

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Motivación del trabajo.....	2
1.2. Objetivos	3
1.3. Alcances.....	3
1.4. Estructura de la memoria	4
CAPÍTULO II.....	5
2. ANTECEDENTES.....	5
2.1. Antecedentes generales mina El Teniente	5
2.2. Planificación Minera	8
2.3. Planificación División El Teniente.....	9
2.4. Incertidumbre e Interferencias en la operación minera.....	9
2.5. Simulación de Eventos Discretos	10
2.6. Simulaciones realizadas en División el Teniente.....	13
2.7. Simulaciones de eventos discretos de correas trasportadoras	17
2.8. Elementos que se incluyen en la simulación	22
CAPÍTULO 3.....	28
3. METODOLOGÍA DE ESTUDIO	28
3.1. Definición de la zona de estudio.....	29
3.2. Levantamiento de información	30
3.3. Conceptualización del modelo.....	31
3.4. Desarrollo del modelo de simulación en DSIM.....	38
3.5. Verificación y Calibración del modelo.....	39
3.6. Validación del modelo	39
3.7. Realización de corridas y análisis de la implementación del modelo	40
CAPÍTULO 4.....	41
4. CASO DE ESTUDIO.....	41
4.1. Definición de la zona de estudio.....	41
4.2. Levantamiento de información	41
4.3. Conceptualización del modelo.....	41
4.4. Criterios de operación	55
4.5. Información de Entrada	58

4.6.	Variabilidad de réplicas del modelo	59
4.7.	Calibración y Validación del Modelo.....	59
4.8.	Simulación P-1 2017	64
CAPÍTULO 5.....		65
5.	RESULTADOS.....	65
5.1.	Variabilidad de réplicas del modelo	65
5.2.	Calibración y validación del modelo	66
5.3.	Refinamiento del modelo.....	75
5.4.	Simulación P-1 2017	78
CAPÍTULO 6.....		80
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	80
6.1.	Análisis Calibración del modelo.....	80
6.2.	Análisis validación del modelo mes de marzo	81
6.3.	Análisis validación del modelo mes de septiembre	82
6.4.	Refinamiento del modelo.....	83
6.5.	Resumen validación del modelo.....	85
6.6.	Simulación P-1 2017	86
6.7.	Análisis Capacidad de Correas	87
6.8.	Limitaciones del Modelo	90
CAPÍTULO 7.....		93
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
7.1.	CONCLUSIONES.....	93
7.2.	RECOMENDACIONES PARA TRABAJO FUTURO	95
CAPÍTULO 8.....		96
8.	BIBLIOGRAFÍA	96
9.	ANEXO	98
9.1.	ANEXO A	98
9.2.	ANEXO B	115
9.3.	ANEXO C	117

Índice de tablas

Tabla 1: Parámetros de simulación Pacifico Superior	17
Tabla 2: Factores y niveles para la simulación de bandas transportadoras.	18
Tabla 3: Metodología de simulación aplicada a bandas transportadoras	18
Tabla 4: Características del material transportado por la correa de la publicación.....	21
Tabla 5: Características de la correa de la publicación	21
Tabla 6: Coeficientes y factores de la correa de la publicación	21
Tabla 7: Parámetros equipos LHD	42
Tabla 8: Parámetros chancador de Mandíbula.....	43
Tabla 9: Parámetros correa transportadora.....	43
Tabla 10: Ejemplo de planilla para ingresar inputs del os puntos de extracción.....	46
Tabla 11: Criterio Disponibilidad de Área por altura de columna en Diablo Regimiento.	47
Tabla 12: Criterio de Perfil de velocidades en Diablo Regimiento	47
Tabla 13: Ingreso Plan de producción en el modelo.....	48
Tabla 14: Parametro distribución uniforme mantención equipo.....	51
Tabla 15: Tonelaje pasante para mantención de chancadores	52
Tabla 16: Parámetros distribución Weibull para mantención de chancadores	52
Tabla 17: Parámetros de distribuciones usadas para falla de correas	53
Tabla 18: Parámetros de distribución usada para falla de correa BF02	54
Tabla 19: Parámetros de distribución usada para falla de equipos LHD	54
Tabla 20: MTBF y MTTR de los equipos para el modelo de simulación.....	55
Tabla 21: Parámetros de distribución usada para falla de Chancador F4	55
Tabla 22: Equipos utilizados en CPlanner.....	58
Tabla 23: Características de equipos utilizados en simulación.....	59
Tabla 24: Error absoluto relativo promedio mes de junio	68
Tabla 25: Horas por turno de actividades de equipos para junio.....	69
Tabla 26: Error relativo y absoluto promedio mes de marzo	72
Tabla 27: Errores relativos absolutos productividades por calles mes de septiembre... 83	
Tabla 28: Promedio errores mes de septiembre dejando las fases 2 y 3 sin altura límite	84
Tabla 29: Resultados test Chi - cuadrado para duración de falla por Plate Feeder.....	98
Tabla 30: Resultados test Chi - Cuadrado para el tiempo entre falla por Plate Feeder.	99
Tabla 31: Resultados test Chi - cuadrado para duración de falla Hidráulica	99
Tabla 32: Resultados test Chi - Cuadrado para el tiempo entre fallas Hidráulicas	100
Tabla 33: Resultados test Chi - cuadrado para duración de falla por Cilindro	100
Tabla 34: Resultados test Chi - Cuadrado para el tiempo entre fallas por Cilindro	101
Tabla 35: Resultados test Chi - cuadrado para duración de falla Estructural para Chancador Fase 1	101
Tabla 36: Resultados test Chi - Cuadrado para el tiempo entre fallas Estructurales en Chancador Fase 1	102
Tabla 37: Resultados test Chi - cuadrado para duración de falla Estructural para Chancador Fase 3 y 3	102
Tabla 38: Resultados test Chi - Cuadrado para el tiempo entre fallas Estructurales en Chancador Fase 2 y 3	103

Tabla 39: Resultados test Chi - cuadrado para duración de falla Estructural para Chancador Fase 4.....	104
Tabla 40: Resultados test Chi - cuadrado para duración de falla de Correa BF - 01...	105
Tabla 41: Resultados test Chi - Cuadrado para el tiempo entre fallas de Correa BF - 01	105
Tabla 42: Resultados test Chi - cuadrado para duración de falla de Correa BF - 02...	106
Tabla 43: Resultados test Chi - cuadrado para duración de falla de Correa BF - 04...	107
Tabla 44: Resultados test Chi - Cuadrado para el tiempo entre fallas de Correa BF - 04	107
Tabla 45: Resultados test Chi - cuadrado para duración de falla de Correa CV –01 ..	108
Tabla 46: Resultados test Chi - Cuadrado para el tiempo entre fallas de Correa CV –01	108
Tabla 47: Resultados test Chi - cuadrado para duración de falla de Correa CV –11 ..	109
Tabla 48: Resultados test Chi - Cuadrado para el tiempo entre fallas de Correa CV –11	110
Tabla 49: Resultados test Chi - cuadrado para duración de falla de Correa CV –21 ..	110
Tabla 50: Resultados test Chi - Cuadrado para el tiempo entre fallas de Correa CV –21	111
Tabla 51: Resultados test Chi - cuadrado para duración de falla de Correas CV – 31 y CV - 32	111
Tabla 52: Resultados test Chi - Cuadrado para el tiempo entre fallas de Correas CV – 31 y CV - 32.....	112
Tabla 53: Resultados test Chi - cuadrado para duración de falla de Correa CV – 41 .	112
Tabla 54: Resultados test Chi - Cuadrado para el tiempo entre fallas de Correa CV – 41	113
Tabla 55: Resultados test Chi - cuadrado para duración de falla de Correa BF04.....	114
Tabla 56: Resultados test Chi - Cuadrado para el tiempo entre fallas de Correa BF04	114

Índice de figuras

Figura 1: Ubicación instalaciones División el Teniente.....	6
Figura 2: Niveles y cotas de las minas actuales en operación. Además de los desarrollos del Nuevo Nivel Mina (Gonzalez, 2015)	6
Figura 3: Ubicación Fases - Mina Diablo Regimiento.....	7
Figura 4: esquema manejo de materiales Diablo Regimiento	8
Figura 5: Fuentes de incertidumbre en proyectos mineros (Mayer & Kazakidis, 2007).	10
Figura 6: Confiabilidad del modelo v/s nivel de detalle.....	12
Figura 7: Plano del nivel de producción y el nivel de transporte intermedio.	15
Figura 8: Gráfico de interacciones de los factores: Longitud, velocidad y capacidad de carga de la banda transportadora.....	20
Figura 9: Numeración de nodos en la discretización de la cinta.....	22
Figura 10: Imagen ilustrativa LHD (Inc, 2013)	23
Figura 11: Esquema general Chancador de Mandíbulas (Casalli, 2014)	24
Figura 12: Correas Transportadoras (Le-Feaux)	25

Figura 13: Esquema distribución de rodillos en una correa (Le-Feaux)	26
Figura 14: Metodología.....	28
Figura 15: Límite de batería modelo de simulación	29
Figura 16: Ejemplo de criterios de decisión	36
Figura 17: Layout nivel de producción Diablo Regimiento.....	45
Figura 18: Layout nivel de transporte intermedio Diablo Regimiento	46
Figura 19: Layout Diablo Regimiento	49
Figura 20: Tiempos de Cambio de turno y colación en un día	51
Figura 21: Diagrama de toma de decisiones equipo LHD	56
Figura 22: Diagrama de toma de decisiones equipo LHD	57
Figura 23: Criterio de decisión de cuadrilla de reducción secundaria.....	58
Figura 24: Asignación de tareas en base al plan de producción de junio.....	61
Figura 25: Asignación de tareas en base al plan de producción mes de marzo.....	63
Figura 26: Asignación de tareas en base al plan de producción mes de septiembre	64
Figura 27: Plan ingresado al simulacro para año 2017	64

Índice de gráficos

Gráfico 1 Altura v/s Productividad en Diablo regimiento.....	44
Gráfico 2: Producción planificada y real del año 2015 por mes.....	60
Gráfico 3:Plan de producción por calle P-0 2015 para el mes de junio	60
Gráfico 4:Plan de producción por calle de marzo	62
Gráfico 5: Plan de producción por calle de septiembre	63
Gráfico 6: Variabilidad de réplicas caso base.....	65
Gráfico 7: Diferencia porcentual de réplicas en caso base.....	66
Gráfico 8: Productividad mina mes de junio	67
Gráfico 9: Productividad por fases mes de junio	67
Gráfico 10: Productividad por calles mes de junio.....	68
Gráfico 11: Distribución tiempos LHD mes de junio	69
Gráfico 12: Productividad correas mes de junio	70
Gráfico 13: Producción global mina mes de marzo	71
Gráfico 14:Productividad por fases mes de marzo	71
Gráfico 15: Productividad por calles mes de marzo	72
Gráfico 16: Distribución tiempos LHD mes de marzo	73
Gráfico 17: Producción global mina mes de septiembre	73
Gráfico 18:Productividad por fases mes de septiembre	74
Gráfico 19: Productividad por calles mes de septiembre.....	75
Gráfico 20: Productividad global mina sin límite de altura para puntos de Fase 2 y 3, septiembre 2015.....	76
Gráfico 21: Productividad por fases sin límite de altura para puntos de Fase 2 y 3, septiembre 2015.....	76
Gráfico 22: Productividad por fases sin límite de altura para puntos de Fase 2 y 3, marzo2015.....	77

Gráfico 23: Productividad por fases sin límite de altura para puntos de Fase 2 y 3, junio 2015	77
Gráfico 24: Productividad Mina Promedio de los 12 meses, año 2017	78
Gráfico 25: Producción mina por fases, año 2017	78
Gráfico 26: Producción promedio por calles, simulación y plan del 2017	79
Gráfico 27: Productividad correas promedio, 2017.....	79
Gráfico 28: Productividad por calles, mes de septiembre.....	82
Gráfico 29: Tiempos LHD mes de septiembre.....	83
Gráfico 30: Productividad por calles mina sin límite de altura para puntos de Fase 2 y 3, mes de septiembre	84
Gráfico 31: Productividad modelos, realidad y errores correspondientes.....	85
Gráfico 32: Errores promedio absolutos de los distintos modelos respecto a la realidad	86
Gráfico 33: Tiempos LHD para el año 2017.	87
Gráfico 34: Productividad sistema de correas alimentación continua.....	88
Gráfico 35: Tiempos correas simulación continua, ponderador de factor de escala normal	89
Gráfico 36: Tiempos correas simulación continua, ponderador de factor de escala igual a 3	89
Gráfico 37: Tiempos correas simulación continua, ponderador de factor de escala igual a 4.8	90
Gráfico 38: Densidad de probabilidad de la duración de falla por Plate Feeder	98
Gráfico 39: Densidad de probabilidad del tiempo entre fallas por Plate Feeder	99
Gráfico 40: Densidad de probabilidad de la duración de falla Hidráulica.....	99
Gráfico 41: Densidad de probabilidad del tiempo entre fallas Hidráulicas	100
Gráfico 42: Densidad de probabilidad de la duración de falla por Cilindro	100
Gráfico 43: Densidad de probabilidad del tiempo entre fallas por Cilindro	101
Gráfico 44: Densidad de probabilidad de la duración de falla Estructural en Chancador Fase 1	101
Gráfico 45: Densidad de probabilidad del tiempo entre fallas Estructurales en Chancador Fase 1	102
Gráfico 46: Densidad de probabilidad de la duración de falla Estructural en Chancador Fase 2 y 3.....	102
Gráfico 47: Densidad de probabilidad del tiempo entre fallas Estructurales en Chancador Fase 2 y 3.....	103
Gráfico 48: Densidad de probabilidad de la duración de falla Estructural en Chancador Fase 4	103
Gráfico 49: Densidad de probabilidad del tiempo entre fallas Estructurales en Chancador Fase 2 y 3.....	104
Gráfico 50: Densidad de probabilidad de la duración de falla de Correa BF - 01	104
Gráfico 51: Densidad de probabilidad del tiempo entre fallas de Correa BF - 01	105
Gráfico 52: Densidad de probabilidad de la duración de falla de Correa BF - 02	106
Gráfico 53 Densidad de probabilidad del tiempo entre fallas de Correa BF - 02	106
Gráfico 54: Densidad de probabilidad de la duración de falla de Correa BF – 04	107
Gráfico 55: Densidad de probabilidad del tiempo entre fallas de Correa BF - 04	107
Gráfico 56: Densidad de probabilidad de la duración de falla de Correa CV –01	108
Gráfico 57: Densidad de probabilidad del tiempo entre fallas de Correa CV –01	108

Gráfico 58: Densidad de probabilidad de la duración de falla de Correa CV –11	109
Gráfico 59: Densidad de probabilidad del tiempo entre fallas de Correa CV –11	109
Gráfico 60: Densidad de probabilidad de la duración de falla de Correa CV –21	110
Gráfico 61: Densidad de probabilidad del tiempo entre fallas de Correa CV –21	110
Gráfico 62: Densidad de probabilidad de la duración de falla de Correas CV – 31 y CV - 32	111
Gráfico 63: Densidad de probabilidad del tiempo entre fallas de Correas CV – 31 y CV - 32	111
Gráfico 64: Densidad de probabilidad de la duración de falla de Correa CV – 41	112
Gráfico 65: Densidad de probabilidad del tiempo entre fallas de Correa CV – 41	113
Gráfico 66: Densidad de probabilidad de la duración de falla de Correa BF04	113
Gráfico 67: Densidad de probabilidad del tiempo entre fallas de Correa BF04	114
Gráfico 68: Producción mensual planificada y real del año 2015 en Fase 1	115
Gráfico 69: Producción mensual planificada y real del año 2015 en Fase 2	115
Gráfico 70: Producción mensual planificada y real del año 2015 en Fase 3	116
Gráfico 71: Producción mensual planificada y real del año 2015 en Fase 4	116
Gráfico 72: Distribución tiempos de chancadores, mes de junio	117
Gráfico 73: Tiempos correas mes de junio	117
Gráfico 74: Distribución de tiempos chancadores mes de marzo	118
Gráfico 75: Tiempos correas mes de marzo	118

Índice de ecuaciones

Ecuación 1: Sumatoria para determinar proporción de productividad de calles	48
---	----