

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	iv
TABLA DE CONTENIDO	v
ÍNDICE ECUACIONES.....	x
ÍNDICE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Hipótesis de trabajo	1
1.2 Objetivos	1
1.2.1 Objetivos generales	1
1.2.2 Objetivos específicos.....	1
1.3 Alcances	2
1.4 Estructura de la Memoria	2
CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES.....	4
2.1 Métodos de diseño de Sublevel Stopping	4
2.1.1 Métodos de Diseño Empírico.....	4
2.1.1.1 RQD: Rock Quality Designation (Deere et al., 1967).....	5
2.1.1.2 Q: Rock Tunneling Quality Index (Barton et al., 1974).....	6
2.1.1.3 RMR: Rock Mass Rating (Bieniawski, 1989)	6
2.1.1.4 GSI: Geological Strength Index (Hoek, 1994)	7
2.1.1.5 MRMR: Modified Rock Mass Rating (Laubsher, 1977, 1984)	8
2.1.1.6 Gráfico de estabilidad de Mathews	9
2.1.1.7 Gráfico de estabilidad de Laubscher	10
2.1.1.8 Método del Span escalado (Carter T. G., 1992)	11
2.1.1.9 Crítica a los métodos de diseño empírico	14
2.1.2 Criterios de Falla	14
2.1.2.1 Criterio de rotura de Hoek & Brown: Roca Intacta (Versiones iniciales).....	15
2.1.2.2 Criterio de falla de Hoek & Brown Generalizado para macizo rocoso.....	15
2.1.2.3 Criterio de falla de Mohr-Coulomb	16
2.2 Modelo Numérico de sobre excavación	17
2.2.1 Mecanismos de falla de crown pillar cercano a superficie.....	17
2.2.1.1 Chimney caving	17

2.2.1.2	Caving	18
2.2.1.3	Delamination	18
2.2.2	Desconfinamiento como mecanismo de falla (Diederichs & Kaiser, 1999)	19
2.2.3	Criterios de sobre excavación aplicados a modelos numéricos	19
2.2.3.1	Trayectoria de esfuerzos e inestabilidad alrededor de excavaciones (Martin et al., 1999)	19
2.2.3.2	Evaluación de la influencia del diseño de caserones tipo long hole en la dilución no planificada (Henning J. G., 2007)	21
2.2.3.3	Efecto de los parámetros de construcción de caserones en su dilución en vetas angostas (Zniber El Mouhabbis, 2013)	22
2.2.3.4	Minimizando la dilución en minería open stope con foco en el diseño y en tronadura longhole en vetas angostas (Clark, 1998)	23
2.2.3.5	Modelamiento numérico de la dilución por sobre excavación en minería subterránea explotada por sublevel stoping (Castro, 2015).....	23
2.2.3.6	Resumen de Criterios	24
2.2.4	Modelos numéricos	24
2.2.4.1	Métodos de modelamiento numérico	25
2.2.4.1.1	Método de elementos finitos (FEM).....	25
2.2.4.2	Modelo numérico en 2D	25
2.2.4.3	Elección del programa para modelamiento numérico	26
2.2.4.4	Phase ²	27
2.3	Antecedentes de El Soldado	27
2.3.1	Información general de la faena	27
2.3.1.1	Historia	28
2.3.1.2	Situación actual	28
2.3.2	Procedimiento de control y detección de cavidades.....	29
2.3.3	Medidas operativas para garantizar una operación segura	30
2.3.3.1	Plan de auscultación.....	30
2.3.3.2	Sistemas laser para escaneos de labores	30
2.3.3.3	Limitaciones del sistema CMS.....	31
2.3.3.4	Equipos de inspección rápida.....	32
2.3.4	Cronograma de actividades para el relleno de cavidad vacía.....	33
2.3.4.1	Segunda auscultación.....	33
2.3.4.2	Construcción Chimenea mediante VCR	33

2.3.4.3	Preparación plataforma vaciado	34
2.3.4.4	Relleno de cavidad vacía	34
2.3.4.5	Hundimiento zonas de contorno vacías	34
2.4	Test diagnósticos	34
2.5	Resumen de Capítulo.....	36
2.5.1	Resumen de Métodos de diseño de Sublevel Stopping.....	36
2.5.2	Resumen de Modelo Numérico de sobre excavación	36
2.5.3	Resumen de Antecedentes de El Soldado	36
CAPÍTULO 3	METODOLOGÍA	38
3.1	Recolección de datos	38
3.2	Construcción del modelo numérico.....	38
3.3	Análisis de puentes de roca pasados.....	38
3.4	Evaluación de los Criterios seleccionados	39
3.5	Análisis de puentes de roca futuros	40
CAPÍTULO 4	ESTUDIO DE CASOS	41
4.1	Antecedentes y supuestos de modelamiento	41
4.1.1	Modelo litológico	41
4.1.2	Esfuerzos in situ	41
4.1.3	Propiedades Resistentes y de Deformabilidad	42
4.1.3.1	Propiedades de la roca intacta.....	42
4.1.3.2	Propiedades del macizo rocoso	42
4.1.3.3	Fallas mayores y menores.....	44
4.1.4	Condición Hidrogeológica	45
4.2	Casos Históricos y situación actual de caserones de El Soldado	45
4.2.1	Arauco 17 y 18	47
4.2.1.1	Modelo numérico de Arauco 17	48
4.2.1.2	Modelo numérico de Arauco 18	52
4.2.2	Arauco 23	55
4.2.3	Catedral 19 Sup y SE	59
4.2.3.1	Modelo numérico de Catedral 19 Sup	60
4.2.3.2	Modelo numérico de Catedral 19 SE.....	63
4.2.4	Caving 235	67
4.2.5	Resumen de resultados	70

CAPÍTULO 5	ANÁLISIS DE CRITERIOS DE SOBRE EXCAVACIÓN.....	71
5.1	Criterio I, $\sigma_3 < -0.1 \text{ MPa}$	71
5.2	Criterio II, $\sigma_3 < 0 \text{ MPa}$	72
5.3	Criterio III, $\sigma_p < 1 \text{ MPa}$	73
5.4	Factores del modelo numérico que afectan a los Criterios I y II.....	74
5.5	Método Span Escalado.....	76
5.6	Apliación del Criterio de Falla Hoek & Brown.....	79
5.7	Conclusiones del capítulo.....	81
CAPÍTULO 6	SITUACIÓN FUTURA DE CASERONES DE EL SOLDADO.....	83
6.1	Arauco 18.....	83
6.2	Catedral 14.....	83
6.3	Catedral 31.....	84
6.4	Catedral 32 Sup e inferior.....	87
6.5	ASW.....	88
6.6	Santa clara 27.....	93
6.7	Filo 11.....	98
6.8	Resumen del capítulo.....	99
CAPÍTULO 7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	101
7.1	Criterio I, $\sigma_3 < -0.1 \text{ MPa}$	101
7.2	Criterio II, $\sigma_3 < 0 \text{ MPa}$	102
7.3	Criterio III, $\sigma_p < 1 \text{ MPa}$	102
7.4	Factores del modelo numérico que afectan a los Criterios I y II.....	102
7.5	Método Span Escalado.....	103
7.6	Criterio de Falla Hoek & Brown.....	103
7.7	Análisis de casos futuros.....	104
7.8	Recomendaciones para trabajo futuro.....	104
7.8.1	Casos Históricos adicionales.....	104
7.8.2	Parámetros residuales.....	105
7.8.3	Medición de esfuerzos in situ.....	105
CAPÍTULO 8	BIBLIOGRAFÍA.....	106
CAPÍTULO 9	ANEXOS.....	A-1
ANEXO A	Métodos de diseño empírico de caserones.....	A-1
A.1	Puntajes para los factores de ajuste de Mathews.....	A-1
A.2	Puntajes para los parámetros del Q de Barton.....	A-2

ANEXO B	Propiedades del macizo rocoso y fallas menores	B-1
ANEXO C	Casos históricos, Back análisis	C-1
C.1	Arauco 28.....	C-1
C.2	Arauco Exterior Sur (AES).....	C-5
C.3	Catedral 14	C-10
C.4	Catedral 13 y 31	C-14
C.5	Catedral 19 Sup.....	C-20
C.6	Catedral 30	C-21
C.7	Catedral 32 Sup e Inf	C-26
C.8	Catedral 37	C-30
C.9	Filo 11	C-34
ANEXO D	Criterios de Sobre excavación aplicados a casos históricos.....	D-38