

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. Introducción.....	1
1.1. Motivación del trabajo	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo general.....	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Alcances.....	2
CAPÍTULO 2. Antecedentes	4
2.1. Descripción de la faena.....	4
2.1.1. Fases operativas	5
2.1.2. Perforación	6
2.2. Sistema de turnos	8
2.3. Sistemas de recolección de datos.....	9
2.3.1. Sistema de gestión de perforación	9
2.3.2. Sistema MineOPS	9
CAPÍTULO 3. Revisión bibliográfica	10
3.1. Distribución de tiempo ASARCO.....	10
3.2. Indicadores operacionales y de gestión	11
3.3. Cuadro de mando integral (Balanced Scorecard)	12
CAPÍTULO 4. Metodología	14
4.1. Selección período de evaluación	14
4.2. Recopilación y consolidación de datos.....	14
4.3. Construcción Balanced Scorecard	14
4.4. Análisis de datos	14
4.5. Iniciativas de gestión	14
4.6. Conclusiones y recomendaciones.....	15
CAPÍTULO 5. Construcción base de datos.....	16
CAPÍTULO 6. Identificación de oportunidades de mejoras	18
6.1. Creación cuadro de mando integral	18
6.2. Análisis de distribución de tiempos del modelo ASARCO.....	22
6.3. Análisis indicadores mensuales	23
6.4. Análisis factorial	30
CAPÍTULO 7. Iniciativas de gestión.....	36
7.1. Identificación de demoras no programadas principales	36
7.1.1. Espera sitio para perforar, espera marca/malla y espera de sello	40

7.1.2.	Traslado de perforadora	43
7.1.3.	Cambio de aceros.....	46
7.1.1.	Espera por tronadura.....	50
7.1.2.	Espera energía/combustible	51
7.1.3.	Espera de agua	51
7.1.4.	Revisión máquina	52
7.2.	Reducción de demoras no programadas	54
7.3.	Estimación del rendimiento efectivo para asignar equipos en fases operativas	59
CAPÍTULO 8.	Conclusiones.....	71
CAPÍTULO 9.	Glosario.....	74
CAPÍTULO 10.	Bibliografía	75
ANEXO A.	Geotecnia	76
A.1.	Unidades geotécnicas.....	76
A.1.1.	Granodiorita Fortuna (GDF)	76
A.1.2.	Zona de Cizalle Intenso (ZCI).....	76
A.1.3.	Zona de Cizalle Moderado (ZCM)	76
A.1.4.	Roca Cuarzo Sericita (RCS).....	77
A.1.5.	Pórfido Este Sericítico (PES).....	78
A.1.6.	Pórfido Este Potásico (PEK).....	78
A.1.7.	Pórfido Este Clorítico (PEC)	78
A.1.8.	Metasedimentos (MET)	78
A.1.9.	Granodiorita Elena Sur (GES)	79
A.1.10.	Lixiviada (LIX).....	79
A.1.11.	Brecha entre Falla (BEF).....	79
A.2.	Unidades geotécnicas principales por fase operativa	81
A.2.1.	Fase 42 (Banco 2219).....	82
A.2.2.	Fase 49 (Banco 2705).....	83
A.2.3.	Fase 50 (Banco 2866).....	85
A.2.4.	Fase 49B (Banco 3019).....	86
ANEXO B.	Perforación y Tronadura.....	86
B.1.	Características técnicas de los equipos de perforación	86
B.2.	Tronadura	88
B.2.1.	Tronadura Controlada	88
B.2.2.	Tronadura de Producción	89
B.3.	Informe diario de perforación	90
B.4.	Cálculo de equipos mina Chuquicamata.....	90

B.4.1.	Primera parte: Geotecnia	90
B.4.2.	Segunda parte: Planificación mediano plazo.....	91
ANEXO C.	Comparación Sistema MineOPS (Jigsaw) y AIDP	94
ANEXO D.	Bases de datos.....	97
D.1.	Base de datos mensual.....	97
D.2.	Base de datos por turno.....	118
D.2.1.	Reducción del período de evaluación	119
D.2.2.	Recopilación y consolidación de datos.....	120
D.2.3.	Programa en Matlab	123
D.2.4.	Histogramas demoras no programadas	125
D.3.	Base de datos diaria	144
D.3.1.	Rendimiento efectivo por fase	144

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Fases operativas mina Chuquicamata (Fuente: Creación propia).....	5
Tabla 2. Equipos de perforación de mina Chuquicamata.....	8
Tabla 3. Distribución de tiempo ASARCO.....	10
Tabla 4. Tablero balanceado de Balanced Scorecard.....	19
Tabla 5. Disponibilidad promedio por flota.....	27
Tabla 6. Utilización operativa promedio por flota.....	27
Tabla 7. utilización efectiva promedio por flota.....	28
Tabla 8. Demoras programadas y no programadas base disponible promedio por flota	29
Tabla 9. Rendimiento efectivo promedio por flota.....	29
Tabla 10. reducción de demoras no programadas para equipos de control de pared...53	
Tabla 11. Reducción de demoras no programadas para equipos de producción.....	54
Tabla 12. Consideraciones de equipos de control de pared para cálculo de reducción de demoras.....	55
Tabla 13. Consideraciones de equipos de producción para cálculo de reducción de demoras no programadas.....	56
Tabla 14. Promedio mensual de reducción de demoras no programadas.....	56
Tabla 15. Resultados de mejorar la utilización efectiva.....	57
Tabla 16. Indicadores operacionales de equipos de control de pared considerados....	57
Tabla 17. Indicadores operacionales de equipos de producción considerados.....	58
Tabla 18. Ponderadores de cada unidad geotécnica por fase operativa.....	62
Tabla 19. Rendimiento efectivo de cada equipo por fase operativa [m/h efectiva].....	65
Tabla 20. Resultados de mejorar el rendimiento efectivo.....	67
Tabla 21. Costos de operación por tipos de equipos.....	68
Tabla 22. Propiedades de las unidades geotécnicas (Fuente: Departamento de Geotecnia mina Chuquicamata).....	80
Tabla 23. Calidad de la roca según resistencia a la compresión uniaxial (Fuente: Departamento de Geotecnia mina Chuquicamata).....	81
Tabla 24. Características técnicas de las perforadoras (Fuente: Manuales de operación)	87
Tabla 25. Consideraciones geotécnicas para malla de perforación.....	91
Tabla 26. Estados de los equipos y sus descripciones.....	118
Tabla 27. Clasificación de los meses según indicadores operativos.....	119
Tabla 28. Frecuencia de clasificación de los meses.....	120
Tabla 29. Turnos con tiempo efectivo negativo modificados.....	123

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación fases operativas mina Chuquicamata (Fuente: Pre-semanal de Perforación y tronadura).....	6
Ilustración 2. Esquema proveedor-proceso-cliente de perforación.....	7
Ilustración 3. Esquema costo mina desglosado	7
Ilustración 4. Tablero balanceado del Balanced Scorecard (Fuente: Norton, 2007)	13
Ilustración 5. Ejemplo base de datos mensual	17
Ilustración 6. Base de datos por turno	17
Ilustración 7. Árbol de decisión para el traslado de equipos de producción con uso de cama baja.....	44
Ilustración 8. Árbol de decisión para traslado de equipos de producción sin uso de cama baja	45
Ilustración 9. Árbol de decisión para traslado de equipos de control de pared con uso de cama baja.....	45
Ilustración 10. Árbol de decisión para traslado de equipos de control de pared sin uso de cama baja.....	46
Ilustración 11. Reporte de aceros que entrega plataforma Totalview.....	48
Ilustración 12. Árbol de decisión para cambio de aceros	50
Ilustración 13. Unidades geotécnicas del yacimiento (Fuente: Departamento de Geotecnia mina Chuquicamata)	80
Ilustración 14. Simbología unidades geotécnicas.....	81
Ilustración 15. Unidades geotécnicas Fase 42 Banco 2219.....	82
Ilustración 16. Unidades geotécnicas Fase 49E Banco 2705	83
Ilustración 17. Unidades geotécnicas Fase 49N Banco 2705	84
Ilustración 18. Unidades geotécnicas Fase 50 Banco 2866.....	85
Ilustración 19. Unidades geotécnicas Fase 49B Banco 3019	86
Ilustración 20. Informe diario de perforación	90
Ilustración 21. Ejemplo análisis factorial.....	117
Ilustración 22. Ejemplo reporte "Detalle tiempos de perforación"	121
Ilustración 23. Ejemplo documento nuevo generado.....	122
Ilustración 24. Demoras no programadas por turno, considerando equipos de producción	125
Ilustración 25. Demoras no programadas por turno, considerando equipos de control de pared	126

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Distribución estados c/r tiempo nominal, equipos de producción	22
Gráfico 2. Distribución estados c/r tiempo nominal, equipos control pared	23
Gráfico 3. Disponibilidad flota roc L8.....	24
Gráfico 4. Disponibilidad flota pit viper	24
Gráfico 5. Disponibilidad flota DMH 2.....	25
Gráfico 6. Disponibilidad flota 49 HR.....	25
Gráfico 7. Disponibilidad flota DR 560.....	26
Gráfico 8. Disponibilidad flota T4 BH.....	26
Gráfico 9. Análisis factorial febrero, equipos de producción.....	30
Gráfico 10. Análisis factorial marzo, equipos de producción	31
Gráfico 11. Análisis factorial marzo, equipos de control de pared.....	32
Gráfico 12. Análisis factorial abril, equipos de producción	33
Gráfico 13. Análisis factorial abril, equipos de control de pared.....	33
Gráfico 14. Análisis factorial mayo, equipos de producción	34
Gráfico 15. Análisis factorial mayo, equipos de control de pared.....	35
Gráfico 16. Promedio de la duración de las demoras no programadas por turno, equipos de producción.....	37
Gráfico 17. Promedio de la duración de las demoras no programadas por turno, equipos de control de pared	37
Gráfico 18. Promedio de la duración de las demoras no programadas por día, equipos de producción.....	38
Gráfico 19. Promedio de la duración de las demoras no programadas por día, equipos de control pared	38
Gráfico 20. Promedio de la duración de las demoras no programadas por mes, equipos de producción.....	39
Gráfico 21. Promedio de la duración de las demoras no programadas por mes, equipos de control pared	39
Gráfico 22. reporte de avance de equipo de perforación en terreno	43
Gráfico 23. Rendimiento efectivo por equipo, fase 42.....	60
Gráfico 24. Rendimiento efectivo por equipo, fase 49.....	61
Gráfico 25. Rendimiento efectivo por equipo, fase 50.....	61
Gráfico 26. Rendimiento efectivo por unidad geotécnica, equipo 361.....	63
Gráfico 27. Rendimiento efectivo por unidad geotécnica, equipo 362.....	63
Gráfico 28. Rendimiento efectivo por unidad geotécnica, equipo 365.....	63
Gráfico 29. Rendimiento efectivo por unidad geotécnica, equipo 366.....	64
Gráfico 30. Rendimiento efectivo por unidad geotécnica, equipo 367.....	64
Gráfico 31. Rendimiento efectivo por unidad geotécnica, equipo 381.....	64
Gráfico 32. Rendimiento efectivo por unidad geotécnica, equipo 382.....	65
Gráfico 33. Metros versus costos/m, equipos de control de pared.....	69
Gráfico 34. Metros versus costo/m, equipos de producción	69
Gráfico 35. Metros versus costos/m, equipos T4 BH	70
Gráfico 36. Comparación promedio mensual rendimiento efectivo	94
Gráfico 37. Comparación promedio mensual disponibilidad	94
Gráfico 38. Comparación promedio mensual utilización efectiva	95
Gráfico 39. Comparación promedio mensual metros perforados	95
Gráfico 40. Comparación promedio mensual horas efectivas	96

Gráfico 41. Comparación promedio mensual demoras no programadas	96
Gráfico 42. Cantidad de equipos por período de tiempo	97
Gráfico 43. Utilización operativa flota Roc L8.....	98
Gráfico 44. Utilización operativa flota DR 560	98
Gráfico 45. Utilización operativa flota Pit Viper.....	98
Gráfico 46. Utilización operativa flota DMH 2	99
Gráfico 47. Utilización operativa flota 49 HR	99
Gráfico 48. Utilización operativa flota T4 BH	99
Gráfico 49. Reservas base disponible flota Roc L8.....	100
Gráfico 50. Reservas base disponible flota DR 560	100
Gráfico 51. Reservas base disponible flota Pit Viper.....	101
Gráfico 52. Reservas base disponible flota DMH 2	101
Gráfico 53. Reservas base disponible flota 49 HR	101
Gráfico 54. Reservas base disponible flota T4 BH	102
Gráfico 55. Utilización efectiva flota Roc L8	102
Gráfico 56. Utilización efectiva flota DR 560	102
Gráfico 57. Utilización efectiva flota Pit Viper	103
Gráfico 58. Utilización efectiva flota DMH 2	103
Gráfico 59. Utilización efectiva flota 49 HR	103
Gráfico 60. Utilización efectiva flota T4 BH	104
Gráfico 61. Demoras programadas base disponible flota Roc L8	104
Gráfico 62. Demoras programadas base disponible flota DR 560.....	104
Gráfico 63. Demoras programadas base disponible flota Pit Viper	105
Gráfico 64. Demoras programadas base disponible flota DMH 2.....	105
Gráfico 65. Demoras programadas base disponible flota 49 HR.....	105
Gráfico 66. Demoras programadas base disponible flota T4 BH.....	106
Gráfico 67. Demoras no programadas base disponible flota Roc L8	106
Gráfico 68. Demoras no programadas base disponible flota DR 560.....	106
Gráfico 69. Demoras no programadas base disponible flota Pit Viper	107
Gráfico 70. Demoras no programadas base disponible flota DMH 2.....	107
Gráfico 71. Demoras no programadas base disponible flota 49 HR.....	107
Gráfico 72. Demoras no programadas base disponible flota T4 BH.....	108
Gráfico 73. Rendimiento efectivo flota Roc L8	108
Gráfico 74. Rendimiento efectivo flota Dr 560	108
Gráfico 75. Rendimiento efectivo flota Pit Viper	109
Gráfico 76. Rendimiento efectivo flota DMH 2.....	109
Gráfico 77. Rendimiento efectivo flota 49 HR.....	110
Gráfico 78. Rendimiento efectivo flota T4 BH.....	110
Gráfico 79. Disponibilidad de equipos de producción.....	111
Gráfico 80. Disponibilidad de flota T4 BH.....	111
Gráfico 81. Disponibilidad de equipos de control de pared	112
Gráfico 82. Utilización efectiva de equipos de producción	112
Gráfico 83. Utilización efectiva de flota T4BH	113
Gráfico 84. Utilización efectiva de equipos de control de pared	113
Gráfico 85. Rendimiento efectivo de equipos de producción	114
Gráfico 86. Rendimiento efectivo de flota T4 BH.....	114
Gráfico 87. Rendimiento efectivo de equipos de control de pared	115
Gráfico 88. Histograma utilización efectiva equipos de producción	115

Gráfico 89. Histograma utilización efectiva equipos de control de pared	116
Gráfico 90. Histograma promedio rendimiento mensual equipos de producción.....	116
Gráfico 91. Histogramas demora espera sitio para perforar por turno, equipos precorte	127
Gráfico 92. Histogramas demora espera sitio para perforar por turno, equipos producción	128
Gráfico 93. Histogramas demora traslado de perforadora por turno, equipos precorte	129
Gráfico 94. Histogramas demora traslado de perforadora por turno, equipos producción	130
Gráfico 95. Histogramas demora revisión máquina por turno, equipos precorte.....	131
Gráfico 96. Histogramas demora revisión máquina por turno, equipos producción	132
Gráfico 97. Histogramas demora espera marca/malla por turno, equipos precorte	133
Gráfico 98. Histogramas demora espera marca/malla por turno, equipos producción	134
Gráfico 99. Histogramas demora cambio de aceros por turno, equipos precorte.....	135
Gráfico 100. Histogramas demora cambio de aceros por turno, equipos producción .	136
Gráfico 101. Histogramas demora espera combustible por turno, equipos precorte...	137
Gráfico 102. Histogramas demora espera energía por turno, equipos producción	138
Gráfico 103. Histogramas demora espera de sello por turno, equipos precorte.....	139
Gráfico 104. Histogramas demora espera de sello por turno, equipos producción	140
Gráfico 105. Histogramas demora espera de agua por turno, equipos precorte	141
Gráfico 106. Histogramas demora espera de agua por turno, equipos producción.....	142
Gráfico 107. Histogramas demora espera tronadura por turno, equipos precorte.....	143
Gráfico 108. Histogramas demora espera tronadura por turno, equipos producción ..	143
Gráfico 109. Dispersión rendimiento efectivo vs bancos, fase 42	144
Gráfico 110. Dispersión rendimiento efectivo vs bancos, fase 49	145
Gráfico 111. Dispersión rendimiento efectivo vs bancos, fase 50	145
Gráfico 112. Histogramas rendimiento efectivo por equipo, fase 42	146
Gráfico 113. Histogramas rendimiento efectivo por equipo, fase 49	146
Gráfico 114. Histogramas rendimiento efectivo por equipo, fase 50	147
Gráfico 115. Distribución de probabilidad rendimiento efectivo por equipo, fase 42 ...	147
Gráfico 116. Distribución de probabilidad rendimiento efectivo por equipo, fase 49 ...	148
Gráfico 117. Distribución de probabilidad rendimiento efectivo por equipo, fase 50 ...	148
Gráfico 118. Histograma rendimiento efectivo equipo 362 fase 42	149
Gráfico 119. Histograma rendimiento efectivo equipo 362 fase 49	149

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Cálculo disponibilidad	11
Ecuación 2. Cálculo utilización	11
Ecuación 3. Cálculo utilización efectiva.....	11
Ecuación 4. Cálculo utilización operativa	12
Ecuación 5. Porcentaje de reservas/BD.....	12
Ecuación 6. Cálculo rendimiento efectivo.....	12
Ecuación 7. Porcentaje de demoras programadas/BD.....	12
Ecuación 8. Porcentaje de demoras no programadas/BD.....	12
Ecuación 9. Condición que indica color amarillo en cambio de aceros	49
Ecuación 10. Condición que indica color rojo en cambio de aceros.....	49
Ecuación 11. Condición que indica color verde en cambio de aceros.....	49
Ecuación 12. Disminución de tiempo de cada demora en el mes	54
Ecuación 13. Número de pozos de precorte, 1ra fila buffer y 2da fila buffer	91
Ecuación 14. Metros a perforar de precorte, 1ra fila y 2da fila buffer	91
Ecuación 15. Metros anuales a perforar por fase	91
Ecuación 16. Metros control de pared mensuales por fase.....	92
Ecuación 17. Metros lineales de control de pared mensuales por fase.....	92
Ecuación 18. Tonelaje a extraer mensualmente por fase para control de pared.....	92
Ecuación 19. Tonelaje de mineral/estéril por metro	92
Ecuación 20. Metros de producción mensuales mineral/estéril por fase	92
Ecuación 21. Metros de producción mensuales por fase	93