

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE ESQUEMAS	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Presentación del tema.....	2
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivos generales.....	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
1.4. Área de investigación y estudio.....	4
1.4.1. Área de investigación.....	4
1.4.2. Área de estudio.....	4
II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Los túneles.....	5
2.1.1. Definición.....	5
2.1.2. Historia de los túneles en Chile.....	6
2.1.3. Principales funciones.....	7
2.1.4. Características de los túneles.....	8

Factibilidad técnica y económica para la construcción de túneles
con máquina tuneladora en Chile

2.1.5.	Especificaciones técnicas para la construcción de túneles en Chile.....	10
2.1.6.	Métodos clásicos empleados en la perforación de túneles.....	11
2.1.7.	Métodos mecanizados para la excavación de túneles.....	16
2.2.	La minería.....	27
2.2.1.	Definición de minería.....	27
2.2.2.	La minería en Chile.....	27
2.2.3.	Características de la industria minera.....	33
2.2.4.	Métodos de perforación utilizados en la minería.....	34
2.2.5.	Principales componentes de un complejo minero.....	36
2.2.6.	Métodos de explotación minera.....	38
2.2.7.	Máquinas para la minería subterránea.....	39
2.3.	Las máquinas tuneladoras.....	42
2.3.1.	Definición de máquina tuneladora.....	42
2.3.2.	Uso de tuneladoras (T.B.M.'s) en Sudamérica.....	42
2.3.3.	Túneles ejecutados con tuneladora en Chile.....	44
2.3.4.	Funcionamiento elemental de una máquina tuneladora.....	46
2.3.5.	Clasificación de las máquinas tuneladoras.....	47
2.3.6.	Revestimientos para túneles ejecutados con tuneladora.....	58
III.	FACTIBILIDAD TÉCNICA.....	61
3.1.	Introducción.....	61
3.2.	Métodos de evaluación técnica para la elección de una máquina tuneladora.....	62
3.2.1.	Método según D.A.U.B.....	62
3.2.2.	Método según rendimiento (del autor).....	64
3.3.	Factores incidentes en la evaluación técnica para la elección de una máquina tuneladora.....	67
3.3.1.	Principales empresas mineras en Chile y su superficie de explotación y exploración.....	67

Factibilidad técnica y económica para la construcción de túneles
con máquina tuneladora en Chile

3.3.2.	Principales fabricantes de máquinas tuneladoras en el mundo, su presencia en Latinoamérica y su capacidad de fabricación.	72
3.3.3.	Relación entre los tipos de máquinas tuneladoras, diámetro de la rueda de corte y la geomensura del suelo a excavar.	78
3.3.4.	Rendimientos de las máquinas tuneladoras.	79
3.3.5.	Capacidad técnica de la mano de obra.	81
3.3.6.	Tipos de suelos en las principales superficies de explotación y exploración minera en Chile.	83
3.3.7.	Otros métodos de excavación utilizados en la actualidad en la Gran Minería chilena.	84
3.4.	Aplicación de los métodos de evaluación técnica para la elección de una máquina tuneladora.	86
3.4.1.	Aplicación del método según D.A.U.B.	86
3.4.2.	Aplicación del método según rendimiento (del autor).	94
IV.	FACTIBILIDAD ECONÓMICA	95
4.1.	Aclaraciones con respecto al capítulo.	95
4.2.	Métodos de evaluación económica.	97
4.2.1.	Costo anual uniforme equivalente (C.A.U.E.).	97
4.2.2.	Fiabilidad de las máquinas.	98
4.2.3.	Vida útil.	98
4.2.4.	Free On Board (F.O.B.).	99
4.2.5.	Cost, Insyrance and Freight (C.I.F.).	99
4.2.6.	Depreciación.	100
4.3.	Gestión de un proyecto con máquina tuneladora.	100
4.4.	Evaluación económica.	103
4.4.1.	Demarcación de la evaluación.	103
4.4.2.	Inversión en el equipo e instalaciones.	104
4.4.3.	Estimación del costo por metro de excavación.	108

Factibilidad técnica y económica para la construcción de túneles
con máquina tuneladora en Chile

4.4.4.	Estimación del periodo de excavación según rendimiento estándar.....	109
4.4.5.	Evaluación de factibilidad económica mediante análisis de costos.....	111
V.	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y RECOMENDACIONES	122
5.1.	Introducción al capítulo.....	122
5.2.	Análisis de resultados del capítulo Factibilidad Técnica.....	123
5.3.	Análisis de resultados del capítulo Factibilidad Económica.....	124
5.4.	10 pasos a seguir para una correcta selección de una máquina tuneladora.	124
5.5.	Como seleccionar técnica y económicamente la mejor máquina tuneladora.....	124
VI.	CONCLUSIONES	129
	DEFINICIONES.....	136
	ANEXOS	140

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Ilustración 2.1.4.2-1. Sección transversal de un túnel.....	9
Ilustración 2.1.6.1-1. Pasos de excavación con el Método Inglés.....	12
Ilustración 2.1.6.2-1. Pasos de excavación con el Método Belga.....	12
Ilustración 2.1.6.2-2. Fases constructivas con el Método Clásico de Madrid.....	13
Ilustración 2.1.6.2-3. Esquema de avance con el Método Clásico de Madrid.....	13
Ilustración 2.1.6.3-1. Pasos de excavación con el Método Alemán.....	14
Ilustración 2.1.6.3-2. Resumen gráfico de las diversas fases del proceso constructivo de una estación ejecutada con el Método Alemán en galerías sucesivas.....	15
Ilustración 2.1.6.4-1. Pasos de excavación con el método austriaco.....	16
Ilustración 2.1.7.1.1-1. Esquema de tiro.....	17
Ilustración 2.1.7.1.2-1. Martillo de perforación manual de aire comprimido, para túneles pequeños.....	18
Ilustración 2.1.7.1.2-2. Perforadora jumbo.....	19
Ilustración 2.1.7.1.3-1. Zonas de secuencia de encendido.....	20
Ilustración 2.1.7.1.4-1. Secuencia de excavación y sostenimiento en avance por perforación y voladura.....	21
Ilustración 2.1.7.2.1-1. Excavadora para túneles KOMATSU.....	22
Ilustración 2.1.7.2.2-1. Sistemas de corte de las máquinas rozadoras.....	23
Ilustración 2.1.7.2.2-2. Sistema de excavación con máquina rozadora.....	24
Ilustración 2.1.7.2.2-3. Sistema constructivo de un túnel con método mecanizado de rozadora.....	24
Ilustración 2.1.7.2.2-4. Rozadora con brazo para colocar anclas.....	25
Ilustración 2.1.7.2.3-1. Martillo hidráulico.....	26
Ilustración 2.2.4.2-1. Ciclo de trabajo del sistema rotatorio Raise Bore.....	35
Ilustración 2.2.5-1. Disposición típica de la preparación de una mina.....	37
Ilustración 2.2.7-1. Maquinarias en el proceso de perforación no mecanizada y mecanizada.....	39
Ilustración 2.3.3.1-1. Máquina tuneladora del Túnel Sur-Los Broncos.....	45
Ilustración 2.3.5.2.1-1. Tipos de Gripper-T.B.M.....	50
Ilustración 2.3.5.2.1-2. Tipos de Gripper-T.B.M.....	51
Ilustración 2.3.5.2.2-1. Tipos de T.B.M con escudo.....	53

Factibilidad técnica y económica para la construcción de túneles
con máquina tuneladora en Chile

Ilustración 2.3.5.2.2.1-1. Componentes de un escudo simple.	54
Ilustración 2.3.5.2.2.2-1. Componentes de un escudo doble.	55
Ilustración 2.3.5.2.3.1-1. Componentes de una tuneladora E.P.B.....	56
Ilustración 2.3.5.2.4-1. Componentes de una tuneladora de escudo mixto.	57
Ilustración 2.3.6.1-1. Segmentos o dovelas que conforman 1 anillo de avance de una máquina tuneladora.	58
Ilustración 2.3.6.1-2. Tipos de segmento o dovelas.	59
Ilustración 3.3.2.1-1. Logo y página web empresa Herrenknecht A.G.	72
Ilustración 3.3.2.3-1. Logo y página web de la empresa Lovat, como división de Caterpillar.	77
Ilustración 3.3.2.4-1. Logo y página web de la empresa CST Bessac.	77
Ilustración 3.3.6-1. Zonificación de los tipos de suelos en Chile.	83
Ilustración 3.3.7-1. Proyecto nueva división Mina El Teniente. Descripción de método Panel..... Caving.	84
Ilustración 3.3.7-2. Programa de ejecución proyecto nuevo nivel de la Mina El Teniente.	85
Ilustración 3.4.1.3.1-1. Proyecto nueva división Mina El Teniente. Secciones de los túneles.	89
Ilustración 3.4.1.8.4-1. Ciclos de una máquina tuneladora.	93
Ilustración 4.4.5.2-1. Costo total de inversión (1) por tuneladora, según diámetro de la rueda de.116 corte en un rango de 5 -15 metros, y con un costo por metro de diámetro de 1.400.000 dólares....116 (precio F.O.B.).	116
Ilustración 4.4.5.2-2. Rendimiento esperado de una máquina tuneladora estándar según un118 rango de diámetro de la ruda de corte de 5 y 15 metros.	118
Ilustración 4.4.5.2-3. Metros excavados en 50 días por una tuneladora estándar, según un118 rendimiento dado y un rango de diámetro de la ruda de corte de 5 y 15 metros.	118
Ilustración 4.4.5.2-4. Proyección de costos operacionales para una tuneladora estándar con un....119 rango de 5 – 15 metros de diámetro de la rueda de corte. Para año 1, año 2 y año 3 (en ese orden)119	119
Ilustración 4.4.5.2-5. Proyección de costos anuales equivalentes para 1 kilómetro de túnel y una.120 tuneladora estándar con un rango de 5 – 15 metros de diámetro de la rueda de corte, en un.....120 periodo de evaluación de 3 años.	121

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 2.1.4.2-1. Secciones típicas de los túneles.....	9
Tabla 2.1.4.2-1. Clasificación de los métodos constructivos.....	11
Tabla 2.2.7-1. Túneles terminados y en ejecución con T.B.M., ubicados en la Cordillera de los Andes Sudamericana.....	43
Tabla 2.3.3.1-1. Características técnicas Principales de la T.B.M. SELI Doble Escudo Universal .	44
Compacto modelo DSU450 usada en el proyecto Los Bronces.	44
Tabla 2.3.3.2-1. Características técnicas principales de la T.B.M. Whirt TBS II 458/480H usada..	46
en el Túnel Río Blanco.....	46
Tabla 2.3.5.2.1-1. Principales características de una Gripper-T.B.M.	50
Tabla 2.3.5.2.2-1. Principales características de una Gripper-T.B.M..	53
Tabla 3.3.1-1. Titulares con mayor cantidad de hectáreas en concesiones de explotación en el.....	68
país, 2010.	68
Tabla 3.3.1-2. Titulares con mayor cantidad de hectáreas en concesiones de exploración en el.....	69
país, 2010.	69
Tabla 3.3.1-3. Datos relevantes de la División Chuquicamata, de CODELCO.	70
Tabla 3.3.1-4. Datos relevantes de la División Radomiro Tomic, de CODELCO.	70
Tabla 3.3.1-5. Datos relevantes de la División Salvador, de CODELCO.....	70
Tabla 3.3.1-6. Datos relevantes de la División Ventanas, de CODELCO.	71
Tabla 3.3.1-7. Datos relevantes de la División Andina, de CODELCO.	71
Tabla 3.3.1-8. Datos relevantes de la División El Teniente, de CODELCO.....	71
Tabla 3.3.1-9. Datos relevantes de la Minera Gaby S.A., de CODELCO.....	72
Tabla 3.3.2.1-1. Recopilación técnica de proyectos realizados en América por la empresa	73
Herrenknecht A.G.....	73
Tabla 3.3.3-1. Métodos de construcción de túneles en el diseño cerrado.	78
Tabla 3.3.4-1. Rendimientos de excavación con uso de tuneladoras tipo T.B.M.....	79
Tabla 3.3.4-2. Rendimientos de excavación con uso de tuneladoras tipo E.P.B.....	80
Tabla 3.3.5-1. Cargos u oficios más destacados dentro del trabajo con una tuneladora.	82
Tabla 4.4.2.1-1. Costos genéricos para la excavación de túneles.	104
Tabla 4.4.2.1-2. Inversión en la TBM MK-12 proyecto Yuncán.....	105

Factibilidad técnica y económica para la construcción de túneles
con máquina tuneladora en Chile

Tabla 4.4.2.3-1. Inversión para la adquisición de una máquina tuneladora y su traslado a Chile. .	108
Tabla 4.4.4-1. Costos de operación del proyecto y periodo de excavación estimados según.....	110
rendimiento tipo, un túnel de 9,9 kilómetros de longitud.....	110
Tabla 4.4.5.1-1. Costos operacionales y de montaje para excavación de 2 túneles de 9,9.....	112
kilómetros con una máquina tuneladora estándar y un rendimiento tipo de 22 metros día.....	112
Tabla 4.4.5.1-2. Depreciación lineal máquina tuneladora estándar para un periodo de 10 años,	113
dado un costo base de 13.160.000 dólares.	113

ÍNDICE DE ESQUEMAS

	Página
Esquema 2.3.3.2-1. Clasificación general de las Máquinas Excavadoras de Túneles.	47
Esquema 2.3.3.2-2. Clasificación de las Máquinas Tuneladoras.....	48
Esquema 2.3.3.2-3. Clasificación de los Escudos.....	49
Esquema 3.2.1-1. Proceso para la elección de una máquina tuneladora.	63