

Tabla de Contenido

1. CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Motivación del trabajo	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos particulares.....	2
1.3. Alcances	2
1.4. Marco del estudio.....	2
2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	3
2.1. Conceptos básicos	3
2.1.1. Roca Intacta.....	3
2.1.2. Macizo Rocoso.....	3
2.1.3. Definición De Daño	3
2.1.4. Efecto Escala.....	3
2.1.5. Tipo de tronaduras.....	4
2.1.5.1. Tronaduras de producción.....	5
2.1.5.2. Tronaduras de contorno.....	5
2.1.5.3. Tronaduras de remate	6
2.1.6. Variables que influyen en la generación de vibraciones	7
2.2. Diseño de perforación y tronaduras.....	8
2.2.1. Iniciadores	8
2.2.1.1. Iniciación de explosivos encartuchados	9
2.2.1.2. Iniciación de explosivos vaciables y bombeables	9
2.2.1.3. Localización de iniciadores	9
2.2.2. Sistemas de iniciación	10
2.2.2.1. Sistemas de detonación no eléctricos	11
2.2.2.1.1. Sistema a fuego	11
2.2.2.1.2. Tubo de choque	11
2.2.2.2. Sistema de detonación eléctrico	11
2.2.2.3. Sistemas de detonación electrónicos	12
2.2.3. Secuencia de iniciación y retardo.....	13
2.2.3.1. Sobrequebre y control de daño.....	13

2.2.3.2.	Cálculo de retardo electrónico.....	14
2.3.	Mecanismo de fragmentación de roca a través de explosivos.....	15
2.4.	Vibraciones	17
2.4.1.	Parámetros de una onda.....	17
2.4.2.	Ondas observables en una tronadura.....	19
2.4.2.1.	Onda de compresión (P).....	19
2.4.2.2.	Onda Transversal (S).....	20
2.4.2.3.	Onda Rayleigh (R)	20
2.5.	Daño inducido por tronadura.....	21
2.5.1.	Modelos de vibraciones.....	21
2.5.1.1.	Influencia de las vibraciones en campo lejano	21
2.5.1.1.1.	Modelos de campo lejano.....	22
2.5.1.2.	Influencia de las vibraciones en campo cercano	23
2.5.1.2.1.	Criterios de daño en campo cercano.....	23
2.5.2.	Comportamiento del macizo rocoso frente a estructuras	25
2.5.3.	Comportamiento del macizo rocoso en presencia de agua.....	26
2.5.4.	Criterio de daño adaptado	27
2.5.4.1.	Escalamiento σ_{trm}	27
2.5.4.2.	Escalamiento E_{rm}	28
2.5.4.2.1.	Relación E_{rm} y función del agua	29
2.5.4.3.	Modelos existentes de PPV calibrados a macizo rocoso.....	30
3.	CAPÍTULO 3: ANTECEDENTES	34
3.1.	Minera Spence S.A.....	34
3.2.	Geología del yacimiento.....	35
3.3.	Clasificación de los distintos tipos de roca	36
3.4.	Modelo geológico y estructural de la mina	38
3.5.	Estándar de perforación y tronadura	39
3.6.	Evaluación de calidad geotécnica de una tronadura - CLD	40
3.7.	Evaluación de daño por tronadura: PIG - TC.....	40
3.8.	Instrumentación geotécnica.....	41
3.8.1.	Sistemas de monitoreo mina en tiempo real.....	41
3.8.2.	Otros sistemas de monitoreo mina	41
3.8.3.	Sistemas de monitoreo de vibraciones	42

3.9.	Normativa.....	42
4.	CAPÍTULO 4: MARCO METODOLÓGICO	44
4.1.	Plan de trabajo.....	44
4.2.	Factores contribuyentes en la generación de vibraciones.....	44
4.3.	Análisis de sistemas de iniciación	45
4.3.1.	Ubicación de sistema de iniciación	45
4.4.	Secuencia de tronadura de contorno.....	45
4.5.	Análisis de tiempos de retardo	46
4.6.	Análisis de desviación de perforación.....	46
4.7.	Mediciones en terreno	46
4.8.	Técnica de monitoreo	47
4.9.	Análisis de implementación de diseño	48
4.9.1.	Propuesta de estimación de daño.....	48
4.9.2.	Simulación de diseño propuesto.....	48
4.9.3.	Estimación de la calidad de la caja y daño real inducido por tronadura	48
5.	CAPÍTULO 5: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS.....	50
5.1.	Identificación de zonas con daño	50
5.2.	Análisis de prácticas actuales	52
5.2.1.	Condiciones operacionales	52
5.2.2.	Evaluación técnica.....	53
5.2.3.	Estándar actual	57
5.3.	Evaluación presencia de agua y estructuras	58
5.4.	Foco a diseñar	59
5.5.	Monitoreo y modelo de vibraciones.....	60
5.5.1.	Calibración del modelo y elección de patios representativos.....	60
5.5.2.	Vibración crítica.....	62
5.5.3.	Modelos de velocidad y ábaco de diseño	64
5.6.	Propuesta de diseño inicial	66
5.6.1.	Con precorte	66
5.6.2.	Sin precorte	68
5.7.	Simulación de propuesta de diseño y diseño final	69
5.7.1.	Comparación entre modelos.....	71

5.7.2.	Propuesta de estándar	72
5.7.2.1.	Cota > 1610	72
5.7.2.2.	Cota ≤ 1610	73
5.8.	Validación modelo	73
5.8.1.	Back Analysis.....	74
5.8.2.	Auscultación de pozos.....	74
5.9.	Evaluación costo – beneficio de propuesta	78
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
6.1.	Perforación y tronadura.....	82
6.2.	Velocidad de partícula y vibraciones	83
6.3.	Modelo de Holmberg y Persson	83
6.4.	Modelo de daño escalado a macizo rocoso	84
6.5.	Plan de mejoramiento continuo en la operación	85
6.6.	Recomendaciones.....	87
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	88
8.	ANEXOS.....	91
8.1.	Características de los explosivos.....	91
8.2.	Sistemas de Iniciación.....	92
8.3.	Mecanismos de falla.....	93
8.3.1.	Falla Plana	93
8.3.2.	Falla por Cuña	93
8.3.3.	Falla por Toppling.....	93
8.3.4.	Falla Circular.....	93
8.3.5.	Falla Compleja	93
8.4.	Ejemplos criterios de daño	94
8.5.	Criterio de falla de Mohr Coulomb	95
8.5.1.	Fricción (ϕ).....	95
8.5.2.	Cohesión (C)	95
8.5.3.	Presión de poros (μ)	96
8.5.3.1.	Esfuerzos efectivos.....	96
8.5.3.2.	Análisis en Condiciones Drenadas	96

8.6.	Modelos de escalamiento de <i>Erm</i>	97
8.7.	Estimación de factor D.....	98
8.8.	Control operacional para mejorar estabilidad	99
8.9.	Ubicación geófonos.....	100
8.10.	Ábaco de diseño cota ≤ 1610 sin precorte.....	101
8.11.	Accesorios y costo de explosivos.....	101
8.12.	Simulaciones estándar con agua.....	102
8.12.1.	Cota > 1610	102
8.12.2.	Cota ≤ 1610	102
8.13.	Formato de Entregable de Estándar.....	103
8.13.1.	Estándar ACF 5 cota > 1610	103
8.13.2.	Estándar ACF 5 sin precorte cota > 1610	104
8.13.3.	Estándar ACF 5 cota ≤ 1610	105
8.14.	Entregable propuesta de metodología	106