos de capital proyectos A y B.	60
Tabla 27: Riesgo costos de operación proyectos A y B.	61

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Plan de desarrollo alternativo. Presentación PDA PSC.	3
Gráfico 2: Precio del cobre Nominal 1990 - 2016. Elaboración propia en base a datos de Cochilco.	4
Gráfico 3: Producción de mineral por sectores de la división El Teniente. Elaboración propia en base a datos de la división.	42
Gráfico 4: Leyes medias de cobre de los sectores de la división El Teniente. Elaboración propia en base a datos de la división.	43
Gráfico 5: Leyes medias de cobre de operaciones y proyectos mineros. Modificado de Wood Mackenzie y Codelco.	43
Gráfico 6: Reservas minerales por sector de la división El Teniente. Elaboración propia en base a datos de la división.	44
Gráfico 7: Finos de cobre por sector de la división El Teniente. Elaboración propia en base a datos de la división.	45
Gráfico 8: Comparación de costos de capital (CAPEX) proyectados vs reales en distintos sectores de la división El Teniente.	46
Gráfico 9: Comparación de costos de capital (CAPEX) proyectados vs reales con desglose por actividad. Elaboración propia en base a datos de la división.	47
Gráfico 10: Índice costos de capital sobre cobre fino para los distintos sectores de la división El Teniente. Elaboración propia en base a datos de la división.	48
Gráfico 11: Comparación costos operacionales (OPEX) proyectados vs reales en distintos sectores de la división El Teniente. Elaboración propia en base a datos de la división.	49
Gráfico 12: Comparación costos operacionales (OPEX) proyectados vs reales con desglose por actividad. Elaboración propia en base a datos de la división.	50
Gráfico 13: Comparación costos de capital entre sectores con proyectos PDA. Elaboración propia en base a datos de la división.	57
Gráfico 14: Comparación costos de operación entre sectores con proyectos PDA. Elaboración propia en base a datos de la división.	58
Gráfico 15: Comparación índice capex/régimen entre sectores con proyectos PDA. Elaboración propia en base a datos de la división.	58
Gráfico 16: Comparación índice capex/reservas entre sectores con proyectos PDA. Elaboración propia en base a datos de la división.	59