

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO 1	Introducción	1
1.1	Motivación del trabajo	2
1.1.1	Optimización del Proceso de descarga en Chancado	2
1.1.2	Optimización del Proceso de Abastecimiento de Combustible.....	3
1.2	Objetivos.....	4
1.2.1	Objetivo General.....	4
1.2.2	Objetivos Específicos	4
1.3	Alcances.....	4
CAPITULO 2	Antecedentes	5
2.1	Gestión del Tiempo.....	5
2.2	Ciclo de Transporte.....	6
2.3	Proceso de Chancado	7
2.4	Proceso de Abastecimiento de Combustible.....	8
2.5	Ingreso Monetario.....	8
2.6	Redes Neuronales	9
2.7	Consumo de combustible en los Camiones de Extracción	13
CAPITULO 3	Metodología	16
3.1	Etapas 1: Determinación de variables significativas.....	16
3.2	Etapas 2: Obtención de datos.	16
3.3	Etapas 3: Construcción de modelos de ANN y optimización.	17
3.4	Etapas 4: Entrenamiento de redes neuronales	17
3.5	Etapas 5: Simulación de escenarios.....	17
3.6	Etapas 6: Conclusiones y recomendaciones	17
CAPITULO 4	Obtención de Datos	18
CAPITULO 5	Resultados y análisis	21
5.1	Proceso de Chancado	21
5.1.1	Red Neuronal – Chancado.....	21
5.1.2	Proceso de optimización del Chancado	23
5.1.3	Simulaciones del Proceso de Chancado	24

5.1.4	Modelamiento.....	25
5.1.5	Tiempo de espera en Chancado	25
5.1.6	Resumen de resultados – Chancado	28
5.2	Proceso de Abastecimiento de Combustible.....	32
5.2.1	Red Neuronal – Abastecimiento de Combustible.....	32
5.2.2	Proceso de optimización del abastecimiento de combustible.....	33
5.2.3	Simulaciones del Proceso de Abastecimiento de Combustible	37
5.2.4	Modelamiento.....	38
5.2.5	Tiempo de espera en abastecimiento de combustible.....	39
5.2.6	Resumen de resultados – Abastecimiento de Combustible	41
CAPITULO 6 Conclusiones Y Recomendaciones		42
6.1	Conclusiones	42
6.2	Recomendaciones	43
CAPITULO 7 Bibliografía.....		45
CAPITULO 8 Anexos.....		46
8.1	Anexo A: Contexto Empresa	46
8.1.1	Visión	46
8.1.2	Misión.....	46
8.1.3	Sectores de Negocio	47
8.2	Anexo B: Curvas de probabilidad para los parámetros de entrada.....	50
8.2.1	Tiempo de aculatamiento.....	50
8.2.2	Tiempo de Carguío	52
8.2.3	Tiempo de Descarga	53
8.2.4	Tonelajes.....	55
8.2.5	Tiempos de Viajes	56
8.2.6	Tiempo excavación pala.	64
8.3	Anexo C: Histogramas para los resultados obtenidos	66
8.3.1	Optimización del Proceso de Chancado	66
8.3.2	Optimización del Proceso de Abastecimiento de Combustible.....	76
8.4	Anexo D: Resultados de simulaciones de chancado.....	78
8.5	Anexo E: Resultados de simulaciones de abastecimiento de combustible	79
8.6	Anexo F: Test de confiabilidad estadística	81

8.6.1 Chancado 81
8.6.2 Abastecimiento de Combustible..... 81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I: Valores típicos para resistencia al rodado (Fuente Soofastaei et al, 2016).....	13
Tabla II: Ejemplo conjunto de datos para entrenamiento - Red Chancado	19
Tabla III: Ejemplo conjunto de datos para entrenamiento de un CAEX - Red Consumo de Combustible.....	20
Tabla IV: Variación indicadores con respecto al caso base	27
Tabla V: Resultados Simulación - 40 CAEX	39
Tabla VI: Resultados Simulación – 60 CAEX	39
Tabla VII: Resultados Simulación - 80 CAEX	40
Tabla VIII: Resultados Simulación - 100 CAEX	40
Tabla IX: Ranking de empresas líderes en tecnología en minería.	49
Tabla X: Resumen Tiempo de Acuatamiento	51
Tabla XI: Resumen Tiempo de Carguío.....	53
Tabla XII: Resumen Tiempo de Descarga	54
Tabla XIII: Resumen Tonelajes.....	56
Tabla XIV: Resumen Tiempo de Viaje Cargado (Pala – Chancado).....	57
Tabla XV: Resumen Tiempo de Viaje Vacío (Pala – Chancado)	58
Tabla XVI: Resumen Tiempo de Viaje Cargado (Pala – Botadero)	60
Tabla XVII: Resumen Tiempo de Viaje Vacío (Pala – Botadero).....	61
Tabla XVIII: Resumen Tiempo de Viaje Cargado (Pala – Stockpile)	62
Tabla XIX: Resumen Tiempo de Viaje Vacío (Pala – Stockpile).....	64
Tabla XX: Resumen Tiempo de Excavación Pala.....	65
Tabla XXI: Resumen Resultados Simulaciones Proceso de Chancado	78
Tabla XXII: Datos para construcción de Gráfico Tonelaje e Ingreso por Mes.....	78
Tabla XXIII: Resultados abastecimiento de combustible - 40 CAEX	79
Tabla XXIV: Resultados abastecimiento de combustible - 60 CAEX.....	79
Tabla XXV: Resultados abastecimiento de combustible - 80 CAEX	79
Tabla XXVI: Resultados abastecimiento de combustible - 100 CAEX.....	79
Tabla XXVII: Datos para construcción de gráfica de resumen de resultados.....	80

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Precio del Cobre entre los años 2001 y 2016 (Fuente COCHILCO).	1
Ilustración 2: Camiones llegando al proceso de chancado.	2
Ilustración 3: Camiones con Fragmentación Fina, media y bolón, respectivamente.	2
Ilustración 4: Estación petrolera con fila de camiones (izquierda) y vacía (derecha).	3
Ilustración 5: GPS Equipos de Transporte.	3
Ilustración 6: Gestión del tiempo (Fuente Norma ASARCO).	5
Ilustración 7: Parámetros que componen las demoras (Fuente Norma ASARCO).	5
Ilustración 8: Ciclo de transporte (Fuente J. Gómez, 2011).	6
Ilustración 9: Posiciones 1 y 2 para descarga (Fuente W. Ayala, 2014).	7
Ilustración 10: Procesos General de Abastecimiento de Combustible.	8
Ilustración 11: Arquitectura tipo de red neuronal (Fuente Cardinal, 2016)	9
Ilustración 12: Red Neuronal – Aprendizaje Supervisado (Fuente Krose et al, 1996).	10
Ilustración 13: Red Neuronal – Aprendizaje No Supervisado (Fuente Krose et al, 1996).	10
Ilustración 14: Red Neuronal – Aprendizaje por Refuerzo (Fuente Krose et al, 1996).	10
Ilustración 15: Error asociado al número de muestras (Fuente Krose et al, 1996).	11
Ilustración 16: Error asociado al número de capas intermedias (Fuente Krose et al, 1996).	11
Ilustración 17: Red Auto-Organizada ART (Fuente Krose et al, 1996).	12
Ilustración 18: Resistencia a la pendiente (Fuente Soofastaei et al, 2016).	14
Ilustración 19: Estimación red vs consumo real (Fuente Soofastaei et al, 2016).	14
Ilustración 20: Parámetros clave para el consumo de combustible (Fuente Soofastaei et al, 2016).	15
Ilustración 21: Etapas de la Metodología	16
Ilustración 22: Arquitectura Red Neuronal Chancado.	22
Ilustración 23: Etapas del proceso general de optimización del Chancado.	23
Ilustración 24: Modelo de Ordenamiento y Geocerca.	24
Ilustración 25: Modelo Conceptual - Chancado.	25
Ilustración 26: Espera Promedio en Chancado - Caso 5 y 6 CAEX.	25
Ilustración 27: Espera Promedio en Chancado - Caso 7 y 8 CAEX.	26
Ilustración 28: Espera Promedio en Chancado - Caso 9 y 10 CAEX.	26
Ilustración 29: Espera Promedio en Chancado - Caso 11 y 12 CAEX.	26
Ilustración 30: Espera Promedio en Chancado - Caso 13 y 14 CAEX.	26
Ilustración 31: Variación indicadores con respecto al caso base	27
Ilustración 32: Resumen de Resultados – Chancado.	29
Ilustración 33: Toneladas e Ingresos adicionales por mes – Chancado.	29
Ilustración 34: Ganancia porcentual respecto al caso base.	30
Ilustración 35: Caso 1 – Circuito de Chancado No Saturado.	30
Ilustración 36: Caso 2 – Circuito de Chancado Saturado.	31
Ilustración 37: Caso 3 – Circuito de Chancado Sobresaturado.	31
Ilustración 38: Arquitectura Red Neuronal Abastecimiento de Combustible.	33
Ilustración 39: Trayectos entre orígenes (izquierda), destinos (centro) y petroleras (derecha). ...	34
Ilustración 40: Caso 1 de asignación dinámica – Abastecimiento de Combustible.	35
Ilustración 41: Caso 2 de asignación dinámica – Abastecimiento de Combustible.	36
Ilustración 42: Caso 3 de asignación dinámica – Abastecimiento de Combustible.	37
Ilustración 43: Modelo Conceptual - Abastecimiento de Combustible Parte 1	38
Ilustración 44: Modelo Conceptual - Abastecimiento de Combustible Parte 2.	39
Ilustración 45: Resumen Resultados – Abastecimiento de Combustible	41

Ilustración 46: Principales enfoques de Hexagon.....	46
Ilustración 47: Sectores de Negocios – Hexagon (Fuente: Presentación Corporativa).....	47
Ilustración 48: Ventas y márgenes anuales de Hexagon (Fuente: Presentación Corporativa).	48
Ilustración 49: Ingresos por área de negocio - Hexagon (Fuente: Presentación Corporativa).	48
Ilustración 50: Histograma de datos - Tiempo de Acumulamiento	51
Ilustración 51: Gráfica de probabilidad de Tiempo de Acumulamiento	51
Ilustración 52: Histograma de datos - Tiempo de Carguío.....	52
Ilustración 53: Gráfica de probabilidad - Tiempo de Carguío.....	53
Ilustración 54: Histograma de datos - Tiempo de Descarga.....	54
Ilustración 55: Gráfica de probabilidad - Tiempo de Descarga.....	54
Ilustración 56: Histograma de datos – Tonelajes.....	55
Ilustración 57: Gráfica de probabilidad - Tonelajes	55
Ilustración 58: Histograma de datos - Tiempo de Viaje Cargado (Pala - Chancado)	56
Ilustración 59: Gráfica de probabilidad - Tiempo de Viaje Cargado (Pala - Chancado)	57
Ilustración 60: Histograma de datos - Tiempo de Viaje Vacío (Pala - Chancado)	58
Ilustración 61: Gráfica de probabilidad - Tiempo de Viaje Vacío (Pala - Chancado)	58
Ilustración 62: Histograma de datos - Tiempo de Viaje Cargado (Pala - Botadero).....	59
Ilustración 63: Gráfica de probabilidad - Tiempo de Viaje Cargado (Pala - Botadero).....	59
Ilustración 64: Histograma de datos - Tiempo de Viaje Vacío (Pala – Botadero)	60
Ilustración 65: Gráfica de probabilidad - Tiempo de Viaje Vacío (Pala – Botadero)	61
Ilustración 66: Histograma de datos - Tiempo de Viaje Cargado (Pala – Stockpile).....	62
Ilustración 67: Gráfica de datos - Tiempo de Viaje Cargado (Pala – Stockpile)	62
Ilustración 68: Histograma de datos - Tiempo de Viaje Vacío (Pala – Stockpile).....	63
Ilustración 69: Gráfica de probabilidad - Tiempo de Viaje Vacío (Pala – Stockpile).....	63
Ilustración 70: Histograma de datos - Tiempo de Excavación Pala	64
Ilustración 71: Gráfica de probabilidad - Tiempo de Excavación Pala.....	65
Ilustración 72: Espera total en Chancado - Caso 5 CAEX.....	66
Ilustración 73: Espera total en Chancado - Caso 6 CAEX.....	66
Ilustración 74: Espera total en Chancado - Caso 7 CAEX.....	67
Ilustración 75: Espera total en Chancado - Caso 8 CAEX.....	67
Ilustración 76: Espera total en Chancado - Caso 9 CAEX.....	67
Ilustración 77: Espera total en Chancado - Caso 10 CAEX.....	68
Ilustración 78: Espera total en Chancado - Caso 11 CAEX.....	68
Ilustración 79: Espera total en Chancado - Caso 12 CAEX.....	68
Ilustración 80: Espera total en Chancado - Caso 13 CAEX.....	69
Ilustración 81: Espera total en Chancado - Caso 14 CAEX.....	69
Ilustración 82: Utilización de los CAEX - Caso 5 CAEX.....	69
Ilustración 83: Utilización de los CAEX - Caso 6 CAEX.....	70
Ilustración 84: Utilización de los CAEX - Caso 7 CAEX.....	70
Ilustración 85: Utilización de los CAEX - Caso 8 CAEX.....	70
Ilustración 86: Utilización de los CAEX - Caso 9 CAEX.....	71
Ilustración 87: Utilización de los CAEX - Caso 10 CAEX.....	71
Ilustración 88: Utilización de los CAEX - Caso 11 CAEX.....	71
Ilustración 89: Utilización de los CAEX - Caso 12 CAEX.....	72
Ilustración 90: Utilización de los CAEX - Caso 13 CAEX.....	72
Ilustración 91: Utilización de los CAEX - Caso 14 CAEX.....	72
Ilustración 92: Tonelaje Procesado - Caso 5 CAEX	73
Ilustración 93: Tonelaje Procesado - Caso 6 CAEX	73

Ilustración 94: Tonelaje Procesado - Caso 7 CAEX	73
Ilustración 95: Tonelaje Procesado - Caso 8 CAEX	74
Ilustración 96: Tonelaje Procesado - Caso 9 CAEX	74
Ilustración 97: Tonelaje Procesado - Caso 10 CAEX	74
Ilustración 98: Tonelaje Procesado - Caso 11 CAEX	75
Ilustración 99: Tonelaje Procesado - Caso 12 CAEX	75
Ilustración 100: Tonelaje Procesado - Caso 13 CAEX	75
Ilustración 101: Tonelaje Procesado - Caso 14 CAEX	76
Ilustración 102: Espera Promedio en Petrolera	76
Ilustración 103: Litros promedio por carga en petrolera	77
Ilustración 104: Confiabilidad de Datos Chancado	81
Ilustración 105: Confiabilidad de Datos Abastecimiento de Cobustible.....	81