

# TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Motivación del trabajo .....	2
1.2. Objetivos .....	3
1.2.1. Objetivo General.....	3
1.2.2. Objetivos Específicos .....	3
1.3. Alcances .....	3
1.4. Metodología de la investigación .....	4
1.5. Estructura del informe .....	6
2. ANTECEDENTES GENERALES.....	7
2.1. Estandarización de procesos .....	7
2.2. Modelo Pre-mezcla .....	8
2.3. Estudios previos: estimación modelo quebrado, Mina El Salvador.....	9
2.3.1. Metodología de estimación de modelo remanente en Salvador .....	10
2.3.1.1. Modelo de bloques in situ.....	11
2.3.1.2. Foot print y ubicación de los puntos de extracción.....	11
2.3.1.3. Simulación de la extracción usando un modelo de mezcla.....	11
2.3.1.4. Creación del modelo de bloques de material quebrado .....	14
2.3.1.5. Consideraciones para la metodología.....	17
2.4. Estudios previos: Mineral Quebrado en Mina San Antonio .....	18
2.4.1. Estimación del Mineral Quebrado en San Antonio .....	18
2.4.1.1. Balance de finos.....	19
2.4.2. Resultados del modelo en mina San Antonio .....	19
3. ANTECEDENTES DE LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO PRE-MEZCLA, MINA EL TENIENTE.....	21

3.1.	Antecedentes División el Teniente .....	21
3.1.1.	Descripción del yacimiento .....	21
3.1.2.	Planificación División el Teniente .....	23
3.2.	Estudios previos en mina El Teniente .....	24
3.2.1.	Métodos de estimación de material quebrado .....	24
3.3.	Secuencia de construcción de los modelos en planificación minera.....	26
3.3.1.	Datos de entrada .....	26
3.3.1.1.	Modelo Geológico In Situ .....	27
3.3.1.2.	Topografía Original Año 1917 .....	27
3.3.1.3.	Antecedentes extracción histórica.....	28
3.3.2.	Modelo de material quebrado .....	30
3.3.2.1.	Balance de masa .....	31
3.3.3.	Modelo de pre-mezcla .....	31
3.3.4.	Modelo de Dilución .....	32
3.3.4.1.	Cambio de soporte.....	32
3.3.4.2.	Dilución del modelo.....	33
3.3.5.	Etapas posteriores.....	35
	Desarrollo de la estrategia de crecimiento.....	36
	Simulación y confección del plan minero preliminar .....	37
	Validación del plan minero preliminar.....	37
	Emisión del plan minero y desarrollo del PND del año .....	37
4.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	38
4.1.	Descripción y análisis exploratorio de bases de datos que crean el Modelo Pre-mezcla.....	39
4.1.1.	Modelo In Situ.....	39

4.1.2.	Modelo quebrado.....	39
4.2.	Generación del modelo de material quebrado .....	40
4.2.1.	Creación del modelo quebrado en Access .....	40
4.2.2.	Consideraciones para crear modelo quebrado .....	41
4.2.2.1.	Selección del Punto de Entrada de Dilución Adecuado .....	41
4.2.2.2.	Descenso de la topografía .....	42
4.2.2.3.	Control de Topografía .....	43
4.2.2.4.	Selección del tipo de tiraje .....	44
4.3.	Mapeo de las etapas para crear los inputs de la aplicación que genera el modelo quebrado.....	45
4.4.	Creación de inputs para aplicación de quebrado en Matlab .....	45
4.5.	Comparación de resultados de Access con Matlab .....	45
4.6.	Identificación de KPI's.....	46
4.7.	Verificación del funcionamiento de la aplicación 'Modelo Quebrado' .....	46
4.8.	Creación del modelo pre-mezcla .....	46
5.	ESTANDARIZACIÓN DEL MODELO PRE-MEZCLA .....	47
5.1.	Recepción del modelo In Situ .....	47
5.2.	Etapas para crear inputs a la aplicación de quebrado .....	53
5.2.1.	Topografía exportable.....	54
5.2.2.	Histórico Exportable y Modelo Exportable .....	54
5.3.	Comparación de resultados: Access con Matlab .....	57
5.4.	Incorporación de variable a la metodología actual.....	59
5.5.	Aplicación que genera el modelo quebrado .....	60
5.6.	Creación del modelo Pre-mezcla .....	66
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	69

6.1.	Análisis del modelo in Situ .....	69
6.2.	Creación de inputs para la aplicación de quebrado por Access y Matlab .....	70
6.3.	Funcionamiento de la aplicación de quebrado .....	73
6.4.	Análisis del Modelo pre-mezcla .....	73
6.5.	Limitaciones de los modelos de leyes.....	74
6.5.1.	Cálculo de altura de la columna de extracción .....	74
6.5.2.	Estudio de la aplicación “Modelo Quebrado” para balance de masas .....	75
6.5.3.	Incorporación de degradaciones metalúrgicas .....	75
6.5.4.	Incorporación de dilución lateral .....	76
6.5.5.	Impacto del tipo de tiraje.....	76
6.5.6.	Impacto de los métodos de explotación.....	77
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	78
7.1.	Conclusiones generales.....	78
7.2.	Recomendaciones para trabajos futuros.....	81
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	82
9.	ANEXOS.....	84
	Anexo A .....	84
	Anexo B .....	85
	Anexo C .....	97
	Anexo D.....	101

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Recursos Quebrados declarados en informes anuales de recursos y reservas, División El Teniente (Celhay & Vergara, 2006) .....	2
Tabla 2.1 Balance de tonelaje y Cu metálico para modelo quebrado .....	17
Tabla 2.2 Resultados Modelo quebrado Proyecto San Antonio .....	20
Tabla 5.1 Estadísticas para comparar el modelo In Situ 2015 v/s 2016 .....	51
Tabla 5.2 Estadísticas para comparar el modelo In Situ 2015 v/s 2016 con bloques actualizados por SGL .....	52
Tabla 5.3 Estadísticas para ver si se actualizaron las variables del modelo In Situ .....	52
Tabla 5.4 Comparación de resultados Access v/s Matlab para archivo "Resultados" ....	57
Tabla 5.5 Comparación de resultados Access v/s Matlab para archivo "Histórico en límites" .....	58
Tabla 5.6 Comparación de resultados Access v/s Matlab para archivo " Modelo en límites" .....	58
Tabla 5.7 Comparación de resultados Access v/s Matlab para archivo "Histórico Exportable" .....	58
Tabla 5.8 Comparación de resultados Access v/s Matlab para archivo "Modelo Exportable" .....	59
Tabla 5.9 Cantidad de datos en la creación de inputs .....	59
Tabla 5.10 Valores pre-determinados para el uso de la aplicación de quebrado .....	60
Tabla 5.11 Descripción de los casos para comprobar funcionamiento de la aplicación de quebrado .....	63
Tabla 5.12 Estadísticas de los diferentes casos que comprueban el funcionamiento de la aplicación del modelo quebrado .....	64
Tabla 5.13 Estadísticas del modelo Pre-Mezcla en función del tipo de roca .....	68
Tabla 6.1 Diferencias porcentuales de las leyes de mineral cuando se comparan Modelo In Situ 2015 v/S 2016 .....	70
Tabla 6.2 Diferencias porcentuales para archivo 'Resultados' .....	71
Tabla 6.3 Diferencias porcentuales para 'Histórico en límites' e 'Histórico exportable' ..	72
Tabla A.1 Límites modelo In Situ 2015 y nuevas variables incorporadas a este .....	84

Tabla A.2 Variable del Modelo In Situ .....	84
Tabla C.1 Sectores identificados con Matlab .....	97
Tabla C.2 Puntos de extracción del sector Reservas Norte identificados con Matlab....	98
Tabla D.1 Valores por defecto para las variables del modelo quebrado .....	102

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.1 Metodología de Investigación.....	4
Ilustración 2.1 Perfil esquemático de una explotación subterránea.....	8
Ilustración 2.2 Modelo conceptual .....	9
Ilustración 2.3 Metodología de estimación modelo quebrado, División el Salvador .....	10
Ilustración 2.4 Modelo de bloque in situ .....	11
Ilustración 2.5 Creación de las columnas de extracción resultantes .....	13
Ilustración 2.6 Extracción de CA3D por cada punto de extracción.....	14
Ilustración 2.7 (a) Ubicación de la sección vertical (b) Agotamiento histórico y mezcla usando CA3D .....	15
Ilustración 2.8 Modelo quebrado que muestra en morado el mineral remanente.....	16
Ilustración 2.9 (a) Ley de cobre en modelo in situ. (b) Ley de cobre en modelo quebrado .....	16
Ilustración 3.1 Ubicación Mina El Teniente.....	22
Ilustración 3.2 Sectores de la División El Teniente.....	23
Ilustración 3.3 Organigrama Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo, División El Teniente .....	23
Ilustración 3.4 Recursos de mineral quebrado en depósitos cupríferos chilenos (Díaz, 2006).....	25
Ilustración 3.5 Etapas para la construcción de planes mineros.....	26
Ilustración 3.6 Sector del modelo con información incompleta.....	27
Ilustración 3.7 Topografía 1917 en 3D .....	28
Ilustración 3.8 Distribución Espacial y elevación de sectores por bloques .....	29
Ilustración 3.9 Distribución espacial y elevación de sectores por puntos de extracción .....	29
Ilustración 3.10 Etapas para la estimación de material quebrado, mina El Teniente. ....	30
Ilustración 3.11 Esquema del balance de masa discretizado a nivel de UBC .....	31
Ilustración 3.12 Etapas del Modelo Diluido .....	32
Ilustración 3.13 Redistribución de atributos con el cambio de soporte.....	33
Ilustración 3.14 Modelo volumétrico mezcla con PED = 60%. Laubscher, 1994.....	34
Ilustración 3.15 Algoritmo de dilución de Laubscher modificado .....	36

Ilustración 4.1 Metodología Experimental .....	38
Ilustración 4.2 Esquema para crear modelo de material quebrado por medio de Access y una aplicación .....	41
Ilustración 4.3 Diagrama para la elección del PED .....	42
Ilustración 4.4 Descenso de la topografía .....	43
Ilustración 4.5 Modificación de la topografía en función de la extracción. (a) Caso de relleno de material. (b) Caso de rebaje de material hasta la topografía de control .....	44
Ilustración 4.6 Tipo de tiraje .....	44
Ilustración 5.1 Vista isométrica de los bloques actualizados en el modelo In Situ .....	48
Ilustración 5.2 Vista en planta de los bloques actualizados en el modelo In Situ .....	48
Ilustración 5.3 Vista perfil de los bloques actualizados en el modelo In Situ .....	49
Ilustración 5.4 Comparación Ley de Cobre Total entre el Modelo In Situ 2015 v/s 2016 .....	49
Ilustración 5.5 Comparación Ley de Arsénico entre el modelo In Situ 2015 v/s 2016 .....	50
Ilustración 5.6 Comparación Ley de Molibdeno entre el modelo In Situ 2015 v/s 2016 .....	51
Ilustración 5.7 Diagrama para construir "Topografía Exportable" .....	54
Ilustración 5.8 Diagrama para obtener archivos Histórico Exportable y Modelo Exportable .....	55
Ilustración 5.9 Identificación de sectores y puntos de extracción en Matlab .....	60
Ilustración 5.10 Aplicación que genera el Modelo Quebrado .....	61
Ilustración 5.11 Variable "USAR" y "Caserones" de la aplicación Modelo Quebrado.....	62
Ilustración 5.12 Vista planta de los modelos quebrados para los distintos casos .....	65
Ilustración 5.13 Vista isométrica de Modelo in Situ delimitado por topografía año 2012 .....	66
Ilustración 5.14 Vista en planta Modelo In Situ delimitado por topografía 2012 .....	67
Ilustración 5.15 Vista isométrica Modelo pre-mezcla .....	67
Ilustración 5.16 Vista planta Modelo Pre-mezcla.....	68
Ilustración 6.1 Modelo pre-mezcla que contiene bloque de material In Situ por sobre el quebrado .....	74