

TABLA DE CONTENIDO

1	Introducción	1
1.1	Motivación	1
1.2	Objetivos	2
1.2.1	Objetivo General.....	2
1.2.2	Objetivos Específicos	2
1.3	Alcances	2
1.4	Estructura del trabajo de título.....	3
2	Antecedentes	3
2.1	Anglo American Sur S.A	3
2.1.1	Modelo de Tiempo.....	3
2.1.2	Indicadores Clave de Desempeño (KPI)	4
2.1.3	Iniciativa P101	7
2.1.4	División Los Bronces	7
3	Marco Teórico	18
3.1	Tiempo de Ciclo Sistema de Transporte	18
3.1.1	Plan de Gestión del Tránsito.....	19
3.2	Software Dispatch.....	23
3.2.1	Mejor Ruta (MR – Best Path).....	23
3.2.2	Programación Lineal (PL – Linear Programming).....	23
3.2.3	Programación Dinámica (PD – Dynamic Programming).....	24
3.3	Software <i>R</i> y <i>RStudio</i>	24
3.4	Redes Bayesianas.....	26
3.4.1	Definición	26
3.4.2	Paquete de Redes Bayesianas – <i>bnlearn</i>	27
3.4.3	Algoritmos de Aprendizaje.....	28
3.4.4	Pruebas de independencia condicional	30
3.4.5	Puntuaciones de red (<i>score</i>).....	31
4	Metodología	32
4.1	Selección Horizonte Temporal	33
4.2	Construcción de la Base de Datos.....	34
4.3	Análisis de la BD sin modificar con Estadística Clásica	40

4.4	Definición de Filtros de la base de datos	45
4.5	Análisis de Base de datos filtrada	49
4.6	Construcción de Redes Bayesianas.....	54
4.7	Selección de grafos mediante descarte	56
4.8	Arcos del grafo escogido	56
4.9	Relación entre variables mediante correlaciones.....	57
5	Resultados	58
5.1	Resultados mes de julio 2019	58
5.1.1	Aplicación de Algoritmos de Puntaje.....	58
5.1.2	Aplicación de Algoritmos de Restricción.....	61
5.1.3	Aplicación de Algoritmos Híbridos.....	67
5.1.4	Descarte de Algoritmos	70
6	Análisis y Discusión de resultados.....	73
6.1	Análisis de arcos grafo Hill-Climbing para mina Los Bronces	73
6.2	Análisis del grafo modificado mediante correlaciones	74
6.3	Validación Metodología.....	77
6.3.1	Resultados septiembre 2019.....	77
6.3.2	Resultados temporada invierno 2019	80
7	Conclusiones y Recomendaciones	85
8	Bibliografía.....	90
9	Anexos.....	92
9.1	Elementos secundarios time model anglo American.....	92
9.2	Antecedentes Mina Los Bronces	93
9.3	Histogramas Base de datos sin filtrar julio	93
9.4	Histogramas base de datos filtrada Julio.....	97
9.5	Estadística descriptiva de Septiembre.....	101
9.6	Estadística descriptiva de invierno.....	102
9.7	Grafos de Septiembre e invierno mediante hill-climbing.....	103
9.8	Tendencia tiempos de cola en Chancado	105
9.9	Árbol de valor de la flota de transporte variando distancias mes de julio	106
9.10	Código en <i>RStudio</i> para la extracción de grafos de julio.....	106

Índice de Tablas

Tabla 1: Descripción del complejo de brechas Los Bronces.....	13
Tabla 2: Detalle equipos principales mina Los Bronces	15
Tabla 3: Detalle de los equipos auxiliares en la mina Los Bronces	15
Tabla 4: Metros de distancia mínima entre equipos según la condición del piso.	22
Tabla 5: Estadísticas básicas de los tiempos fijos y el factor de carga de la BD sin filtrar.....	40
Tabla 6: Estadísticas básicas de las distancias y velocidades de la base de datos sin filtrar	40
Tabla 7: Estadísticas básicas de los T de viaje, ciclo, fijos y el rendimiento de la BD sin filtrar.	41
Tabla 8: Filtros aplicados por el despacho en la mina Los Bronces.....	46
Tabla 9: Filtros propios aplicados a la base de datos.	46
Tabla 10: Filtros aplicados por LB luego de aplicar procedimiento de recuperación de data. 48	
Tabla 11: Filtros propios luego de aplicar procedimiento de recuperación de data	48
Tabla 12: Estadísticas básicas de los tiempos fijos y el factor de carga de la BD filtrada.	49
Tabla 13: Estadísticas básicas de las distancias y velocidades de la base de datos filtrada.	49
Tabla 14: Estadísticas básicas de los tiempos de viajes, ciclo, fijos y rendimiento de la BD filtrada.....	50
Tabla 15: Resumen de los algoritmos aplicados.	70
Tabla 16: Padres del Rendimiento según el algoritmo aplicado.	71
Tabla 17: Hijos del Rendimiento según el algoritmo aplicado.	71
Tabla 18: Score de los algoritmos de puntaje e híbridos.....	72
Tabla 19: Arcos erróneos en el grafo Hill Climbing julio.....	73
Tabla 20: Score de algoritmo Hill-Climbing Modificado julio.....	73
Tabla 21: Correlaciones de todos los arcos del grafo Julio 2019.....	76
Tabla 22: Porcentaje de datos eliminados según filtros de los bronces en BD de septiembre. 77	
Tabla 23: Porcentaje de datos eliminados según filtros propios en base de datos de septiembre.	77
Tabla 24: Arcos erróneos en el grafo Hill Climbing septiembre.....	78
Tabla 25: Score de algoritmo Hill-Climbing Modificado septiembre.....	78
Tabla 26: Porcentaje de datos eliminados según filtros de los bronces en BD de invierno.	80
Tabla 27: Porcentaje de datos eliminados según filtros propios en base de datos de invierno. 81	
Tabla 28: Arcos erróneos en el grafo Hill Climbing invierno.	81
Tabla 29: Score de algoritmo Hill-Climbing Modificado invierno.	82
Tabla 30: Correlaciones julio, septiembre e invierno 2019.....	83

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Estructura de modelo de tiempos de Anglo American. (Anglo American Sur, 2015).....	3
Ilustración 2: Tiempos operativos no productivos de camión en el mes de Julio 2019. (Anglo American, 2019).....	6

Ilustración 3: Derrame en pista forma una cola de 7 camiones (OPNP). Fotografía propia.	7
Ilustración 4: Ubicación operación minera Los Bronces. (Anglo American S.A., 2019)	9
Ilustración 5: Fases en extracción, botaderos y stocks de la mina LB (Pastrán, 2019).	10
Ilustración 6: Flowsheet de los dos procesos de extracción del cobre. Elaboración propia.	11
Ilustración 7: Diagrama de las plantas de la operación Los Bronces. (Anglo American S.A., 2019)	12
Ilustración 8: Geología de la mina Los Bronces. (Abarzua, 2014)	14
Ilustración 9: Modelo de Operaciones Anglo American ®. (Anglo American S.A., 2019)	17
Ilustración 10: Ciclo de los camiones dentro de la mina Los Bronces. Elaboración propia. ...	18
Ilustración 11: Sección tipo camino minero interior fase. (Gerencia Mina, 2019)	20
Ilustración 12: Sector de carguío pala 10 en fase infiernillo 5. Fotografía propia.	21
Ilustración 13: Frente de avance de los botaderos en mina Los Bronces. (Gerencia Mina, 2019)	21
Ilustración 14: Sector de vaciado en botadero. Fotografía propia.	22
Ilustración 15: Interfaz del software RStudio y sus cuatro paneles de trabajo. Elaboración propia.	25
Ilustración 16: Ejemplo de red bayesiana aplicada en biología. Fuente: Bayes Server	26
Ilustración 17: Metodología de trabajo. Elaboración propia.	33
Ilustración 18: Tendencia del Clima Adverso 2019	33
Ilustración 19: Esquema de flujos de información para la construcción de la BD	38
Ilustración 20: Estructura de la BD de ciclo de transporte de camiones julio. Microsoft Excel® versión 1902.	39
Ilustración 21: Recuperación de data mediante el promedio de la variable.	47
Ilustración 22: Base de datos en Microsoft Excel® versión 1902	55
Ilustración 23: Representación gráfica de la correlación de variables.	57
Ilustración 24: Características del algoritmo de Puntaje Hill-Climbing	58
Ilustración 25: Grafo del algoritmo de Puntaje Hill-Climbing	59
Ilustración 26: Características del algoritmo de Puntaje Tabu Search	60
Ilustración 27: Grafo del algoritmo de Puntaje Tabu Search	60
Ilustración 28: Características del algoritmo de restricción Grow-Shrink	61
Ilustración 29: Grafo del algoritmo de Restricción Grow-Shrink	61
Ilustración 30: Características del algoritmo de restricción IAMB	62
Ilustración 31: Grafo del algoritmo de Restricción Incremental Association	62
Ilustración 32: Características del algoritmo de restricción Fast-IAMB	63
Ilustración 33: Grafo del algoritmo de Restricción Fast Incremental Association	63
Ilustración 34: Características del algoritmo de restricción inter-IAMB	64
Ilustración 35: Grafo del algoritmo de Restricción Interleaved Incremental Association	64
Ilustración 36: Características del algoritmo de restricción IAMB-FDR	65
Ilustración 37: Grafo del algoritmo de Restricción Incremental Association with FDR	65
Ilustración 38: Características del algoritmo de restricción PC Stable	66
Ilustración 39: Grafo del algoritmo de Restricción PC Stable	66
Ilustración 40: Características del algoritmo Híbrido Max-Min Hill Climbing	67
Ilustración 41: Grafo del algoritmo de Híbrido Max-Min Hill Climbing	67
Ilustración 42: Características del algoritmo híbrido Restricted Maximization	68
Ilustración 43: Grafo del algoritmo de Híbrido Restricted Maximization	68

Ilustración 44: Características del algoritmo híbrido Hybrid HPC	69
Ilustración 45: Grafo del algoritmo Híbrido Hybrid HPC.....	69
Ilustración 46: Algoritmo de Puntaje Hill-Climbing Modificado Julio	74
Ilustración 47: Grafo de algoritmo Hill-Climbing Modificado con correlaciones, julio.....	75
Ilustración 48: Grafo de algoritmo Hill-Climbing Modificado con correlaciones, septiembre	80
Ilustración 49: Grafo de algoritmo Hill-Climbing Modificado con correlaciones, invierno....	83
Ilustración 50: Resumen variables que impactan al rendimiento en mayor y menor proporción.	87
Ilustración 51: Árbol de valor de flota de transporte en el mes de julio.....	87
Ilustración 52: Árbol de valor de flota de transporte en el mes de Julio variando el factor de carga.....	88
Ilustración 53: Explicación de correlación baja del factor de carga y el rendimiento.....	88

Índice de Gráficos

Gráfico 1: Histograma tiempos de acuatamiento datos sin filtrar.	41
Gráfico 2: Histograma tiempos de descarga de camiones datos sin filtrar.....	42
Gráfico 3: Histograma de factor de carga de camiones datos sin filtrar.....	42
Gráfico 4: Histograma tiempos de ciclo camiones datos sin filtrar.....	43
Gráfico 5: Histograma distancia total recorrida por camiones datos sin filtrar.....	43
Gráfico 6: Histograma tiempos de viaje total de camiones datos sin filtrar.....	44
Gráfico 7: Histograma velocidad promedio de camiones datos sin filtrar.	44
Gráfico 8: Histograma rendimiento de camiones datos sin filtrar.....	45
Gráfico 9: Histograma tiempos de acuatamiento de camiones, datos filtrados. El gráfico interno, datos sin filtrar.....	50
Gráfico 10: Histograma tiempos de descarga de camiones, datos filtrados. El gráfico interno, datos sin filtrar.....	51
Gráfico 11: Histograma de factores de carga de camiones, datos filtrados. El gráfico interno, datos sin filtrar.....	51
Gráfico 12: Histograma tiempos de ciclo de camiones, datos filtrados. El gráfico interno, datos sin filtrar.	52
Gráfico 13: Histograma distancia total recorrida, datos filtrados. El gráfico interno, datos sin filtrar.....	52
Gráfico 14: Histograma tiempos de viaje total, datos filtrados. El gráfico interno, datos sin filtrar.....	53
Gráfico 15: Histograma velocidad promedio de camiones, datos filtrados. El gráfico interno, datos sin filtrar.....	53
Gráfico 16: Histograma rendimiento de camiones, datos filtrados.....	54

Índice de Ecuación

Ecuación 1: Tiempo controlable (TC) modelo de tiempos Anglo American.....	4
Ecuación 2: Utilización General (UG) modelo de tiempos Anglo American	5

Ecuación 3: Efectividad general equipos (OEE) modelo de tiempos Anglo American	5
Ecuación 4: Disponibilidad Física (DF) modelo de tiempos Anglo American	5
Ecuación 5: Uso de Disponibilidad Física (UDF) modelo de tiempos Anglo American	5
Ecuación 6: Rendimiento Operativo (RO) modelo de tiempos Anglo American	6
Ecuación 7: Cálculo de tiempos fijos de camiones	19
Ecuación 8: Cálculo de tiempo de viaje de camiones	19
Ecuación 9: Cálculo de tiempo de ciclo de camiones	19
Ecuación 10: Cálculo del Rendimiento operativo de camiones	19
Ecuación 11: Cálculo de Velocidad Camión Vacío	37
Ecuación 12: Cálculo de Velocidad Camión Lleno.....	37
Ecuación 13: Cálculo de Velocidad Camión Promedio	37

Índice de Anexos

Anexo 1: Detalle de los elementos secundarios del Time Model Anglo American	92
Anexo 2: Cálculo de los principales KPI de operaciones según Time Model AA.....	92
Anexo 3: Flowsheet plantas Los bronces y Confluencia.....	93
Anexo 4: Histograma de tiempos de carga base de datos sin filtrar.....	93
Anexo 5:Histograma de tiempos de cola en pala base de datos sin filtrar	94
Anexo 6:Histograma de tiempos de cola en descarga base de datos sin filtrar	94
Anexo 7:Histograma de tiempos de OPNP base de datos sin filtrar	94
Anexo 8:Histograma de tiempos fijos base de datos sin filtrar	95
Anexo 9:Histograma de velocidades vacío base de datos sin filtrar	95
Anexo 10:Histograma de tiempo de viaje vacío base de datos sin filtrar.....	95
Anexo 11:Histograma de distancias recorridas vacío base de datos sin filtrar	96
Anexo 12:Histograma de velocidades lleno base de datos sin filtrar	96
Anexo 13:Histograma de tiempo de viaje lleno base de datos sin filtrar	96
Anexo 14:Histograma de distancia recorrida lleno base de datos sin filtrar	97
Anexo 15:Histograma de tiempos de carga base de datos filtrada	97
Anexo 16:Histograma de tiempos de cola en pala base de datos filtrada.....	98
Anexo 17:Histograma de tiempos de cola en descarga base de datos filtrada.	98
Anexo 18:Histograma de tiempos OPNP base de datos filtrada.	98
Anexo 19:Histograma de tiempos fijos base de datos filtrada.	99
Anexo 20:Histograma de velocidad vacío base de datos filtrada.	99
Anexo 21:Histograma de tiempos de viaje vacío base de datos filtrada.	99
Anexo 22:Histograma de distancias recorridas vacío base de datos filtrada.....	100
Anexo 23:Histograma de velocidad lleno base de datos filtrada.....	100
Anexo 24:Histograma de tiempos de viaje lleno base de datos filtrada.	100
Anexo 25: Histograma de distancias recorridas lleno base de datos filtrada.	101
Anexo 26: Tabla resumen de la estadística descriptiva de septiembre (1).....	101
Anexo 27:Tabla resumen de la estadística descriptiva de septiembre (2).....	101
Anexo 28: Tabla resumen de la estadística descriptiva de septiembre (3).....	102

Anexo 29: Tabla resumen de la estadística descriptiva de invierno (1)	102
Anexo 30: Tabla resumen de la estadística descriptiva de invierno (2)	102
Anexo 31: Tabla resumen de la estadística descriptiva de invierno (3)	103
Anexo 32: Características del algoritmo de puntaje Hill-Climbing mes de septiembre	103
Anexo 33: Grafo de algoritmo de puntaje Hill-Climbing mes de septiembre.....	104
Anexo 34: Características del algoritmo de puntaje Hill-Climbing invierno.....	104
Anexo 35: Grafo de algoritmo de puntaje Hill-Climbing invierno.	105
Anexo 36: Tendencia de tiempos de cola en Chancado. Elaboración propia.....	105
Anexo 37: Árbol de valor de la flota de transporte en el mes de julio variando distancias. ..	106