

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Definición del problema	2
1.2. Justificación	2
1.3. Objetivos.....	2
1.3.1. Objetivo general	2
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Alcances.....	3
1.5. Metodología.....	3
1.5.1. Recopilación y revisión de antecedentes de túneles mineros con presencia de aguas ácidas	3
1.5.2. Revisión de la información disponible del caso de estudio	3
1.5.3. Análisis e interpretación de datos estadísticos del agua del túnel y del arroyo.....	4
1.5.4. Identificación de los impactos de las aguas ácidas tanto en la estabilidad del túnel como en el medio ambiente durante la vida útil del túnel y definición de medidas y alternativas de tratamiento	4
2. ANTECEDENTES	7
2.1. Casos internacionales de túneles mineros con presencia de aguas ácidas	7
2.1.1. Caso N°1: Túnel Argo.....	7
2.1.2. Caso N°2: Túnel Koehler.....	13
2.1.3. Caso N°3: Túnel Kingsmill.....	19
2.2. Casos nacionales de túneles mineros con presencia de aguas ácidas	29
2.2.1. Caso N°1: Adit 71	29
2.2.2. Caso N°2: Túneles de exploración y drenaje de la mina Chuquicamata	32
3. MARCO TEÓRICO	33
3.1. Generación de Aguas Ácidas	33
3.1.1. Conceptos Generales.....	33
3.1.2. Reacciones de Generación	33
3.1.3. Reacciones de Oxidación.....	34
3.1.4. Reacciones de Neutralización	34
3.1.5. Etapas en el desarrollo del drenaje ácido	37
3.1.6. Factores que controlan el drenaje ácido	40
3.1.7. Características del drenaje ácido	47
3.1.8. Posibles impactos del drenaje ácido	47
3.2. Gestión del Agua en Túneles	48
3.2.1. Drenaje de túneles	50
3.2.2. Aguas de contacto.....	51
3.2.3. Intercepción de aguas de contacto túnel.....	51
3.3. Gestión y tratamiento de efluentes	51
3.4. Normas de emisión de efluentes	51
3.5. Control del agua de infiltración antes de la impermeabilización	53
3.6. Impermeabilización de túneles	53
3.6.1. Tipos de impermeabilización de un túnel	54
3.6.2. Sistemas de Impermeabilización.....	57
4. IMPACTOS DE LAS AGUAS ÁCIDAS EN TÚNELES MINEROS.....	60
4.1. Ocurrencia del drenaje ácido.....	60
4.2. Programa de caracterización específico para túneles	60

4.2.1. Caracterización Geotécnica	60
4.3. Programa de Predicción	63
4.4. Modelo Hidrogeológico	66
4.4.1. Estudio Hidrológico	67
4.4.2. Estudio Hidrogeoquímico	67
4.4.3. Estudio Hidrogeológico	68
5. CASO DE ESTUDIO	70
5.1. Antecedentes del Túnel	70
5.2. Descripción General	70
5.3. Clima	72
5.4. Análisis de variables meteorológicas	74
5.5. Geología	86
5.6. Hidrogeología	86
5.6.1. Caudales	87
5.6.2. Niveles	88
5.7. Geomorfología	89
5.8. Glaciares	89
5.9. Suelos.....	89
5.10. Fauna	90
5.11. Flora	90
5.12. Línea base del arroyo	90
5.13. Resultados de Análisis Físicoquímicos.....	93
5.13.1. Calidad del agua del túnel	93
5.13.2. Calidad del agua del arroyo.....	95
5.14. Resultados del balance iónico	96
5.15. Análisis de Resultados	97
5.16. Construcción del túnel	104
5.16.1. Identificación de los aspectos ambientales asociados	104
5.16.2. Control de aguas ácidas en el interior túnel	106
5.16.3. Fortificación del túnel	106
5.17. Gestión de aguas ácidas durante la operación del túnel	107
5.17.1. Tratamiento pasivo de las aguas del túnel	107
5.17.2. Propuesta pozo de desviación de caliza con balsa de decantación.....	109
5.17.3. Propuesta Canal de aireación con SAPS, balsa de decantación y LLB	114
5.18. Tratamiento activo del drenaje del túnel	123
5.18.1. Tratamiento mediante neutralización con cal hidratada	123
5.19. Cierre del Túnel	134
5.19.1. Marco Regulatorio	134
5.19.2. Clausura de accesos.....	135
5.19.3. Identificación de los aspectos ambientales asociados	135
5.19.4. Tapones	136
5.20. Diseño del tapón propuesto	139
5.20.1. Tapón de lados paralelos	139
5.20.2. Parámetros de Diseño.....	140
5.21. Dimensionamiento del Tapón	142
5.21.1. Diseño por Corte	143
5.21.2. Fracturamiento hidráulico	147
5.21.3. Gradiente hidráulico permitido.....	148
5.21.4. Filtración permitida	150

5.21.5. Mecanismos físicoquímicos a largo plazo	152
5.22. Instrumentación	152
6. CONCLUSIONES	153
7. RECOMENDACIONES	155
8. BIBLIOGRAFÍA	156
9. ANEXO A	171
9.1. Gráficos de parámetros físicoquímicos de calidad del agua.....	171