



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

ESCUELA DE POSTGRADO Y ESTUDIOS CONTINUOS

LA GESTIÓN DE LA DEMORA EN EL
ABASTECIMIENTO DE COMBUSTIBLE Y SU
INFLUENCIA EN LA PRODUCTIVIDAD DE
EQUIPOS DE ACARREO EN UNA EMPRESA
MINERA DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA

Tesis para optar el grado de **MAESTRO** en:

INGENIERÍA DE SISTEMAS CON MENCIÓN EN GERENCIA
DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN

Autor:

Samuel Mestanza Alcantara

Asesora:

Dra. Ena Cecilia Obando Peralta

Cajamarca – Perú

2021

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo determinar la influencia de la gestión de las demoras en el abastecimiento de combustible en la productividad de los equipos de acarreo en una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, 2019.

La población y muestra de estudio lo conforman los 35 equipos de acarreo marca Caterpillar de la empresa minera de la ciudad de Cajamarca, la técnica utilizada, es el análisis de datos de la información registrada por el sistema de gestión de flotas de la empresa minera.

El estudio se apoya en el enfoque cuantitativo, de diseño experimental para un tipo de investigación aplicada utilizando el método de deductivo-inductivo de los datos registrados por el sistema de gestión de flotas, los datos se analizan de forma transversal. Se utilizó el Software **R**, a través de las pruebas de hipótesis del coeficiente de correlación r y estimador poblacional ρ de Pearson y Spearman, se obtuvo para $r = -0.37$ y $p = 3.51e - 09$ para método de Pearson, $r = -0.36$ y $p = 1.022e - 08$ para método de Spearman respectivamente, demostrando así que existe una moderada correlación negativa entre las variables en estudio.

Se concluyó, que la gestión de las demoras en el abastecimiento de combustible influye significativamente en la productividad de los equipos de acarreo en una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, 2019.

PALABRAS CLAVES: productividad, demoras operativas, acarreo, FMS, Leica, Hexagon, VIMS, abastecimiento de combustible, programación lineal.

Abstract

This research aims to determine the influence of the management of fuel supply delays on the productivity of haulage equipment in a mining company in the city of Cajamarca, 2019.

The population and sample of the study is made up of 35 Caterpillar hauling equipment of the mining company in the city of Cajamarca, the technique used is the data analysis of the information recorded by the fleet management system of the mining company.

The study is based on the qualitative approach, experimental design for a type of applied research using the method of deductive-inductive of the data recorded by the fleet management system, the data is analyzed cross-sectionally, Software **R** was used, through the hypothesis testing of the correlation coefficient **r** and population estimator **p** of Pearson and Spearman was obtained for $r = -0.37$ and $p = 3.51e - 09$ for Pearson's method, $r = -0.36$ and $p = 1.022e - 08$ for Spearman's method respectively showing that there is a moderate negative correlation between the study variables.

It was concluded that the management of fuel supply delays significantly influences the productivity of haulage equipment in a mining company in the city of Cajamarca, 2019.

KEY WORDS: productivity, operational delays, haulage, FMS, Leica, Hexagon, VIMS, fuelling, linear scheduling

Tabla de contenidos

I.	INTRODUCCIÓN.....	9
I.1.	Realidad problemática.....	9
I.2.	Pregunta de investigación:	19
I.3.	Objetivos de la investigación:	19
I.4.	Justificación de la investigación:	19
I.5.	Alcance de la investigación:	20
II.	MARCO TEÓRICO	21
II.1.	Antecedentes.....	21
A.	Internacionales:	21
B.	Nacionales:	22
C.	Locales:	22
II.2.	Bases teóricas.....	23
A.	Ciclo de transporte:.....	23
B.	Ciclo de actividad de acarreo sistema de gestión de flotas:	24
C.	Actividad de abastecimiento de combustible:	25
A.	Sistema de Información Vital (VIMS):.....	26
B.	Gestión del tiempo:.....	26
C.	Productividad de acarreo:.....	27
C.1.	Toneladas por hora:.....	28
D.	Sistema de gestión de flotas:	28
E.	Sistema de Posicionamiento Global:.....	30
E.1.	Segmento espacial:	30
E.2.	Segmento de control:.....	30
E.3.	Segmento del usuario:.....	30
F.	Investigación de operaciones:	30
G.	Optimización de rutas:	31
H.	El problema del transporte:	32
I.	Framework:	32
J.	OP Pro Optimizer:.....	32
J.1.	Capa de programación lineal:.....	33
J.2.	Restricciones de continuidad:.....	36
J.3.	Análisis de Capa de Programación Lineal:	38
J.4.	Recalculo de PL (Programación Lineal):	43
J.5.	Cálculo de PL por eventos:	43
J.6.	Capa de asignaciones:	44
K.	Reasignaciones:	53

I.2. Definición de términos básicos:.....	54
III. HIPÓTESIS.....	56
III.1. Declaración de Hipótesis.....	56
A. Hipótesis general:.....	56
A.1. Variables:.....	56
B. Hipótesis específicas:.....	56
III.2. Operacionalización de variables.....	57
III.3. Propuesta de solución:.....	58
Objetivo:.....	58
Acciones:.....	58
A. Análisis de asignaciones por nivel de combustible:.....	58
A.1. Asignaciones críticas a grifo:.....	59
A.2. Asignación óptima a grifo:.....	60
A.3. Asignaciones no críticas:.....	62
B. Requerimientos para implementación de la solución:.....	62
C. Diseño de la solución.....	63
C.1. Configuraciones físicas.....	64
C.2. Configuración de sensor de combustible.....	66
C.3. Configurar consumo de combustible.....	69
C.4. Pruebas asignación dinámica de abastecimiento de combustible.....	70
IV. DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS Y ANÁLISIS.....	73
IV.1. Diseño de la Investigación:.....	73
IV.2. Unidad de Análisis:.....	73
IV.3. Población:.....	73
IV.4. Muestra:.....	73
IV.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	74
IV.6. Métodos y procedimientos de análisis de datos.....	74
V. RESULTADOS.....	76
Resultado N° 01. Prueba de hipótesis:.....	76
Resultado N° 02.....	78
Variable: Gestión de la demora abastecimiento de combustible en Camiones.....	78
Resultado N° 03 Variable: Productividad de acarreo.....	79
VI. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	82
VII. RECOMENDACIONES:.....	84
Lista de Referencias.....	85
Anexos:.....	88

Índice de tablas y figuras

Figura 1. Evolución Anual de las Inversiones Mineras, (Minem, 2020)	9
Figura 2. PBI Minería Metálica, (Minem, 2020).....	10
Figura 3. Valor de Exportaciones 2019, (Minem, 2020)	10
Figura 4. Estructura de la Producción de Oro por Empresas (Minem, 2020)	11
Figura 5. Estructura de la Producción de Cobre por Empresas, (Minem, 2020)	11
Figura 6. Distribución de Costo por Actividades (Bahamóndez, 2017)	12
Figura 7. Demoras Operativas, Mina Sierra Gorda 2018 (Pacheco, 2018).	13
Figura 8. Demoras Operativas, Mina Radomiro Tomic 2018 (Minera Codelco, 2019).	13
Figura 9. Demoras Operativas, División Ministro Hales 2018 (Minera Codelco, 2019).	14
Figura 10. Demoras Operativas, Mina Chuquicamata 2018 (Minera Codelco, 2019).	14
Figura 11. Proceso actual de abastecimiento de combustible. (Fuente propia)	16
Figura 12. Ciclo de Transporte (elaboración propia).....	23
Figura 13. Ciclo de acarreo (HEXAGON, 2017)	24
Figura 14. Actividad de abastecimiento de combustible (Elaboración propia).	26
Figura 15. Escala de tiempos según norma ASARCO (Bonzi, 2016).	27
Figura 16. Arquitectura HxGN MineOperate OP Pro Manager (HEXAGON, 2019)	29
Figura 17. Módulos de OP Pro Optimizer (HEXAGON, 2019).....	33
Figura 18. Restricciones de OP Pro Optimizer (HEXAGON, 2019).....	34
Figura 19. Ciclo Tradicional (HEXAGON, 2019)	35
Figura 20. Ciclo Optimizado (HEXAGON, 2019)	36
Figura 21. Crear Nodos, programación lineal (HEXAGON, 2019).	40
Figura 22. Recalculo de PL (HEXAGON, 2019).	44
Figura 23. Asignación de Camión (HEXAGON, 2019).....	46
Figura 24. Pala más necesitada (HEXAGON, 2019)	47
Figura 25. Factor de Prioridad de Pala (HEXAGON, 2019).....	47
Figura 26. Ruta más necesitada (HEXAGON, 2019).....	48
Figura 27. Menor costo de ruta (HEXAGON, 2019).....	49
Figura 28. Capa de asignaciones (Descargas) (HEXAGON, 2019)	51
Figura 29. Reasignaciones: Cálculo del mejor costo (HEXAGON, 2019)	52
Figura 30. Asignaciones Críticas a Grifo (Fuente Propia).....	60
Figura 31. Asignación Óptima a Grifo (Fuente propia)	62
Figura 32. Computadora a Bordo del Sistema FMS (HEXAGON, 2016).....	64
Figura 33. Conector Militar 10PX - Conexión HUP UHP	64
Figura 34. Cable Conexión VIM	65
Figura 35. Computadora abordó FMS - HUB UHP	65
Figura 36. Conexión computadora abordó camión (VIMS).....	65
Figura 37. Creación de sensor Fuel Gauge (fuente JMnieops)	66
Figura 38. Configura nuevo sensor de combustible (fuente OP Pro Manager)	67
Figura 39. Vista configuración de Sensores (fuente OP Pro Manager).....	67
Figura 40. Validación conexión VIMS (Fuente OP Pro Manager)	67
Figura 41. Vims Debug (Fuente OP Pro Manager).....	68
Figura 42. Lectura de combustible VIMS (Fuente OP Pro Manager)	69
Figura 43. Vista Consumo de Combustible (Fuente OP Pro Manager).....	69
Figura 44. Validación asignación automática a grifo. (Fuente: OP Pro Manager).....	70
Figura 45. Panel de equipo asignado a Grifo (Fuente: OP Pro Manager).....	71
Figura 46. Llegada a grifo de equipo asignado (Fuente: OP Pro Manager)	71
Figura 47. Validación tiempo de abastecimiento de combustible.	72
Figura 48. Análisis de correlación de Pearson.....	76
Figura 49. Resultado coeficiente de correlación de Pearson.	76

Figura 50. Análisis de correlación de Spearman.	77
Figura 51. Resultado coeficiente de correlación de Spearman.	77
Figura 52. Promedio de tiempos de abastecimiento de combustible equipos de acarreo.	78
Figura 53. Total, Toneladas Nominales.	79
Figura 54. Total Tiempo operativo.	79
Figura 55. Productividad Horaria.....	80
Figura 56. Coeficiente de correlación de Pearson entre indicadores.	81
Figura 57. Mapa de calor coeficiente de correlación de Pearson entre indicadores.	81
Figura 58. Arquitectura FMS OP Pro Manager (HEXAGON, 2019).	89
Figura 59. Certificado gestión de la calidad ISO9001 (HEXAGON, 2019).	94
Figura 60. Virtual Serial Port (Fuente propia).	95
Figura 61. Configurar puerto serial en VirtualBox (fuente propia).	96
Figura 62. Simulador VIMS (fuente propia).....	97
Tabla 1. Formulación del problema (Elaboración propia)	18
Tabla 2 Actividades del ciclo de acarreo OP Pro Manager (HEXAGON, 2017)	25
Tabla 3. Factores de prioridad de Pala (HEXAGON, 2019)	48
Tabla 4. Matriz de Operacionalización de variables	57
Tabla 5. Matriz de Consistencia.	101
Fórmula 1. La productividad y sus componentes (Pulido, 2014)	28
Fórmula 2. Productividad horaria (Marín C. , 2015).....	28
Fórmula 3. Tonelaje nominal (Marín C. , 2015)	28
Fórmula 4. Costo de asignación (HEXAGON, 2019)	61

NOTA DE ACCESO:

No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales.

Lista de Referencias

- Minera Codelco. (2019). *Reporte JView, Demoras operativas*. Calama: CODELCO - Corporación Nacional del Cobre , Chile.
- Bahamóndez, M. (2017). *IMPLEMENTACIÓN SISTEMA DE GESTION PARA REDUCCIÓN DE COSTOS OPTIMIZANDO EL DESEMPEÑO POR COMPONENTE EN EQUIPOS MINEROS*. SANTIAGO DE CHILE.
- Bonzi, J. (2016). *PROPUESTAS DE MEJORA DE LA UTILIZACIÓN EFECTIVA EN BASE A DISPONIBILIDAD DE LA FLOTA DE CARGUÍO Y TRANSPORTE EN MINERA LOS PELAMBRES*. SANTIAGO DE CHILE: UNIVERSIDAD DE CHILE.
- Bustamante, J. (2018). *Optimización de la productividad de los equipos de carguío y acarreo en GOLD FIELDS LA CIMA S.A mediante la disminución de las demoras operativas más significativas*. Cajamarca: UNIVERSIDAD NACIONAL CAJAMARCA.
- Cáceda, O. (2020). *Funciones del abastecimiento, inventarios y control de calidad de combustible en la empresa Repsol-operaciones mineras Yanacocha - Cajamarca, Trujillo 2020*. Trujillo.
- Campos, D. J., Chipana, M. R., Espinoza, C. B., Flores, D. J., & Hualan, Y. J. (2018). *OPTIMIZED DESIGN OF CARGO AND CARRYING SYSTEM IN UNDERGROUND MINING*.
- Caterpillar Inc. (2009). *MANUAL DE RENDIMIENTO CATERPILLAR*. Peoria, Illinois, EE.UU: Caterpillar Inc.
- Champi, M. (2015). *REDUCCIÓN DE LAS DEMORAS OPERATIVAS Y OPTIMIZACIÓN DE TIEMPOS POR ABASTECIMIENTO DE COMBUSTIBLE CON EL SISTEMA VR -300 GPM. EN LOS VOLQUETES DE MINA -UNIDAD OPERATIVA CUAJONE*. Arequipa.
- Gonzalez, G. (2016). *optimización de las horas operativas de los CAEX en los procesos de descarga en chancado y abastecimiento de combustible, mediante la utilización de modelamientos compuestos y redes neuronales*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Gutiérrez, J. (2019). *¿Qué es un framework web?* España.
- Hewlett Packard Enterprise Development LP. (23 de Mayo de 2019). *Hewlett Packard Enterprise* . Obtenido de Hewlett Packard Enterprise : <https://www.hpe.com/es/es/what-is/oem.html>
- HEXAGON. (2016, 11 01). *JTruck User Reference Manual Software v2.07*. Tucson, Arizona, EEUU.
- HEXAGON. (01 de 01 de 2017). *OP Pro Manager User Reference Manual Software v2.07*. Tucson, Arizona, EEUU.
- HEXAGON. (03 de 05 de 2019). <https://confluence.hexagonmining.com>. Obtenido de <https://confluence.hexagonmining.com/display/Vikings/VIMS+Simulator>
- HEXAGON. (01 de 06 de 2019). <https://hexagonmining.com>. Obtenido de <https://hexagonmining.com>: <https://hexagonmining.com/company/governance>
- HEXAGON. (2019, Enero 2019). *OP Pro Optimizer Training Manual*. Tucson, Arizona, EE:UU.

- HEXAGON. (23 de Mayo de 2019). SISTEMA GESTION DE FLOTAS. Tucson, Arizona, EE. UU.: Leica Geosystems Mining.
- Izquierdo, G., & Rojas, V. (2016). *OPTIMIZACIÓN DEL BLENDING DE MINERALES EN EL PAD DE LIXIVIACIÓN DE LA MINA LAGUNAS NORTE USANDO PARÁMETROS DE LEY Y RECUPERACIÓN APLICANDO LINGO (LINEAR GENERAL OPTIMIZER SOFTWARE)*. Cajamarca.
- Marín, C. (2015). *Incremento de la productividad en el carguío y acarreo en frentes que presentan altos contenidos de arcillas al utilizar un diseño de lastre adecuado, Minera Yanacocha, Perú, 2015*. Cajamarca.
- Marín, L., & Meléndez, S. (2017). *UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE TRANSPORTE URBANO EN EL ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA CON VRPTW MEDIANTE UN ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN POR ENJAMBRE DE PARTÍCULAS EVOLUTIVO*. BUCARAMANGA.
- Maruri, D. (2016). *Productividad en el ciclo de carguío y acarreo en el tajo Ferrobamba – Las Bambas 2015*. Abancay: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.
- Michelin. (23 de Mayo de 2019). <https://www.michelinearthmover.com>. Obtenido de <https://www.michelinearthmover.com>: https://www.michelinearthmover.com/m_esl_mx/Bienvenido/Llantas/Consejos-Michelin/Recomendaciones-Generales
- Minem. (2020). *Boletín Estadístico Minero, Edición Nro 03-2020*. Dirección de Promoción Minera, MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS.
- MINERA YANACOCHA. (2019). *MODULO CARGUIO DE CARGUIO Y ACARREO*. CAJAMARCA.
- minmineria.cl. (01 de Enero de 2017). www.minmineria.cl. Obtenido de www.minmineria.cl: <https://www.minmineria.cl/glosario-minero-l/ley-de-mineral/>
- minmineria.gob.cl. (01 de Enero de 2017). minmineria.gob.cl. Obtenido de minmineria.gob.cl: <https://minmineria.gob.cl/glosario-minero-l/lixiviacion/>
- Pacheco, J. (2018). *CONTROL DE PÉRDIDAS OPERACIONALES POR CAMBIO DE TURNO EN COMPAÑÍA MINERA SIERRA GORDA SCM*.
- Prada, G., & Paredes, W. (2017). *DISEÑO DE OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE TRANSPORTE TSP Y PLAN DE ACCIÓN PARA INCREMENTAR LA RENTABILIDAD DE PERÚ GLP S.A.C. TRUJILLO*. Trujillo.
- Pulido, H. G. (2014). *Calidad y productividad*. México: McGraw Hill Education.
- Renjifo, M. (2017). *CARACTERIZACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO PRIMARIA DEL SECTOR MINERO AURÍFERO EN LA REGIÓN CENTRO DE COLOMBIA Y DISEÑO DE UNA PROPUESTA PARA LA MEJORA DE SU GESTIÓN*. IBAGUÉ.
- Romero, J. (28 de Febrero de 2019). *Gestión del Abastecimiento de Combustible - OP Pro Manager*. (S. M. A., Entrevistador)
- Rumbo Minero. (23 de Agosto de 2017). www.rumbominero.com. Obtenido de www.rumbominero.com: <https://www.rumbominero.com/revista/informes/pads-de-lixiviacion-cuando-la-mineria-y-la-ingenieria-se-unen/>

- Rumbo Minero. (11 de 04 de 2018). *www.rumbominero.com*. Obtenido de <http://www.rumbominero.com/noticias/mineria/cerro-verde-antamina-y-las-bambas-dentro-del-top-10-de-las-minas-de-cobre-mas-grandes-del-mundo/>
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. d. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: McGRAW-HILL.
- Wilhelm, S. (2003). *MEJORAMIENTO DE LA GESTIÓN DE CARGA VIVA EN ACOPIO LOS COLORADOS, MINERA ESCONDIDA LTDA*. SANTIAGO DE CHILE.
- www.gps.gov. (06 de Octubre de 2019). <https://www.gps.gov>. Obtenido de <https://www.gps.gov:https://www.gps.gov/systems/gps/spanish.php>
- Yarihuamán, W. (2019). *UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS ESCUELA PROFESIONAL DE MATEMÁTICAS GRAFOS Y ÁRBOLES PARA EL PROBLEMA DE TRANSPORTE EN REDES DE DISTRIBUCIÓN*. Callao.