

## Tabla de contenido

Abstract .....	ii
Capítulo 1: Introducción .....	1
1.1 Motivación .....	1
1.2 Objetivos .....	1
1.2.1 Objetivos generales .....	1
1.2.2 Objetivos específicos .....	2
1.3 Alcances .....	2
1.4 Metodología .....	3
Capítulo 2: Antecedentes .....	5
2.1 Ubicación .....	5
2.2 Geología .....	6
2.3 La Empresa.....	8
2.4 Operaciones unitarias .....	8
2.4.1 Perforación .....	8
2.4.2 Tronadura .....	9
2.4.3 Carguío y transporte .....	11
Capítulo 3: Marco teórico .....	12
3.1 Características de los explosivos .....	12
3.1.1 Características rompedoras .....	12
a) Presión de detonación .....	12
b) Velocidad de detonación .....	13
c) Densidad.....	13
3.1.2 Características energéticas.....	14
a) Trabajo Máximo disponible.....	14
b) Volumen de gases .....	14
c) Presión de los gases.....	14
3.1.3 Características prácticas.....	14
a) Fuerza o potencia.....	14
b) Gases tóxicos .....	15
c) Resistencia al agua.....	15
d) Diámetro crítico .....	15
3.1.4 Ficha técnica de los explosivos.....	16

3.2 Mecanismos de fractura de la roca .....	16
3.2.1 Trituración de Roca .....	16
3.2.2 Agrietamiento radial .....	17
3.2.3 Reflexión de la Onda de Choque .....	18
3.2.4 Extensión y apertura de las grietas radiales.....	19
3.2.5 Fractura por descompresión .....	19
3.2.6 Fractura por cizallamiento.....	20
3.2.7 Rotura por flexión.....	20
3.2.8 Rotura por colisión .....	21
3.3 Modelos de fragmentación .....	21
3.3.1 Modelo Kuz-Ram .....	21
3.3.2 Modelo KCO.....	23
3.4 Criterio de daño por vibraciones .....	25
3.5 Modelo de vibraciones .....	26
Capítulo 4: Desarrollo del estudio .....	29
4.1 Identificación de parámetros .....	29
4.2 Línea base .....	29
4.2.1 Factor de carga.....	31
4.2.2 Granulometría .....	32
4.2.3 Costo tronadura .....	36
4.2.4 Velocidad de detonación.....	37
4.2.5 Rendimiento equipos de carguío .....	38
4.2.6 Análisis de pisos .....	38
4.3 Análisis teórico de parámetros de perforación y tronadura .....	39
4.3.1 Taco.....	39
4.3.2 Burden y espaciamento .....	41
4.3.3 Pasadura .....	42
4.4 Modelos .....	43
4.4.1 Modelo de fragmentación .....	43
4.4.2 Modelo de Vibraciones .....	47
a) Estudio Vibraciones de Campo Cercano .....	47
b) Simulación de vibraciones .....	52
4.5 Pruebas en terreno y resultados .....	56

4.6 Análisis de resultados .....	58
4.7 Propuesta expansión malla .....	65
Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones .....	69
5.1 Conclusiones.....	69
5.2 Recomendaciones .....	70
Capítulo 6: Bibliografía .....	71

## Índice de Tablas

Tabla 1 - Litologías y Alteraciones Principales .....	7
Tabla 2 - Ficha técnica de los explosivos utilizados .....	16
Tabla 3 - Factor de Roca.....	22
Tabla 4 - Criterio de Daño de McKenzie .....	26
Tabla 5 - Parámetros de diseño en fase 3 .....	31
Tabla 6 - Factor de Carga Mensual en Fase 3.....	32
Tabla 7 - Costo Tronadura por Pozo .....	36
Tabla 8 - Costo Tronadura Mensual en Fase 3.....	36
Tabla 9 - Mediciones de VoD en Fase 3 .....	37
Tabla 10 - Rendimiento Mensual. Tasa de Excavación Equipos de Carguío en Fase 3	38
Tabla 11a - Estadísticas piso Banco 1890.....	38
Tabla 11b – Estadísticas piso banco 1875.....	38
Tabla 12 . Resumen línea base.....	39
Tabla 13 - Calculo de Taco .....	41
Tabla 14 - Cálculo de SD .....	41
Tabla 15 - Influencia de los parámetros en la fragmentación.....	42
Tabla 16 - Pasadura Calculada según Lopez Jimeno para grandes diámetros .....	42
Tabla 17 - Pasadura Calculada según ASH.....	42
Tabla 18 - Calculo de pasadura según ángulo de interacción.....	43
Tabla 19 - Propiedades de la Roca .....	44
Tabla 20- Granulometría para distintas configuraciones de malla.....	45
Tabla 21 - Resultados Granulometría con variación de taco para distintas mallas .....	46
Tabla 22 - Fragmentación según burden y taco, y el costo asociado.....	47
Tabla 23 - Velocidad de Onda “p” obtenida en terreno. ....	50
Tabla 24 - Propiedades de roca intacta para el cálculo de PPVc.....	50
Tabla 25 - Criterio de Daño PPVc .....	51
Tabla 26 - Paámetros de perforación y tronadura de las propuestas de reducción de pasadura. ....	54
Tabla 27 - Parámetros de perforación y tronadura pruebas .....	57
Tabla 28 - Resultados para las pruebas de fragmentación y costos reales .....	58
Tabla 29 - Comparación resultados reales vs teóricos.....	58
Tabla 30- malla y pasadura por banco .....	59

Tabla 31 - Pasadura para los distintos casos.....	62
Tabla 32 - Resumen resultados malla 9.6x11m .....	63
Tabla 33 - Resultados evaluación económica Fortan Extra. ....	64
Tabla 34 - Parámetros prueba 2.....	65
Tabla 35 - Expansión Malla Fortan Extra .....	66
Tabla 36 - Porcentajes pasantes Fortan Extra 50 .....	67
Tabla 37 - Evaluación económica casos Fortan Extra .....	67
Tabla 38 - Propuesta con Fortan Extra 50 .....	68

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 - Ubicación Geográfica de la Faena.....	5
Ilustración 2 - Vista Isometrica Pit Fortuna y Planta Orica .....	5
Ilustración 3 - Esquema de Evolución de los procesos de Alteración. ....	6
Ilustración 4 - imagen camión fábrica.....	10
Ilustración 5 - Pala P&H 2800 .....	11
Ilustración 6 – Agretamiento Radial.....	17
Ilustración 7 - Agrietamiento radial y rotura por flexión de la onda de choque. ....	18
Ilustración 8 - Reflexión de una onda sobre una cavidad cilíndrica. ....	19
Ilustración 9 - Fractura por descompresión. ....	20
Ilustración 10 - Fractura por Cizallamiento.....	20
Ilustración 11 - Rotura por Flexión .....	21
Ilustración 12 -Representación tridimensional de una ley de propagación de vibraciones .....	27
Ilustración 13 –parámetros ajuste Holmberg & Persson .....	28
Ilustración 14 - Esquema Diseño Perforación y Tronadura .....	30
Ilustración 15 – Fotografía fragmentación Fase 3 .....	33
Ilustración 16 - Muestreo tipo zig-zag (manual Orica Powersieve3).....	33
Ilustración 17 - Calibración de Imagen .....	34
Ilustración 18 - Procesamiento de Imagen .....	34
Ilustración 19 - fragmentos pasantes por tamiz.....	35
Ilustración 20 – Gráfico y parámetros distribución Rosin-Rammler.....	35
Ilustración 21 - Gráfico Agregado Fase 3 y Parámetros distribución R-R. ....	36
Ilustración 22 - Histograma pisos 1875-1890 .....	39
Ilustración 23 - Categorización según el SD.....	40
Ilustración 24 – Pasadura.....	43
Ilustración 25 - Curva granulométrica base, ajuste Swebrec.....	44
Ilustración 26 - distribución granulométrica para distintas mallas.....	45
Ilustración 27 - Tendencia Burden vs P80.....	46
Ilustración 28 - Esquema de Metodología Cross-Hole .....	48
Ilustración 29 - Plano de Tronadura F3_1860-11 con ID de pozos y retardos .....	49
Ilustración 30 - Modelo de Vibraciones de Campo Cercano Obtenido en Terreno.....	52
Ilustración 31 - Resultado Modelo Vibraciones BDA pasadura 3 m (Burden) .....	53

Ilustración 32 - Resultado Modelo Vibraciones BDA pasadura 3m (Espaciamiento) .....	53
Ilustración 33 – Resultado Modelo Vibraciones BDA caso pasadura 2.5m (Burden) .....	54
Ilustración 34 - Resultado Modelo Vibraciones BDA pasadura 2.5m (Espaciamiento) ..	55
Ilustración 35 – Halo vibraciones caso pasadura 2 mts. ....	55
Ilustración 36 - Resultado Modelo Vibraciones BDA pasadura 2m (Espaciamiento) .....	55
Ilustración 37 - Comparación Contorno 4PPVc de los distintos casos. (burden).....	56
Ilustración 38 - Comparación contorno 4PPVc de los distintos casos (Espaciamiento) .	56
Ilustración 39 - Histograma logro de pisos bancos 1890 al 1830 .....	60
Ilustración 40 - Simulación PPV malla 9.6x11 m perfil burden .....	61
Ilustración 41 - Limite PPV critico malla 9.6x11m perfil burden (casos superpuestos)...	61
Ilustración 42 - Limite PPV critico malla 9.6x11m perfil espaciamento (casos superpuestos).....	62
Ilustración 43 - Halo vibracion real a 2400 mm/s perfil espaciamento (casos superpuestos).....	62
Ilustración 44 - Resultados Configuración Optima .....	63
Ilustración 45 - resultados vibraciones malla 9.8x11.3 perfil burden .....	64
Ilustración 46 - resultados vibraciones malla 9.8x11.3 perfil espaciamento .....	65
Ilustración 47 - Curvas de fragmentación para Fortan Extra 50 .....	67