



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

Dedicatoria y agradecimiento

Dedicatoria

A Dios, por darme todas las oportunidades de seguir creciendo como persona y profesionalmente.

A Isabel mi querida esposa, por su tiempo y paciencia en esta travesía.

A Briana y Valeria, mis hijas, por el tiempo que les robé para cumplir mis objetivos, siendo ellas el motor de todo lo que hago.

A mis padres María Jesús y Segundo por su guía y consejo durante mi vida.

Agradecimiento

A mi asesora Dra. Ena Cecilia Obando Peralta, por su guía y consejos en la presente investigación.

A Hexagon por brindarme las facilidades y apoyo con la información

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.	83
VII. RECOMENDACIONES:.....	85
Lista de Referencias.....	86
Anexos:.....	89

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 Criticas 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 abordo FMS - HUB UHP	65
Figura 36. Conexión computadora abordo 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).	90
Figura 59. Certificado gestión de la calidad ISO9001 (HEXAGON, 2019).	95
Figura 60. Virtual Serial Port (Fuente propia).	96
Figura 61. Configurar puerto serial en VirtualBox (fuente propia).	97
Figura 62. Simulador VIMS (fuente propia).....	98
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

I. INTRODUCCIÓN

I.1. Realidad problemática

Los minerales han jugado un papel fundamental en el desarrollo económico social del mundo en general, en la actualidad, es difícil identificar actividades sin la presencia y el beneficio de la transformación de productos derivados de algún tipo de actividad minera. (Renjifo, 2017).

Esto ha llevado a las compañías mineras a invertir en nuestro país un 24% más durante el año 2019 en comparación con el año anterior (Minem, 2020). En este contexto, aparecen interrogantes acerca de la minería en el Perú y su impacto económico, ambiental y social en el país y las regiones donde se desarrolla.



Figura 1. Evolución Anual de las Inversiones Mineras, (Minem, 2020)

Las inversiones de los últimos años, han transformado la economía de nuestro país, consiguiendo que las exportaciones de minería metálica muestren un 3% de crecimiento en el PBI en el período de enero a febrero del año 2020, en relación con el mismo período del año 2019 (Minem, 2020).

Producto Bruto Interno
(Var. % respecto a similar período del año anterior)

Sector	2019	2020	
	Feb	Feb	Ene-Feb
1. Agropecuario	4.9	3.5	3.6
2. Pesca	-19.1	19.3	-13.1
3. Minería e hidrocarburos	-0.6	4.2	3.8
Minería metálica	-5.8	3.3	3.0
4. Manufactura primaria	-9.4	24.2	12.6
5. Manufactura no primaria	1.3	-0.2	0.1
6. Electricidad y agua	5.7	5.0	3.3
7. Construcción	0.8	5.1	5.2
8. Comercio	1.8	2.5	2.6
9. Total servicios*	3.7	3.5	3.5
PBI GLOBAL	2.2	3.8	3.4

Figura 2. PBI Minería Metálica, (Minem, 2020)

Este crecimiento en el PBI antes indicado, ha posicionado a la actividad minero-metálica como una de las que más contribuye favorablemente a la balanza comercial del Perú, así como la mayor fuente de divisas. (Minem, 2020).

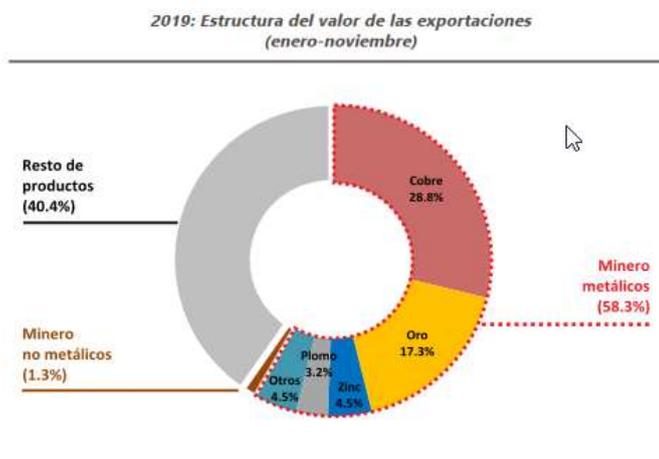


Figura 3. Valor de Exportaciones 2019, (Minem, 2020)

Las principales exportaciones de minerales metálicos son cobre y oro, utilizan para su extracción la modalidad de cielo abierto (Rumbo Minero, 2018), siendo las principales empresas productoras Yanacocha y Ponderosa en oro (Figura 4); Cerro Verde, Antamina, Southern y la Bambas en cobre (Figura 5).

Estructura de la producción de oro por empresas, enero - diciembre 2019

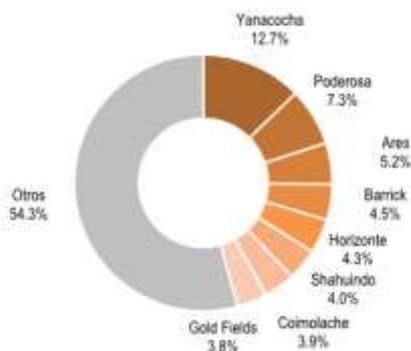


Figura 4. Estructura de la Producción de Oro por Empresas (Minem, 2020)

Estructura de la producción de cobre por empresas, enero - diciembre 2019

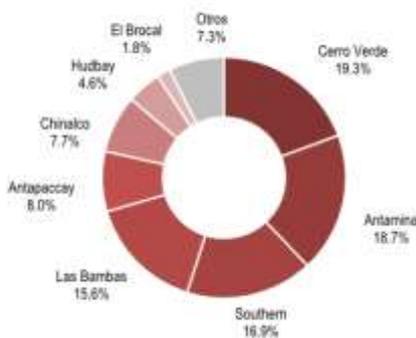


Figura 5. Estructura de la Producción de Cobre por Empresas, (Minem, 2020)

En el proceso de extracción de minerales en la modalidad de cielo abierto, las actividades principales son la fragmentación de material conocido como mineral, el carguío y transporte, el chancado y el procesamiento de éste material; de las actividades mencionadas, el carguío y acarreo (transporte de material) requiere mayor cantidad de recursos en base a la dimensión y diseño del proyecto minero (Bahamóndez, 2017). La actividad de carguío y acarreo (transporte de material) tiene un valor intrínseco para el negocio debido a que un aumento en el material movido, implica que exista una mayor cantidad de mineral disponible para ser procesado, lo que se ve reflejado en un incremento monetario sin requerir alguna inversión adicional en la actividad.

Costos por Operación Unitaria en la GOM

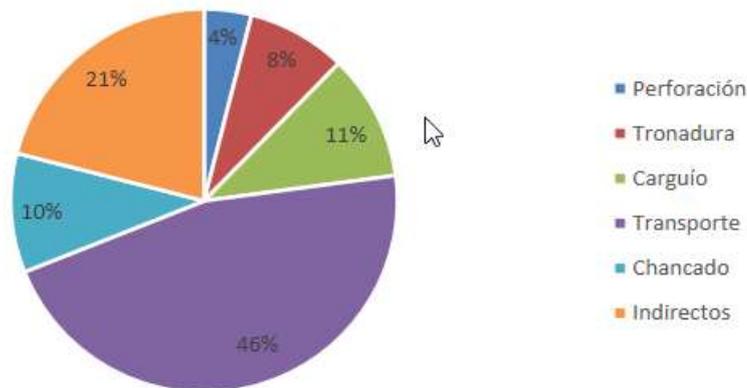


Figura 6. Distribución de Costo por Actividades (Bahamóndez, 2017)

Esto no significa que durante la actividad de carguío y acarreo (transporte de material) pudiesen presentarse complicaciones o esté libre de inconvenientes, los cuales pueden llegar a ser bastante comunes como una mala fragmentación del material, fallas de los equipos y tiempos de espera significativos (demoras), tanto al recibir el material o al entregarlo en su destino final, éstos inconvenientes reflejan que en la actividad de carguío y acarreo (transporte de material) exista una menor cantidad de mineral procesado lo que incide directamente en la disminución de ingresos.

El impacto para implementar mejoras en la actividad de carguío y acarreo (transporte de material) ha llevado a la realización de numerosos estudios y tesis buscando optimizar su ejecución, pero principalmente enfocados en mejorar el tiempo operativo al reducir los tiempos muertos de los equipos involucrados, con el objetivo de aumentar el tonelaje de mineral procesado.

El abastecimiento de combustible es una actividad necesaria para los equipos de extracción que obliga a detener al equipo por un determinado tiempo, este escenario suma tiempos muertos en la actividad de carguío y acarreo (transporte de material), además ocasiona que las estaciones de abastecimiento de combustible no estén disponibles para otros equipos los que deben esperar, estos tiempos muertos en espera de abastecimiento de combustible generan pérdidas las cuales se ven reflejadas en material no transportado.

La actividad de abastecimiento de combustible se encuentra en el top 5 de horas acumuladas durante el año 2018, como podemos apreciar en las estadísticas de tiempos sobre demoras operativas realizados durante este periodo en diferentes operaciones mineras, cuyo modelo de extracción es a cielo abierto; para mencionar algunas Mina Sierra Gorda, Chile 5,258 horas. Demoras Operativas, Mina Sierra Gorda 2018 (Figura 7), Mina

Radomiro Tomic, Chile 15,941 horas (Figura 8), Mina División Ministro Hales, Chile 4,232 horas (Figura 9) y Mina Chuquicamata, Chile 8,854 horas (Figura 10).

La información antes mencionada, presenta una evidente oportunidad de mejora referente a la demora de abastecimiento de combustible, para lo cual la presente investigación, pretende contribuir.

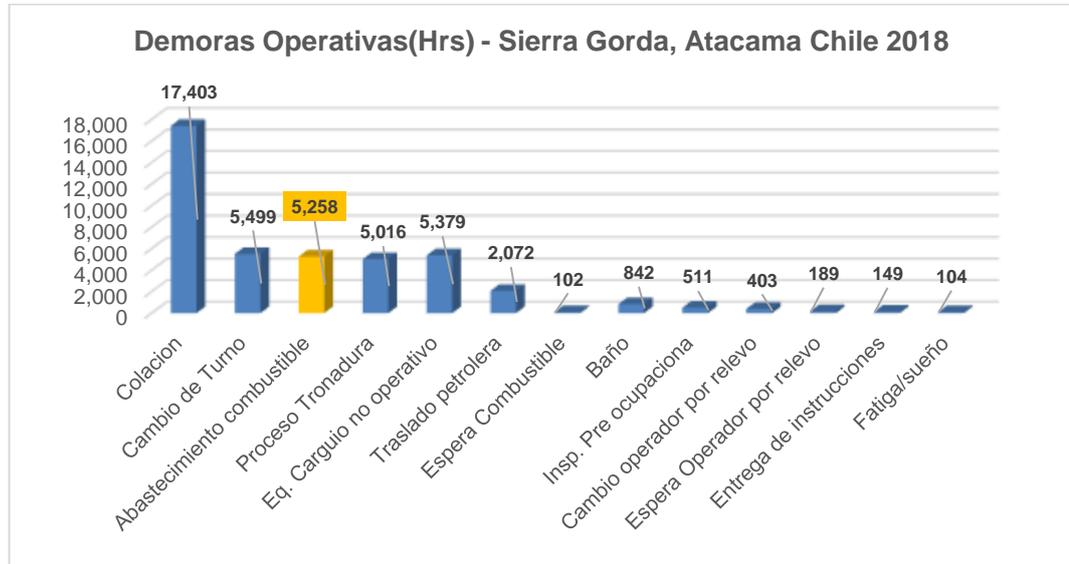


Figura 7. Demoras Operativas, Mina Sierra Gorda 2018 (Pacheco, 2018).

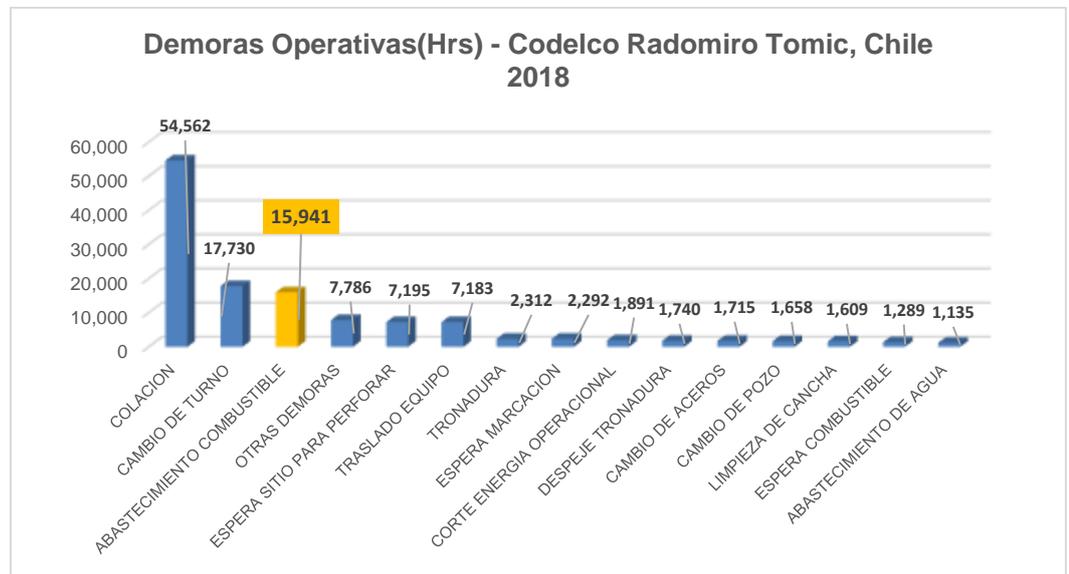


Figura 8. Demoras Operativas, Mina Radomiro Tomic 2018 (Minera Codelco, 2019).



Figura 9. Demoras Operativas, División Ministro Hales 2018 (Minera Codelco, 2019).

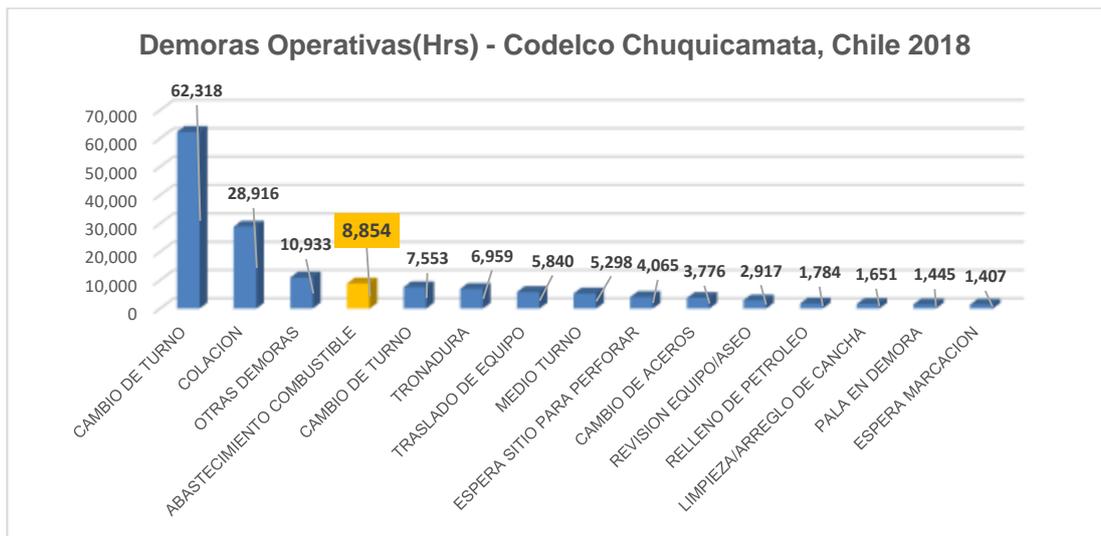


Figura 10. Demoras Operativas, Mina Chuquicamata 2018 (Minera Codelco, 2019).

Una de las principales productoras de oro a cielo abierto de nuestro país con una participación del 12.7% en el año 2019 (Minem, 2020), no se encuentra exenta del problema antes mencionado, a pesar de controlar eficientemente sus actividades principales de carguío y acarreo (transporte de material). Aun así, hay una actividad imprescindible por mejorar que es el abastecimiento de combustible para los equipos de acarreo.

La asignación de equipos que deben abastecer combustible se realiza actualmente de manera manual dado que no se puede conocer el nivel de combustible en tiempo real de los equipos, lo que genera que las asignaciones se realicen según el criterio del controlador de despacho o a petición del operador del equipo, siendo esta asignación incorrecta la mayor parte del tiempo durante el turno de trabajo, lo que va generando:

- Envío de los equipos de acarreo hasta tres veces al día a las estaciones de combustible, proceso en el cual se pierde mucho tiempo en los traslados hasta esa ubicación (30 minutos en promedio). (Romero, 2019)
- En el tiempo de traslado adicional de manera incorrecta, se están generando gastos asociados de llantas, uso de operador, combustible, etc. los cuales se ahorrarían si se abasteciere una vez por día correctamente. (Romero, 2019)
- Uso ineficiente de las estaciones de combustible, genera colas innecesarias en los grifos ya que al asignar manualmente no hay validación de si hay equipos esperando a abastecerse. (Romero, 2019)
- No se tiene el control del nivel de combustible en tiempo real. (Romero, 2019)

En la Figura 11 se muestran las actividades del proceso actual de abastecimiento de combustible.

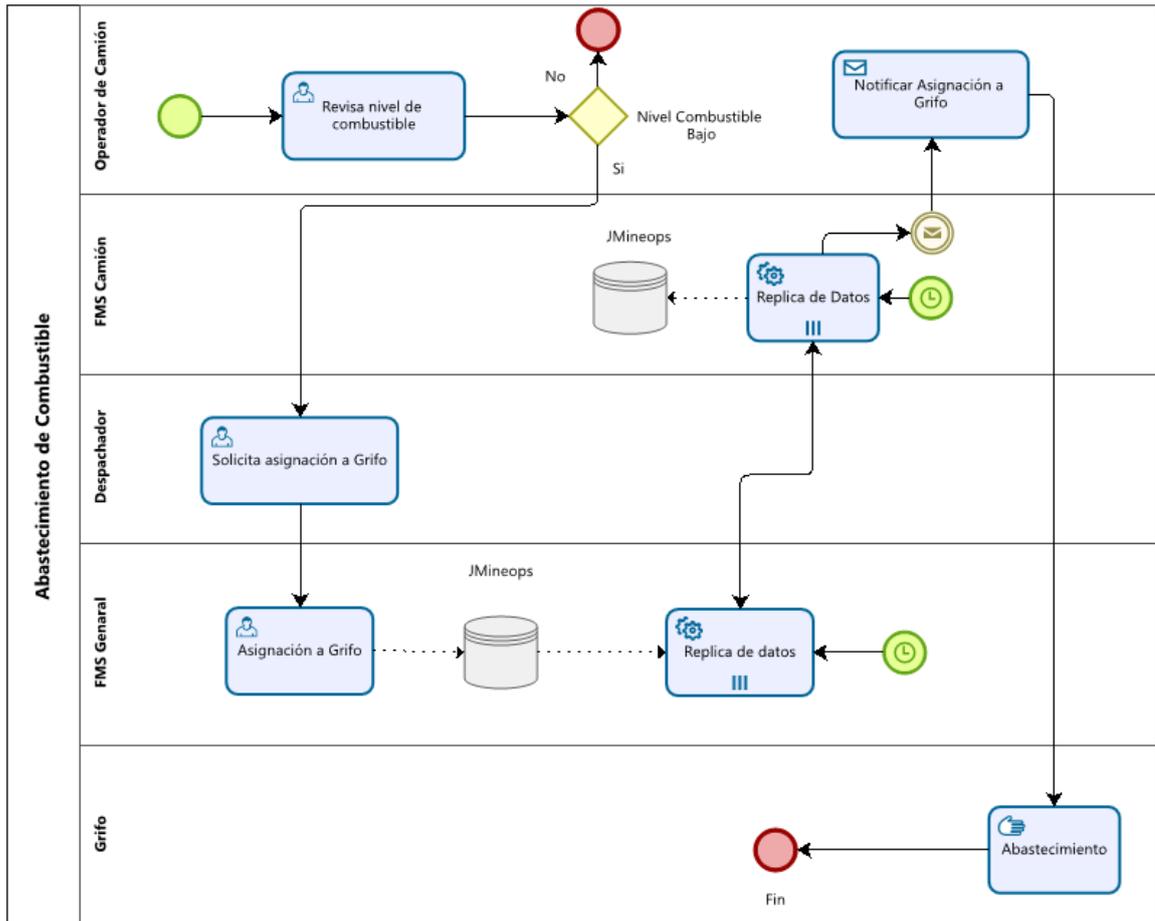


Figura 11. Proceso actual de abastecimiento de combustible. (Fuente propia)

El área de operaciones cuenta con 35 camiones gigantes, los cuales al tener muchas paradas por abastecimiento de combustible fraccionadas durante el turno de trabajo, ocasionan que los equipos no estén disponibles y se deje de transportar material, que es su función principal; reflejándose en el proceso productivo, hecho que afecta los objetivos principales del negocio, uno de los cuales es el uso óptimo de los recursos para lograr una producción máxima. (Romero, 2019).

Tabla 1. Formulación del problema (Elaboración propia)

PROBLEMA	CAUSAS	EFFECTOS
Disminución de la productividad de mineral transportado.	Equipos operativos no disponibles realizando otras actividades asociadas: <ul style="list-style-type: none"> - Cambio de Operador. - Cambio de Turno. - Rellenando Combustible. 	<ul style="list-style-type: none"> - Disminución en la utilización de los equipos de acarreo. - Disminución de material procesado. - Disminución en la producción de onzas de oro.

Esta problemática se puede mitigar gestionando adecuadamente las asignaciones de abastecimiento de combustible, para lo cual es necesario: conocer la ubicación de los equipos dentro de mina mediante el uso de GPS con que cuentan los equipos, luego saber el nivel de combustible con el que cuentan y la proyección de consumo de cada equipo, para finalmente configurar una nueva capa de optimización al sistema de gestión de flota con el que ya se cuenta, de tal manera conseguir la asignación dinámica y el momento y lugar óptimo para abastecer combustible.

I.2. Pregunta de investigación:

¿En qué medida la gestión de la demora de abastecimiento de combustible influye en la productividad de equipos de acarreo en una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, 2019?

I.3. Objetivos de la investigación:

- **Objetivo General:**

Determinar la influencia de la gestión en la demora en el abastecimiento de combustible para equipos de acarreo, en una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, 2019.

- **Objetivos Específicos**

- Implementar el proceso asignación automática a grifos para gestionar la demora de abastecimiento de combustible, en una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, 2019.
- Determinar la influencia de la implementación del proceso de asignación automática a grifo en los tiempos de abastecimiento de combustible en los equipos de acarreo, en una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, 2019.
- Determinar la influencia de la implementación del proceso de asignación automática a grifo para la gestión de la demora de abastecimiento de combustible en la productividad de equipos de acarreo, en una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, 2019.

I.4. Justificación de la investigación:

- **Justificación Teórica:**

Según (Pulido, 2014), la productividad es mejorar los resultados en función a los recursos empleados; la presente investigación plantea contribuir a generar los lineamientos para mejorar el proceso de acarreo de mineral en una empresa minera a cielo abierto, gestionando adecuadamente el abastecimiento de combustibles de los equipos que realizan esta actividad.

- **Justificación aplicativa o práctica:**

La presente investigación se realiza, porque existe la necesidad de mejorar la productividad del acarreo de mineral en empresas mineras de cielo abierto, uno de los métodos utilizados es disminuir tiempos en las demoras operativas más significativas como como lo plantea Bustamante (2018) en su estudio relacionado a este tema, otros investigadores se inclinan por mejorar los frentes de carguío y así conseguir mejores

tasas de excavación como lo propone Marín (2015) en su investigación, pocos son los estudios orientados específicamente a mitigar la demora operativa de abastecimiento de combustible; Gonzales (2016) propone abordar el tema utilizando redes neuronales para conseguir una óptima asignación para el abastecimiento de combustible, consiguiendo excelentes resultados en las simulaciones realizadas.

Lo que se pretendió en la presente investigación, es abordar de una manera diferente el objetivo común de muchas otras investigaciones al buscar mejorar la productividad del carguío y acarreo de materiales dentro de una operación minera, integrando conceptos tradicionales de minera con nuevas tecnologías y así posiblemente fomentar este tipo de investigaciones en un futuro.

I.5. Alcance de la investigación:

La presente tesis aplicada, causal o correlacional y diseño cuasi experimental se desarrolló para la empresa Hexagon y subsidiarias, y se enfoca en el transporte de material cuya explotación sea a cielo abierto, centrándose en disminuir las ineficiencias operacionales conocidas como demoras en la actividad de acarreo de material, una demora operacional ineludible de esta actividad que es el abastecimiento de combustible.

En resumen, se tiene:

- Considerar minas cuya forma de explotación es a cielo abierto.
- Para los equipos de transporte, solo se consideran equipos gigantes marca Caterpillar.
- La investigación se centra en reducir los tiempos de abastecimiento de combustible a equipos de acarreo.

II. MARCO TEÓRICO

II.1. Antecedentes

A. Internacionales:

En la tesis titulada “Control de pérdidas operacionales por cambio de turno en compañía minera sierra gorda SCM de (Pacheco, 2018) en Atacama, Chile”, presentó como objetivo principal “Disminuir las demoras de cambio de turno para incrementar la productividad sin incurrir en costos adicionales al proceso”. En la investigación se observa la mayor cantidad de horas acumuladas son de las demoras asociadas actividad de Colación (Cambio de turno) con un total de 17,402 horas de enero a julio del año 2018. El autor concluye que al mejorar la demora de cambio de turno en 5 minutos se llegan a recuperar 65,400 toneladas de material en un mes.

El antecedente contribuye a reforzar la premisa que gestionar adecuadamente la demora en el abastecimiento de combustible dentro del ciclo de carguío y acarreo, incrementa la productividad, como se pretende demostrar en la presente tesis.

En la tesis titulada “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 de (Gazmuri, 2016) en Santiago de Chile, Chile”, presentó como objetivo principal “optimizar las horas operativas de los CAEX en los procesos de descarga en chancado y abastecimiento de combustible”. En la investigación se puede observar que a través de simulaciones de redes neuronales se optimiza el abastecimiento de combustible de equipos de acarreo y con esto se incrementa la productividad en los procesos de descarga en la chancadora de material. El autor concluye que gracias a un algoritmo de asignación dinámica de combustible se reduce entre el 60 y 70% la demora promedio en el abastecimiento de combustible.

El antecedente anterior contribuye a reforzar la premisa de que gestionar adecuadamente la demora de abastecimiento de combustible, incrementa el tiempo operativo de los equipos de carguío consiguiendo así incrementar su productividad; el abastecimiento de combustible es una demora operativa por consiguiente una adecuada gestión ayudaría a incrementar la productividad.

B. Nacionales:

En la tesis titulada “Reducción de las demoras operativas y optimización de tiempos por abastecimiento de combustible con el sistema BR-300 GPM. en los volquetes de mina - unidad operativa Cuajone de (Champi, 2015) en Arequipa, Perú”, enuncia su objetivo principal como “Aplicar el sistema VR -300 GPM en el proceso de abastecimiento de combustible para reducir las demoras operativas, optimizar los tiempos y obtener mayor productividad en la unidad operativa Cuajone”. En la investigación se pudo identificar que mediante la implementación de un sistema de combustible de alto caudal se consigue disminuir las demoras de abastecimiento en grifo, consiguiendo así incrementar la productividad de los equipos de acarreo.

El antecedente anterior refuerza la premisa de gestionar las demoras operativas como las del abastecimiento de combustible incrementan la productividad de los equipos de acarreo, como pretendo en la presente tesis.

En las tesis titulada “Productividad en el ciclo de carguío y acarreo en el tajo Ferrobamba – Las Bambas 2015, de (Maruri, 2016) en Abancay, Perú”, enuncia el problema “¿Cómo la productividad tiene relación con las demoras operativas que inciden el ciclo de carguío y acarreo en el Tajo Ferrobamba, las Bambas 2015?”, en la investigación se concluye que, un adecuado control de demoras operativas que inciden en la operación se obtuvo una mejora en la disponibilidad, rendimiento y utilización de los equipos de carguío y acarreo.

El antecedente anterior demuestra que el correcto control de las demoras operativas en equipos de acarreo ayuda a incrementar su disponibilidad y por consiguiente su productividad, el abastecimiento de combustible es una demora operativa por consiguiente una adecuada gestión ayudaría a incrementar la productividad.

C. Locales:

Se realizó la búsqueda bibliográfica y sólo se encontró un antecedente internacional y nacional sobre el tema que contribuya a la investigación.

En la tesis titulada “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, de (Bustamante, 2018) en Cajamarca, Perú”, tiene como objetivo general “optimizar la productividad en los ciclos de carguío y acarreo mediante la disminución de las demoras operativas más significativas.”, se concluye que los tiempos de las demoras significativas disminuye en promedio en 20 minutos, incrementando así la productividad de los equipos de carguío.

El antecedente anterior contribuye a reforzar la premisa de que una adecuada gestión de demoras operativas incrementa la productividad, en este caso tanto de equipos de carguío como acarreo, así como se pretende demostrar con esta tesis, al ser el abastecimiento de combustible una demora operativa.

II.2. Bases teóricas.

A. Ciclo de transporte:

El ciclo de transporte es el proceso por el cual se mueve material de un lugar a otro, éste está compuesto por etapas, las cuales ocurren de manera cíclica en la operación. Puede comenzar cuando el camión es cargado por un equipo de carguío, ya sea una pala eléctrica, cargador frontal u otro, y luego se moviliza por una ruta establecida hasta un sector de descarga designado, el cual puede ser un botadero, stock, chancador, entre otros (Gonzalez, 2016).

Una vez finalizada la actividad de descarga, el equipo se nuevamente se dirige hacia un equipo de carguío y un nuevo ciclo inicia.

Cada ciclo implica el traslado de una cantidad de material hacia un destino, la suma de todas las descargas es la producción de la mina (Gonzalez, 2016).

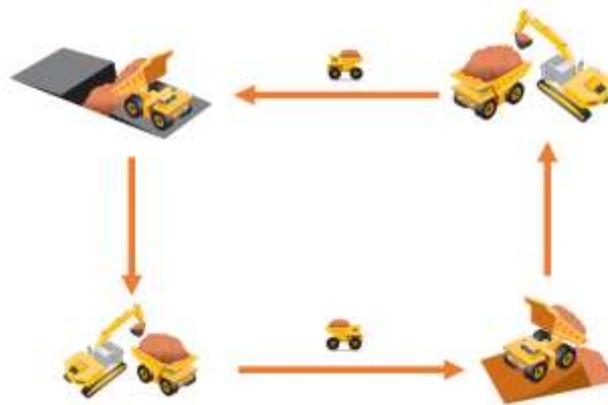


Figura 12. Ciclo de Transporte (elaboración propia)

La actividad descrita anteriormente se podría considerar un ciclo de transporte ideal, en esta representación no se consideran demoras en el trayecto de los equipos de carguío y acarreo.

B. Ciclo de actividad de acarreo sistema de gestión de flotas:

El sistema de gestión de flotas con el que cuenta la empresa minera, monitorea las siguientes actividades para los equipos de acarreo, estas se utilizan para representar todas las tareas en las que un camión interviene durante un ciclo de producción normal. El ciclo de producción de camiones avanza desde la carga hasta la descarga y las repeticiones; sin embargo, hay una serie de actividades intermedias capturadas como se muestra. (HEXAGON, 2017)

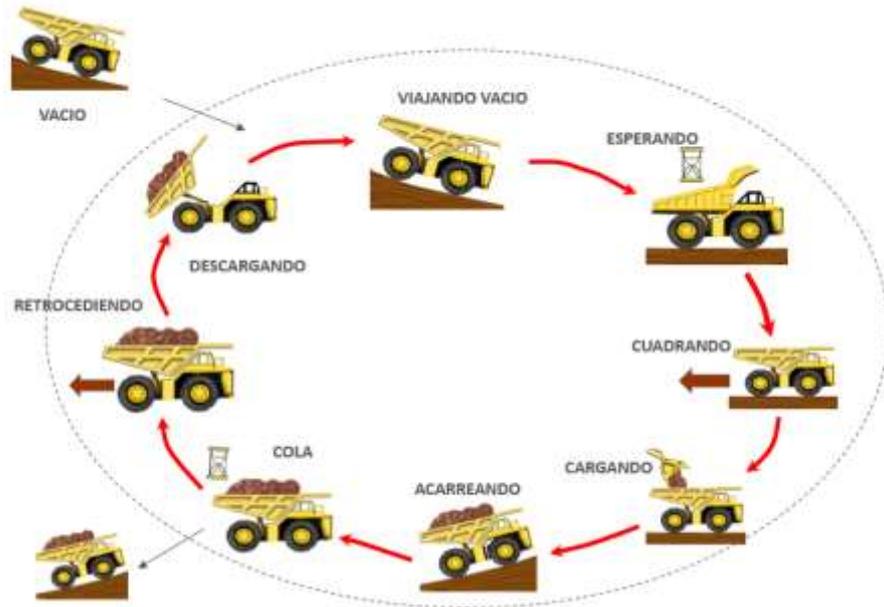


Figura 13. Ciclo de acarreo (HEXAGON, 2017)

Donde:

Icono	Actividad	Descripción	Empieza cuando
	Viajando	El camión se está moviendo vacío después de descargar.	El camión comienza a viajar hacia una pala como resultado de una asignación.
	Esperando	El camión está esperando para ser cargado cerca de la pala.	Camión detenido en el área de carga.
	Cuadrando	El camión se posiciona debajo de la pala.	El camión comienza a retroceder hasta el emplazamiento de una pala.

Icono	Actividad	Descripción	Empieza cuando
	Cargando	El camión empieza a ser cargado por la pala.	Después del primer pase, o cuando la velocidad es 0 dentro del radio de la pala.
	Acarreando	El camión viaja cargado después de ser asignado a una descarga.	Confirmación de carga completa por parte de pala, o el camión sale del área de la pala.
	Cola en descarga	El camión está en cola y esperando para descargar.	El camión se detiene dentro del límite de descarga.
	Retrocediendo	El camión se posiciona listo para descargar.	El camión retrocede en el área de la descarga.
	Descargando	El camión está vaciando su carga.	Velocidad igual a cero y el camión levanta la tolva.

Tabla 2 Actividades del ciclo de acarreo OP Pro Manager (HEXAGON, 2017)

La información asociada a cada una de estas actividades es almacenada de forma automática por el computador a bordo del sistema de gestión de flotas.

C. Actividad de abastecimiento de combustible:

La actividad de abastecimiento de combustible es aquel en el cual los camiones de extracción rellenan su tanque, con el fin de seguir realizando operaciones productivas. Ésta es una detención obligada en la operación, donde la falta de coordinación en la asignación del equipo al proceso genera demoras y mermas operacionales (Gonzalez, 2016).

Las operaciones mineras cuentan con una o más estaciones de abastecimiento, esto depende del número de equipos de acarreo que tenga trabajando.



Figura 14. Actividad de abastecimiento de combustible (Elaboración propia).

A. Sistema de Información Vital (VIMS):

El sistema de información vital de Caterpillar, es una herramienta avanzada de diagnóstico y administración de equipos. Mediante el seguimiento continuo de una amplia gama de funciones vitales de la máquina, este sistema de seguimiento electrónico de alta tecnología mejora la disponibilidad de la máquina (Caterpillar Inc., 2009).

Mediante la integración de numerosos sensores en el diseño de cada máquina, el sistema VIMS hace seguimiento de más de 250 funciones de la máquina y de las estadísticas de los análisis de condiciones de los equipos (Caterpillar Inc., 2009).

El sistema de información vital de Caterpillar será nuestra fuente para obtener el nivel de combustible en tiempo real y realizar las asignaciones a grifo según las restricciones dadas al optimizador.

B. Gestión del tiempo:

La norma ASARCO (American Smelting & Refining Co.) es el marco de referencia utilizado para la definición de conceptos y distribución de los tiempos en los que el equipo, máquina o instalación incurren durante en una operación minera (Campos, Chipana, Espinoza, Flores, & Hualan, 2018).



Figura 15. Escala de tiempos según norma ASARCO (Bonzi, 2016).

A continuación, se detallan las características de cada tiempo: (Bonzi, 2016):

- **Nominal:** Tiempo durante el cual el equipo se encuentra físicamente en faena. Es el tiempo total de un período.
- **Disponible:** Tiempo en que el equipo está habilitado y en buenas condiciones para operar. Se le han descontado las mantenciones. El equipo está listo para ser operado.
- **No Disponible:** Este período se encuentran los tiempos destinados tanto para mantenciones programadas y/o reparaciones electromecánicas de terreno.
- **Operativo:** Corresponde al tiempo en que el equipo se encuentra operando en faena, es decir, está con operador.
- **Reserva:** Es aquel tiempo en donde el equipo estando en condiciones mecánicas de operación, no es utilizado en labores productivas, ya sea por falta de operador o superávit de equipo en ese momento.
- **Efectivo:** Es el tiempo en que el equipo está siendo utilizado para lo que realmente se invirtió, es decir, está realizando labores puras de producción sin colas.
- **Demoras Programadas:** Tiempos de detención programada.
- **Demoras No Programadas:** Tiempo de detenciones no programadas, donde no se sabe cuánto durarán.
- **Pérdidas Operacionales:** Es el tiempo donde el equipo se encuentra esperando.

C. Productividad de acarreo:

La productividad tiene que ver con los resultados que se entiende de un proceso o sistema, porque incrementar la productividad es lograr mejores resultados considerando los recursos empleados para generarlos. (Pulido, 2014)

Según (Pulido, 2014), la productividad se mide por el coeficiente formado por los resultados logrados y los recursos empleados.

La productividad también puede ser medida en función a dos componentes: **Eficiencia** y **eficacia**. La primera es la relación entre el resultado alcanzado y los recursos utilizados, mientras que la eficacia puede verse como la capacidad de lograr el objetivo esperado. (Pulido, 2014)

De esto podemos inferir que la productividad busca la mejora continua de un sistema, y más que producir rápido se trata de producir mejor.

$$\text{Productividad} = \text{Eficiencia} \times \text{Eficacia}$$

$$\frac{\text{Unidades producidas}}{\text{Tiempo total}} = \frac{\text{Tiempo útil}}{\text{Tiempo total}} \times \frac{\text{Unidades producidas}}{\text{Tiempo util}}$$

Fórmula 1. La productividad y sus componentes (Pulido, 2014)

C.1. Toneladas por hora:

Es la relación entre las toneladas nominales y el tiempo total productivo, que incluye tiempo de carguío, tiempo de cuadrado y esperando camiones. (Marín C. , 2015)

$$\text{Productividad horaria} = \frac{\text{tonelaje nominal}}{\text{tiempo operativo}}$$

Fórmula 2. Productividad horaria (Marín C. , 2015)

El tonelaje nominal es el valor que resulta de la multiplicación de la capacidad de carga útil del equipo por un factor de ajuste. Este factor de ajuste se obtiene de la relación entre el tonelaje VIMS (toneladas húmedas) menos el % de humedad y el tonelaje reportado por el sistema de gestión de flota (FMS) (FMS siempre reporta toneladas secas) (Marín C. , 2015)

$$\text{Tonelaje nominal} = \text{Capacidad de carga útil del equipo} \times \text{factor de ajuste}$$

Fórmula 3. Tonelaje nominal (Marín C. , 2015)

D. Sistema de gestión de flotas:

Los sistemas de gestión de flotas son aquellos que están orientados a maximizar la producción y la eficiencia de los equipos que intervienen en el proceso de extracción minera.

El sistema de despacho como también se conoce a estos sistemas se basan en controlar los tiempos del ciclo de transporte (pala-camión), usando asignaciones

dinámicas de los camiones a los destinos conocidos, estos sistemas buscan optimizar la asignación de camiones a palas, maximizando la utilización de tiempo y minimizando las pérdidas en tiempo real (Bahamóndez, 2017).

El sistema está encargado de registrar cada uno de los eventos que se producen durante los distintos ciclos de operación y en base a esta información se determina la ruta óptima de acarreo (Bahamóndez, 2017).

Entre las operaciones que realizan los sistemas de gestión de flotas son (Bahamóndez, 2017):

- Registro de eventos relevantes del ciclo de acarreo.
- Transmisión instantánea de datos y posterior decodificación.
- Software del sistema registra y guarda los datos.
- Software procesa información y realiza asignaciones óptimas para camiones de extracción, mediante distintos algoritmos (Mejor ruta, Programación lineal o Programación dinámica).
- Envío de asignación al camión de extracción respectivo.

El controlador del sistema comúnmente llamado despachador usa el software de gestión de flota como herramienta de apoyo para solucionar problemas en tiempo real; en el

Anexo 1 Sistema de gestión de flotas (FMS) de detalla las características del sistema de gestión de flotas que usa la empresa minera donde se hizo el presente estudio y el cual servirá como base la implementación de la solución propuesta.

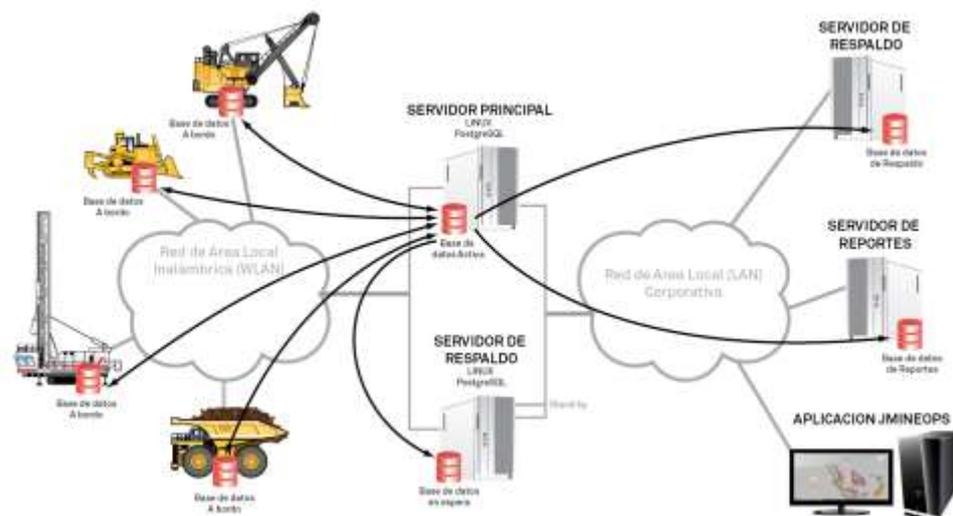


Figura 16. Arquitectura HxGN MineOperate OP Pro Manager (HEXAGON, 2019)

E. Sistema de Posicionamiento Global:

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un servicio propiedad de los EEUU, que proporciona a los usuarios información sobre posicionamiento, navegación y cronometría. Este sistema está constituido por tres segmentos: el segmento espacial, el segmento de control y el segmento del usuario. La Fuerza Aérea de los Estados Unidos desarrolla, mantiene y opera los segmentos espaciales y de control (www.gps.gov, 2019).

E.1. Segmento espacial:

El segmento espacial consiste en una constelación nominal formada por 24 satélites operativos que transmiten señales unidireccionales que proporcionan la posición y la hora de cada satélite del GPS (www.gps.gov, 2019).

E.2. Segmento de control:

El segmento de control está formado por estaciones de seguimiento y control distribuidas por todo el mundo a fin de mantener los satélites en la órbita apropiada mediante maniobras de mando y ajustar los relojes satelitales. Esas estaciones también realizan el seguimiento de los satélites del GPS, cargan información de navegación actualizada y garantizan el funcionamiento adecuado de la constelación de satélites (www.gps.gov, 2019).

E.3. Segmento del usuario:

El segmento del usuario consiste en el equipo receptor del GPS que recibe las señales de los satélites del GPS y las procesa para calcular la posición tridimensional y la hora precisa (www.gps.gov, 2019).

Para la presente investigación se hará uso del segmento usuario que es una de las características que tiene el sistema de gestión de flota con el que se cuenta y este permita saber la ubicación en tiempo real de los equipos dentro de la mina.

F. Investigación de operaciones:

La Investigación Operativa es la aplicación del método científico a un mismo problema por diversas ciencias y técnicas, en apoyo a la selección de soluciones, en lo posible óptimas (Prada & Paredes, 2017).

Según (Prada & Paredes, 2017), se puede considerar la situación como un problema de toma de decisiones, cuya solución requiere responder tres preguntas:

- ¿Cuáles son las alternativas de decisión?
- ¿Conforme a qué restricciones se toma la decisión?
- ¿Cuál es el criterio objetivo apropiado para evaluar las alternativas?

Para la investigación de operaciones uno de los principales retos es solucionar problemas de optimización; este busca el encontrar los valores óptimos que una función infiere de los elementos de un conjunto dado y sus restricciones asociadas.

G. Optimización de rutas:

La optimización de rutas es uno de los problemas de optimización combinatorias más importantes y ampliamente estudiado, con muchas aplicaciones del mundo real, en la logística de distribución y del transporte. Fue introducido por primera vez por Dantzig y Ramser en el año 1959 en el caso The Truck Dispatching Problem. Management Science, cuando se estudió aplicación real en la distribución de gasolina a las estaciones de servicio y propusieron la formulación matemática de este problema (Marín & Meléndez, 2017).

Algunos objetivos que generalmente se plantean para resolver este tipo de problemas son (Marín & Meléndez, 2017):

- La minimización del costo de transporte total, dependiendo de la distancia total de viaje o el tiempo total del viaje y el costo fijo asociado con los vehículos usados.
- Reducción del número de vehículos requeridos para servir a todos los clientes, teniendo en cuenta el equilibrio de las rutas, para el tiempo de viaje y la carga del vehículo.
- Minimización de la penalización asociada con el servicio parcial de los clientes, este tipo de situación se presenta cuando la capacidad que tiene el vehículo no puede satisfacer la demanda total del cliente.
- El equilibrio de las rutas, por tiempo de viaje y por carga del vehículo.

El sistema de gestión de flotas con el que se cuenta actualmente dispone de una capa de optimización cuya lógica se detalla más adelante, la que contempla la solución de este problema dentro del ciclo de transporte de material, para la cual pretendemos

configurar la asignación a estaciones de combustible como parte de la lógica y restricciones del optimizador.

H. El problema del transporte:

El problema del transporte se utilizará en una situación en la cual se envía un bien desde cualquier grupo de centros de abastecimiento llamados orígenes, a cualquier grupo de recepción llamados destinos, en el cual el objetivo es minimizar el costo de transporte al distribuir los bienes a la vez que satisfagan las restricciones de la oferta y demanda (Yarihuamán, 2019) .

El método del transporte en una de las bases que es utilizado en sistema de gestión de flota para gestionar el ciclo de transporte de material.

I. Framework:

En general, con el término framework, se refiere a una estructura de software compuesta de elementos personalizables e intercambiables para el desarrollo de una aplicación. En otras palabras, un framework se puede considerar como una aplicación genérica incompleta y configurable a la que podemos añadirle las últimas piezas para construir una aplicación concreta (Gutiérrez, 2019).

Los objetivos que se busca al utilizar un framework son: acelerar el proceso de desarrollo, reutilizar código ya existente y promover buenas prácticas de desarrollo (Gutiérrez, 2019).

En la presente investigación se utilizó el framework del sistema de gestión de flotas específicamente la capa de optimización cuya lógica se detalla más adelante.

J. OP Pro Optimizer:

La empresa minera en estudio cuenta con un sistema de gestión de flotas llamado OP Pro Manager, este contiene un conjunto de herramientas y módulos de software llamado OP Pro Optimizer que ayuda a la empresa a conseguir el mejor uso de los equipos de producción.

¿Qué significa la optimización en el contexto del sistema OP Pro Manager?

A diferencia de sistemas de optimización de mina existentes que utilizan un servidor centralizado único, OP Pro Manager utiliza una arquitectura de base de datos distribuida para cada dispositivo, OP Pro Manager tiene una copia de la base de datos

en tiempo real que contiene el estado actual de la totalidad de la operación de la mina. (HEXAGON, 2019).

La definición de "el mejor uso del equipo" varía de operación minera en operación minera, y de hecho en cualquier operación minera cambia cada día. OP Pro Optimizer es extremadamente flexible y configurable por esta razón, sin embargo, algunos de sus objetivos comunes incluyen: (HEXAGON, 2019)

- Lograr la máxima cantidad de movimiento material.
- Minimizar el impacto de los descansos planificados del operador.
- Minimizando el tiempo de los equipos no productivos (p. ej., cola de camiones, pala inactiva).
- Entrega de una cantidad determinada de determinados materiales para cumplir con los requisitos de Blending.
- Gestionar el TKPH de los neumáticos.

La tarea principal de OP Pro Optimizer es maximizar la producción de la mina mediante cálculos de asignaciones de camiones.

Los componentes de este proceso son la capa de programación lineal (LP) y la capa de asignación dinámica (DA).

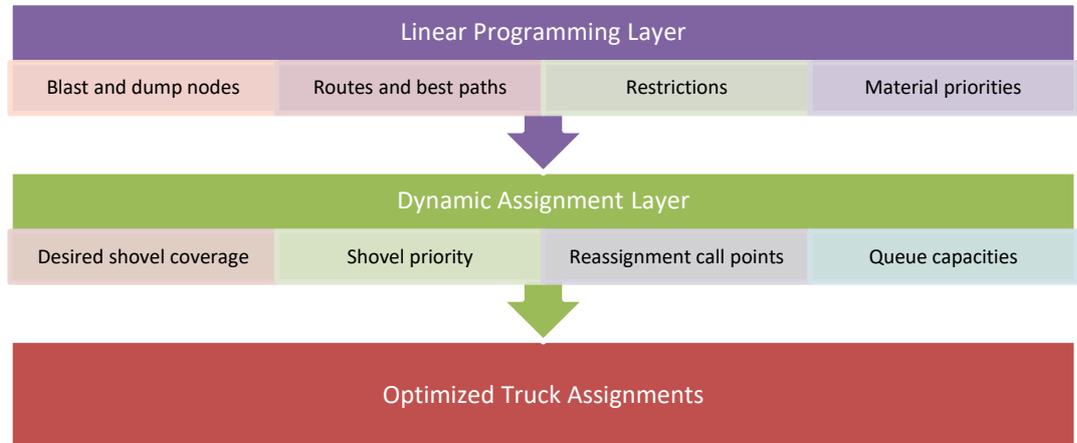


Figura 17. Módulos de OP Pro Optimizer (HEXAGON, 2019)

J.1. Capa de programación lineal:

La programación lineal (LP) es un método para lograr el mejor resultado (como el beneficio máximo o el costo más bajo) en un modelo matemático donde los requisitos se representan mediante relaciones lineales. La programación lineal es un caso especial de programación matemática. (HEXAGON, 2019).

En general, los problemas de programación lineal consisten en una función objetiva (la función a ser maximizada), variables de entrada y una o más restricciones. Las restricciones sirven para que el cálculo sea más eficaz al limitar la complejidad de la solución. (HEXAGON, 2019).

El objetivo de OP Pro Optimizer es representar los requisitos de acarreo necesarios para cubrir las tasas de excavación en cada ruta de acarreo factible. La solución LP resultante representa la velocidad a la que el sistema debe asignar camiones a cada ruta de transporte. Al minimizar esta función, OP Pro Optimizer maximiza la producción alcanzable con los camiones y palas actuales. (HEXAGON, 2019).

Si pensamos en la estructura de una mina, se podría describir como una serie de ubicaciones/nodos que están interconectadas por vías o rutas. Los puntos de excavación son nodos de carga y los puntos de inflexión son nodos de descarga; y los camiones viajan entre nodos de carga y nodos de descarga. Las variables de entrada OP Pro Optimizer son los nodos y las rutas entre los nodos.

OP Pro Optimizer utiliza las últimas posiciones de camiones, las restricciones de excavación de palas, las tasas de producción de palas y las restricciones de descargas de la base de datos de OP Pro Manager para definir una lista de restricciones y una función objetiva lineal que optimiza la asignación de camiones en el actual entorno minero. Las restricciones de OP Pro Optimizer para la función objetiva lineal incluyen las siguientes:



Figura 18. Restricciones de OP Pro Optimizer (HEXAGON, 2019)

La Capa de Programación Lineal del Optimizador funciona en general de dos formas. El Optimizador puede correr con un Requerimiento de Transporte o sin

Requerimiento de Transporte; cuando se considera el Requerimiento de Acarreo (Match Trucks) el Optimizador favorecerá las rutas cortas dentro de la mina. Por ejemplo, si se tiene 1 camión y 2 excavadoras; y una ruta tiene una distancia de 2 Km. y la otra tiene una distancia de 10 Km., para maximizar la producción (toneladas movidas), se tendría que asignar el camión a la ruta más corta, de tal forma que en determinada cantidad de tiempo se conseguiría mover una cantidad mayor de material, y por consecuencia incrementar la producción. De esta forma cuando el Optimizador está configurado para tomar en cuenta el Requerimiento de Transporte (Match Trucks), el Optimizador reducirá la alimentación de camiones a rutas más largas, para así asegurar que las rutas cortas, o excavadores cercanos, tengan mayor cobertura o alimentación. (HEXAGON, 2019).

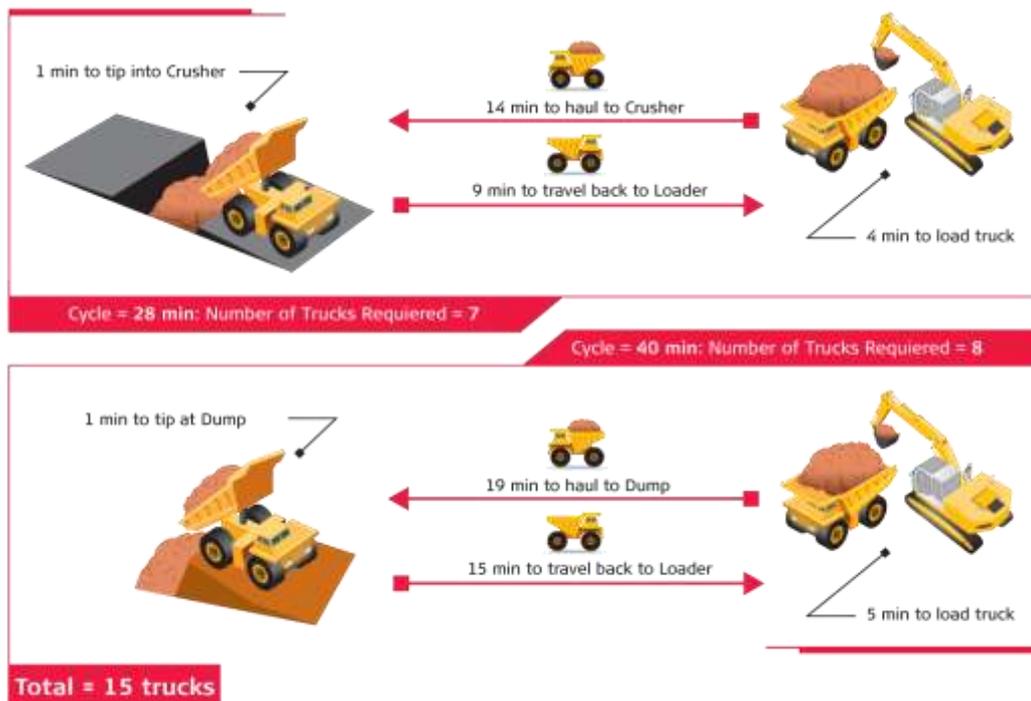


Figura 19. Ciclo Tradicional (HEXAGON, 2019)

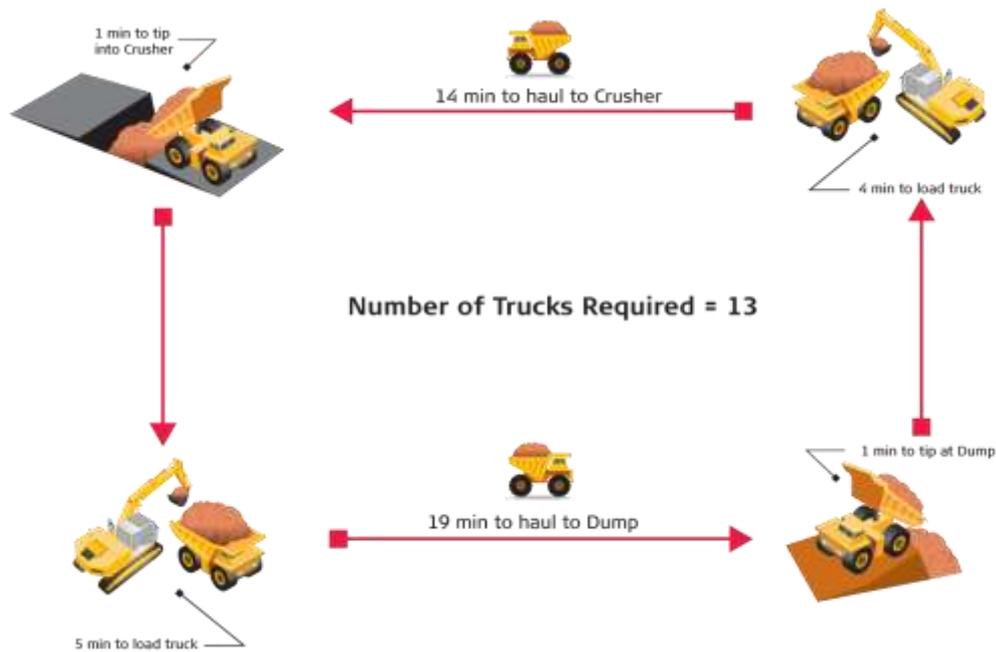


Figura 20. Ciclo Optimizado (HEXAGON, 2019)

J.2. Restricciones de continuidad:

La restricción más básica es la de la continuidad que indica que el flujo total en una pala o en una descarga debe ser igual el flujo de esa pala o descarga. (HEXAGON, 2019).

a. Restricciones de material:

Las restricciones de materiales obligan a las palas a excavar desmonte para alimentar botaderos y palas excavando mineral para alimentar molinos, stocks piles o pads de lixiviación. OP Pro Optimizer incluye un esquema de restricción de material de propósito general. La mina define cualquier número de tipos de material en la tabla de base de datos. Cada polígono de la mina es asociado a un único tipo de material. (HEXAGON, 2019).

Una ubicación de descarga acepta uno o varios de los tipos de materiales. Cuando una pala específica excava un determinado polígono, OP Pro Optimizer configura las rutas para aquellas descargas que acepten el tipo material excavado por la pala.

b. Tasas de excavación de palas:

Cada pala operativa tiene un límite en la velocidad a la que puede producir material. El sistema a bordo mide y actualiza continuamente esta tasa de excavación midiendo el tiempo necesario para detectar y cargar cada

camión y el tonelaje del material producido. OP Pro Optimizer incorpora esta tasa de excavación como una restricción que especifica que el total de todas las trayectorias que salen de una pala debe ser menor o igual a la velocidad de excavación máxima de la pala. (HEXAGON, 2019).

c. Restricciones de mezcla:

OP Pro Optimizer impone restricciones de mezcla para controlar la calidad del material producido en descargas específicas. Para configurar la mezcla, la mina especifica las leyes para cada bloque de material. (HEXAGON, 2019).

Por ejemplo, una mina de oro/cobre puede especificar Au% y Cu% como leyes del material. Cada bloque de material contiene valores en los que se obtienen todos los parámetros de calidad, normalmente establecidos por la planificación de cada mina.

OP Pro Optimizer utiliza la funcionalidad de modelo de mezcla para definir diferentes restricciones de mezcla que comprenden restricciones en el modelo de programación lineal simplex. (HEXAGON, 2019).

d. Restricciones de camiones disponibles:

Las minas a menudo operan con menos camiones de los que se requieren para cubrir completamente a las palas. En estos escenarios de pocos camiones, OP Pro Optimizer añade opcionalmente una restricción camiones al total de camiones, las asignaciones van disminuyendo automáticamente en palas de baja prioridad, de tal manera que la cantidad de camiones requerido coincida con la cantidad de camiones disponible. (HEXAGON, 2019).

Para minas que incorporan tajos múltiples, el algoritmo de programación lineal crea requerimientos de acarreo separados para cada tajo para evitar casos de palas con tiempos de espera altos en un tajo debido a camiones insuficientes en otro tajo.

e. Restricciones de pala:

OP Pro Optimizer puede bloquear palas a botaderos específicos o la restricción de palas para alimentar ciertas descargas. Estas restricciones son más estrictas que las restricciones de material, ya que obligan a OP Pro Optimizer a considerar solo descargas específicas para las asignaciones. (HEXAGON, 2019).

f. Restricciones de polígono (Bloque):

OP Pro Optimizer puede realizar restricciones de bloques hacia descargas o la restricción de un bloque de leyes específicas para ser asignado a ciertas descargas. Estas restricciones son menos estrictas que las restricciones de la pala, ya que solo se aplican a las palas que minan un bloque de material específico. (HEXAGON, 2019).

g. Prioridades de materiales:

OP Pro Optimizer puede admitir prioridades bajas, medias y altas para todos los tipos de material definidos en la base de datos. A diferencia de las prioridades de pala, las prioridades de materiales sólo se aplican a las palas cuando esa pala está excavando el tipo de material seleccionado. Si una pala cambia de mineral de excavación a material estéril, cambia automáticamente a la prioridad al tipo de material excavado. (HEXAGON, 2019).

J.3. Análisis de Capa de Programación Lineal:

Para entender mejor la Capa de Programación Lineal, se puede analizar en más detalle los diversos pasos del procedimiento de solución de tal forma que entendamos mejor su funcionamiento y en qué forma se puede manipular sus resultados.

a. Procedimiento de solución:

Existen algunos eventos, tales como cambios de estados, que pueden forzar que el Procedimiento de solución sea llevado a cabo en ese momento, dichos eventos serán analizados más adelante.

Existen diversos parámetros que son utilizados en el Procedimiento de solución tales como porcentajes de cobertura, prioridad de materiales, etc. Más adelante veremos cómo dichos parámetros afectan la solución de programación lineal, para esto, analizaremos cada paso del Procedimiento de solución a detalle (HEXAGON, 2019). A continuación, se lista el procedimiento:

- Crear nodos de requerimientos.
- Definir tamaño de camión.
- Verificar si MatchTruck está activado.
- Crear nodos LP.
- Crear restricciones.

- Crear rutas factibles.
- Inicializar matriz de restricciones con rutas factibles.
- Crear requerimientos de continuidad para nodos de carga.
- Crear requerimientos de continuidad para nodos de descarga.
- Crear requerimientos de capacidad para nodos de carga.
- Crear requerimientos de capacidad para nodos de descarga.
- Crear requerimientos de acarreo.
- Crear función objetivo.
- Asignar tasas de acarreo a rutas.

Al final el resultado es la definición de las tasas de acarreo en cada ruta, ya que dichas tasas de acarreo son utilizadas por la capa de asignaciones para determinar asignaciones futuras para cada camión.

i. Nodos con requerimientos:

En esta instancia del procedimiento de solución de solución se analizan todos los nodos existentes en el sistema. Como ya hemos visto antes un nodo puede ser un equipo de carga o una ubicación de descarga, y cada nodo tiene ciertos requerimientos asociados que son utilizados en diversas partes del procedimiento de solución. (HEXAGON, 2019).

ii. Tamaño de camión:

Esta parte del proceso es básica, ya que simplemente se busca el valor configurado de tamaño de camión. Este valor se recomienda sea el promedio de la capacidad de carga de todos los camiones configurados en el sistema. (HEXAGON, 2019)

iii. MatchTrucks:

Como ya comentamos anteriormente con la opción MatchTrucks el optimizador priorizará las rutas de menor distancia dentro de la mina.

Por ejemplo, si se tiene 1 camión y 2 excavadoras; y una ruta tiene una distancia de 2 Km. y la otra tiene una distancia de 10 Km., para maximizar la producción (toneladas movidas), se tendría que asignar el camión a la ruta más corta, de tal forma que en determinada cantidad de tiempo se conseguiría mover una cantidad mayor de material, y por consecuencia incrementar la producción. De esta forma cuando el Optimizador está configurado para tomar en cuenta el requerimiento de transporte (MatchTrucks), el optimizador reducirá la alimentación de camiones a rutas más largas, para así asegurar que las rutas cortas, o

excavadores cercanos, tengan mayor cobertura o alimentación.
(HEXAGON, 2019).

iv. Nodos PL:

En base a los nodos de requerimientos creados anteriormente, ahora tenemos que crear diferentes listas de nodos. Esto lo hacemos en base al tipo de nodo.

Si definiésemos la estructura de una mina como una serie de nodos interconectados entre sí mediante rutas, como habíamos comentado anteriormente, y si el objetivo de nuestro optimizador es encontrar la tasa de alimentación más eficiente de cada ruta, donde cada ruta tiene está conformada de un punto de inicio y un punto final, que pueden ser nodos de carga o descarga, entonces vemos como es necesario analizar cada nodo y los parámetros que lo componen. (HEXAGON, 2019).

Para esto se tuvo que crear una lista de nodos de carga o palas y otra de nodos de descarga o descargas debido a que existen requerimientos o parámetros que afectarán a los nodos en forma diferente dependiendo si son nodos de carga o descarga.

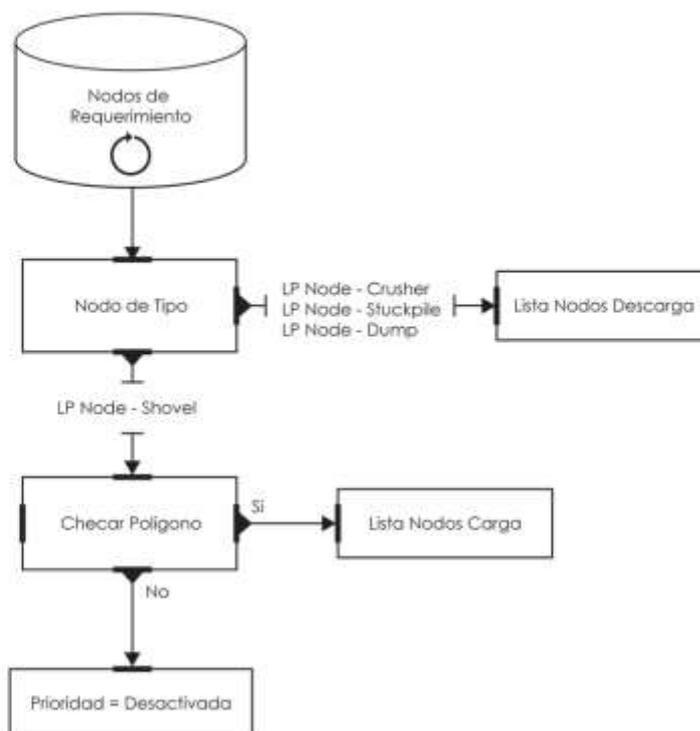


Figura 21. Crear Nodos, programación lineal (HEXAGON, 2019).

v. Restricciones:

Las restricciones para una pala son básicamente una lista de ubicaciones de destinos de descarga.

Cualquier nodo de carga puede ser restringido de diversos tipos de nodos de descarga tales como: chancadoras, stockpiles o botaderos. El resultado de una restricción será que la ruta entre el nodo de carga con restricción a un nodo de descarga en particular simplemente no será considerada como una ruta factible para la solución de programación lineal. (HEXAGON, 2019).

vi. Rutas factibles:

En los párrafos anteriores revisamos parámetros o requerimientos de cada nodo en particular, creamos una lista de los nodos de carga y nodos de descarga basados en su tipo de nodo y también modificamos prioridades de pala analizando el material que dicha pala excava y la existencia de un polígono asociado a la misma. Esto fue necesario ya que, si pensamos que una ruta es una serie de caminos o vías que une dos nodos, entonces es necesario primero que nada analizar los nodos. (HEXAGON, 2019).

Siendo que ya tenemos definidos los nodos de carga, para crear las rutas factibles, tenemos que analizar cada nodo de carga para crear las posibles rutas relacionadas a dicha pala.

Al final de este proceso tenemos como resultado una serie de rutas factibles basadas principalmente en los estados de las descargas, los materiales y polígonos producidos por las palas, así como las restricciones de palas hacia ciertas ubicaciones de descarga.

Los factores que afectan la creación de rutas factibles son:

- Restricciones de destino.
- Restricciones de material.
- Estado de destino.

vii. Requerimientos de continuidad:

Este requerimiento es analizado primero para nodos de carga y posteriormente para nodos de descarga.

El concepto es simple y su implementación también. Básicamente se analizan todas las palas y descargas, considerando primordialmente que el nodo en cuestión no puede ser no usado.

Posteriormente se procede a contar el número de rutas para cada nodo. Se tienen en consideración tanto las rutas desde el nodo, como las rutas hacia el nodo. Al final se añade este requerimiento a la matriz de requerimientos en base a las rutas factibles que inicializaron dicha matriz. (HEXAGON, 2019).

El requerimiento más básico es el de continuidad y establece que el flujo total hacia una pala o botadero debe ser igual al flujo desde esa pala o botadero.

viii. Requerimientos de capacidad:

Para cada nodo de carga es necesario encontrar una tasa de excavación a la que dicha pala puede excavar; en base a dicha tasa de excavación es necesario crear un requerimiento de capacidad asociado a la ruta que dicha pala está utilizando. (HEXAGON, 2019).

ix. Requerimientos de acarreo:

Para realizar asignaciones a los equipos de acarreo se debe determinar la ruta más necesitada y la pala más necesitada, que son la ruta y pala con mayores necesidades de acarreo; se consideran el acarreo requerido y el acarreo actual. El acarreo requerido se obtiene en base a los requerimientos de capacidad, y el acarreo actual se obtiene en base a los requerimientos de acarreo. (HEXAGON, 2019).

A continuación, describiremos como se obtiene al acarreo actual o requerimiento de acarreo para cada nodo y ruta, y sus asociaciones a tajos y regiones.

Primero que nada, se obtienen los siguientes parámetros:

- Pala asignada.
- Pala fija.

- Acarreando desde pala.
- Tamaño de camión.

x. Tasas de acarreo para rutas:

Finalmente se calculan las tasas de acarreo para cada ruta. Esto se realiza en base a los requerimientos de capacidad previamente obtenidos. Dentro de este proceso lo más importante es calcular el acarreo requerido para cada pala. Para esto se consideran los siguientes factores: (HEXAGON, 2019)

- Requerimiento de Capacidad.
- Tiempo de Viaje.
- Tiempo de Acuatamiento.

J.4. Recalculo de PL (Programación Lineal):

Las minas se encuentran en constante cambio. Existen cambios de rutas, cambios de estados, tipos de materiales siendo extraídos, tasas de excavación aumentando o disminuyendo, etc. Todo esto hace necesario que la optimización de programación lineal se lleve a cabo en múltiples ocasiones durante el turno. Para esto, más adelante, describiremos las ocasiones en que la Capa de Programación Lineal genera las nuevas tasas de alimentación para cada ruta en la mina. (HEXAGON, 2019).

J.5. Cálculo de PL por eventos:

Las tasas de alimentación óptimas de rutas pueden y deben ser recalculadas basándose no únicamente en el intervalo de cómputo de programación lineal, se tienen que tomar en cuenta forzosamente algunos eventos que afectan directamente la solución, de lo contrario la solución sería no solo no óptima, sino que crearía problemas operativos en muchos casos.

Los eventos que causan el recalculo de la solución PL: (HEXAGON, 2019):

- Cambio de estado en equipo.
- Si es pala recalcula PL o si cambio a operativo de una demora y tiene camiones en su cola en estado de demora, entonces los pone operativos.
- Cuando un nodo de descarga cambia a estado no operativo.
- Cambio de polígono en una pala.

- Cambio de asignación fija de una pala.
- Cambio de prioridad de pala.
- Cambio de porcentaje de cobertura de una pala.
- Cambio de material en descarga.
- Cambio en splits de pala.

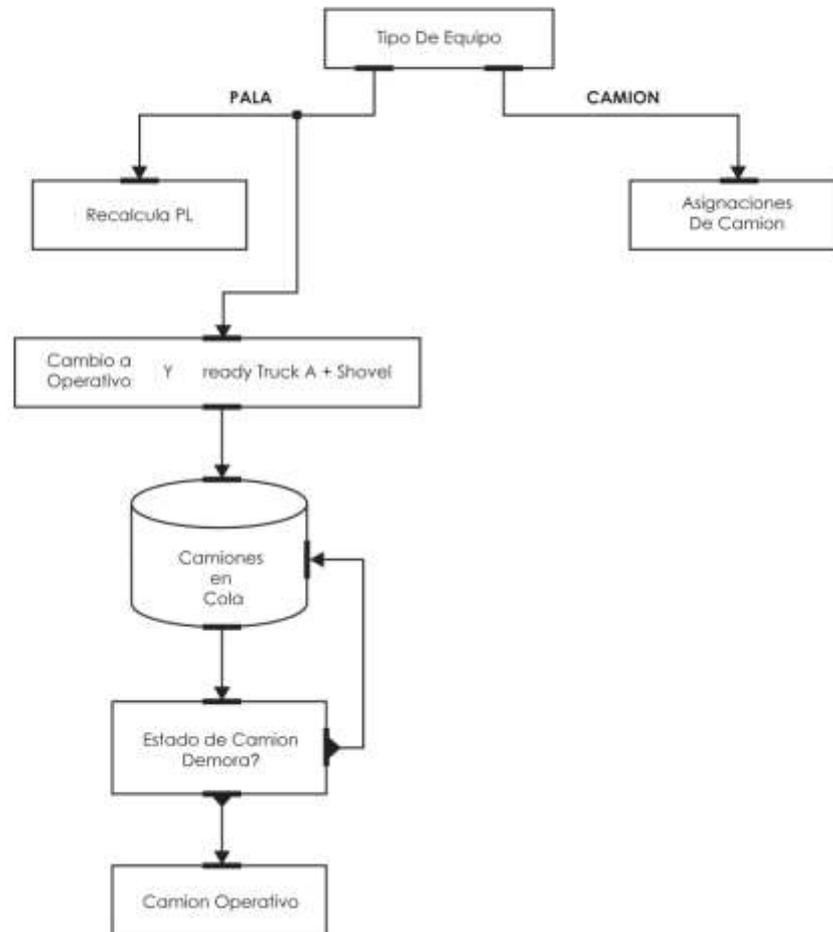


Figura 22. Recalculo de PL (HEXAGON, 2019).

J.6. Capa de asignaciones:

Una vez que el optimizador tiene toda la información requerida desde la Capa de Programación Lineal, puede utilizar las asignaciones de camiones para optimizar la producción dentro de la mina y, al mismo tiempo, minimizar el costo, que en este caso es el tiempo de viaje. Existen dos tipos de asignaciones que el sistema realiza: (HEXAGON, 2019)

- Asignaciones de pala.

- Asignaciones de descarga.

El cálculo realizado por el módulo mejor ruta es uno de los cálculos más importantes de la capa de asignaciones que se realizan en el sistema OP Pro Manager; y esto es fácil de comprender si sabemos que el módulo de mejor ruta es el encargado de determinar los tiempos de viaje, dichos tiempos de viaje afectan el costo de asignaciones. Para asegurar que el cálculo de tiempo de viaje es exacto, para su uso en el cálculo de costo de asignaciones, los despachadores deben asegurarse de que la elevación de todas las balizas, voladuras y descargas sean válidas y correctas. Si esta condición no se cumple se podrá dar el caso que el optimizador realice alguna asignación “errónea”. El tiempo de viaje es el tiempo en segundos de los camiones viajando en una ruta dada, considerando la pendiente, la velocidad promedio, y si el camión está viajando vacío o cargado. (HEXAGON, 2019).

a. Asignaciones de Pala:

Estas asignaciones son calculadas mucho antes de ser requeridas. El optimizador tiene información sobre cuál será la siguiente pala a la que serán asignados todos los camiones, antes de que esta información sea requerida. Cuando un camión pide una asignación nueva, por ejemplo, después de descargar, la asignación a la siguiente pala, previamente calculada para el camión, es utilizada para dicha asignación. (HEXAGON, 2019).

A grandes rasgos podemos resumir el proceso de asignación en los siguientes bloques:

- Pala más necesitada.
- Ruta más necesitada.
- Camión con menos costo.
- Restricciones de camión.



Figura 23. Asignación de Camión (HEXAGON, 2019).

i. Pala más necesitada:

Para encontrar la pala más necesitada, que es la pala con mayor necesidad de transporte, tenemos que analizar todas las palas que existen en la solución PL, considerando determinados criterios y configuraciones, tales como: (HEXAGON, 2019)

- Prioridad de pala.
- Tiempo de espera.
- Tasas de alimentación.
- Porcentaje de cobertura.
- Capacidad de la pala.
- Tiempo de demora.

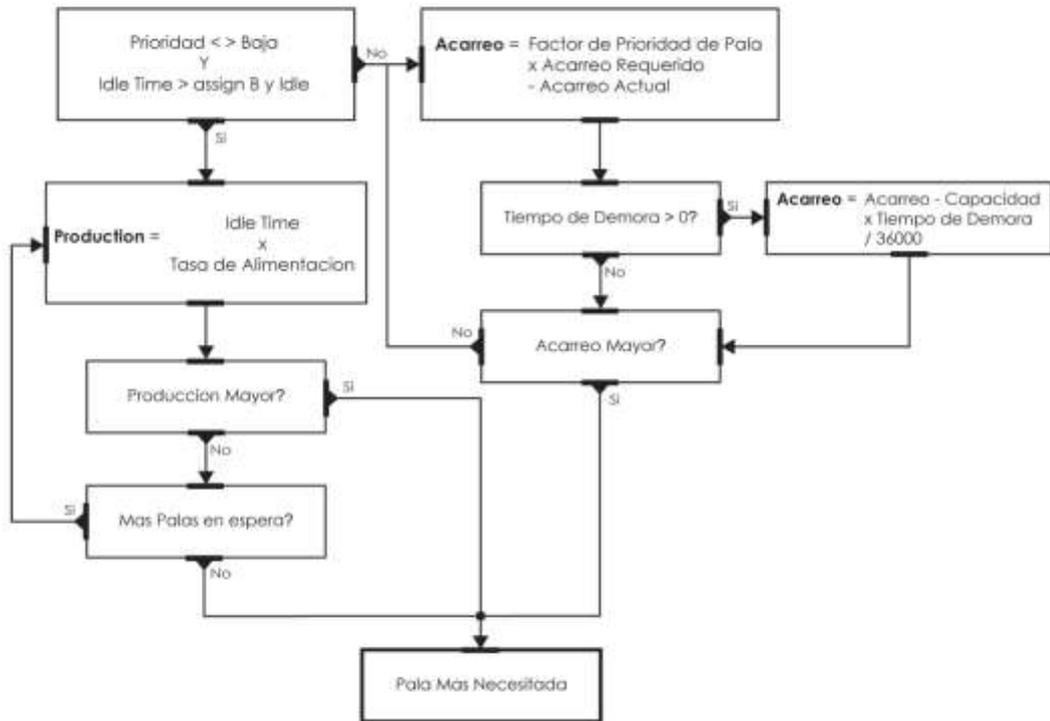


Figura 24. Pala más necesitada (HEXAGON, 2019)

ii. Factor de prioridad de pala:

El factor de prioridad de pala se calcula basado en el porcentaje de cobertura y la prioridad de pala. Primeramente, se obtiene la cobertura de pala para después ser multiplicada por el valor asociado a la prioridad de la pala como se observa en la siguiente figura: (HEXAGON, 2019).

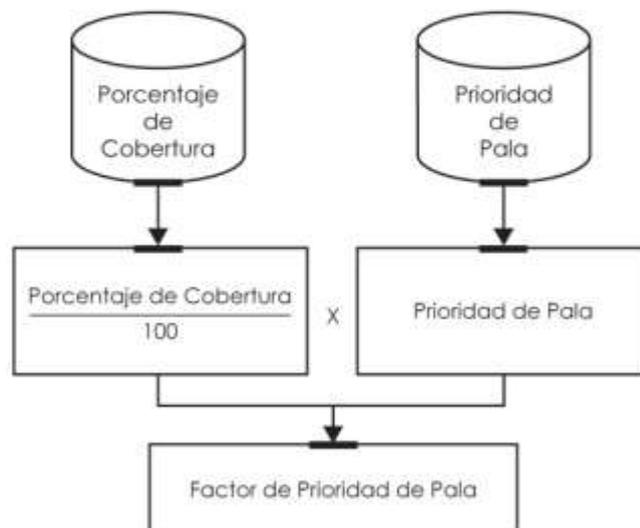


Figura 25. Factor de Prioridad de Pala (HEXAGON, 2019)

En otras palabras, el factor de cobertura de una pala determinada, es afectado por la prioridad de pala de esta. Si observamos la tabla siguiente, podemos ver cómo es calculado el factor de prioridad de pala.

FACTOR DE PRIORIDAD DE PALA	PORCENTAJE DE COBERTURA	PRIORIDAD DE PALA
1.25	100% / 100 = 1.0	Alta = 1.25
1.00	100% / 100 = 1.0	Normal = 1.0
0.75	100% / 100 = 1	Baja = 0.75

Tabla 3. Factores de prioridad de Pala (HEXAGON, 2019)

iii. Ruta más necesitada:

Una vez conocida la pala más necesitada, tenemos que encontrar la ruta más necesitada. La ruta más necesitada es la ruta con mayor necesidad de transporte, si observamos el diagrama de la Ruta más necesitada, podemos ver que, para conocer la ruta más necesitada, primero que nada, tenemos que buscar todas las rutas que estas relacionadas a la pala más necesitada que encontramos anteriormente. (HEXAGON, 2019)

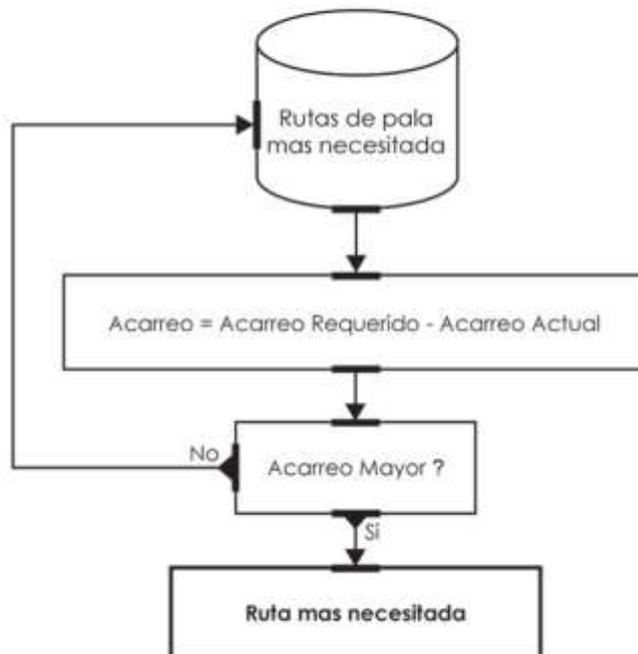


Figura 26. Ruta más necesitada (HEXAGON, 2019)

Posteriormente se obtiene el acarreo requerido calculado por programación lineal para dicha ruta, y a dicho valor se le resta el acarreo actual asignado a dicha ruta. Con esto determinamos la ruta más necesitada.

iv. Menor costo de camión:

El menor costo es determinado tal como se observa en la Ilustración 15. Primeramente, se obtienen los valores del costo de viaje (travelCost) y el costo sin uso (idleCost). Posteriormente se obtienen los tiempos de viaje y tiempos de espera; el travelCost multiplica al tiempo de viaje, y el idleCost multiplica al tiempo de espera, ambos resultados se suman y el valor total es el costo de asignar a un determinado camión a la ruta más necesitada resultante.

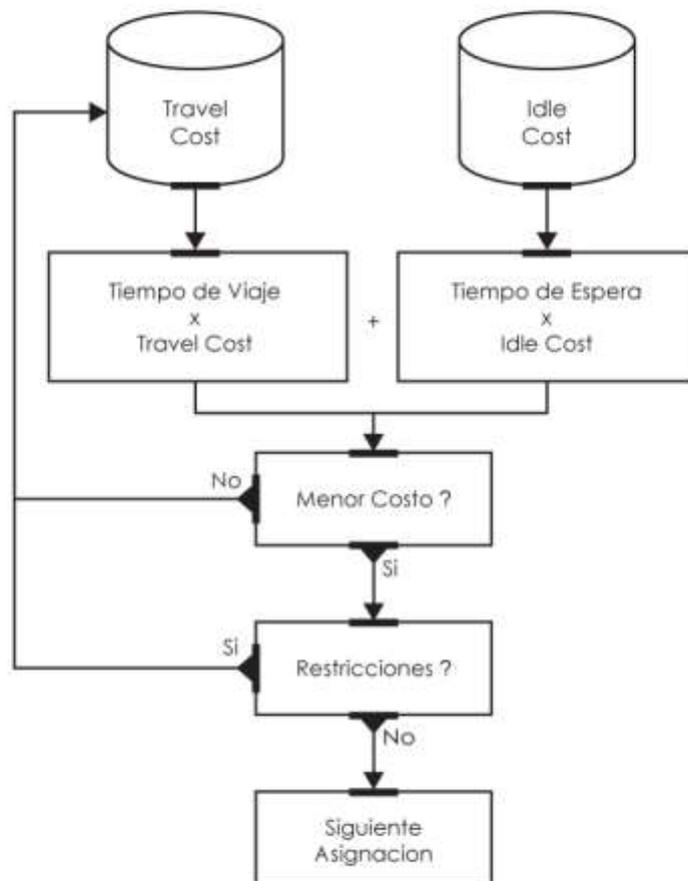


Figura 27. Menor costo de ruta (HEXAGON, 2019)

Se analiza el costo de todos los camiones, y el camión con menor costo es designado como candidato a ser asignado a la ruta más necesitada.

Finalmente, se tienen que considerar las restricciones del camión con menor costo hacia la ruta específica, si existen restricciones, se analiza el costo de los siguientes camiones hasta encontrar uno que no tenga restricciones hacia dicha pala, si no tiene restricciones, el parámetro `next_shovel` es actualizado con la pala relacionada a la ruta en cuestión, y el valor de acarreo actual es actualizado. (HEXAGON, 2019)

b. Asignaciones de descarga:

Los camiones obtienen asignaciones a descargas después de terminar de cargar y cuando empiezan a transportar. La lógica para realizar estas asignaciones es bastante simple y se explica a continuación: (HEXAGON, 2019)

- Cuando un camión entra a la actividad transportando, este realiza una petición de asignación para un material o polígono dado.
- Se verificará si existen asignaciones fijas a descargas configuradas ya sea en el camión, la pala o el material con que fue cargado el camión, y el camión será asignado a dicha asignación fija únicamente si dicha descarga acepta el tipo de material
- Si no existe una asignación fija, entonces el sistema iterara a través de todas las descargas conectadas a la pala que recién cargo al camión, y utilizara la descarga más apropiada basada en las restricciones actuales
- Si no se encuentra una descarga en el paso anterior, entonces el sistema buscará la descarga más cercana y asignará el camión a dicha descarga, incluso si no existen caminos abiertos o activos hacia dicha descarga.

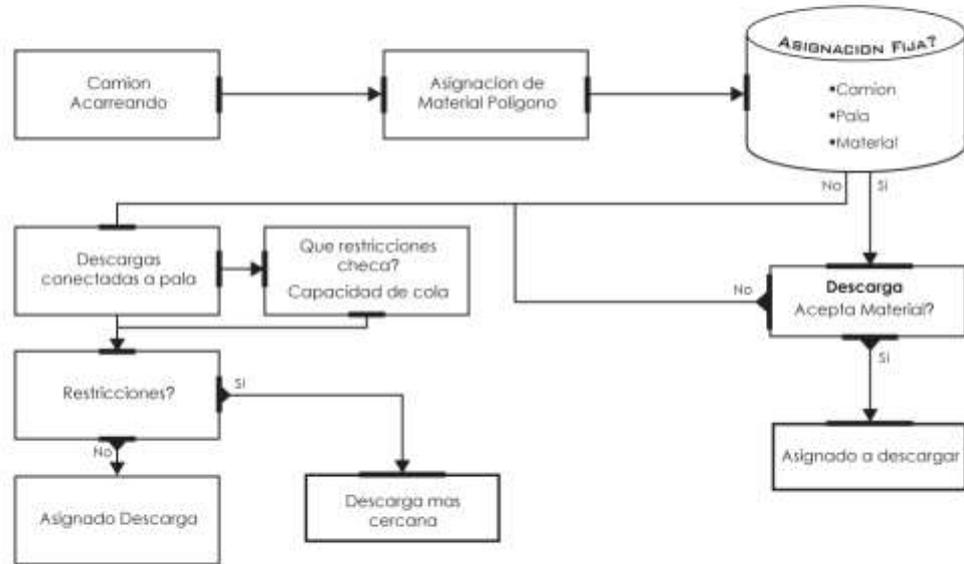


Figura 28. Capa de asignaciones (Descargas) (HEXAGON, 2019)

c. Cálculo del mejor costo y mejor pala:

El cálculo del mejor costo es utilizado directamente con la pala relacionada a dicho costo para definir la mejor pala. Existen diversos parámetros que son considerados para llevar a cabo dicho cálculo. Si pensamos que parámetros debieran afectar el cálculo del mejor costo y la mejor pala, los más importantes estarán relacionados a los tiempos de viaje y prioridades. (HEXAGON, 2019)

Los parámetros utilizados para el cálculo del mejor costo y determinación de la mejor pala son:

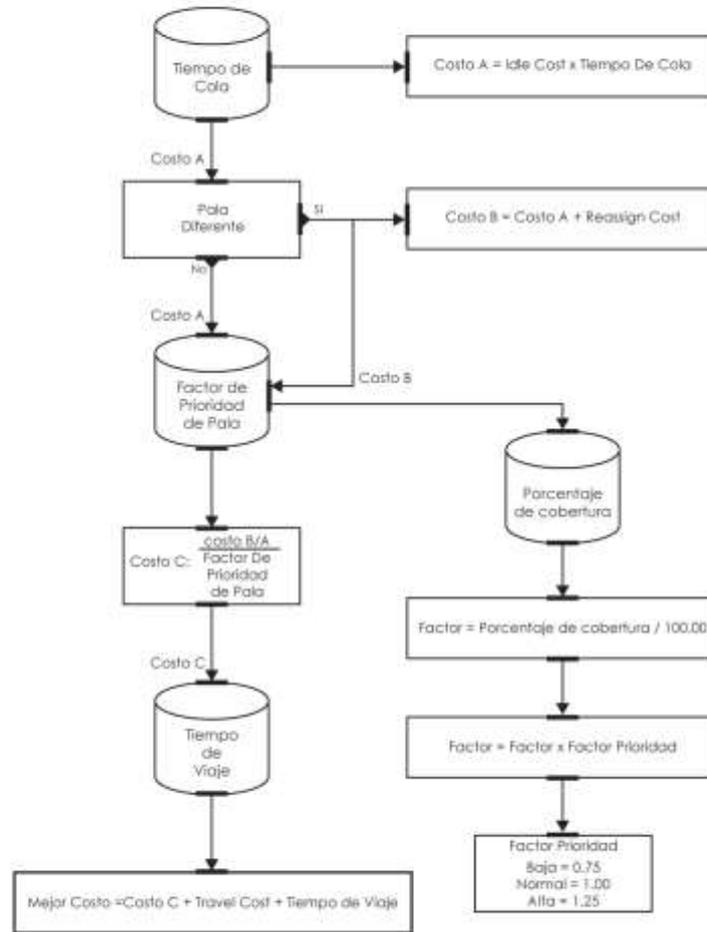


Figura 29. Reasignaciones: Cálculo del mejor costo (HEXAGON, 2019)

K. Reasignaciones:

Las reasignaciones pueden ser necesarias para corregir un cambio en las condiciones de la mina; dependiendo de la estructura operacional de la mina puede ser necesario configurar balizas de reasignación dentro de la red de caminos.

Usualmente se realizan asignaciones en balizas virtuales que ofrecen decisiones poco óptimas, ya que requieren que el camión tenga que retroceder o tomar rutas poco óptimas hacia la pala reasignada. Esto se debe a que se monitorea la posición del camión de forma poco precisa, lo que ocasiona que lleguen a la baliza de reasignación y reciban la reasignación quizás ya demasiado tarde como para corregir la ruta hacia la nueva pala.

FMS OP Pro Manager realiza asignaciones de camiones manual y automáticamente. De forma manual el despachador puede reasignar un camión hacia una pala diferente, o el operador del camión puede solicitar una reasignación desde su panel. (HEXAGON, 2019).

Reasignaciones manuales: (HEXAGON, 2019)

- Por despachador (desde la aplicación OP Pro Manager).
- Por operador (desde la computadora abordó).

Reasignaciones automáticas: (HEXAGON, 2019)

- Balizas de reasignación.
- Fuera de Ruta.
- TKPH.

d. Balizas de reasignación:

OP Pro Manager detecta la existencia de una baliza de reasignación mucho antes de llegar a ella, lo que le da tiempo al sistema de enviar la corrección de asignación al operador del camión, mucho antes de que se vea en la necesidad de corregir su ruta. (HEXAGON, 2019).

Habiéndose detectado una baliza de reasignación, se realiza el proceso de reasignación.

I.2. Definición de términos básicos:

- **ASARCO:** Marco de referencia para definir conceptos y distribución de tiempos.
- **Au:** Oro.
- **Balizas:** Son puntos virtuales dentro de las rutas de acarreo, los que incluyen los puntos de carga y descarga dentro del pit y se definen por coordenadas espaciales. Las balizas sirven para detectar los camiones de extracción en sus llegadas y/o salidas desde el origen o destino. En estos puntos, al sistema se le permite reasignar la ruta a los camiones si es que se llegase a encontrar una mejor. (Bonzi, 2016).
- **Base de datos transaccional:** Repositorio lógico de información cuya escritura y lectura se hace de forma independiente, manteniendo la integridad de información almacenada.
- **Bit:** Unidad mínima de un sistema informático.
- **Cargador frontal:** Equipo que se utiliza para cargar los camiones.
- **Cu:** Cobre.
- **Despachador:** Personal que interactúa con el sistema de gestión de flotas.
- **EFH:** Distancia equivalente horizontal. (Marín C. , 2015)
- **FMS:** es un sistema de gestión de flotas. (HEXAGON, 2019).
- **Framework:** Marco de trabajo de componentes reutilizables.
- **GPS:** Sistema de Posicionamiento Global, que permite el rastreo y ubicación de un equipo.
- **Grifo:** Estación de abastecimiento de combustible.
- **GTK:** Librería de componentes gráficos multiplataforma orientada a desarrollar interfaces de usuario.
- **Hardware:** Conjunto de elementos físicos que integran un sistema informático.
- **IDLE:** Tiempo de inactividad de un equipo, demoras no programadas. (HEXAGON, 2019).
- **JAMS:** Jigsaw Advanced Mining Services. (HEXAGON, 2019).
- **HxGN MineOperate OP Pro Manager:** sistema de gestión de flotas desarrollado por Hexagon.
- **KPI:** Indicador clave de desempeño.
- **Ley de mineral:** Se refiere a la concentración de oro, plata, cobre, estaño, etc. presente en las rocas y en el material mineralizado de un yacimiento (minmineria.cl, 2017).
- **Lixiviación:** Proceso hidrometalúrgico mediante el cual se provoca la disolución de un elemento desde el mineral que lo contiene para ser recuperado en etapas posteriores mediante electrólisis (minmineria.gob.cl, 2017).
- **LP:** Programación lineal.

- **Mezcla (Blending):** Combinación de diferentes minerales que deben cumplir determinadas restricciones y sea de ley o recuperación de mineral (Izquierdo & Rojas, 2016).
- **Mina:** Ubicación geográfica en el espacio que está siendo explotada. (Bonzi, 2016).
- **Nodo de carga:** Punto demarcado con coordenadas espaciales, donde se encuentra la operación de carga dentro del pit. Por lo general son ubicaciones de los equipos de carguío. (Bonzi, 2016).
- **Nodo de descarga:** Punto demarcado con coordenadas espaciales, donde se encuentra la operación de descarga dentro del pit. Generalmente son ubicaciones correspondientes a botaderos, stocks y/o chancados. (Bonzi, 2016).
- **Nodos intermedios:** Son puntos virtuales en el sistema, definidos por coordenadas especiales. Sirven para referenciar caminos, es decir, entre cada nodo se puede conocer la distancia y pendiente de los caminos. (Bonzi, 2016).
- **OEM:** Un OEM (del inglés, Original Equipment Manufacturer) o fabricante de equipos originales confecciona piezas o componentes que se utilizan en los productos de otras empresas: por ejemplo, Ford emplea parabrisas de PPG, que es un OEM. (Hewlett Packard Enterprise Development LP, 2019).
- **Operador:** Personal que conduce un equipo en mina.
- **Pad:** Terraplén continuo de mineral. (Rumbo Minero, 2017).
- **Pala:** Equipo que se utiliza para cargar los camiones.
- **Pit/Tajo:** Lugar físico de explotación, donde se encuentran los equipos operando. (Bonzi, 2016).
- **Polígono:** Bloque de mineral con determinadas características.
- **Productividad:** Relación de unidades producidas en una unidad de tiempo.
- **Puerto Serial:** Interfaz bidireccional que permite enviar y recibir datos bit a bit.
- **Región:** Son los distintos sectores del pit de manera de puntualizar la operación en sectores específicos. (Bonzi, 2016).
- **Software:** Conjunto de elementos lógicos que integran un sistema informático.
- **SQL:** Lenguaje de consultas estructurado.
- **Stockpiles:** Se denomina al acopio de minerales a granel en pilas o stockpiles una forma económica y segura de almacenar grandes cantidades de mineral chancado ya sea grueso y/o fino. La capacidad de almacenamiento de un acopio puede alcanzar varias toneladas dependiendo de la geometría y el diseño (Wilhelm, 2003).
- **Tasa de excavación:** Productividad de un equipo de carguío.
- **TKPH.** La TKPH (Tonelada-Kilómetro por Hora) es, en efecto, una característica esencial de la capacidad de trabajo de las llantas. Para una misma dimensión y un mismo dibujo pueden existir varios tipos de goma, cada uno asociado a un TKPH diferente. (Michelin, 2019).
- **UHP:** Plataforma Unificada de Hardware. (HEXAGON, 2019).

- **VIMS:** Vital Information Management System, es un instrumento de administración de equipo y de diagnóstico avanzado exclusivo de Caterpillar, diseñado para contribuir a reducir los costos de operación. (Caterpillar Inc., 2009).

III. HIPÓTESIS

III.1. Declaración de Hipótesis

A. Hipótesis general:

La gestión de la demora en el abastecimiento de combustible influye significativamente en la productividad de equipos de acarreo en una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, 2019.

A.1. Variables:

- **Variable Independiente:** Gestión de la demora de abastecimiento de combustible.
- **Variable Dependiente:** Productividad de equipos de acarreo.

B. Hipótesis específicas:

- La implementación de un proceso de asignación automática a grifo influye positivamente en la gestión del abastecimiento de combustible en los equipos de acarreo, en una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, 2019.
- La implementación de un proceso de asignación automática a grifo para el abastecimiento de combustible influye positivamente en los tiempos acumulados de abastecimiento de combustible en los equipos de acarreo, en una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, 2019.
- La implementación de un proceso de asignación automática a grifo para el abastecimiento de combustible influye positivamente en la productividad en los equipos de acarreo, en una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, 2019.

III.2. Operacionalización de variables.

Variable	Definición Conceptual	Operacionalización o Definición Operacional	Categorías o Dimensiones	Definición de la Categoría o Dimensión	Indicador	Nivel de Medición	Unidad de Medida
Gestión de la demora en el abastecimiento de combustible en Camiones	La gestión de la demora en el abastecimiento es el control del tiempo de las demoras de relleno de combustible. (MINERA YANACOCKA, 2019)	La gestión de la demora de abastecimiento de combustible se mide por el tiempo promedio de demoras. (MINERA YANACOCKA, 2019)	Demoras de abastecimiento de combustible	Promedio de tiempo que demora un equipo de acarreo en abastecer combustible. (MINERA YANACOCKA, 2019)	$AVG.D. = Avg(T.Demoras)$ <i>KPI demoras de abastecimiento de combustible</i> (MINERA YANACOCKA, 2019)	Razones/Proporciones	Minutos
Productividad de acarreo	La productividad tiene que ver con los resultados que se entiende de un proceso o sistema. (Pulido, 2014)	Productividad de acarreo se mide a través de las Toneladas por hora producidas. (Marín C. , 2015)	Toneladas por hora	Es la relación entre las toneladas nominales y el tiempo total productivo, que incluye tiempo de carguío, tiempo de cuadrado y esperando camiones. (Marín C. , 2015)	Tonelaje Nominal	Razones/Proporciones	Toneladas
					Tiempo Operativo	Razones/Proporciones	Horas
					$Productividad\ horaria = \frac{tonelaje\ nominal}{tiempo\ operativo}$ (Marín C. , 2015)	Razones/Proporciones	Toneladas/hora

Tabla 4. Matriz de Operacionalización de variables

III.3. Propuesta de solución:

Objetivo:

Implementar el proceso asignación automática a grifo para gestionar la demora de abastecimiento de combustible, en una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, 2019.

Acciones:

El desarrollo de solución se realizó por parte del personal de Hexagon especialistas en hardware y software además del acompañamiento de personal de Caterpillar que ayudarán a validar la información obtenida del VIMS de los equipos de acarreo.

Hexagon cuenta con un Framework propio desarrollado en base Ruby on Rails y GTK, sobre un núcleo principal escrito en Objective-C, cabe recalcar que el software OP Pro Manager ya se encuentra desarrollado y solamente se van a realizar cambios a nivel de configuraciones, creación de nuevas vistas y lo principal, adicionar nuevas restricciones a la capa de optimización para conseguir asignaciones dinámicas a estaciones de combustible, para ver más información sobre el sistema OP Pro Manager revisar el

Anexo 1 Sistema de gestión de flotas (FMS), para entender mejor la forma de cómo trabaja el módulo de optimización puede revisar las bases teóricas **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

A. Análisis de asignaciones por nivel de combustible:

Existen varios casos de asignaciones identificadas basadas en el nivel de combustible. Estas asignaciones identificadas son:

- Porcentaje de combustible bajo - PCB.
- Porcentaje de combustible crítico - PCC.
- Distancia máxima a grifos - DMG.

Los valores del porcentaje de combustible bajo y crítica, están relacionados al consumo de combustible de cada tipo de flota y las especificaciones del fabricante.

La distancia máxima permitirá configurar el radio en cual el sistema buscará por ubicaciones a grifos de combustible. Este valor no será considerado en caso de nivel de combustible críticos.

El porcentaje de combustible bajo inicialmente será asignado entre 25% y 35%, este valor será configurable ya que puede cambiar en el tiempo, y representa el porcentaje de combustible en el cual el sistema debe asignar el equipo hacia un grifo de la forma óptima.

El porcentaje de combustible crítico inicialmente será asignado entre 20% y 25%, este valor será configurable ya que puede cambiar en el tiempo, y representa el porcentaje de combustible en el que el sistema debe forzar la asignación del equipo para abastecer combustible.

Para realizar una adecuada asignación a grifos no se realizará asignación si el equipo está transportando material o si no existen grifos disponibles (operativos).

A continuación, se analizaron las situaciones en que se deben realizar las asignaciones basándonos en el nivel o porcentaje de combustible:

A.1. Asignaciones críticas a grifo:

El caso en que el porcentaje de combustible de un camión sea menor al valor porcentaje de combustible crítico (PCC) es considerado como un caso crítico, debido a que el PCC es el valor mínimo en el cual el camión deberá ser asignado forzosamente a un grifo.

En este caso se van a considerar las siguientes condiciones para que el camión sea asignado:

- Porcentaje de combustible < PCC.
- Restricciones de camión a grifos.
- Restricciones de camión a determinadas ubicaciones.

Considerando estas restricciones se analizan las distancias de cada uno de los grifos y la mejor distancia determina la asignación de los camiones. Cabe resaltar que los únicos grifos considerados en las asignaciones son los grifos disponibles (Operativos). No se toma en consideración la distancia máxima a grifos debido a que se trata de una asignación crítica.

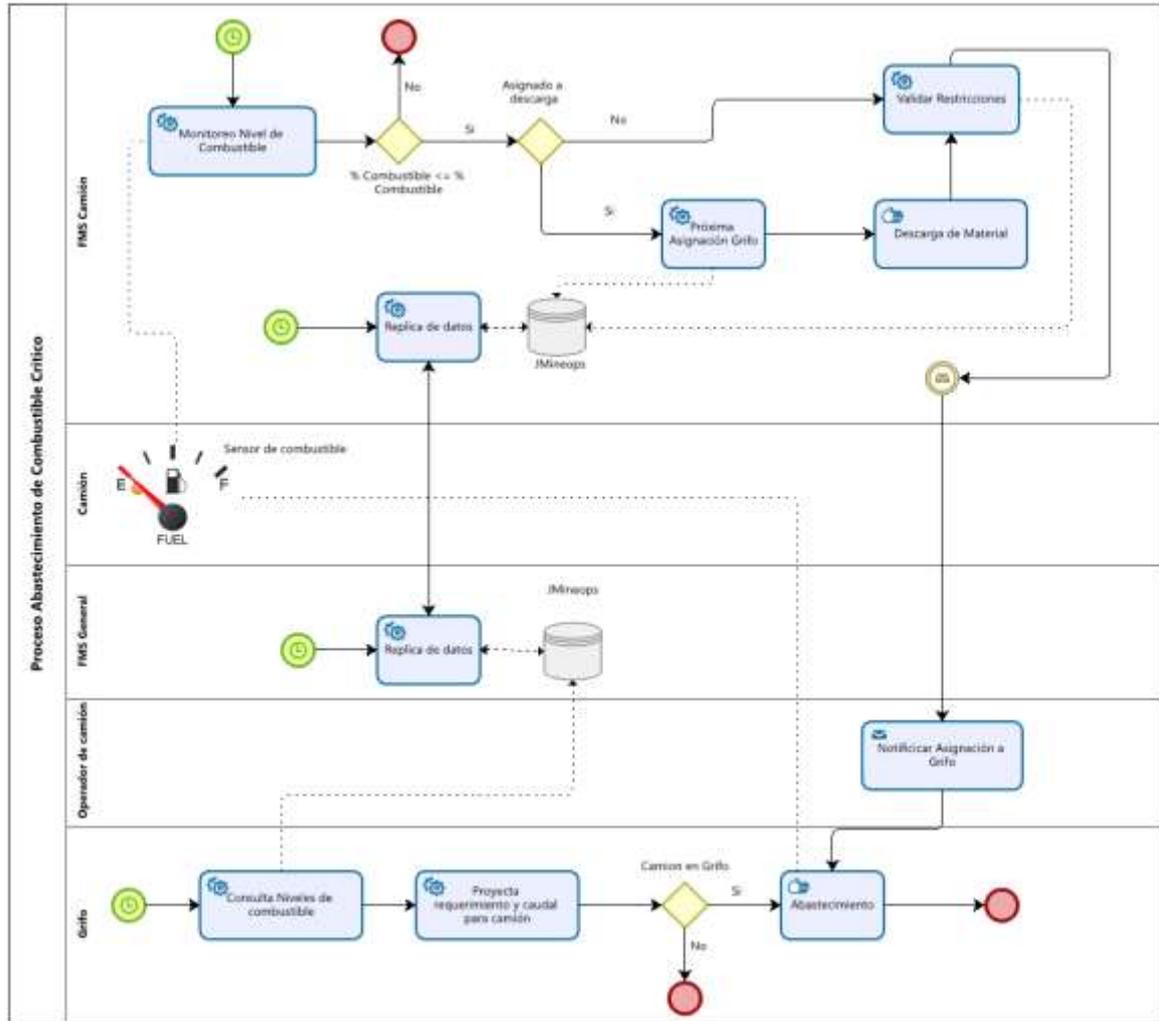


Figura 30. Asignaciones Críticas a Grifo (Fuente Propia)

A.2. Asignación óptima a grifo:

Esta asignación deberá realizarse cuando el porcentaje o nivel de Combustible se encuentra entre porcentaje de combustible bajo (PCB) y porcentaje de combustible crítico (PCC). En este caso se trata de encontrar los siguientes valores óptimos:

- Mejor grifo.
- Mejor pala.
- Mejor costo.

Para encontrar el mejor grifo se consideran todas las distancias hacia los grifos, en este caso todos los grifos considerados son aquellos cuyas distancias son menores que la distancia máxima a grifo (DMG).

Después de esto para cada grifo que cumple con la condición anterior, se buscan las palas para las cuales el camión en cuestión no tenga restricciones ni de pala ni de ubicación; si esta condición se cumple, entonces se analiza el costo de asignación del camión hacia la pala, el menor costo de asignación es considerado como el mejor costo, la pala correspondiente es la mejor pala y el grifo en cuestión es la mejor grifo.

El costo de Asignación se calcula como sigue:

$$\text{Costo de Asignación} = (\text{travelCost} \times \text{tiempoDeViaje}) + (\text{idleCost} \times \text{tiempoDeEspera})$$

Fórmula 4. Costo de asignación (HEXAGON, 2019)

Donde: (HEXAGON, 2019):

- **TravelCost:** Este valor representa el costo relativo de una ruta. Por defecto es 1.5, dicho factor multiplica los tiempos de viaje. Debido a que cuando un camión va en viaje este consume combustible y desgasta neumáticos, lo que es más costoso que dejar un camión en espera.
- **Tiempo de Viaje:** Tiempo en segundos que tomara al camión viajar a una ubicación asignada.
- **Tiempo de Espera:** es el tiempo de espera previsto en una pala específica.
- **IdleCost:** Representa el costo relativo de un camión en espera. Está definido como 1.0 por defecto. Dicho valor multiplica el tiempo de espera por el idleCost; s considerado menos costoso un camión en espera que en viaje.

El costo de asignación da preferencia a las rutas con menor tiempo de viaje, ya que el costo de viaje incrementa en tiempo de viaje en un 50% y el idleCost respeta el valor de tiempo de espera (HEXAGON, 2019) . Ambos valores tanto el TavelCost como el IdlecOST son configurables en sistema de gestión de flota.

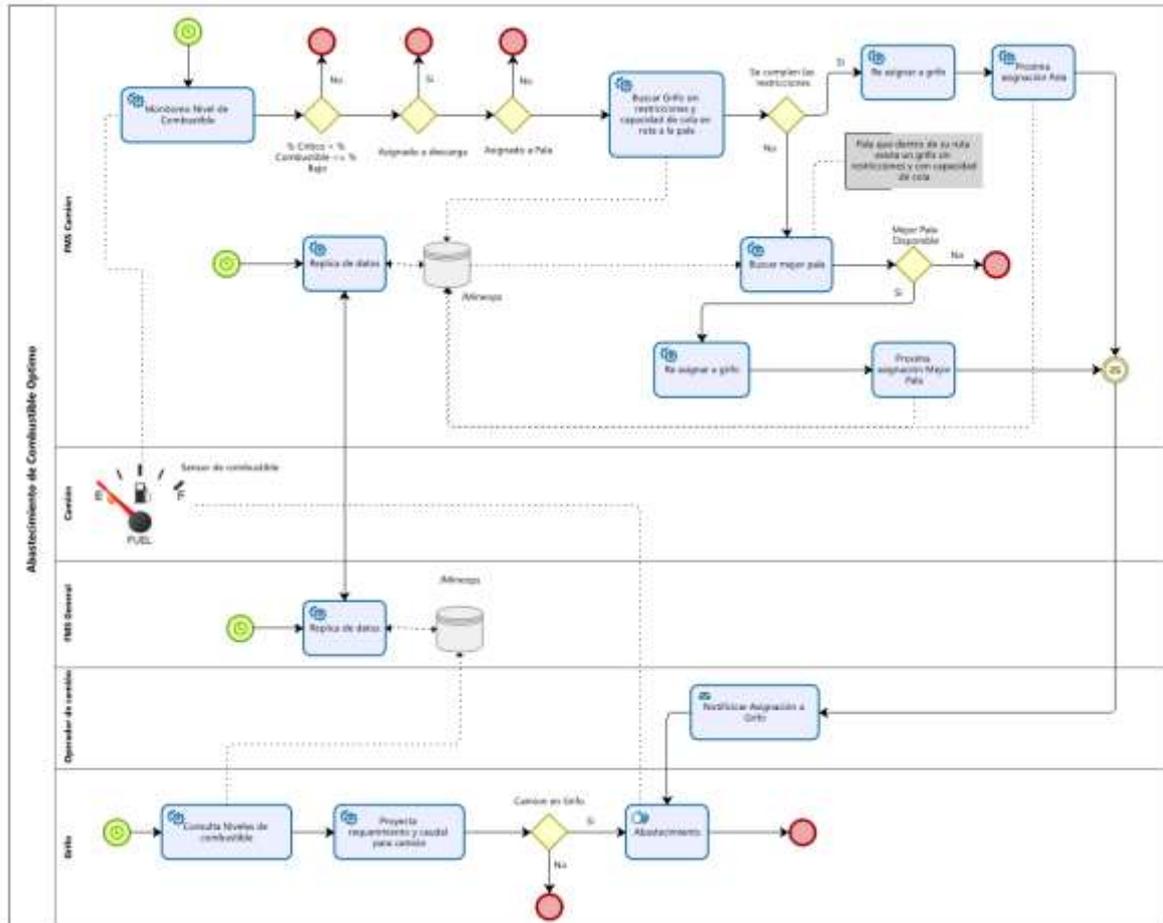


Figura 31. Asignación Óptima a Grifo (Fuente propia)

A.3. Asignaciones no críticas:

Un camión será asignado **directamente** a un grifo si la distancia desde la siguiente ubicación del camión hacia un grifo es menor que la distancia máxima a un grifo - DMG, esto siempre y cuando se cumple las siguientes condiciones:

- No existan restricciones de la siguiente ubicación del camión hacia el grifo.
- La capacidad de cola para el grifo en cuestión no esté llena.
- El camión este viajando vacío.
- Los grifos estén disponibles (operativos).

B. Requerimientos para implementación de la solución:

Para poder implementar la lógica descrita anteriormente la principal entrada de datos que debemos tener es el nivel de combustible en tiempo real de los equipos de acarreo; en este caso necesitamos realizar la conexión con la computadora a bordo del equipo Caterpillar (VIMS) y el módulo UHP del sistema de gestión de flota usando un puerto

serial R232, es necesario entonces que los equipos de acarreo estén habilitados para conexiones con terceros, contar con el protocolo de comunicación y poder interpretar la trama de datos que envía el equipo.

En este caso se detecta un tema ético de divulgación de información confidencial a nivel corporativo, en la transferencia de información del equipo hacia el sistema de gestión de flota, con la consideración que Hexagon y Caterpillar son proveedores de sistemas de gestión de flota.

Para que Caterpillar brinde esta información es necesario que el titular minero garantice el buen uso de esta información y realice un convenio de confidencialidad con Hexagon y Caterpillar la cual debe ser firmada por los CEO o Gerentes de cada empresa para mayor respaldo.

Para el caso de acceder a información confidencial de los abastecimientos de combustible se firmará un convenio de confidencialidad entre el titular minero y Hexagon para asegurar que la información se use solo dentro del ámbito del proyecto, esto formará parte del contrato de desarrollo de la solución, para la presente tesis se mostrará información referencial a los resultados logrados tras la implementación.

C. Diseño de la solución.

Como se comentó anteriormente el titula minero cuenta con un sistema de gestión de flota llamado OP Pro Manager, para ver más detalles y características puede revisar el

Anexo 1 Sistema de gestión de flotas (FMS), este es un software minero desarrollado por Hexagon, en base a diferentes tecnologías, este cuenta con un computador industrial a bordo (UHP) de los equipos mineros, pantalla táctil, conectividad wifi y posicionamiento GPS como se muestra en la Figura 32.



Figura 34. Cable Conexión VIM



Figura 35. Computadora abordo FMS - HUB UHP



Figura 36. Conexión computadora abordo camión (VIMS)

C.2. Configuración de sensor de combustible.

Debido al framework y arquitectura de la solución, se va a reutilizar gran parte de los componentes software, para esto vamos a realizar las configuraciones necesarias y agregar las restricciones para las asignaciones a grifo, las cuales heredan todas las características de OP Pro Optimizer; para más detalles de la lógica del optimizador puede revisar en las bases teóricas **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Para realizar estas configuraciones realizaremos los siguientes pasos dentro del sistema de gestión de flotas OP Pro Manager:

- a. Crear un nuevo registro de tipo sensor que permita realizar las configuraciones necesarias para la lectura de los valores entregados por el VIMS de cada equipo, esto se realiza en vista de Enumeraciones la cual contiene la información genérica del sistema.

Figura 37. Creación de sensor Fuel Gauge (fuente JMnieops)

- b. Como segundo paso debemos configurar el sensor creado asociándolo al canal de la trama de bits que vamos a leer y al dispositivo que para este caso sería oem.vims.truck que hace referencia a los camiones de carguío, el número de canal fue proporcionado dentro de los protocolos de decodificación por Caterpillar, la vista que usaremos para este paso será configuración de sensores del sistema de gestión de flotas OP Pro Manager.

Confirmada la comunicación con el VIMS del equipo, procedemos a validar que estamos leyendo la trama de datos por el puerto serial, para eso dentro del subsistema del computador a bordo ejecutamos los siguientes comandos **enable slip_out, slip_in, vims_debug_msg**, donde:

- **slip_out**: es la solicitud del computador a bordo al sensor.
- **slip_in**: respuesta enviada desde el computador a bordo hacia el sistema de gestión de flota y poder ser utilizado.
- **vims_debug_msg**: resumen de la petición-respuesta realizada en base a la configuración del sensor.

```

- when it has to be right
Geosystems
WIRELESS FREEDOM
ATTITUDE ADJUSTMENT (bleeding edge, r27590) -----
HT105:jigsaw$ telnet localhost 1110
JAMS> enable slip_out,slip_in,vims_debug_msg
JAMS> 13:06:38.002 vims_debug_msg: JVins pollSensors: (2887721) vims for 2 sensors every 1000 millis
13:06:38.006 vims_debug_msg: request VIMS-INFO: 2 [ 851 349 ]
13:06:38.010 slip_out: 01630515 00020353 015df409 c0
13:06:38.014 vims_debug_msg: Sent request message (1301): 01630515 00020353 015df409 c0
13:06:38.060 slip_in: fffe0515 969f
13:06:38.221 slip_in: ffff0515 00028011 00947187
13:06:38.225 vims_debug_msg: VIMS-INFO-REPLY: (1301) 2 [ -32751 148 ]
13:06:38.229 vims_debug_msg: JVins pollSensors: (2887603) vims for 2 sensors every 2000 millis
13:06:38.230 vims_debug_msg: request VIMS-INFO: 2 [ 727 729 ]
13:06:38.230 slip_out: 01630516 000202d7 02d9e83a c0
13:06:38.236 vims_debug_msg: Sent request message (1302): 01630516 000202d7 02d9e83a c0
13:06:38.275 slip_in: fffe0516 0dad
13:06:38.391 slip_in: ffff0516 00020000 0006a36a
13:06:38.397 vims_debug_msg: VIMS-INFO-REPLY: (1302) 2 [ 0 6 ]
13:06:39.002 vims_debug_msg: JVins pollSensors: (2887721) vims for 2 sensors every 1000 millis
13:06:39.006 vims_debug_msg: request VIMS-INFO: 2 [ 851 349 ]
13:06:39.010 slip_out: 01630517 00020353 015d4f3e c0
13:06:39.014 vims_debug_msg: Sent request message (1303): 01630517 00020353 015d4f3e c0
13:06:39.102 slip_in: fffe0517 84bc
13:06:39.182 slip_in: ffff0517 00028011 0094cab0
13:06:39.190 vims_debug_msg: VIMS-INFO-REPLY: (1303) 2 [ -32751 148 ]
13:06:40.006 vims_debug_msg: JVins pollSensors: (2887721) vims for 2 sensors every 1000 millis
13:06:40.006 vims_debug_msg: request VIMS-INFO: 2 [ 851 349 ]
13:06:40.007 slip_out: 01630518 00020353 015dbb27 c0
13:06:40.007 vims_debug_msg: Sent request message (1304): 01630518 00020353 015dbb27 c0
13:06:40.072 slip_in: fffe0518 7344
13:06:40.167 slip_in: ffff0518 00028011 00943ea9
13:06:40.171 vims_debug_msg: VIMS-INFO-REPLY: (1304) 2 [ -32751 148 ]
13:06:40.194 vims_debug_msg: JVins pollSensors: (2887603) vims for 2 sensors every 2000 millis
13:06:40.197 vims_debug_msg: request VIMS-INFO: 2 [ 727 729 ]
13:06:40.199 slip_out: 01630519 000202d7 02d91c23 c0
13:06:40.202 vims_debug_msg: Sent request message (1305): 01630519 000202d7 02d91c23 c0

```

Figura 41. Vims Debug (Fuente OP Pro Manager)

Seguidamente verificamos que obtenemos el valor del nivel de combustible en el intervalo de 5 minutos según la configuración realizada, esto lo realizamos ejecutando el comando **enable sensor_fuelgauge** en el subsistema del computador a bordo del sistema de gestión de flota como se muestra en la Figura 42.

```

- when it has to be right
Geosystems
WIRELESS FREEDOM
ATTITUDE ADJUSTMENT (bleeding edge, r27590)
HT116:jigsaw$ telnet localhost 1110
JAMS> enable sensor_fuelgauge
JAMS> 13:35:00.380 sensor_fuelgauge: fuelgauge good 97.71 pct normal
13:40:00.102 sensor_fuelgauge: fuelgauge good 97.975 pct normal
13:45:00.594 sensor_fuelgauge: fuelgauge good 97.845 pct normal
13:50:00.369 sensor_fuelgauge: fuelgauge good 97.315 pct normal
13:55:00.063 sensor_fuelgauge: fuelgauge good 97.18 pct normal
14:00:01.057 sensor_fuelgauge: fuelgauge good 96.515 pct normal
14:05:00.093 sensor_fuelgauge: fuelgauge good 96.385 pct normal
14:15:00.400 sensor_fuelgauge: fuelgauge good 97.71 pct normal
14:20:00.395 sensor_fuelgauge: fuelgauge good 95.85 pct normal

```

Figura 42. Lectura de combustible VIMS (Fuente OP Pro Manager)

C.3. Configurar consumo de combustible.

Al configurar esta funcionalidad podremos ingresar básicamente las restricciones de combustible bajo y combustible crítico para cada flota de equipos para nuestro caso será 30% y 25% respectivamente.

Para generar la vista de consumo de combustible utilizaremos el siguiente script el cual generara la vista de la Figura 43.

1. view=editor
2. class_name=FuelConsumption
3. attrs=equipment_type, equipment, min_grade, max_grade, idle_rate, empty_rates, loaded_rates, empty_tonnes, fuel_low_percent, fuel_empty_percent
4. actions=apply, add, delete

MineOPS - Consumo de combustible	
Archivo: Datos	
FuelConsumption	Todo:
FuelConsumption	CAT 793D
Tipo de Equipo	CAT 793D
Equipo	
Pendiente Minima	-14.000
Pendiente Maxima	14.000
Consumos Parado	
Consumos Vacio	
Loaded Rates	
Tonelaje Vacio	161.200
Porcentaje Bajo de Combustible	30
Porcentaje Critico de Combustible	25
Detalle	
Limpiar Orden	Actualizar
Aplicar	Agregar
Borrar	

Figura 43. Vista Consumo de Combustible (Fuente OP Pro Manager)

C.4. Pruebas asignación dinámica de abastecimiento de combustible.

Realizadas las conexiones físicas realizadas y las configuraciones de software para los niveles de combustible bajo y crítico procedemos a realizar la validación de la reasignación automática por nivel de combustible bajo, para realizar esta validación se identifican los equipos que estén próximos a cumplir con las reglas establecidas, en el subsistema del computador a bordo del sistema de gestión de flota se ingresa el comando **enable action,sensor_fuel** para poder obtener la información de las actividades y nivel de combustible en tiempo real como se puede apreciar en la Figura 44, el equipo HT126 después de descargar(actividad tipping) es asignado de forma inmediata a GRIFO/CAB1 al tener 29% de nivel de combustible.

```

- when it has to be right.
Grossystem
| W I R E L E S S   F R E E D O M
ATTITUDE ADJUSTMENT (bleeding edge, r2399)
HT126:linux25 #inlet localmat 3118
JAMS> enable action
JAMS> enable sensor.fuelgauge
JAMS> sensor setSensor: fuelgauge status:good values:24
JAMS> 18:18:57.663 sensor.fuelgauge: fuelgauge good 24 pct normal
18:18:41.889 sensor.fuelgauge: fuelgauge good 29.18 pct normal
18:18:17.417 action: arrive DIQUE_LODOS_VAN
18:18:17.753 action: tipping at DIQUE_LODOS_VAN point,-282681223,-35889289,488931
18:17:18.742 action: VACIO HT126 assigned from DIQUE_LODOS_VAN to Ready GRIFO/CAB1
18:17:18.786 action: HT126 assigned to GRIFO/CAB1 with 29% fuel
18:17:18.811 action: HT126 traveling from region VANACDCHA to CHAQUECOCHA
18:17:18.891 action: Avionbase Vacio from DIQUE_LODOS_VAN to GRIFO/CAB1 (Asignacion al Grifo)
18:17:18.912 action: Avionbase Vacio from DIQUE_LODOS_VAN to GRIFO/CAB1 (1887 seconds)
18:20:01.662 sensor.fuelgauge: fuelgauge good 27.72 pct normal
18:20:01.853 sensor.fuelgauge: fuelgauge good 27.35 pct normal
18:27:04.924 JAMS: Record Equipment 69 is setting timestamp to 2021-04-14 13:27:53 while updatedAt = 2021-04-14 13:27:34
18:29:13.435 action: approaching reassignment at VA/VESERIA61
18:29:42.717 action: approaching reassignment at VA/VESERIA62
18:30:00.191 sensor.fuelgauge: fuelgauge good 27.19 pct normal
18:31:48.833 action: arrive GRIFO/CAB1
18:31:48.756 action: auto delay at location GRIFO/CAB1
18:31:41.141 action: empty at GRIFO/CAB1
18:31:48.183 action: filling fuel tank for HT126 at GRIFO/CAB1
18:31:48.282 action: status Delay 394 GRIFO/CAB1

```

Figura 44. Validación asignación automática a grifo. (Fuente: OP Pro Manager)

En las figuras: Figura 45 se observa que el equipo asignado se encuentra en trayecto al grifo asignado, la Figura 46 es la vista de mapa que muestra la llegada del equipo al grifo asignado.



Figura 45. Panel de equipo asignado a Grifo (Fuente: OP Pro Manager)

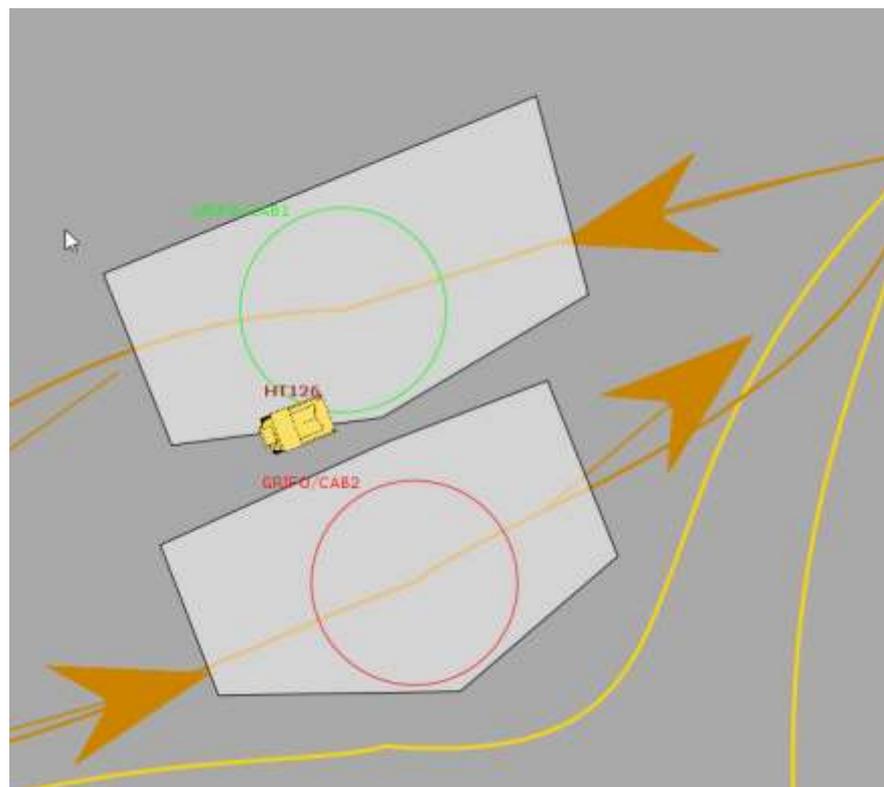


Figura 46. Llegada a grifo de equipo asignado (Fuente: OP Pro Manager)

Seguidamente procedemos a validar que la actividad haya registrado correctamente como se puede observar en la Figura 47 que muestra información de los tiempos de las actividades del equipo de pruebas.

Fecha Inicial	Fecha Final	Cargar								
04/14/21	04/14/21									
Fecha Inicial	Fecha Final	Cargar								
a	a									
Turno	Inicio/Fin									
Guardia 3 A										
Tiempo	Turno Final	Duración	Equipo	Tipo	Estado	Estado/Codigo	Ubicación	Region	Comentarios	By Dispatcher
Wed Apr 14 08:58:00 2021	Wed Apr 14 11:54:24 2021	234.9	HT128	Cat 793C	Ready	Estado 201 PRODUCCION	CHAYABES	CHAJQUECOCHA		<input type="checkbox"/>
Wed Apr 14 11:54:24 2021	Wed Apr 14 13:35:32 2021	61.1333333333333	HT128	Cat 793C	Ready	Estado 417 PRODUCCION	YA/VESEBANI	YAMACOOHA		<input type="checkbox"/>
Wed Apr 14 13:35:32 2021	Wed Apr 14 17:21:09 2021	205.616666666667	HT128	Cat 793C	Ready	Estado 201 PRODUCCION	YA/VESEBANI	YAMACOOHA		<input type="checkbox"/>
Wed Apr 14 17:21:09 2021	Wed Apr 14 17:23:50 2021	2.88333333333333	HT128	Cat 793C	Delay	Delay 414 FALTA EQUIPO DE CARGOS	CAP14L02_B	CARACHUGO ALTO		<input type="checkbox"/>
Wed Apr 14 17:23:50 2021	Wed Apr 14 18:31:47 2021	67.93	HT128	Cat 793C	Ready	Estado 201 PRODUCCION	CAP14L02_B	CARACHUGO ALTO		<input type="checkbox"/>
Wed Apr 14 18:31:47 2021	Wed Apr 14 18:44:44 2021	12.93	HT128	Cat 793C	Delay	Delay 204 FALTA DE COMBUSTIBLE - TRUJILLO	CRPO/CABL	CHAJQUECOCHA	SRPO/CABL	<input type="checkbox"/>
Wed Apr 14 18:44:44 2021	Wed Apr 14 18:47:26 2021	2.39	HT128	Cat 793C	Ready	Estado 201 PRODUCCION	CRPO/CABL	CHAJQUECOCHA		<input type="checkbox"/>

Figura 47. Validación tiempo de abastecimiento de combustible.

Es importante recalcar que el sistema de gestión de flota OP Pro Manager de Hexagon es un software protegido por las leyes de derecho de autor por cual solamente mostraremos aspectos del diseño y la lógica con la que trabaja el sistema, para cumplir con el aspecto legal de confidencialidad de la información a la cual se tuvo acceso.

IV. DESCRIPCIÓN DE MÉTODOS Y ANÁLISIS

IV.1. Diseño de la Investigación:

El diseño de la investigación básicamente da las pautas a seguir para obtener la información requerida para entender el problema planteado, Según Sampieri, Collado, & Lucio (2014) el tipo de investigaciones **experimental**, de tipo cuasi experimental, es aquella en la que manipula de manera intencional la variable dependiente; es decir se variará de forma deliberada la variable independiente para identificar cambios sobre la variable dependiente.

En la presente investigación se modificó el proceso de la variable independiente pasando de un proceso manual a un proceso automatizado, tomando control directo de dicha variable e influyendo en ella, los datos fueron recolectados durante periodos de tiempo para capturar la evolución de las variables por lo cual es una investigación **longitudinal**; el propósito es identificar la **correlación** que existe entre las variables des estudio.

IV.2. Unidad de Análisis:

Se consideró como unidad de análisis a los equipos de acarreo de una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, 2019.

IV.3. Población:

Se determinó como población a los 35 equipos de acarreo de una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, 2019.

IV.4. Muestra:

Se tomó como muestra a los 35 equipos de acarreo de una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, 2019. Debido a que se busca demostrar la influencia de las demoras de gestión de abastecimiento de combustible en la productividad de los equipos de acarreo, no se pudo excluir equipos para que los resultados sean consistentes.

IV.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Según Sampieri, Collado, & Lucio (2014) la recolección de datos implica elaborar un plan detallado de procedimientos que conduzcan a reunir datos con un propósito específico.

Para la presente investigación, la **información** fue proporcionada por la población muestral de 35 **equipos de acarreo** de una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, 2019; la **recolección** de los datos se realizó a través del **sistema** de gestión de flotas de la empresa minera el cual fue la combinación de software y dispositivos electrónicos; este permitió registrar de forma automática la información de las actividades y estados, también permitió medir el **tiempo del abastecimiento de combustible** y **tiempo operativo** de cada equipo, así mismo se obtuvo la información de sensores como la balanza de los equipos lo que permitió medir el **tonelaje** y así se obtuvo el tonelaje nominal transportado, con estas mediciones pudimos generar matrices de datos para su análisis.

La confiabilidad y validez del instrumento fue el sistema de gestión de flotas, se ha validado por juicio de expertos mediante la certificación ISO9001:2015(Ver Anexo 02), para la empresa que implementó el software certificando la comercialización, diseño, planificación e implementación de soluciones tecnológicas: software, servicio técnico y equipos de planeamiento, operaciones, seguridad, automatización y levantamientos, para la gran minería en el territorio nacional e internacional.

IV.6. Métodos y procedimientos de análisis de datos.

Métodos:

Los métodos utilizados son deductivo inductivo. Deductivo porque la problemática se plantea a partir del objetivo y pregunta de la investigación derivando en la **hipótesis** que fue puesta a prueba; Inductivo porque a partir de la situación identificada se pudo llegar a generalizar permitiendo entender otros contextos.

Procedimientos:

Se utilizó R el cual es un entorno y lenguaje de programación para computación estadística, a través del coeficiente de correlación de Pearson, medida que permite determinar que tan fuertes están relacionadas las variables para luego realizar una validación mediante el método de Spearman, ambos métodos se pueden aplicar a muestras que presentan una distribución normal, adicionalmente Spearman es aplicable a muestras que no presentan normalidad; Pearson y Spearman consideran que si el nivel de significancia (p) es menor a 0.05, existe significancia por lo tanto hay un 95% de probabilidades que existe correlación entre las variables en estudio.

Los valores que puede tomar el coeficiente siempre se encuentran entre +1 y -1, lo cual va a indicar la fuerza y dirección de la correlación, la representación matemática sería $-1 \leq r \leq +1$.

Interpretación:

- Para el valor de $r = -1$, existe una relación lineal perfecta negativa.
- Si el valor de r está próximo a -1, existe una relación lineal negativa muy fuerte.
- Si el valor de r está próximo a 0, significa que no hay una relación lineal.
- Si el valor r está próximo a +1, existe una relación lineal positiva muy fuerte.
- Para el valor $r = +1$, existe una relación lineal perfecta positiva.

V. RESULTADOS.

Resultado N° 01. Prueba de hipótesis:

Para comprobar la hipótesis se realizó el análisis del coeficiente de correlación r de Pearson y Spearman, el cual es un estimador del parámetro ρ . Para el que se busca si existe una correlación entre las de demoras de abastecimiento de combustible y la productividad de los equipos de acarreo.

El coeficiente de correlación provee la prueba de hipótesis $H_0: \rho = 0$, lo que propondría que no existe una correlación entre variables, en el análisis de datos de nuestras variables se observó que $r = -0.37$ y $p = 3.51e - 09$ para método de Pearson (Figura 48 y Figura 49), $r = -0.36$ y $p = 1.022e - 08$ para método de Spearman respectivamente (Figura 50 y Figura 51), por lo tanto se rechaza H_0 , y se puede decir que la influencia de las demoras de abastecimiento de combustible sobre la productividad de los equipos de acarreo es significativa existiendo una correlación negativa moderada.

```

Pearson's product-moment correlation

data: data_correlacion$t_combustible and data_correlacion$productividad
t = -6.1357, df = 238, p-value = 3.51e-09
alternative hypothesis: true correlation is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.4740110 -0.2548608
sample estimates:
 cor
-0.3695638
    
```

Figura 48. Análisis de correlación de Pearson

Fuente: Resultados obtenidos del procesamiento de datos en R

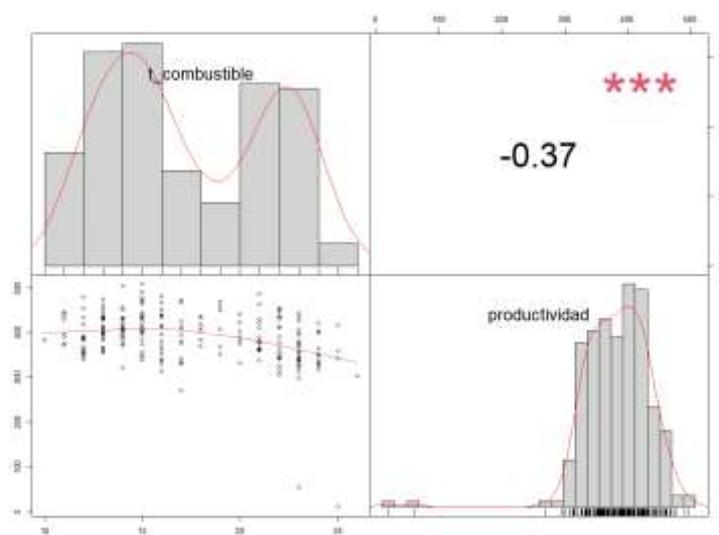


Figura 49. Resultado coeficiente de correlación de Pearson.

Fuente: Resultados obtenidos del procesamiento de datos en R.

```
Spearman's rank correlation rho  
data: data$t_combustible and data$productividad  
S = 3131416, p-value = 1.022e-08  
alternative hypothesis: true rho is not equal to 0  
sample estimates:  
rho  
-0.3591452
```

Figura 50. Análisis de correlación de Spearman.

Fuente: Resultados obtenidos del procesamiento de datos en R.

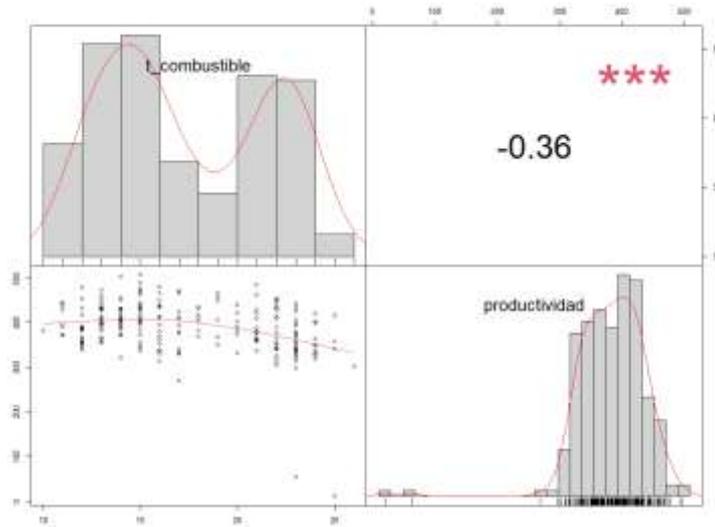


Figura 51. Resultado coeficiente de correlación de Spearman.

Fuente: Resultados obtenidos del procesamiento de datos en R.

Resultado N° 02

Variable: Gestión de la demora abastecimiento de combustible en Camiones.

Dimensión: Demoras de abastecimiento de combustible / Indicador Promedio de demoras:

La información analizada fue del mes enero a agosto del año 2019, la solución propuesta fue implementada en la primera semana de abril, de estos 8 meses se muestra la evolución del promedio de tiempos asociados a la demora de abastecimiento de combustible. Se evidencia que los tiempos de la demora de abastecimiento de combustible disminuyen después de implementarse la solución propuesta.

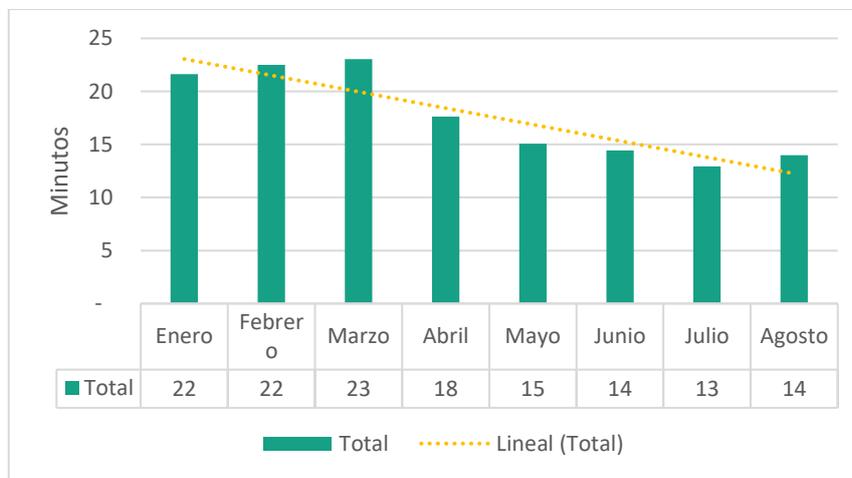


Figura 52. Promedio de tiempos de abastecimiento de combustible equipos de acarreo.

Fuente: Reporte de demoras de abastecimiento de Combustible OP Pro Manager.

Resultado N° 03

Variable: Productividad de acarreo.

Dimensión: Toneladas por hora

Indicador: Tonelaje Nominal

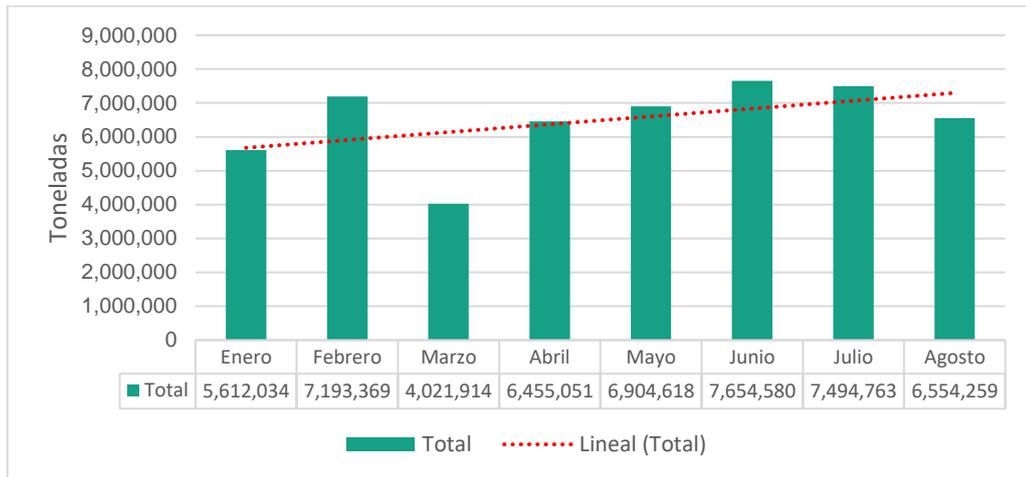


Figura 53. Total, Toneladas Nominales.

Fuente: Reporte de productividad OP Pro Manager.

Se evidencia que después de implementarse la solución propuesta existe la tendencia a incrementarse la cantidad de toneladas producidas por los equipos de acarreo.

Indicador: Tiempo Operativo.

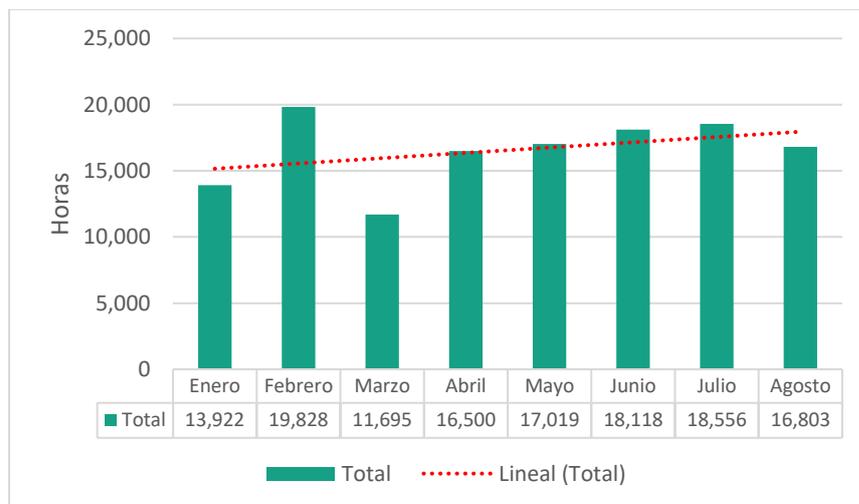


Figura 54. Total Tiempo operativo.

Fuente: Reporte de productividad OP Pro Manager.

Se evidencia que después de implementarse la solución propuesta existe la tendencia a incrementarse la cantidad de horas operativas acumuladas por los equipos de acarreo.

Indicador: Productividad horaria.

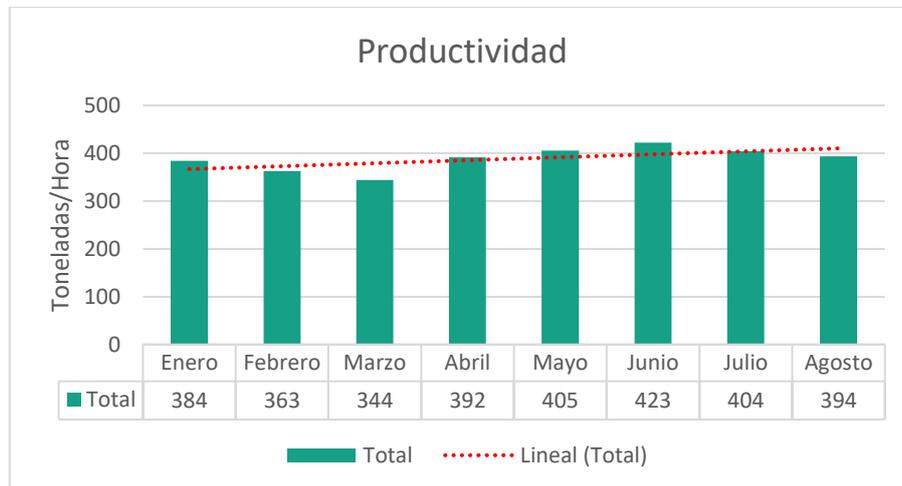


Figura 55. Productividad Horaria.

Fuente: Reporte de productividad OP Pro Manager.

Cabe indicar que el indicador de productividad horaria es un indicador compuesto que deriva de la proporción de las toneladas nominales y las horas operativas, al existir tendencia a incrementar los valores indicadores la productividad debería seguir la misma tendencia, la cual se evidencia in el incremento de productividad horaria.

Resultado N° 04.

Al disponer la información de los indicadores de las variables en estudio se realizó un análisis de correlación entre estos indicadores buscando posibles tendencias que permitan llegar mejores conclusiones de los resultados; de las figuras Figura 56 y Figura 57 se identifica:

- Una fuerte correlación positiva entre la productividad y el tonelaje producido, pero a su vez una correlación positiva moderada entre la productividad y las horas operativas.
- Una fuerte correlación positiva entre el tonelaje y las horas operativas.
- Una moderada correlación negativa entre las demoras de abastecimiento de combustible y tonelaje producido y las horas operativas.

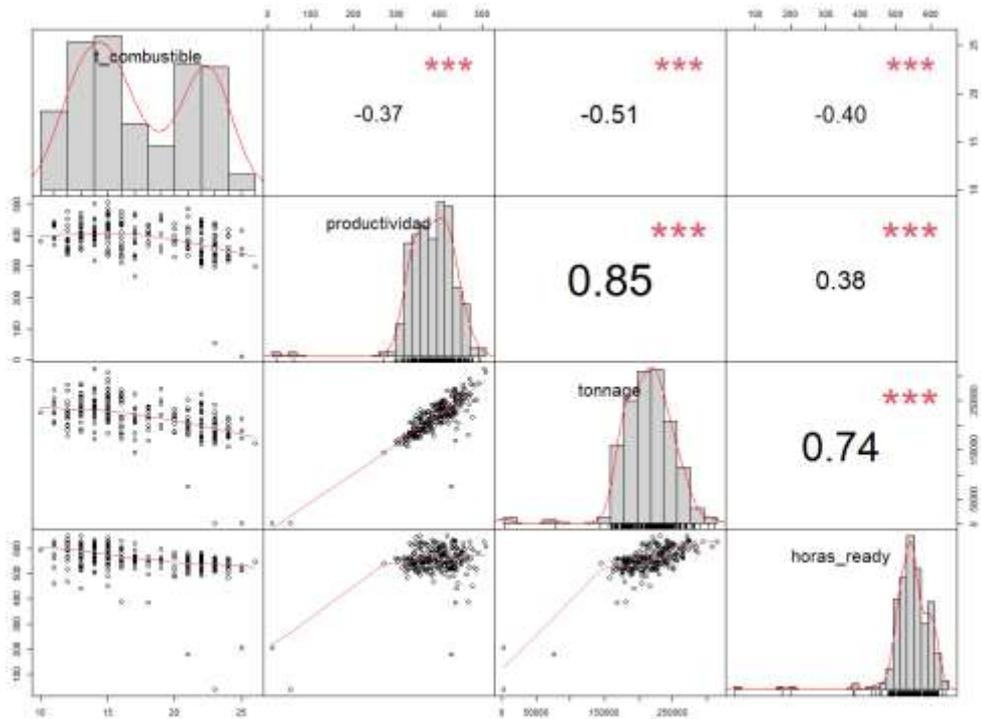


Figura 56. Coeficiente de correlación de Pearson entre indicadores.

Fuente: Resultados obtenidos del procesamiento de datos en R.

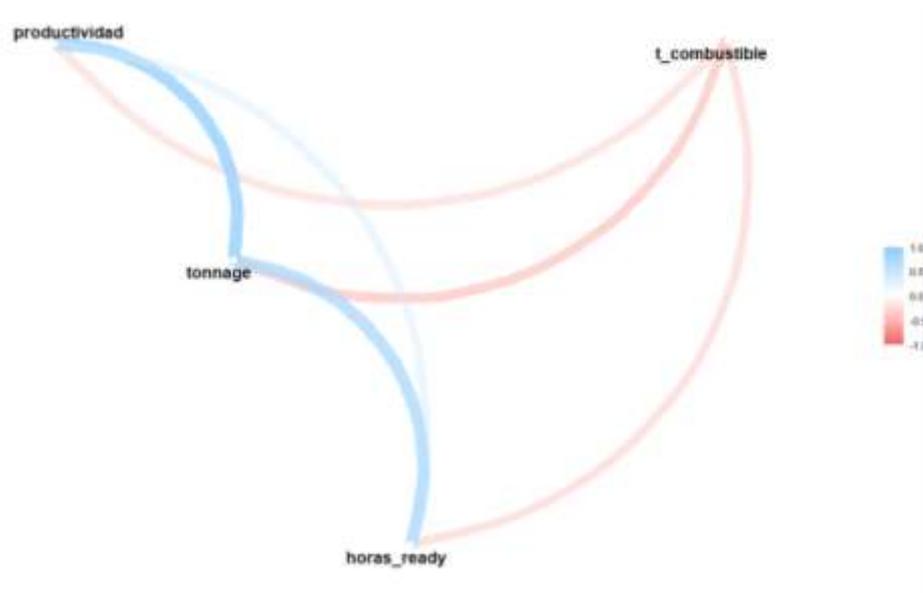


Figura 57. Mapa de calor coeficiente de correlación de Pearson entre indicadores.

Fuente: Resultados obtenidos del procesamiento de datos en R.

VI. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.

1. DISCUSIÓN:

Gonzales (2016), manifiesta que a través de la simulación de redes neuronales se predice el consumo de combustible para posteriormente con un modelo de asignación dinámica, crear un proceso automático para el envío de los equipos de acarreo a las diferentes estaciones de combustible, incrementando la utilización consiguiendo mejorar la productividad de los equipos de acarreo considerablemente, se contrasta con los resultados obtenidos en la presente investigación que permite afirmar que la gestión de la demora de abastecimiento de combustible influye significativamente en la productividad de equipos de equipos de acarreo.

Pacheco (2018), demostró que al gestionar adecuadamente la demora operativa de cambio de turno, distribuyendo adecuadamente los tiempos de llegada de los operadores a sus equipos con una adecuada transmisión de la información, como equipos asignados y paraderos, logró mejorar en 5 minutos el cambio de turno, consiguiendo incrementar la productividad de los equipos pudiéndose recuperar 1,090 Toneladas de mineral por turno, con lo manifestado se puede inferir que al gestionar adecuadamente las demoras operativas se pudo conseguir mejorar la productividad de los diferentes equipos de una operación minera, esto contrasta con los resultados obtenidos en la presente investigación y permite afirmar que la gestión de la demora de abastecimiento de combustible influye significativamente en la productividad de los equipos de acarreo.

Champi (2015), determinó que existe una influencia entre reducir las demoras operativas de abastecimiento de combustible y cambio de guardia consiguiendo un incremento de la productividad de los equipos de acarreo, esto lo realiza modificando el proceso de cambio de guardia y abastecimiento de combustible para reducir tiempos inoperativos. Lo mencionado se contrasta con los resultados obtenidos en la presente investigación con lo que se demostró una correlación negativa entre la demora de abastecimiento de combustible y la productividad de los equipos de acarreo.

Maruri (2016), expresa que gracias a un adecuado control en demoras operativas que inciden en la operación minera, se obtuvo una mejora en la disponibilidad, productividad y utilización de los equipos de carguío y acarreo, incidiendo en la mejora de la fragmentación de frentes de minado y pisos de palas. Sus resultados indican que la productividad a lo que Maruri (2016) llama rendimiento de los equipos de carguío y acarreo mejora significativamente al reducir las demoras operativas de estos equipos. Estos resultados contrastan con las de la presente investigación porque el abastecimiento de combustible es una demora y al ser gestionada adecuadamente influye significativamente en la productividad de los equipos de acarreo.

Bustamante (2018), plantea que la reducción de las demoras más significativas permitirá optimizar la productividad de los equipos de de carguío y acarreo, analizando las demoras que

impactan directamente en la productividad cuantificando y valorizando las toneladas que se dejan de producir, así disminuyendo las demoras por refrigerio y cambio de turno consiguió incrementar significativamente la productividad de los equipos de carguío y acarreo. Estos resultados contrastan con los obtenidos en la presenta tesis debido a que el abastecimiento de combustible es una demora significativa dentro de la operación minera en estudio y la disminución de la demora en estudio contribuye a incrementar la productividad de los equipos de acarreo.

2. CONCLUSIONES:

Se concluye que la gestión de la demora de abastecimiento de combustible influye positiva y significativamente en la productividad de los equipos de acarreo en una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, debido a que a través de la 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 un moderada correlación negativa entre las variables de estudio, con lo antes mencionado concluimos que la hipótesis planteada es significativa.

Se evidencia que al disminuir la demora de abastecimiento de los equipos de acarreo, se incrementa el tiempo operativo de los mismos y como consecuencia se incrementa la cantidad de mineral transportado reflejándose un moderado incremento de la productividad.

De estudios y antecedentes revisados, se pudo inferir que al gestionar adecuadamente cualquier demora operativa de los equipos involucrados en las actividades de minería, se puede conseguir incrementar la productividad de estos en menor o mayor medida, dependiendo de la significancia de las demoras.

VII. RECOMENDACIONES:

La empresa minera de la ciudad de Cajamarca en su modelo estándar de distribución de tiempos tiene identificadas las demoras operativas más significativas por tipo de equipo que participa en el proceso de extracción, transporte y procesamiento de mineral, al gestionarlas adecuadamente se conseguirá que los equipos estén disponibles mayor tiempo y esto se verá reflejado en un incremento de productividad.

En un entorno de minería 4.0 en la que la mayoría de los procesos se encuentran automatizados es importante explotar la información que los diferentes sistemas procesan, el presente estudio en una segunda fase podría presentar resultados de analítica de datos con Machine Learning, entrenando modelos matemáticos con la información histórica del abastecimiento de combustible, pudiendo ayudar a gestionar adecuadamente el consumo de combustible y cruzar esta información con otras variables relevantes para la operación, como es el rendimiento de neumáticos por dar un ejemplo y así poder obtener una analítica predictiva.

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 CARRYINGSYSTEMIN 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/lixivacion/>
- 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-lixivacion-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.

Anexos:

Anexo 1 Sistema de gestión de flotas (FMS).

OP Pro Manager es el software de gestión de flotas en el corazón de la solución OP Pro Manager. Es la ventana a las operaciones mineras proporcionando información crítica actualizada en tiempo real, lo que permite a los despachadores, administradores y personal de mantenimiento interactuar perfectamente con las soluciones de Hexagon. OP Pro Manager proporciona a los usuarios datos significativos para analizar, configurar, administrar y manipular las operaciones actuales de la mina para una máxima productividad. (HEXAGON, 2019).

Cada mina es única, lo que funciona para una mina no necesariamente funciona para otra. Todos tienen diferentes necesidades y desafíos. (HEXAGON, 2019).

OP Pro Manager está diseñado para adaptarse a cada mina, ya sea solo una topadora de alta precisión o una flota de 200 vehículos de diversos fabricantes de equipos originales (OEMs por sus siglas en inglés). (HEXAGON, 2019).

Varias minas en un grupo pueden beneficiarse de una plataforma estándar y la uniformidad que proporciona. (HEXAGON, 2019).

Medición de la vida útil de la mina, el uso de las tecnologías de medición es una característica principal de Hexagon. Utilizando la tecnología de un grupo global en expansión, compartiendo avances en las áreas de construcción, agricultura, control de maquinaria, GPS, topografía y fotografía aérea. Proporcionando una solución de medición de la vida útil de la mina que beneficia a todas las etapas del ciclo de vida de la mina. (HEXAGON, 2019).

Arquitectura Tecnológica.

La independencia OEM garantiza que OP Pro Manager puede ponerse en cualquier máquina de cualquier fabricante - sin excepciones.

- Plataforma unificada de hardware y software: El equipo de a bordo consta del núcleo de la Plataforma Unificada de Hardware (UHP) de OP Pro Manager con una robusta pantalla táctil a color como la interfaz de usuario. (HEXAGON, 2019).
- Se adapta a cualquier red inalámbrica estándar de la industria basada en IP y en la tecnología de la computación moderna. (HEXAGON, 2019).
- El uso de componentes comprobados disponibles comercialmente (COTS, Commercially Available Off-The-Shelf) elimina la dependencia en hardware costoso, antiguo y de propiedad, protegiendo su valiosa inversión en el sistema. (HEXAGON, 2019).

Utiliza e intercambia cualquiera de los módulos de OP Pro Manager con cualquiera de los sistemas JFleet. (HEXAGON, 2019).

Características intercambiables, la flexibilidad y la eficiencia que sólo OP Pro Manager puede ofrecer. (HEXAGON, 2019).

- Las bases de datos SQL a bordo y el servidor son idénticos y replican en tiempo real.
- La arquitectura de la base de datos distribuida permite ingresar al sistema y notificar la condición del vehículo.
- Transmisión de datos instantánea y comunicación entre el despacho y el operador.
- Alertas de riesgos y derrames.
- Control del rendimiento del equipo en tiempo real.
- Alarmas OEM (fabricante de equipamiento original).
- Detección automática del ciclo.

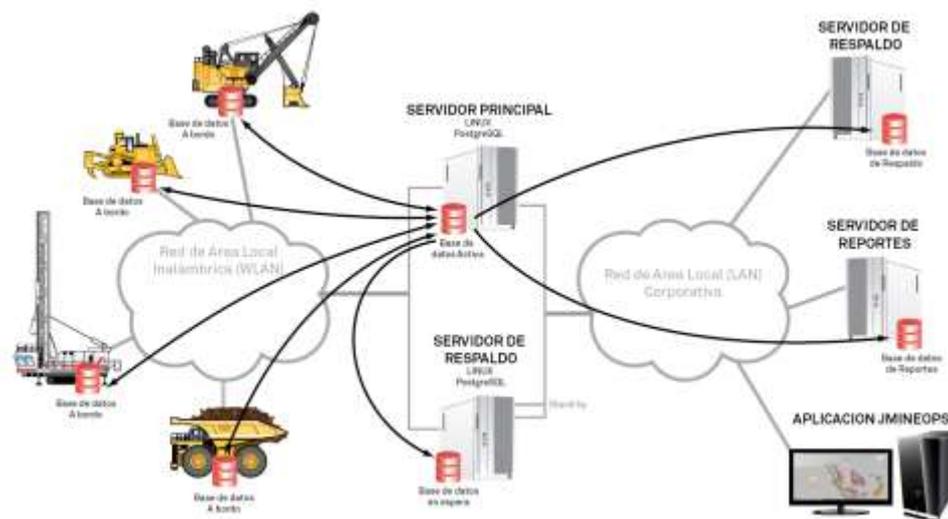


Figura 58. Arquitectura FMS OP Pro Manager (HEXAGON, 2019).

Características principales

1. Visualización del sitio completo (HEXAGON, 2019)
 - Ubicación del equipo y redes viales.
 - Signos vitales y estado del funcionamiento del equipo.
 - PL (Programación Lineal) actual, optimización y mezcla.
 - Bloques de explosión de materiales y límites.
 - Visualización del espacio entre otras máquinas.
2. Control total del sitio (HEXAGON, 2019)
 - Despacho con asistencia o sin asistencia.
 - Seguimiento a materiales.

- Almacenamiento automático (carga y acarreo) de los datos del ciclo.
 - Modelos de utilización de tiempo específicos al sitio.
 - Indicadores Clave de Desempeño.
3. Facilidad de uso (HEXAGON, 2019)
- Independiente de OEM (fabricante original de equipos).
 - Adaptabilidad a cualquier tipo de red inalámbrica que utiliza una dirección IP estándar.
 - Las bases de datos SQL del servidor en oficina y a bordo del equipo son idénticas para una replicación en tiempo real de los datos.

Características disponibles con OP Pro Manager

1. JView

El paquete de inteligencia de negocios de OP Pro Manager, Jview, ofrece tableros KPI (indicadores clave de desempeño) en tiempo real y reportes estándar y personalizables para una flexibilidad total. El módulo Jview es un cliente basado en red, que ofrece velocidad adicional y facilidad de uso. (HEXAGON, 2019).

- Paquete de informes estándar.
- Utiliza “OLAP cubes” para analizar datos desde múltiples perspectivas Tablas de resumen de datos desnormalizadas
- Se puede crear informes personalizados que pueden ser guardados y compartidos.

2. JHealth

JHealth es una solución para el monitoreo del estado del vehículo que permite la recopilación de datos del estado en flotas mixtas, recolectando y combinando de una manera única datos operativos y de sensores para un monitoreo en tiempo real de alarmas y sensores. Jhealth proporciona visibilidad inmediata o un historial para los gerentes y equipos de mantenimiento con la capacidad sin igual de comprender los impactos operacionales sobre el estado del vehículo. (HEXAGON, 2019).

3. JConnect

Leica JConnect interactúa con otros fabricantes (como los sistemas de monitoreo del estado del vehículo) a través de software. Esto significa que toda la información recolectada puede almacenarse en un lugar (base de datos OP Pro Manager) y se comparte según sea necesario. (HEXAGON, 2019).

Optimización, Mezcla y Simulación.

OP Pro Manager utiliza los algoritmos de optimización y mezcla más avanzados para la toma de decisiones del despachador. Estos tienen en cuenta múltiples factores, como los niveles de combustible, TKPH y monitoreo de fatiga. (HEXAGON, 2019).

1. **OP Pro Optimizer** (HEXAGON, 2019)

- Camiones en cola y tiempo de inactividad minimizados, eliminando la necesidad de cumplir con un flujo predeterminado.
- Los algoritmos de optimización incluyen el seguimiento a los equipos auxiliares y la integración de la optimización de la flota completa.
- Asigna camiones automáticamente para que no estén en cola en la misma excavadora después del cambio.
- Asignatura automática del camión al mejor espacio de estacionamiento disponible
- Predicción precisa del ciclo evita que los camiones se estacionen antes de tiempo para el cambio de turno y los descansos.
- Tiempos de acción de rápida respuesta a las demoras no programadas.

2. **JBlend** (HEXAGON, 2019)

Leica JBlend proporciona la mejor optimización (estática o dinámica) en cuanto a la combinación del porcentaje de calidad del mineral alimentado a las reservas o trituradoras basado en grado y tonelaje seleccionado por el usuario. Los algoritmos de combinación avanzados de Leica JBlend permiten una combinación automatizada. (HEXAGON, 2019).

3. **JForecaster** (HEXAGON, 2019)

Leica JForecaster permite la predicción de los diferentes escenarios de productividad basados en el modelo de optimización lineal (usado por OP Pro Optimizer). Esto crea una herramienta para ingenieros de despacho utilizada para investigar los cambios de planificación táctica y su impacto en la producción. (HEXAGON, 2019).

Módulos disponibles con OP Pro Manager.

1. **JTruck** (HEXAGON, 2019)

- Seguimiento del ciclo de transporte.
- Maximiza la eficiencia y minimiza el tiempo de detención del trabajo.
- Reduce el tiempo de espera.
- Reduce los costos de combustible.

- Indicadores Clave de Desempeño para los operadores y administradores en tiempo real.
- Muestra la ubicación de todos los equipos de minería en tiempo real.
- Se presenta “la mejor ruta de acceso” al operador.
- Registro del operador de derrames y otros peligros.

2. **JShovel** (HEXAGON, 2019)

- Carga útil en tiempo real de camiones cargados.
- Muestra la ubicación de todos los equipos de minería en tiempo real.
- Muestra la hora estimada de llegada de todos los camiones en ruta.
- Pantalla de polígonos de bloques de materiales.
- Indicadores Clave de Desempeño en tiempo real.

3. **JDozer** (HEXAGON, 2019)

- Se centra en el área de trabajo circundante tanto para tractores de ruedas como de oruga.
- Captura con precisión todos los tiempos de producción, incluyendo el mantenimiento y los retrasos Indicadores Clave de Desempeño en tiempo real para los operadores y administradores.
- Muestra la ubicación de todos los equipos de minería en tiempo real.
- Gestión y supervisión de tareas/actividades.

4. **JSuper** (HEXAGON, 2019)

- Muestra la ubicación de todas las máquinas en tiempo real.
- Condición de cada equipo en la faena en tiempo real.
- Ubicación de vehículos ligeros en las pantallas de toda la maquinaria pesada.
- Reduce el tráfico de doble sentido.

5. **JDragline** (HEXAGON, 2019)

El monitor de dragalina más avanzado del mundo que ha marcado un hito en la industria.

- Captura de carga útil por cada balde.
- Indicadores Clave de Desempeño para el operador en tiempo real.
- Captura automática de todos los datos del ciclo.
- Alarmas a bordo, tales como alarmas de sobrecarga y detención.
- Detención y retroalimentación de retrasos.

- Pesos de las baldadas, tiempos de ciclo, número de oscilaciones, posicionamiento de la perforación y vertimiento.

6. **JAux** (HEXAGON, 2019)

JAux puede ser implementado a través de vehículos de flota y una amplia gama de activos auxiliares en su mina.

- Indicadores Clave de Desempeño disponibles para el operador en tiempo real.
- Visualización en tiempo real de los riesgos y derrames, con la “mejor ruta” resaltada automáticamente.
- Indicadores Clave de Desempeño y pantallas de datos de producción.
- Muestra la ubicación de todos los equipos de minería en tiempo real.
- Seguimiento de suministros.

7. **JDrill** (HEXAGON, 2019)

Un sistema de monitoreo de la producción que actualiza las mallas de perforación y progreso en tiempo real.

- Información al operador en tiempo real.
- Monitoreo de la producción.
- Seguimiento de suministros.
- Patrón del progreso actualizado automáticamente.
- Visualización gráfica de todos los equipos de minería.

El monitoreo de próxima generación de Hexagon y las soluciones de navegación por GPS ponen al descubierto la productividad de la mina, con una gama de productos revolucionarios para dragalinas, perforación de barrenos, palas eléctricas, tractores, excavadoras, camiones de transporte, cargadores otros equipos auxiliares. (HEXAGON, 2019).

El software de análisis y presentación de informes en tiempo real de última tecnología proporciona a los usuarios las herramientas necesarias para mantenerse a la vanguardia mediante un control eficiente de los recursos y los equipos. ¿El resultado? Toma de decisiones basadas en información, productividad optimizada y un rendimiento sin precedentes para una producción máxima de la mina. (HEXAGON, 2019).

Respaldado por un servicio confiable y una red de apoyo a escala mundial, Hexagon le ofrece una solución eficiente y perfectamente integrada para la gestión de minas. (HEXAGON, 2019).

Anexo 3 Certificado gestión de la calidad ISO9001.

Alberto Henkel 2317
Providencia - Santiago
T: +56 (2) 2562 90 18
F: +56 (2) 2562 90 99
www.appluschile.com
certificacion@applus.com

Applus⁺



REGISTRO NACIONAL N° 11984

LGAI CHILE S.A.,

Certifica que el Sistema de Gestión de Calidad de la empresa:

Leica Geosystems S.A.C.

RUC: 20506296430

Mina de Yanacocha, Cajamarca, Perú

Para las actividades siguientes:

Comercialización, diseño, planificación e implementación de soluciones tecnológicas: software, servicio técnico y equipos para planeamiento, operaciones, seguridad, automatización y levantamientos, para la gran minería en el territorio nacional e internacional

**Es conforme con los requisitos de la norma
ISO 9001:2015**

Fecha de Otorgamiento Inicial: 07 de Marzo del 2019

Fecha de Vencimiento: 06 de Marzo del 2022


Carolina Troncoso Fernández
Directora de Certificación CHILE

Para Verificar validez del certificado tomar contacto telefónico
al +56 (2) 2562 90 18 o vía e-mail a: certificacion@applus.com

 SISTEMA NACIONAL
DE ACREDITACION
INN - CHILE
ACREDITACION SC008

Figura 59. Certificado gestión de la calidad ISO9001 (HEXAGON, 2019).

Anexo 4 Simulador VIMS.

El Simulator VIMS es un software desarrollado por Hexagon que se ejecuta bajo plataforma Windows, este permite la simulación del envío/recepción de datos VIMS de equipos CATERPILLAR.

Configuraciones:

Para simular los datos de VIMS en Linux, es necesario seguir los siguientes pasos:

1. Crear entorno de puerto:

El simulador envía los datos por un puerto serial, para enviar esta información hacia Linux, necesitamos otro puerto serie puente. En este caso tenemos que conectar estos dos puertos. Para simular este entorno, se ha utilizado el software de Free Virtual Serial Ports (<https://freevirtualserialports.com>)

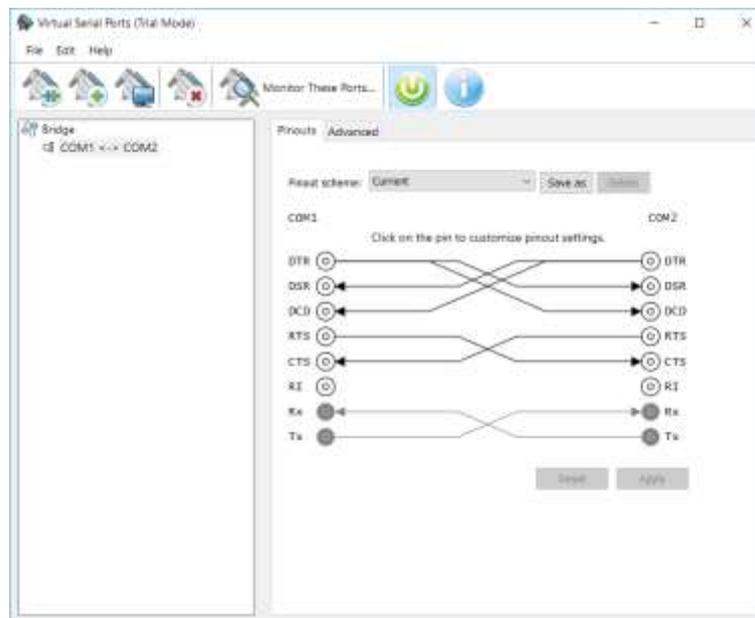


Figura 60. Virtual Serial Port (Fuente propia).

2. Configurar puerto serial en VirtualBox:

Esta función aparea el puerto serial del simulador con el puerto serial virtual, para esto configurarnos el puerto serial puente en la máquina virtual.

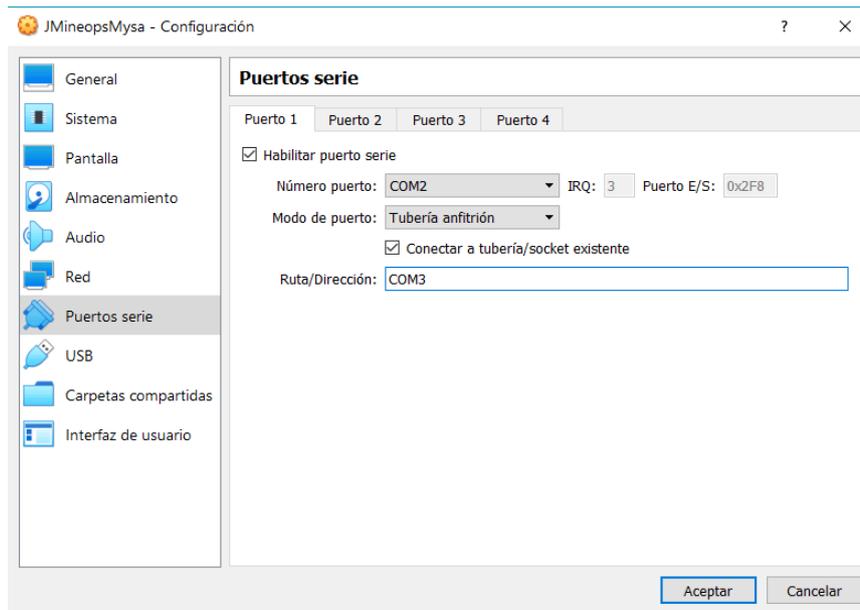


Figura 61. Configurar puerto serial en VirtualBox (fuente propia).

Donde:

Numero de Puerto: este puerto no debe existir en Windows porque se asignará a Linux. La sugerencia es utilizar el puerto COM3 (no debe cambiar los valores en los campos "IRQ" y "ADRESS IO").

Modo de puerto: seleccionamos la opción dispositivo host.

Ruta/Dirección: Ingresamos el número de puerto configurado en el paso 1. El otro puerto es el que se va a utilizar en el simulador.

3. Ejecutar Simulador:

Ejecutar el simulador y seguir los siguientes pasos: (HEXAGON, 2019)

- Seleccionar el puerto serie que desea comunicar. Este puerto es del par creado en el paso 1 que no está en uso en la configuración de la máquina virtual.
- Pulsar el botón " Start Vims Telemetry Port" una vez. Es muy importante presionar el botón una sola vez, ya que el software tiene un error y genera errores al presionar más de una vez.
- Pulsar el botón "Start" para comenzar a transmitir tramas de información.

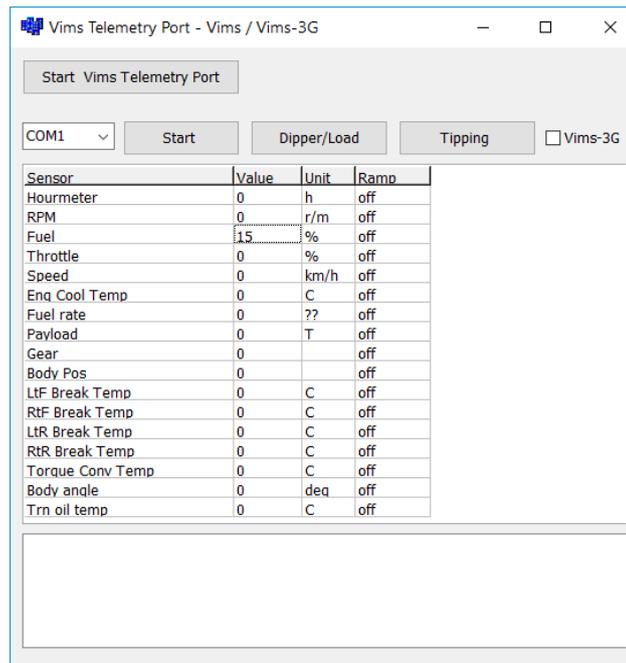


Figura 62. Simulador VIMS (fuente propia).

4. Conecte en el puerto:

En Linux se puede conectar en el puerto serie (COM3) para enviar solicitudes y recibir datos del simulador. En Linux, el nombre de los puertos es diferente. El puerto "COM3", por ejemplo, se llama "/dev/ttyS2". (HEXAGON, 2019).

Nota: a veces, se necesitará permisos de cambio para acceder al puerto, en este caso, utiliza el siguiente comando: (HEXAGON, 2019).

```
~$ sudo chmod o + RW/dev/ttyS2
```

5. Ajustar permisos:

Para asegurarse de que no se tiene problemas, ejecutamos el siguiente script en Linux:

```
~$ sudo chmod o + RW/dev/ttyS2
```

Anexo 5 Matriz de Consistencia

TÍTULO: 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.				
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>1. Problema General:</p> <p>¿En qué medida la gestión de la demora en el abastecimiento de combustible influencia en la productividad de equipos de acarreo en una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, 2019?</p>	<p>1. Objetivo General:</p> <p>Determinar la influencia gestión de la demora de abastecimiento de combustible de equipos de acarreo, en una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, 2019.</p>	<p>1. Hipótesis General:</p> <p>La gestión de la demora de abastecimiento de combustible influencia significativamente en la productividad de equipos de acarreo en una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, 2019.</p>	<p>V. Independiente:</p> <p>Gestión de la demora de abastecimiento de combustible.</p>	<p>1. Enfoque de Investigación: Cuantitativo, el enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías (Sampieri, Collado, & Lucio, 2014).</p> <p>2. Tipo de Investigación: Aplicada, causal o correlacional, los estudios correlacionales asocian variables mediante un patrón predecible para un grupo o población. (Sampieri, Collado, & Lucio, 2014).</p> <p>3. Método: Análisis -Síntesis; Deductivo -Inductivo.</p> <p>4. Diseño de la Investigación: Experimental, de tipo cuasi experimental, para la presente investigación el diseño es experimental que se manipularan de manera de manera intencional a la variable dependiente la cual es la Gestión del abastecimiento de combustible, por lo cual se realizará un pre y post test. (Sampieri, Collado, & Lucio, 2014).</p> <p>5. Marco Muestral: Base de datos del Sistema de gestión de Flota OP</p>
<p>2. Problemas Específicos:</p> <p>¿Cómo se gestiona de la demora de abastecimiento en el combustible de equipos de acarreo, en una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, 2019?</p> <p>¿Cuál es la influencia de la gestión de la demora de abastecimiento de combustible en las demoras operativas de los equipos de acarreo, en una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, 2019?</p>	<p>2. Objetivos Específicos:</p> <p>1.- Implementar el proceso de asignación automática a grifo para gestionar la demora de abastecimiento de combustible, en una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, 2019.</p> <p>2.- Determinar la influencia de la implementación del proceso de asignación automática a grifo en los</p>	<p>2. Hipótesis Específicas (opcional):</p> <p>La implementación de un proceso de asignación automática a grifo influye positivamente en la gestión del abastecimiento de combustible en los equipos de acarreo, en una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, 2019.</p> <p>La implementación de un proceso de asignación automática a grifo para el</p>	<p>V. Dependiente:</p> <p>Productividad de equipos de acarreo.</p> <p>V. Intervinientes:</p>	

<p>¿Cuál es el impacto de la gestión de la demora de abastecimiento de combustible en la productividad de equipos de acarreo, en una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, 2019.</p>	<p>tiempos de abastecimiento de combustible en los equipos de acarreo, en una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, 2019.</p> <p>3.- Determinar la influencia de la implementación del proceso de asignación automática a grifo para gestionar la demora de abastecimiento de combustible en la productividad de equipos de acarreo, en una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, 2019.</p>	<p>abastecimiento de combustible influye positivamente en los tiempos acumulados de abastecimiento de combustible en los equipos de acarreo, en una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, 2019.</p> <p>La implementación de un proceso de asignación automática a grifo para el abastecimiento de combustible influye positivamente en la productividad en los equipos de acarreo, en una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, 2019.</p>		<p>Pro Manager – Hexagon.</p> <p>6. Unidad de Análisis: Equipos de Acarreo de una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, 2019.</p> <p>7. Población: Los 35 camiones de Acarreo CAT de una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, 2019.</p> <p>8. Muestra: Los 35 camiones de Acarreo CAT de una empresa minera de la ciudad de Cajamarca, 2019.</p> <p>9. Técnica: Para la presente investigación se ha tomado como técnica el análisis de datos.</p> <p>10. Instrumento: Para la presente investigación se ha considerado como instrumento el análisis de datos estadísticos.</p>
--	---	---	--	---

Tabla 5. Matriz de Consistencia.