

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. MOTIVACIÓN | 1 |
| 1.2. OBJETIVOS | 1 |
| 1.2.1. Objetivo General..... | 1 |
| 1.2.2. Objetivos Específicos | 1 |
| 1.3. ALCANCES | 2 |
| 1.4. METODOLOGÍA DE TRABAJO | 2 |
| CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES | 4 |
| 2.1. OPERACIÓN LOS BRONCES | 4 |
| 2.2. FLOTA LOS BRONCES | 8 |
| 2.3. MODELO OPERACIONAL DE ANGLO AMERICAN (AOM) | 9 |
| 2.4. BUSINESS IMPROVEMENT | 10 |
| 2.5. GEOLOGÍA, RECURSOS Y RESERVAS | 12 |
| 2.6. @RISK | 13 |
| CAPÍTULO 3: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 14 |
| 3.1. SIMULACIÓN | 14 |
| 3.1. ESTADÍSTICA | 15 |
| 3.2. OPERACIONES UNITARIAS RAJO ABIERTO..... | 16 |
| 3.2.1. Perforación..... | 17 |
| 3.2.2. Tronadura..... | 17 |
| 3.2.3. Carguío y Transporte | 18 |
| 3.2.4. Servicios..... | 18 |
| 3.3. MODELO DE TIEMPO ANGLO AMERICAN | 18 |
| 3.3.1. Definiciones de elemento primario o estado de tiempo..... | 19 |
| 3.3.2. Indicadores claves de desempeño (KPI) | 20 |
| CAPÍTULO 4: DESARROLLO DEL TRABAJO | 23 |
| 4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MODELO | 23 |
| 4.2. ANÁLISIS DE DATOS | 35 |
| 4.2.1. Correlación disponibilidad y uso disponibilidad | 36 |
| 4.2.2. Correlación rendimiento operativo (ton/hora) y distancia media (km): | 37 |
| 4.2.3. Comportamiento periódico | 37 |
| 4.2.4. Gráficas de control..... | 39 |

| | | |
|--|---|-----|
| 4.3. | DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD | 40 |
| 4.4. | CAUSAS ESPECIALES | 41 |
| 4.5. | VALIDACIÓN DEL MODELO | 43 |
| 4.5.1. | Entradas | 43 |
| 4.5.2. | Resultados | 48 |
| CAPÍTULO 5: APLICACIÓN MODELO PARA EL AÑO 2018 | | 50 |
| 5.1. | CASO BASE | 50 |
| 5.1.1. | Entradas | 50 |
| 5.1.2. | Resultados | 55 |
| 5.2. | EVALUACIÓN DE ESCENARIOS | 57 |
| 5.2.1. | Escenario 1 | 58 |
| 5.2.2. | Escenario 2 | 62 |
| 5.2.3. | Escenario 3 | 66 |
| CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES | | 72 |
| CAPÍTULO 7: RECOMENDACIONES | | 73 |
| CAPÍTULO 8: BIBLIOGRAFÍA | | 74 |
| CAPÍTULO 9: ANEXOS | | 75 |
| 9.1. | Anexo A: Gráficos de control..... | 75 |
| 9.2. | Anexo B: Validación del modelo | 81 |
| 9.3. | Anexo C: Caso base 2018..... | 92 |
| 9.4. | Anexo D: Evaluación de Escenarios | 103 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2-1.Ubicación geográfica Mina Los Bronces..... | 4 |
| Figura 2-2. Esquema operación Los Bronces | 5 |
| Figura 2-3. Gráfica cantidad de nieve caída por mes real 2016 (año completo) y 2017 (hasta Noviembre)..... | 5 |
| Figura 2-4. Gráficas producción Cu Fino (Kton). | 6 |
| Figura 2-5. Gráficas movimiento y exytracción mina (Kton) | 6 |
| Figura 2-6. Vista Mina Los Bronces, Mayo 2017. | 7 |
| Figura 2-7. Diseño de Fases Operación Los Bronces..... | 7 |
| Figura 2-8. Pala Bucyrus Erie 495 B. | 8 |
| Figura 2-9. Komatsu 930. | 9 |
| Figura 2-10. Modelo operacional Anglo American..... | 10 |
| Figura 2-11. Estructura de BI dentro del Modelo operacional Anglo American (AOM)..... | 11 |
| Figura 2-12. Organigrama Business Improvement, Julio 2017. | 11 |
| Figura 2-13. Litologías Operación Los Bronces..... | 12 |

| | |
|---|----|
| Figura 2-14. Perfil del Modelo de Bloques,de la Operación Los Bronces (colindante a la operación Andina) | 13 |
| Figura 3-1. Flujoograma de pasos para simular (Heizer y Render, 2004)..... | 14 |
| Figura 3-2. Procesos unitarios mina a cielo abierto | 16 |
| Figura 4-1. Flujo general que sigue el modelo. | 24 |
| Figura 4-2. Ejemplo gráfico de Salida del Modelo..... | 25 |
| Figura 4-3. Ejemplo de gráfico de Salida por operación unitaria..... | 26 |
| Figura 4-4. Ejemplo de gráfico de Salida del Primer Nivel: Desarrollo y producción por fase. | 26 |
| Figura 4-5. Ejemplo gráfico del análisis de Segundo Nivel: Desarrollo y Producción por Fase. | 27 |
| Figura 4-6. Ejemplo gráfico de Salida tercer nivel: Desarrollo o producción por fase. | 28 |
| Figura 4-7. Ejemplo de gráfica de Salida del nivel de Stock y de control un proceso (invierno). | 29 |
| Figura 4-8. Flujo Modelo BSP Los Bronces..... | 30 |
| Figura 4-9. Secuencia de la Simulación de Servicio, Perforación y Tronadura. | 34 |
| Figura 4-10. Secuencia Condicional Carguío. | 34 |
| Figura 4-11. Secuencia Condicional Transporte..... | 35 |
| Figura 4-12. Secuencia condicional Mineral Expuesto | 35 |
| Figura 4-13. Correlación entre Disponibilidad y uso de Disponibilidad en verano e invierno para camiones. | 36 |
| Figura 4-14.Correlación entre Disponibilidad y uso de Disponibilidad en verano e invierno para palas | 36 |
| Figura 4-15. Correlación entre Rendimiento operativo y Distancia Media..... | 37 |
| Figura 4-16. Tendencia sobre la Disponibilidad por día en Camiones..... | 37 |
| Figura 4-17. Tendencia sobre la Disponibilidad de Uso por día en Camiones. | 38 |
| Figura 4-18. Tendencia sobre la Disponibilidad de Uso por día en Palas. | 38 |
| Figura 4-19. Tendencia sobre la Disponibilidad de Uso por día en Palas. | 38 |
| Figura 4-20. Ejemplo selección de datos en períodos estables de disponibilidad para la flota KOM 930, período invierno y verano. | 39 |
| Figura 4-21. Selección de Datos estables de disponibilidad de flota KOM 960, Período invierno y verano | 40 |
| Figura 4-22. Ejemplo ajustes a variables realizados con @Risk | 41 |
| Figura 4-23. Gráfico de Control extracción Fase Infiernillo 5. | 42 |
| Figura 5-1. Histogramas de probabilidad de extracción para el año 2018 | 55 |
| Figura 5-2. Gráficos capacidad de Extracción de la Mina en la etapa de Desarrollo y Producción según modelo año 2018, caso base | 57 |
| Figura 5-3. Gráfico capacidades por operación unitaria año 2018, caso base | 58 |
| Figura 5-4. Gráficos de capacidad operaciones unitarias por fase año 2018, caso base | 58 |
| Figura 5-5. Gráfico capacidades por operación unitaria año 2018, Escenario 1 | 59 |
| Figura 5-6. Gráficos de capacidad operaciones unitarias por fase año 2018, Escenario 1 | 60 |
| Figura 5-7. Histogramas de probabilidad de extracción de las simulaciones, Escenario 1 | 61 |
| Figura 5-8. Extracción Mineral fase Infiernillo 7 de cada simulación, Escenario 1..... | 62 |
| Figura 5-9. Gráfico de capacidad operaciones unitarias extracción de mineral Fase Infiernillo 7, Escenario 1. | 62 |
| Figura 5-10. Gráfico capacidades por operación unitaria año 2018, Escenario 2 | 63 |

| | |
|---|-----|
| Figura 5-11. Gráfico de capacidad operaciones unitarias Infiernillo 5 año 2018, Escenario 2. | 63 |
| Figura 5-12. Histogramas de probabilidad de extracción de las simulaciones, Escenario 2. | 65 |
| Figura 5-13. Extracción Mineral fase Infiernillo 7 de cada simulación, Escenario 2..... | 66 |
| Figura 5-14. Gráfico de capacidad operaciones unitarias Infiernillo 7 año 2018, Escenario 2. | 66 |
| Figura 5-15. Gráfico capacidades por operación unitaria año 2018, Escenario 3. | 67 |
| Figura 5-16. Gráfico de capacidad operaciones unitarias Infiernillo 7 año 2018, Escenario 3. | 68 |
| Figura 5-17. Histogramas de probabilidad de extracción de las simulaciones, Escenario 3. | 69 |
| Figura 5-18. Extracción fase Infiernillo 5 de cada simulación, Escenario 3. | 70 |
| Figura 5-19. Extracción fase Infiernillo 7 de cada simulación, Escenario 3. | 70 |
| Figura 5-20. Gráfico de capacidad operaciones unitarias desarrollo Infiernillo 7 año 2018, Escenario 3. | 71 |
| Figura 9-1. Gráficos de Control para Camiones CAT 795. | 75 |
| Figura 9-2. Gráficos de Control para Camiones KOM 930. | 76 |
| Figura 9-3. Gráficos de Control para Camiones KOM 960. | 76 |
| Figura 9-4. Gráficos de Control para Palas 73 yd3. | 77 |
| Figura 9-5. Gráficos de Control para Palas 60 yd3. | 78 |
| Figura 9-6. Gráficos de Control para Palas 37 yd3. | 79 |
| Figura 9-7. Gráficos de Control de metros perforados por fase. | 80 |
| Figura 9-8. Ajustes distribución para flota CAT 795, año 2017. | 81 |
| Figura 9-9. Ajustes distribución para flota KOM 930, año 2017 | 82 |
| Figura 9-10. Ajustes distribución para flota KOM 960, año 2017 | 83 |
| Figura 9-11. Ajustes distribución para pala 73 yd3, año 2017 | 84 |
| Figura 9-12. Ajustes distribución para pala 60 yd3, año 2017 | 85 |
| Figura 9-13. Ajustes distribución para pala 37 yd3, año 2017 | 86 |
| Figura 9-14. Ajustes distribución ton /día para Perforación, año 2017 | 87 |
| Figura 9-15. Gráficos de control extracción Casino 2 e Infiernillo 5, año 2017 | 88 |
| Figura 9-16. Histogramas de probabilidad extracción total 2017. | 89 |
| Figura 9-17. Histogramas de probabilidad extracción mineral 2017. | 90 |
| Figura 9-18: Histogramas de probabilidad extracción estéril 2017. | 91 |
| Figura 9-19: Ajustes distribución para flota CAT 795, año 2018 | 92 |
| Figura 9-20. Ajustes distribución para flota KOM 930, año 2018 | 93 |
| Figura 9-21. Ajustes distribución para flota KOM 960, año 2018 | 94 |
| Figura 9-22. Ajustes distribución para pala 73 yd3, año 2018 | 95 |
| Figura 9-23. Ajustes distribución para pala 60 yd3, año 2018 | 96 |
| Figura 9-24. Ajustes distribución para pala 37 yd3, año 2018 | 97 |
| Figura 9-25. Ajustes distribución ton/día para perforación, año 2018 | 98 |
| Figura 9-26. Gráficos de control extracción Casino 5 e Infiernillo 7, año 2018 | 99 |
| Figura 9-27. Histogramas de probabilidad extracción total 2018. | 100 |
| Figura 9-28. Histogramas de probabilidad extracción mineral 2018. | 101 |
| Figura 9-29. Histogramas de probabilidad extracción estéril 2018. | 102 |
| Figura 9-30. Histograma probabilidad extracción de cada simulación por fase año 2018, Escenario 1 | 103 |
| Figura 9-31. Histograma probabilidad extracción de cada simulación por fase año 2018, Escenario 2 | 104 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 2-1. Flota Operación Los Bronces hasta Mayo del 2017..... | 8 |
| Tabla 3-1. Categorías en modelo de tiempo de Anlgo American..... | 19 |
| Tabla 3-2. Concepto y descripción categoría de tiempo..... | 19 |
| Tabla 4-1. Operaciones unitarias y stocks presentes en el modelo..... | 29 |
| Tabla 4-2. Entradas del Modelo..... | 32 |
| Tabla 4-3. REM por cada Fase según plan año 2017 | 43 |
| Tabla 4-4. Parámetros para Stocks año 2017..... | 44 |
| Tabla 4-5. Distribuciones de probabilidad de cada proceso para el año 2017..... | 44 |
| Tabla 4-6. Distancia Media de para el 2017 | 45 |
| Tabla 4-7. Distribuciones para KPI de camiones año 2017..... | 46 |
| Tabla 4-8. Dsiribuciones KPI palas 2017 | 47 |
| Tabla 4-9. Parámetros y distribuciones para causas especiales, Casino 2 año 2017 | 47 |
| Tabla 4-10. Parámetros y distribuciones para causas especiales, Infiernillo 5 año 2017 | 48 |
| Tabla 4-11. Parámetros y distribuciones para causas especiales, Infiernillo 7 año 2017 | 48 |
| Tabla 4-12. Valores de la Capacidad de Extracción para el 2017, con 90% de confianza..... | 48 |
| Tabla 4-13. Comparación extracciones del año 2017 | 49 |
| Tabla 5-1. REM por Fase año 2018..... | 50 |
| Tabla 5-2. Parámetros utilizados para los Stock año 2018 | 51 |
| Tabla 5-3. Distribuciones de probabilidad de cada proceso para el año 2018..... | 51 |
| Tabla 5-4. Distancia Media utilizada según planificación año 2018..... | 52 |
| Tabla 5-5. Distribuciones para KPI camiones año 2018 | 53 |
| Tabla 5-6. Distribuciones para KPI palas año 2018 | 54 |
| Tabla 5-7. Parámetros y distribuciones para causas especiales del modelo, Infiernillo 5 | 54 |
| Tabla 5-8. Parámetros y distribuciones para causas especiales del modelo, Infiernillo 7 | 55 |
| Tabla 5-9. Valores de la Capacidad de Extracción para el 2018, con 90% de confianza..... | 55 |
| Tabla 5-10. Comparación extracciones año 2018..... | 56 |
| Tabla 5-11. Comparación extracciones Infiernillo 5 año 2018. | 56 |
| Tabla 5-12. Comparación extracciones Infiernillo 7 año 2018. | 57 |
| Tabla 5-13. Parámetros disponibilidad de los KOM 930, Escenario 1..... | 59 |
| Tabla 5-14. Parámetros disponibilidad KOM 930, Escenario 2..... | 63 |
| Tabla 5-15. Parámetros rendimiento operativo pala 73 yd3, Escenario 3. | 67 |
| Tabla 9-1. Asignación flota camiones año 2017..... | 87 |
| Tabla 9-2. Asignación palas año 2017..... | 88 |
| Tabla 9-3. Asignación flota camiones año 2018..... | 98 |
| Tabla 9-4. Asignación palas año 2018..... | 99 |