

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
1. CAPITULO 1: INTRODUCCION	1
1.1 Definición del Problema	1
1.2 Hipótesis de Estudio.....	1
1.3 Alcance.....	1
1.4 Objetivos de la Investigación.....	1
1.5 Estructura de la tesis	2
1.6 Metodología de la Tesis	2
2. PRÁCTICAS MINERAS DE SUBLEVEL STOPING	5
2.1. Clasificación del método SLS.....	6
2.1.1. Según la dirección de avance.....	6
2.2.2 Uso de Pilares y Relleno	6
2.2. Métodos Existentes para el Diseño de Estabilidad del SLOS.....	7
2.2.1. Método Gráfico de Laubscher (1984).....	7
2.2.2. Método Gráfico de Mathews (1981) y Modificado por Potvin (1988).....	8
2.2.3. Estabilidad de Pilares Corona	16
2.3. Factores que influyen en el Diseño y Secuenciamiento del SLOS	20
2.3.1 Influencia de los esfuerzos.....	21
2.3.2 Esfuerzos In Situ	21
2.3.3 Esfuerzos Inducidos y Distribución de Esfuerzos	22
2.3.4 Influencia por tronadura.....	24
2.3.5 Influencia del tiempo de exposición de los caserones abiertos.....	25
3. DESARROLLO DE HERRAMIENTAS DE DISEÑO.....	26
3.1 Información de Mina Cinabrio.....	26
3.1.1 Yacimiento	27
3.1.2 Producción	28
3.1.3. Diseños y optech de los caserones	30

3.1.4.	Unidades geotécnicas	30
3.2.	Cálculos para calibrar y desarrollar herramientas de diseño empíricos	31
3.2.1.	Cálculo de sobre-excavación	31
3.2.2.	Cálculo del número de Estabilidad	33
3.2.3	Bases de datos adicionales de sobre-excavación	34
3.2.4	Modelos actuales de sobre-excavación y dilución	38
3.2.4.1	Sobre-excavación	38
3.2.4.2	Dilución.....	38
3.2.5	Ajuste de modelos de sobre-excavación y dilución	39
3.3.	Resultados	40
3.3.1.	Geometría y sobre-excavación de los caserones de Mina Cinabrio	40
3.3.2.	Numero de estabilidad de los caserones de Mina Cinabrio	43
3.3.3.	Ajuste de modelo estadístico	43
3.3.4.	Gráficos de estabilidad modificados	49
3.4.	Discusión de Resultados	52
3.5.	Aplicación de Modelamiento Numérico en el Desarrollo de Herramientas	54
3.5.1.	Parámetros de entrada del modelo	54
3.5.2.	Calibración del modelo	55
3.5.3.	Resultados de Calibración de Modelo Numérico	61
3.5.4.	Ajuste del número de estabilidad	62
4.	APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS Y SU IMPACTO EN EL PROYECTO DALMACIA	72
4.1	Geología	73
4.1.1	Geología regional	73
4.1.2	Geología local	74
4.1.3	Geología estructural	75
4.2	Mineralización	75
4.3	Recursos Geológicos	76
4.4	Consideraciones Geotécnicas	77
4.5	Diseño Minero	78
4.6.	Dimensionamiento de Caserones	80
4.7.	Aplicación de Gráficos de Estabilidad	84

4.8.	Modelo en Phase 2D	86
4.9.	Aplicación de Modelo de Dilución	87
4.10.	Plan de Producción.....	88
4.11.	Evaluación Económica.....	91
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	95
5.1.	Conclusiones	95
5.2.	Recomendaciones.....	96
6.	BIBLIOGRAFIA	97
ANEXO A. SOBRE-EXCAVACIÓN Y GEOMETRÍA DE CASERONES MINA CINABRIO		100
ANEXO B. MAPEO GEOMECANICO DEL PROYECTO DALMACIA ACTUALIZADO EN NIVELES SUPERIORES		105

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Guías para la aceptabilidad del diseño de pilares corona (Carter et al, 2008)	18
Tabla 3.1 Plan de producción de Mina Cinabrio	29
Tabla 3.2 Parámetros Geotécnicos	31
Tabla 3.3 Estadísticas básicas (min, max, promedio, desviación estándar) para la geometría de los caserones estudiados.	32
Tabla 3.4 Bases de datos utilizadas.....	35
Tabla 3.5 Modelos de sobre-excavación actuales	38
Tabla 3.6 Regresiones de los datos por Block	41
Tabla 3.7 Número de estabilidad paredes colgantes de los caserones de Mina Cinabrio.....	43
Tabla 3.8 Indicadores estadísticos del ajuste entre los modelos propuestos en Mineroc y Clark con la base de datos de Cinabrio.	44
Tabla 3.9 Indicadores estadísticos del ajuste entre el modelo propuestos por Pakalnis con la base de datos de Cinabrio.	45
Tabla 3.10 Indicadores estadísticos para ajuste de modelos de sobre-excavación para las distintas combinaciones de bases de datos.	45
Tabla 3.11. Estimación del factor de ajuste F en el número de estabilidad para los caserones C-38 y C-41.	48
Tabla 3.12 Estimación del factor de ajuste A_F en el MRMR para los caserones C-38 y C-41.	49
Tabla 3.13 Características geométricas de los caserones	54
Tabla 3.14 Razón de esfuerzos según profundidad.....	55
Tabla 3.15 Resultados para caserón sin fallas	63
Tabla 3.16 Factor de ajuste para fallas en pared	68
Tabla 3.17 Factor de ajuste para fallas en techo.....	69
Tabla 3.18 Promedio de valores calculados.....	71
Tabla 4.1 Recursos Geológicos por Categoría a una ley de Corte de 0.95% CuT	76
Tabla 4.2 Recursos Geológicos por tipo de Mineral a una ley de Corte de 0.95% CuT	76
Tabla 4.3 Geometría de los caserones	81
Tabla 4.4 Tonelajes de explotación.....	82
Tabla 4.5 Características geomecánicas de los caserones.....	83
Tabla 4.6 ELOS según modelo ajustado por caserón	88
Tabla 4.7 Inversión del inicio del Proyecto	89

Tabla 4.8	Índices según los escenarios de caserones admisibles y del MSO.....	91
Tabla 4.9	VAN de caserones reales	92
Tabla 4.10	VAN de caserones admisibles.....	93

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Geometría de caserón	7
Figura 2.2 Gráfico de Hundibilidad de Laubscher	8
Figura 2.3 Determinación del factor de esfuerzos, según Potvin (1988)	10
Figura 2.4 Orientación de la junta crítica con respecto a la superficie de la excavación, según Potvin (1988)	11
Figura 2.5 Factor de ajuste B, que toma en cuenta la orientación de las juntas con respecto a la superficie del caserón, según Potvin (1988).....	11
Figura 2.6 Factor de ajuste B, según Mathews (1981)	12
Figura 2.7 Factor C para caídas por gravedad y lajamiento, según Potvin (1988)	13
Figura 2.8 Factor C para deslizamiento, según Potvin (1988)	13
Figura 2.9 Factor C para deslizamiento, según Mathews (1981).....	14
Figura 2.10 Factor C para deslizamiento, según Hadjigeorgius, Leclair & Potvin (1995)	14
Figura 2.11 Gráfico de estabilidad, según Mathews (1981)	15
Figura 2.12 Gráfico de estabilidad modificado, según Trueman (2000)	16
Figura 2.13 Configuración geométrica para cálculo de estabilidad de pilar corona	17
Figura 2.14 Curvas de estabilidad de pilar corona (Carter et al, 2002).....	19
Figura 2.15 Secuencia de fracturas inducidas por esfuerzos, Ljuggren (2003).....	21
Figura 2.16 Tipos de deslizamientos según estructuras geológicas, Goodman (1989).....	22
Figura 2.17 Criterio de falla en el borde de la excavación.....	23
Figura 2.18 Modelo elástico con parámetros Hoek-Brown convencionales, Martin (1997).....	24
Figura 2.19 Diseño de perforación C22A, contorno de optech y diagrama de perforación	24
Figura 3.1 Mapa de Ubicación del Yacimiento Cinabrio.....	26
Figura 3.2 Sección 480NW de Litología y Emplazamiento del Yacimiento.....	27
Figura 3.3 Vista Isométrica del Yacimiento Cinabrio	28
Figura 3.4 Sección longitudinal del yacimiento con los caserones extraídos y en proyecto....	29
Figura 3.5 Diseño teórico (celeste) y optech (verde).....	30
Figura 3.6 Número de estabilidad en función del radio hidráulico para bases de datos: Mineroc, Chile y Cinabrio	36
Figura 3.7 Número de estabilidad en función del radio hidráulico para las bases de datos combinadas: Mineroc+Cinabrio, Chile+Cinabrio y Mineroc+Chile+Cinabrio. Puntos rojos corresponden a los caserones de mina Cinabrio.....	37

Figura 3.8 Comparación entre la sobre-excavación estimada por los modelos (a) Mineroc y (b) Clark con la base de datos de Cinabrio	44
Figura 3.9 Comparación entre modelos de ajuste (a) Chile, (b) Chile + Cinabrio, (c) Mineroc + Cinabrio y (d) Chile + Mineroc + Cinabrio con la base de datos de Cinabrio	46
Figura 3.10 Caserón 38 (superior) y caserón 41 (inferior) con múltiples fallas geológicas	47
Figura 3.11 Sobre-excavación C38, $kn=1,000$ [MPa/m], iteración 1	58
Figura 3.12 Ubicación de fallas en pared y techo de caserón	62
Figura 4.1 Ubicación del Proyecto Dalmacia	72
Figura 4.2 Mapa geológico regional del área de estudio (tomado de Huerta 2009)	73
Figura 4.3 Plano geológico local del área de estudio	74
Figura 4.4 Mina Dalmacia – Vista 3D	78
Figura 4.5 Vista Frontal del diseño del Proyecto Dalmacia	80
Figura 4.6 Sigma 3 en la sección NW_350 del Proyecto Dalmacia	87

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1.1 Flujograma de Tesis	3
Gráfico 2.3 Factores que inciden en el diseño y planificación del Sublevel Stopping (Villaescusa, 2003).....	20
Gráfico 3.1 Parámetros geométricos caserones Mina Cinabrio.	32
Gráfico 3.2 (a) Volumen sobre-excavado por caserón. (b) Volumen sobre-excavado en función del área de la pared.....	40
Gráfico 3.3 ELOS para los caserones de Mina Cinabrio.....	42
Gráfico 3.4 ELOS en función del dip de pared colgante de caserones	42
Gráfico 3.5 Número de estabilidad para los techos de las excavaciones actuales, proyectadas e inestables	50
Gráfico 3.6 Número de estabilidad para las paredes colgantes de las excavaciones actuales, proyectadas e inestables	51
Gráfico 3.7 Análisis de estabilidad según el MRMR para los techos proyectados de las excavaciones actuales, proyectadas e inestables.	52
Gráfico 3.8 Gráfico de estabilidad MRMR propuesto preliminarmente para mina Cinabrio considerando los casos de excavaciones actuales estables.....	53
Gráfico 3.9 Porcentaje de dilución según la variación de Sigma 3 en C38.....	56
Gráfico 3.10 Porcentaje de dilución según la variación de Sigma 3 en C41	56
Gráfico 3.11 Variación de la razón de esfuerzos según el criterio establecido	57
Gráfico 3.12 Área sobre-excavada según los parámetros de las fallas.....	58
Gráfico 3.13 Variación de la dilución según los parámetros de las fallas.....	59
Gráfico 3.14 ELOS en techo y pared según la rigidez de la falla.....	60
Gráfico 3.15 Profundidad máxima según la rigidez de la falla	61
Gráfico 3.16 Sobre excavación para fallas en pared colgante y techo según su buzamiento..	64
Gráfico 3.17 ELOS en pared para fallas en pared colgante y techos	65
Gráfico 3.18 Profundidad máxima en pared colgante para fallas en caja y techo.....	66
Gráfico 3.19 Factor “F” respecto a la ubicación de falla en la pared	69
Gráfico 3.20 Factor “F” respecto a la ubicación de falla en techo	70
Gráfico 4.1 Curva Tonelaje – Ley	77
Gráfico 4.2 Producción de Minera Altos de Punitaqui.....	79
Gráfico 4.3 Tonelajes de explotación	82
Gráfico 4.4 Caserones admisibles en gráfico de Mathews.....	84

Gráfico 4.5 Caserones reales en gráfico de Mathews.....	84
Gráfico 4.6 Caserones admisibles en gráfico de Laubscher.....	85
Gráfico 4.7 Caserones reales en gráfico de Laubscher	85
Gráfico 4.8 Plan según el MSO.....	90
Gráfico 4.9 Plan según los caserones admisibles	90