

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA**



**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**“GESTIÓN Y CONTROL DEL SISTEMA DISPATCH PARA LA  
MEJORA DEL PROCESO DE CARGUIO Y ACARREO”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO DE MINAS**

**ELABORADO POR  
LUIS MENAHEM PÉREZ PAGÁN**

**ASESOR  
MBA. ING. VÍCTOR MANUEL HERNÁNDEZ DÍAZ**

**LIMA-PERU**

**2022**

## **DEDICATORIA**

A mi esposa Erika Herrera que con su amor y paciencia me ha permitido llegar a cumplir hoy un sueño más.

A mi madre Cristel por su cariño y apoyo incondicional durante este proceso.

Finalmente, a mi hija Ana Catalina que ilumina el día con su inocencia y alegría.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi más sincero agradecimiento a los compañeros de las gerencias de Ingeniería Mina y Operaciones Mina, por el excelente trabajo en equipo que demostraron a fin de llevar a cabo el estudio de los indicadores de gestión.

De igual manera, mis agradecimientos a la prestigiosa Universidad Nacional de Ingeniería, a la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica y a todo el personal docente y administrativo por su excelente preparación, enseñanzas y soporte que hicieron que pueda desarrollar de manera satisfactoria mi vida como profesional.

## RESUMEN

La investigación tomó la información almacenada por el sistema Dispatch de la minera Antapaccay en el año 2016, un sistema cuyo costo de implementación ronda los 1.86 millones USD (2013) excluyendo facilidades. Debido a que en enero 2016 se llevó a cabo la actualización del sistema Dispatch NextGen 6.4 a la versión Dispatch NextGen 6.6.1; cuyo costo se aproxima a los 138 mil USD, dicha actualización trajo consigo un plan de capacitación con el equipo de despacho en el uso de la aplicación, minimizando las diferencias de las variables externas al sistema Dispatch, tales como, el recurso humano que interactúa con dicho sistema, así como la configuración del mismo sistema.

Durante el proceso de investigación se buscó identificar si la administración del sistema Dispatch provocó la mejora de los procesos de carguío y acarreo en la minera Antapaccay. Esperamos que la investigación aporte y brinde las herramientas necesarias para lograr una administración del proceso de carguío y acarreo eficiente, mediante la selección e interpretación adecuada de los indicadores de rendimiento.

El método de estudio de la presente investigación está caracterizado por tener un enfoque cuantitativo, ser de tipo no experimental con un alcance descriptivo – correlacional, puesto que no se puede tener un completo control de todas las variables que influyen en el proceso, el diseño es un principio se planteo es un esquema transeccional descriptiva – correlacional para una periodicidad mensual luego se identificó que también podría adaptarse a un diseño longitudinal de tendencias para una periodicidad anual, la muestra se caracterizó por ser no probabilística (por conveniencia) puesto que fueron los datos que se tuvo acceso en ese momento. Todo el análisis se llevó a cabo a mediante el uso de herramientas

como el motor de base de datos Microsoft SQL server 2008R2 y software de análisis de datos.

La variable independiente será la administración del sistema Dispatch mientras que la dependiente: el proceso de carguío y acarreo, la acciones que se tomen con una permite identificar su correlación con la otra, con lo cual podremos determinar como una adecuada administración del sistema conlleva a mejorar al proceso de carguío y acarreo.

En el capítulo 1 se expone el problema, objetivos y justificación de la presente investigación, en el capítulo 2 se definen los marcos teórico y conceptual utilizados, en el capítulo 3 se desarrollan el tipo, nivel, diseño, muestra y las técnicas de recolección procesamiento de datos de la presente investigación, en el capítulo 4 se explica la metodología de aplicación en la operación minera; se identifican y desarrollan los indicadores de rendimiento utilizados para medir la mejora del proceso de carguío y acarreo, esto representa la dirección del proceso administrativo. Al final se obtendrá una lista de indicadores de rendimiento que nos ayudarán a mejorar el proceso de carguío y acarreo, los cuales son explicados en su forma de cálculo y aplicación.

En la presente investigación se espera aprender como la aplicación del proceso administrativo (planificación, organización, dirección y control) aplicado al sistema Dispatch ayuda mejorar el proceso de carguío y acarreo.

## **ABSTRACT**

The research took the information stored by the Dispatch system of the Antapaccay mining company in 2016, a system whose implementation cost is around 1.86 million USD (2013) excluding facilities. Due to the fact that in January 2016 the Dispatch NextGen 6.4 system was upgraded to the Dispatch NextGen 6.6.1 version; whose cost is around 138 thousand USD, this upgrade brought with it a training plan with the dispatch team in the use of the application, minimizing the differences of the external variables to the Dispatch system, such as, the human resource that interacts with such system, as well as the configuration of the same system.

During the research process, we sought to identify if the administration of the Dispatch system caused the improvement of the loading and hauling processes at the Antapaccay mine. We hope that the research will contribute and provide the necessary tools to achieve an efficient management of the loading and hauling process, through the selection and proper interpretation of performance indicators.

The study method of this research is characterized by having a quantitative approach, being non-experimental with a descriptive-correlational scope, since it is not possible to have a complete control of all the variables that influence the process, the design is a descriptive-correlational cross-sectional scheme for a monthly periodicity, then it was identified that it could also be adapted to a longitudinal design of trends for an annual periodicity, the sample was characterized for being non-probabilistic (by convenience) since it was the data that was available at that time. All the analysis was carried out using tools such as the Microsoft SQL server 2008R2 database engine and data analysis software.

The independent variable will be the administration of the Dispatch system while the dependent variable will be the loading and hauling process, the actions taken with one will allow identifying its correlation with the other, with which we will be able to determine how an adequate administration of the system leads to improve the loading and hauling process.

Chapter 1 presents the problem, objectives and justification of this research; Chapter 2 defines the theoretical and conceptual frameworks used; Chapter 3 develops the type, level, design, sample and data collection and processing techniques of this research; Chapter 4 explains the application methodology in the mining operation; the performance indicators used to measure the improvement of the loading and hauling process are identified and developed; this represents the direction of the administrative process. At the end, a list of performance indicators that will help us to improve the loading and hauling process will be obtained, which are explained in their calculation and application.

In the present investigation it is expected to learn how the application of the administrative process (planning, organization, direction and control) applied to the Dispatch system helps to improve the loading and hauling process.

## **PRÓLOGO**

Los procesos bien llevados traen consigo buenos resultados. En la minera Antapaccay se cuenta con un sistema de Gestión de flota (Dispatch), capaz de optimizar el proceso de carguío y acarreo, proceso que representa el 60% del costo total de operación en mina, sin embargo, en el tiempo el uso de este sistema ha generado la necesidad de crear procedimientos complementarios en lo que a su manejo respecta, creemos que estos procedimientos basados en información real, cuantificada y estandarizada permitirá la utilización del sistema Dispatch en su máxima capacidad lo cual permitirá optimizar el proceso de carguío y acarreo.

El presente estudio está motivado por cubrir la necesidad de conocer y aplicar los indicadores de gestión más representativos del proceso de carguío y acarreo que faciliten a identificar las variables que más influyen y ayudan a mejorar dicho proceso con la finalidad de brindar soluciones a los problemas que aquejan a la minera Antapaccay, tales como la baja productividad con alta utilización de equipos, baja producción por una mala administración del sistema, altos tiempos de espera por una inadecuada distribución de equipos en tiempo real, entre otros.

# ÍNDICE

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**RESUMEN**

**ABSTRACT**

**PRÓLOGO**

**ÍNDICE**

**INDICE DE FIGURAS**

**INDICE DE TABLAS**

**CAPÍTULO I**

1.1 GENERALIDADES .....	13
1.1.1 Administración Dispatch.....	13
1.1.2 Dispatch NextGen Principales Funciones.....	14
1.1.3 Provision 3 Principales Funciones.....	16
1.1.4 Minecare Principales Funciones.....	17
1.1.5 Cómo Funciona DISPATCH .....	18
1.1.6 Ciclo de Acarreo Típico.....	22
1.1.7 Ciclo de Carguío Típico.....	24
1.1.7 Principales responsabilidades.....	25
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	27
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	28
1.4 OBJETIVOS.....	29
1.4.1 Objetivo General.....	29
1.4.2 Objetivo Específicos.....	29
1.5 HIPÓTESIS.....	30
1.5.1. Hipótesis General.....	30
1.5.2 Hipótesis Específicas.....	30
1.6 ANTECEDENTES.....	30

**CAPÍTULO II**

2.1 MARCO TEÓRICO .....	35
2.1.1 Equipos Mina .....	35
2.1.2 Modelo de Gestión de Activos .....	36
2.1.3 Gestión del Tiempo en Dispatch .....	37
2.1.4 Cómputo Tonelaje Dispatch.....	39

2.2 MARCO CONCEPTUAL .....	42
<b>CAPÍTULO III</b>	
3.1 ÁMBITO DE ESTUDIO.....	47
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN. ....	47
3.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	48
3.4. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	48
3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	48
3.5.1 Población.....	48
3.5.2 Muestra.....	49
3.6. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	49
3.7. TÉCNICA DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	49
3.8. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES.....	49
<b>CAPÍTULO IV</b>	
4.1 APLICACIÓN EN MINERA ANTAPACCAJ.....	50
4.1.1 Toma de decisión en base a información.....	50
4.1.2 Capacitación y entrenamiento en uso del sistema Dispatch Next Gen.....	52
4.1.3 Análisis de Indicadores de rendimiento históricos.....	53
4.1.4 Obtención de resultados.....	54
4.1.4.1 Productividad de Equipos de Carguío (Tms/Hr).....	54
4.1.4.2 Productividad de Equipos de Acarreo(Tms/Hr).....	58
4.1.4.3 Distancia Equivalente - EFH (Km - Equivalente).....	60
4.1.4.4 Capacidad de Acarreo (Tm x Km Equiv/Hr).....	63
4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	65
4.2.1 Análisis de Validez Interna.....	65
4.2.2 Análisis de Validez Externa.....	67
4.2.3 Comparación de Resultados.....	68
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>72</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>74</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>76</b>
<b>ANEXO 1</b>	
<b>ANEXO 2</b>	

## INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.1</i>	Suite IntelliMine Dispatch Next Gen, Provision3, Minecare.....	13
<i>Figura 1.2</i>	Haul Route.....	15
<i>Figura 1.3</i>	Alta Precisión de Palas .....	16
<i>Figura 1.4</i>	Monitoreo en Tiempo real.....	17
<i>Figura 1.5</i>	PTX de 10" .....	19
<i>Figura 1.6</i>	PTX de 7" Pantalla de Camión.....	20
<i>Figura 1.7</i>	Esquema de Trabajo del Sistema Dispatch .....	21
<i>Figura 1.8</i>	Eventos del Ciclo de Acarreo Dispatch.....	23
<i>Figura 1.9</i>	Eventos del Ciclo de Carguío Dispatch.....	25
<i>Figura 1.10</i>	Esquema de trabajo para el tratamiento de la información .....	26
<i>Figura 1.11</i>	Plano de Cobertura de red Mesh.....	27
<i>Figura 2.1</i>	Lista de Equipos Principales.....	35
<i>Figura 2.2</i>	Lista de Equipos Auxiliares.....	36
<i>Figura 2.3</i>	Modelo de Tiempos para la Gestión de Activos .....	37
<i>Figura 2.4</i>	Registro de Eventos con Codificación Dispatch.....	39
<i>Figura 2.5</i>	Principales Indicadores Calculados a partir del Modelo de Tiempos de Gestión de Activos.....	39
<i>Figura 2.6</i>	Sobrecargas Camiones Komatsu 930E.....	41
<i>Figura 2.7</i>	Sobrecargas camiones Caterpillar 797F.....	41
<i>Figura 4.1</i>	Reporte - Seguimiento Horario de alimentación a Chancado .....	51
<i>Figura 4.2</i>	Reporte -Estado de Equipo en Tiempo Real .....	52
<i>Figura 4.3</i>	Reporte mensualizado de productividad de Pala "2160" .....	54
<i>Figura 4.4</i>	Reporte mensualizado de productividad de Pala "2161" .....	55
<i>Figura 4.5</i>	Reporte mensualizado de productividad de Pala "2162" .....	55
<i>Figura 4.6</i>	Reporte mensualizado de productividad de Pala "2050" .....	55
<i>Figura 4.7</i>	Reporte mensualizado de productividad de Pala "2051" .....	56
<i>Figura 4.8</i>	Reporte mensualizado de productividad de Pala "2170" .....	56
<i>Figura 4.9</i>	Reporte mensualizado de productividad de Cargador "5028" .....	56
<i>Figura 4.10</i>	Reporte mensualizado de productividad de Cargador "5029" .....	57
<i>Figura 4.11</i>	Reporte mensualizado de productividad de Cargador "5031" .....	57
<i>Figura 4.12</i>	Reporte mensualizado de productividad de camiones Caterpillar 793D .....	58

<i>Figura 4.13</i>	Reporte mensualizado de productividad de camiones Komatsu 830E .....	59
<i>Figura 4.14</i>	Reporte mensualizado de productividad de camiones Caterpillar 797F.....	59
<i>Figura 4.15</i>	Reporte mensualizado de productividad de camiones Komatsu 930E .....	59
<i>Figura 4.16</i>	Reporte mensualizado de EFH de camiones Caterpillar 793D .....	61
<i>Figura 4.17</i>	Reporte mensualizado de EFH de camiones Komatsu 830E .....	62
<i>Figura 4.18</i>	Reporte mensualizado de EFH de camiones Caterpillar 797F.....	62
<i>Figura 4.19</i>	Reporte mensualizado de EFH de camiones Komatsu 930E .....	62
<i>Figura 4.20</i>	Reporte mensualizado de capacidad de acarreo camiones Caterpillar 793D .	63
<i>Figura 4.21</i>	Reporte mensualizado de capacidad de acarreo camiones Komatsu 830E ....	64
<i>Figura 4.22</i>	Reporte mensualizado de capacidad de acarreo camiones Caterpillar 797F..	64
<i>Figura 4.23</i>	Reporte mensualizado de capacidad de acarreo camiones Komatsu 930E ....	64
<i>Figura 4.24</i>	Reporte mensualizado de productividad de Carguío .....	68
<i>Figura 4.25</i>	Reporte mensualizado de productividad de acarreo .....	69
<i>Figura 4.26</i>	Reporte mensualizado de EFH por flotas .....	70
<i>Figura 4.27</i>	Reporte mensualizado de capacidad de acarreo por flota.....	71

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Asociación de Estados y Categorías .....	38
Tabla 2.2 <i>Factores de carga dispatch</i> .....	40
Tabla 4.1 <i>% de confiabilidad de registros del sistema Dispatch</i> .....	66
Tabla 4.2 <i>Resultados de <math>r</math> y <math>r^2</math></i> .....	66

# CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

## 1.1 Generalidades

### 1.1.1 Administración Dispatch

Dispatch es un sistema de control y administración de flota de equipos de carguío y carreo de minas de tajo abierto a gran escala, utiliza lo último en tecnología de sistemas de posicionamiento global (Navstar, Glonass, Galileo, BeiDuo), comunicaciones de datos (redes WiFi Mesh) y computacional para obtener operaciones fiables para las tres soluciones de la suite IntelliMine de la empresa Modular Mining Systems (MMS).



Figura 1.1 Suite IntelliMine Dispatch Next Gen, Provision3, Minecare

Fuente: Elaboración Propia

Desde su fundación 1979, Modular Mining Systems, desarrolló, demostró e introdujo en el mercado el sistema DISPATCH, esta tecnología revolucionó la industria minera y desde 1980 los clientes alrededor del mundo han obtenido grandes beneficios del sistema, por su capacidad de optimizar las asignaciones de los equipos de acarreo. Los dos principales beneficios de esta optimización son:

- Incrementar la productividad de una determinada flota de camiones y palas.
- Reducir el número de camiones y palas de acuerdo con los objetivos de producción.

Ya sea por ahorro de costos o por incremento en la producción el sistema Dispatch tiene un impacto en la operación minera. Gracias al éxito del sistema Dispatch, Modular Mining Systems, desarrolló la suite IntelliMine como una solución de gestión minera, que incluye la gestión de flotas (Dispatch NextGen), la gestión de máquinas de alta precisión (Provision3) y la gestión del mantenimiento (MineCare).

### **1.1.2 Dispatch NextGen Principales Funciones**

El Sistema de gestión de flota permite implementar estrategias de producción de acuerdo con la realidad de cada unidad minera, a través de hardware de campo y software de comunicaciones, ofreciendo mayor productividad y eficiencia por medio de la optimización de la flota. Con más de 30 años de aceptación de sus algoritmos de optimización (mejor ruta, programación lineal y programación dinámica), proporciona herramientas adicionales para diferentes problemáticas de una operación mineral tales como: mejorar la mezcla de materiales, incrementar la utilización de chancado, reducir las colas en chancado, gestionar los derrames de material en las vías y mantener un seguimiento a la temperatura de los neumáticos.

Soluciones de seguimiento de equipos en tiempo real: Gráficos de la mina, transacciones, posiciones GPS, seguimiento de tiempos de ciclo de transporte, detección de inmovilidad, seguimiento a equipos auxiliares, alertas de velocidad en balizas, seguimiento porcentaje de abastecimiento de combustible, carga útil transportada.

Soluciones de control de equipos: visualización de rutas de transporte, módulo de chat del operador, módulo de tareas para equipos auxiliares, alerta de neumáticos, seguimiento de registro de operadores, módulo de cambio de turno, módulo de retroalimentación rápida, códigos de razón para equipos y ubicaciones.

Soluciones de gestión de materiales: Seguimiento de puntos de ubicación, módulo de registro de polígono de minado y módulo de blending de mineral.

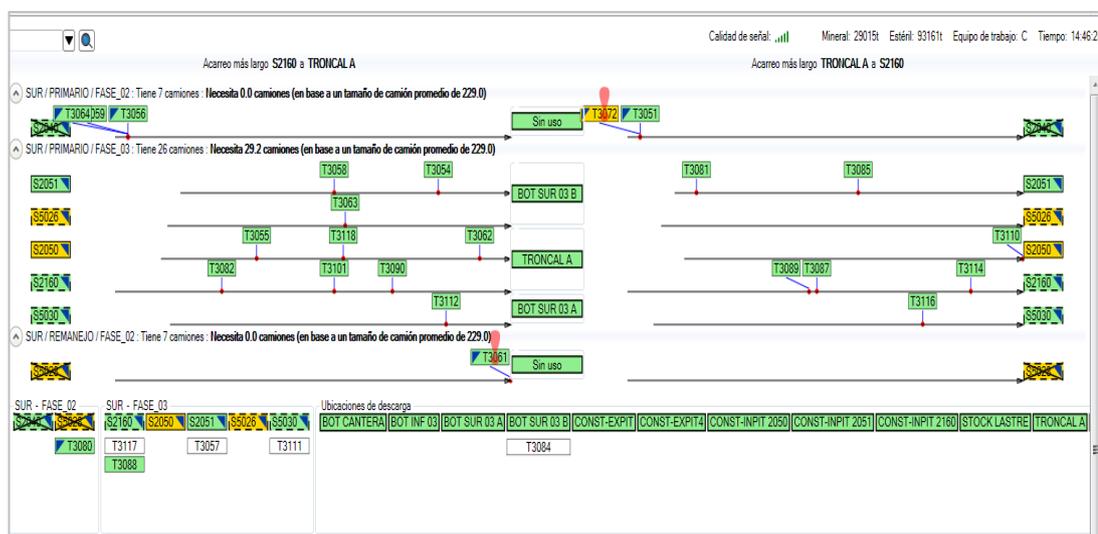


Figura 1.2 Haul Route

Fuente: MMS (2018), Dispatch NextGen 6.6.4

### 1.1.3 Provision 3 Principales Funciones

El sistema de guía de alta precisión de Provision3 es una solución de alta tecnología que administra las operaciones de pala, cargador frontal, perforadora y tractor de orugas utilizando GPS de alta precisión para proporcionar a los operadores una navegación en tiempo real de polígonos de minado, mallas de perforación, superficies de corte, superficies de relleno y zonas de riesgo; los cuales son cargados en el sistema y son desplegados de acuerdo con la necesidad de cada equipo.

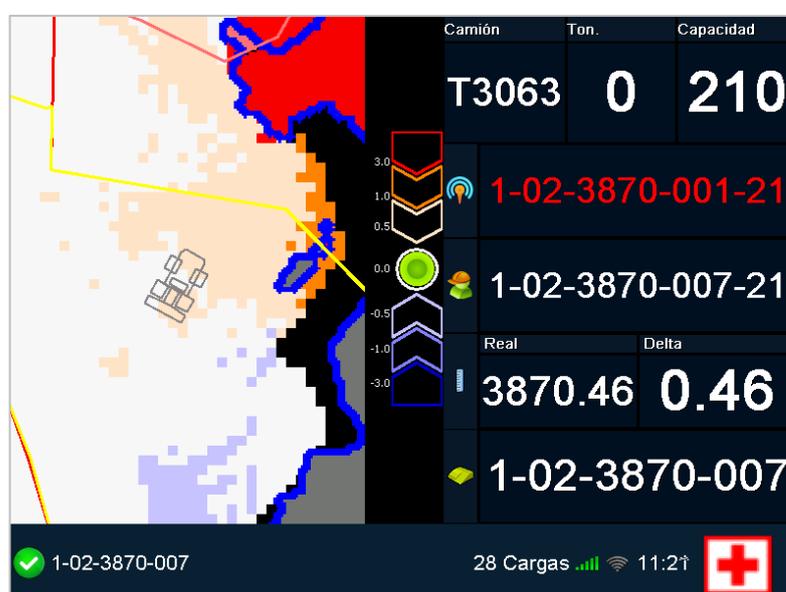


Figura 1.3 Alta Precisión de Palas

Fuente: MMS (2018), PTX Cargador Frontal

Las soluciones de la aplicación de alta precisión son: control de mineral a través de la visualización polígonos de material, control de dilución a través de minado selectivo en polígono de contacto, control de pisos, control de avance en tiempo real (líneas de progreso), visualización de zonas de peligro (por ejemplo, taladros quedados, piezómetros, etc.), mallas de perforación digitalizadas, control de profundidad de taladros, control de precisión en XY y control de avance de las superficies de diseño.

### 1.1.4 Minecare Principales Funciones

El sistema de mantenimiento MineCare está diseñado con el objetivo de mantener y mejorar la disponibilidad de la flota de producción y de los equipos auxiliares. Asegura una reducción de costos de mantenimiento gracias a sus 4 principales herramientas de gestión:

- Manejo de eventos de alarma OEM
- Análisis de tendencias
- Monitoreo en tiempo real
- Seguimiento en el tiempo.

La principal responsabilidad del sistema MineCare es proveer de notificaciones en tiempo real de las alarmas OEM de cada uno de los fabricantes, en conjunto con los sistemas de posicionamiento global (GPS) hacen interfaz con las interfaces OEM a bordo y constantemente reúnen datos de los sensores.

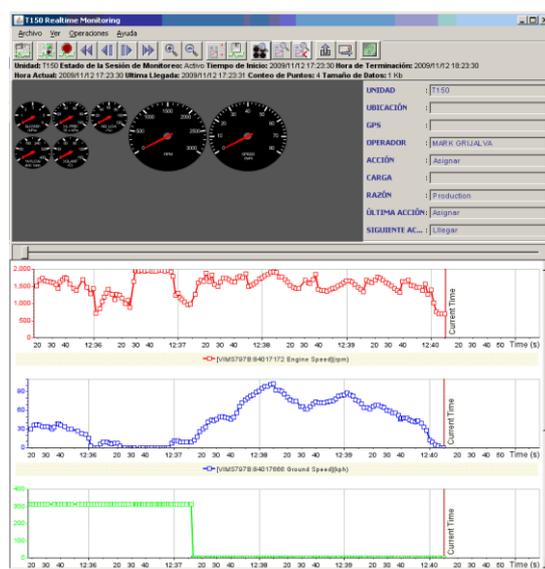


Figura 1.4 Monitoreo en Tiempo real

Fuente: Modular Mining Systems (2012), Aplicación de monitoreo en tiempo real

La aplicación de monitoreo en tiempo real a través del uso de plantillas preconfiguradas permite desplegar una interfaz gráfica con los parámetros de las interfaces OEM mostrando de forma rápida el estado actual del equipo. Los principales usos de esta herramienta son: Diagnostico remoto de equipos, Detección proactiva de problemas, Reducir los fallos catastróficos de los componentes, Identificar abuso al equipo por parte del operador y efectuar análisis de rendimiento.

La aplicación de análisis tendencias es una herramienta que ayuda a maximizar la disponibilidad de la flota a través de la estimación de las condiciones de los componentes internos y/o motores identificando posibles o inminentes fallas. Útil para monitoreo a largo plazo del rendimiento de los equipos en situaciones específicas

La aplicación de manejo de eventos es la plataforma principal de trabajo del sistema MineCare donde se muestra todas las alarmas de las interfaces OME y también las alarmas configuradas en la aplicación de tendencias, esta herramienta ayuda a gestionar todos los eventos OEM anormales de toda la flota en tiempo real.

#### **1.1.5 Cómo Funciona DISPATCH**

DISPATCH requiere de numerosos y variados componentes para funcionar, de estos componentes, los principales son:

- El Sistema Computarizado de Campo (*Field Computer System FCS*) que consta de una Consola Gráfica computarizada (PTX). Dicho sistema se instala en camiones, palas y equipos auxiliares.
- Enlace de red inalámbrica, que consta de toda la infraestructura desplegada de red WiFi Mesh (antenas omnidireccionales y sectoriales), para cubrir toda la superficie del tajo, la red instalada fue una CISCO Mesh.

- Servidores de aplicaciones y base de datos, consta de un servidor de base de datos físico-cluster y 4 servidores virtuales para cada una de las aplicaciones del sistema.
- Aplicaciones de escritorio Windows para las diferentes soluciones de la Suite IntelliMine intellimine (Dispatch, Provision, Minecare)
- Tecnología GPS



Figura 1.5 PTX de 10"

Fuente: Modular Mining Systems (2013), Manual de mantenimiento de hardware

Con el fin de proporcionar asignaciones óptimas y automáticas para camiones de acarreo, DISPATCH registra los **eventos claves** del ciclo de acarreo de cada camión **utilizando** la información que los operadores ingresan en sus PTX.

Por ejemplo, cuando un camión llega a la pala, el operador oprime el botón Llegada en el menú acciones del PTX de su camión. Cuando la pala coloca su primera carga en el camión, el operador del camión oprime el botón "Cargar" en el PTX y cuando la pala termina de cargar el camión, el operador de la pala oprime "OK"

en el PTX de su pala. Cuando el camión termina de descargar el material, su operador oprime “Asignar” para recibir una nueva asignación.

El PTX permite que los operadores registren cambios en el estado de su equipo como, por ejemplo: Fuera de Servicio, Demora y Reserva. Luego de oprimir cualquier botón del PTX, los operadores oprimen el botón OK, con el fin de transmitir estos datos a los servidores de Dispatch.



Figura 1.6 PTX de 7" Pantalla de Camión

Fuente: Modular Mining Systems (2016), Dispatch NextGen 6.6.4

Estos datos son transmitidos en forma instantánea (en paquetes de información digitalmente codificados) desde los PTX hasta el computador central en el Centro de Información de DISPATCH, por medio de la red inalámbrica.

El software del computador central registra y guarda estos datos para luego generar informes y más importante aún, analizar los datos con base a distintas variables (como, por ejemplo: el tiempo que demora una pala en excavar, la ubicación

de palas y camiones, algoritmos del camino más corto, rutas cerradas, capacidad máxima en los puntos de descarga, colas en chancadora, niveles de combustible en los camiones, etc.) con el fin de realizar asignaciones óptimas para los camiones.

Cuando el software del computador central genera una asignación, la envía al camión apropiado por medio del dispositivo de interfaz de comunicaciones. Esta asignación le llega al operador como “mensaje” en el PTX de su camión.

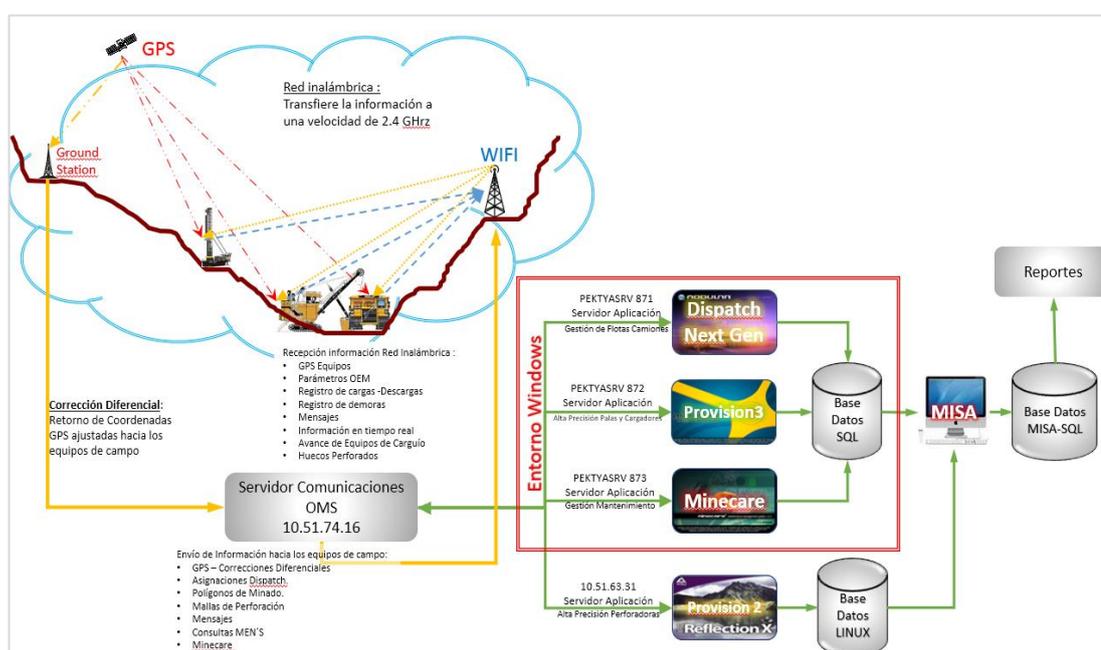


Figura 1.7 Esquema de Trabajo del Sistema Dispatch

Fuente: Elaboración Propia

Durante el ciclo de acarreo, el camión pasa por una (o más) balizas virtuales de GPS de punto intermedio, las cuales generan reasignaciones dinámicas y calculan la duración del ciclo. Además, el destino final del ciclo ya sea una pala, botadero, Chancadora, taller—tiene balizas virtuales de GPS de punto de destino final, las cuales automáticamente reconocen que el camión ha llegado a su destino final (si está activada la opción de auto llegada). De esta forma, el operador no necesita oprimir el botón Llegar. Además, es posible que los camiones y palas tengan instaladas y configuradas las interfaces de comunicación de la balanza, para indicar,

automáticamente, el inicio de la secuencia de carga, con el fin de que los operadores no tengan que oprimir el botón Cargar. Algunos camiones tendrán sensores a nivel de tolva para indicar el final de la secuencia de descarga, evitando así la necesidad de oprimir el botón Asignar, para pedir una nueva asignación.

Durante el turno, los receptores GPS instalados en los camiones determinan, en forma continua, las coordenadas norte y este de los camiones, usando información de posicionamiento que vienen de los satélites GPS en órbita. Para el GPS de precisión de 10 metros, se transmiten datos de corrección al equipo desde una estación base de referencia de GPS. Cuando las coordenadas de un equipo equivalen a las coordenadas de una baliza virtual en la base de datos de GPS (es decir, cuando el equipo entra en el área de cobertura de la baliza), el procesador de comunicaciones a bordo del camión le informa al computador central que el camión ha llegado a (o salido de) el área de la baliza.

Entre más automatizado el sistema, menos posibilidad habrá de errores de operador. De igual manera, si el sistema requiere que los operadores de camión y pala opriman botones del PTX en cada etapa del ciclo de acarreo, el *despachador* tendrá que estar pendiente y alerta para asegurar que los operadores estén utilizando su PTX en forma adecuada.

#### **1.1.6 Ciclo de Acarreo Típico**

En un típico ciclo de acarreo, un camión llega a una pala, recibe la carga, viaja a un punto de descarga (botadero, Chancadora, Stock), descarga, y sigue en su camino hasta llegar a otra pala.

Al inicio de nuestro ejemplo, el camión llega a la pala (1). Al acercarse a la pala, el camión entra al área de cobertura de la baliza virtual asociada con dicha pala. Esta baliza de GPS le avisa a DISPATCH que el camión llegó a su punto asignado

(la pala), a continuación, el operador de camión procede con la maniobra de aculatamiento y está listo para iniciar con el proceso de carguío; si hubiera otro camión cargando se da inicio al tiempo de espera (queue)

Cuando el camión previo este lleno, el camión en espera dará inicio al proceso de carguío cuando reciba la primera baldada (2), si se cuenta con interfaces de tonelaje instaladas este evento se cambiará automáticamente cuando se tenga el censo de la balanza del camión.

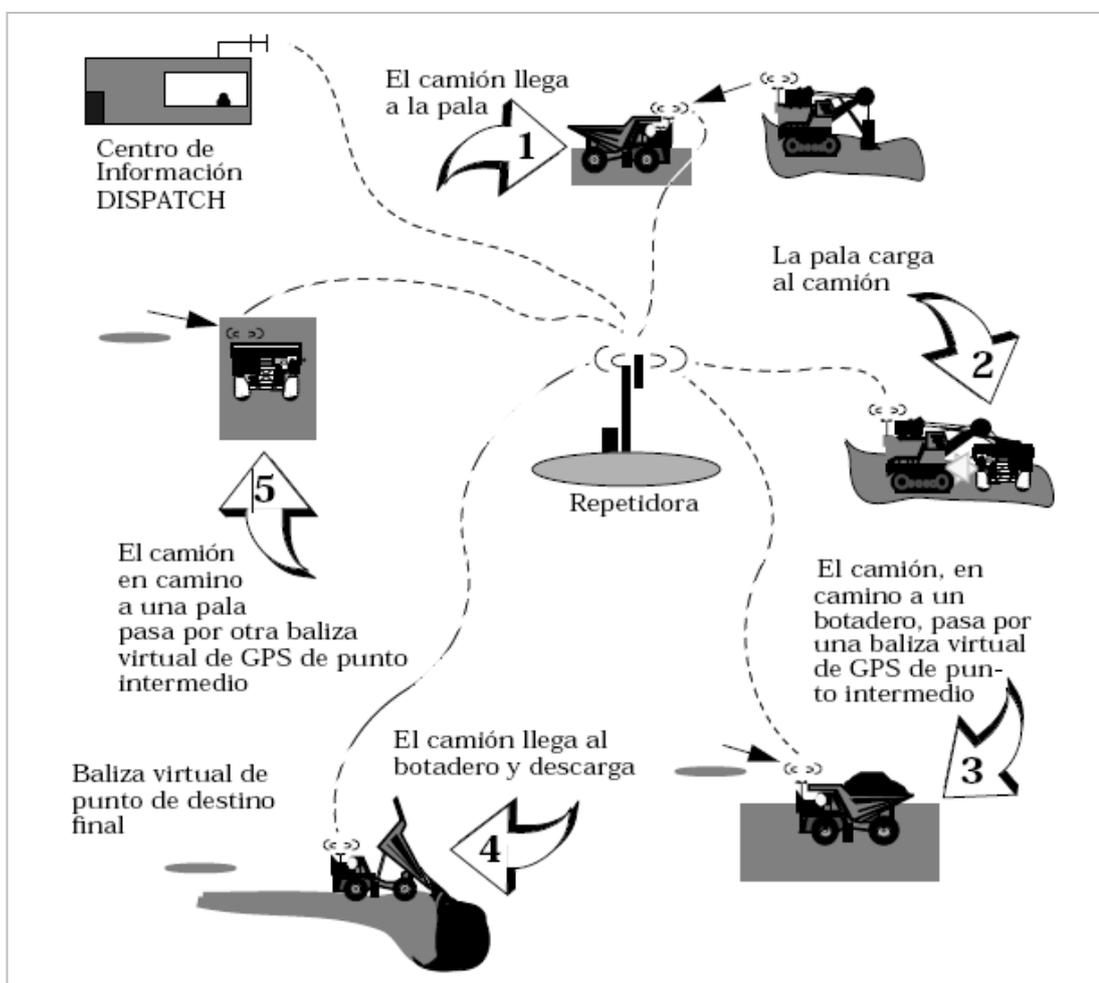


Figura 1.8 Eventos del Ciclo de Acarreo Dispatch

Fuente: Modular Mining Systems (2013), Manual de uso del sistema Dispatch

El proceso de carguío terminara cuando el operador de pala oprima el botón de lleno en el PTX o presionando el pedal de full (3), provocando que el camión sea asignado a su punto de descarga.

El evento de llegada (4) se gatillará cuando el camión se encuentre en el área de cobertura de la baliza virtual del punto de descarga y registre una velocidad GPS menor a 5 km/Hr (“Configurable”).

Cuando el camión termine de descargar el material recibirá una asignación (pala, taller, grifo) de acuerdo con el proceso de optimización y/o preasignación (5). Este evento puede ser manual o automático (configurado en función al evento de subida y bajada de tolva del camión).

#### **1.1.7 Ciclo de Carguío Típico**

En el típico ciclo de carguío el equipo tiene un periodo de espera, tiempo de aculatamiento y tiempo de carguío

El tiempo en el cual la pala está esperando el evento de llegada del camión para dar inicio al proceso de carguío es conocido como hang y sería el tiempo entre la llegada del camión y el fin de carga del camión anterior, siendo este último menor caso contrario sería cero.

El tiempo de aculatamiento o Spot va a depender si en el ciclo de la pala se cuente o no con el registro de tiempo de espera de camión (hang). Por lo que si fuese el primer camión el spot estaría definido por la diferencia entre los eventos inicio de carga y llegada, caso contrario si fuese el segundo camión, es decir si ya hubiese un camión cargando el spot estaría definido por la diferencia del inicio carga y el lleno del camión anterior.

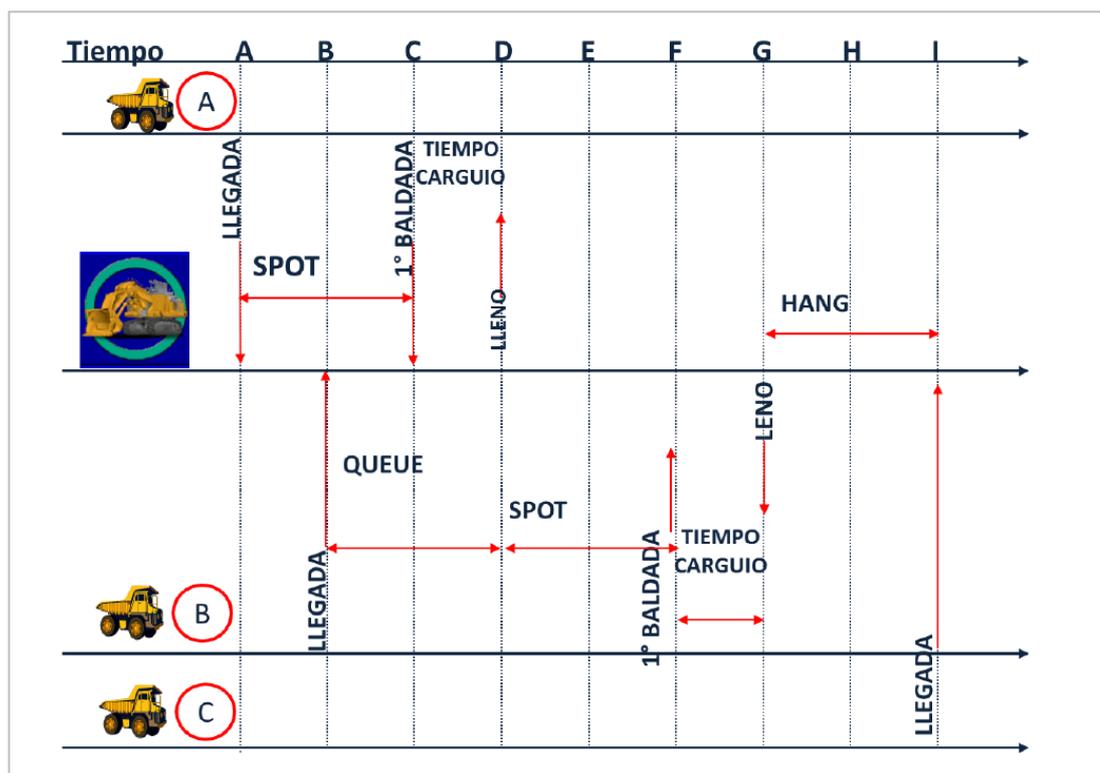


Figura 1.9 Eventos del Ciclo de Carguío Dispatch

Fuente: Modular Mining Systems (2012), Manual de uso del sistema Dispatch

### 1.1.7 Principales responsabilidades

El sistema de gestión de flota Dispatch Next Gen al ser muy complejo, necesitar ser alimentado con información fidedigna continuamente, asegurar un correcto funcionamiento y rendimiento; se decantó en la necesidad de establecer responsabilidades con todas áreas que tengan relación directa.

**Administración Dispatch:** Entre las principales se tiene la validación de la información registrada en tiempo real, revisión y corrección de la información registrada en la base de datos, asegurar una buena conectividad de los equipos Dispatch instalados, responsable de emitir los reportes oficiales a todo nivel, capacitar en el correcto uso del sistema a todo nivel.

**Operaciones Mina:** Es el encargado de la asignación adecuada de polígonos de minado en coordinación con control de mineral, mantener actualizado

las rutas de acarreo en el sistema, asignar el material al destino adecuadamente, controlar los principales indicadores de despacho que están bajo su control (queue y hang)

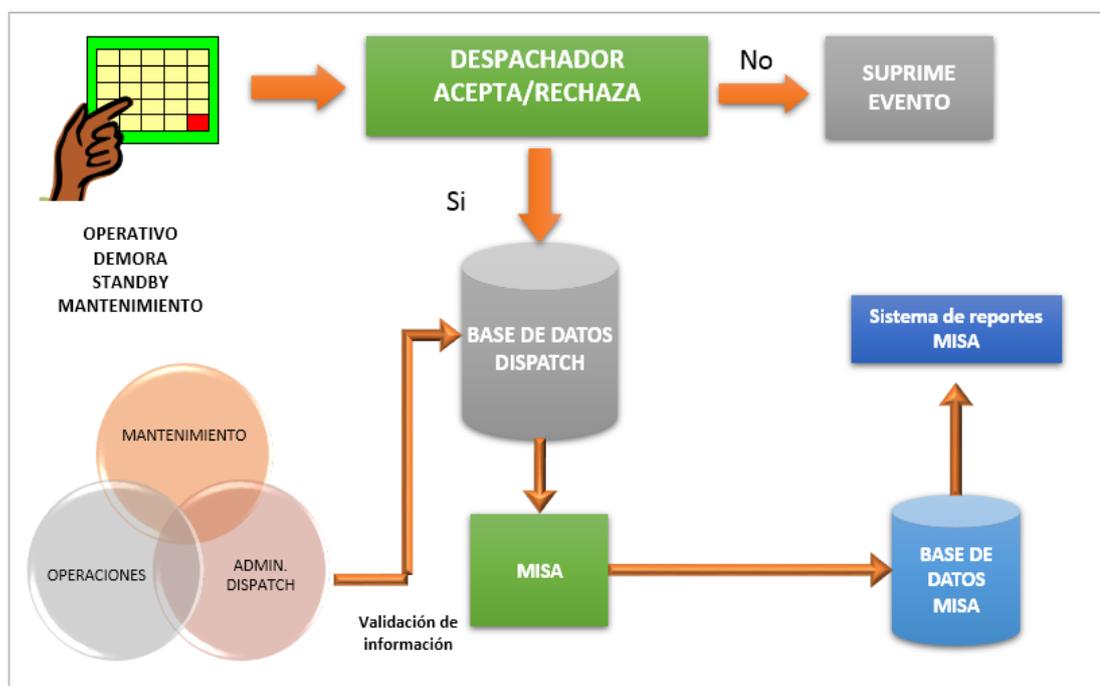


Figura1.10 Esquema de trabajo para el tratamiento de la información

Fuente: Elaboración Propia

**Control de mineral:** Son los responsables del registro y control de leyes para los polígonos diarios, control del registro adecuado de los polígonos minados, control de las descargas en los diferentes stocks y control de la mezcla enviada a chancado en coordinación con el despachador mina.

**Planeamiento Mina:** responsable del registro y control de las superficies de diseño (rampas, límites de control) cargadas al sistema, seguimiento a las zonas de peligros, registro y control de mallas de perforación, conciliaciones de fin de mes.

**Tecnología de la información:** Es responsable de verificar la cobertura de la red inalámbrica en toda la operación (eliminación de puntos ciegos), asegurar

la disponibilidad de la red inalámbrica, proporcionar soporte en el mantenimiento y backup de las bases de datos

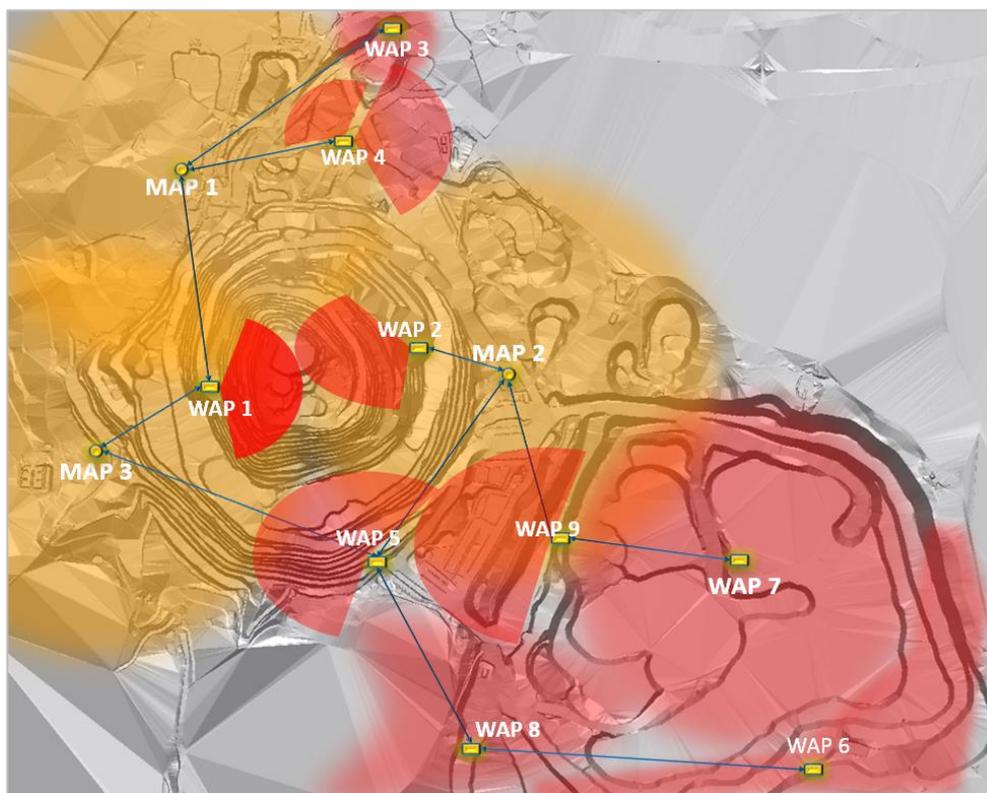


Figura 1.11 Plano de Cobertura de red Mesh

Fuente: Elaboración Propia

## 1.2 Descripción del Problema de Investigación

La baja del precio del cobre y la sobreoferta de este en el mercado mundial conlleva que los productores de este tengan la necesidad de mejorar sus procesos.

El proceso de carguío y acarreo representa aproximadamente el 60% del costo de producción, por lo cual la minera Antapaccay ha implementado el sistema de gestión de flota “Dispatch NextGen” de la empresa Modular Mining Systems (MMS), un sistema que, mediante el uso de tecnología satelital, comunicación inalámbrica y algoritmos de optimización, se encarga de administrar este costoso proceso.

Si bien esta implementación aporta mejoras significativas al proceso y busca constantemente maximizar el uso de los equipos de carguío y acarreo, estos beneficios están sujetos al grado de capacitación de los usuarios, el manejo de los parámetros del sistema en tiempo real y al tratamiento de la información histórica que se tiene almacenada en los servidores, los cuales de no ser gestionados y controlados de manera efectiva traen como consecuencia no lograr los niveles de producción planificados.

En consideración a lo expuesto, y al revisar los indicadores de rendimiento del proceso de carguío y acarreo en la minera, surge la pregunta: ¿De qué manera la gestión y control del Sistema Dispatch mejora el proceso de carguío y acarreo en la minera Antapaccay?

### **1.3 Justificación**

Según Bernal una investigación tiene justificación práctica cuando su desarrollo ayuda a resolver un problema o, por lo menos propone estrategias que al aplicarse contribuirán a resolverlo (Bernal, Proceso de investigación científica).

Al finalizar la presente investigación, el análisis que se realizará servirá para comprender y brindar estrategias que ayuden a solucionar el problema en la minera de estudio. En este sentido la investigación realizada permitirá gestionar y controlar tres aspectos:

- a) La ampliación del nivel de conocimientos en el manejo del sistema de gestión de flota.
- b) El grado de decisión en tiempo real de las asignaciones de la flota en el proceso de carguío y acarreo tomadas en base al uso de las herramientas proporcionadas por el sistema y la realidad de la operación.

c) El análisis de indicadores en busca de patrones que influyen directamente en el rendimiento ya la producción.

Aspectos que nos permitirán tener un análisis más profundo de los indicadores proporcionados por el sistema en función a los parámetros planificados.

Además, el desarrollo de la presente investigación tiene una justificación estratégica pues tras investigar las políticas de la empresa y los valores de esta recalcamos uno de ellos que es el espíritu empresarial lo cual da cabida a desarrollar investigaciones que logran mejorar la rentabilidad de los accionistas por medio de soluciones prácticas de gestión en procesos y en la optimización de estos.

De la viabilidad de la investigación; se cuenta con el personal con conocimiento, especializado y preparados en la ejecución del sistema del sistema de gestión de flota Dispatch NextGen.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Mejorar los procesos de carguío y acarreo a través de la gestión y control del sistema de gestión de flotas Dispatch NextGen.

### **1.4.2 Objetivo Específicos**

- Determinar como la gestión de los principales indicadores de productividad influyen en el proceso de carguío y acarreo.
- Comprender como influye la capacitación y entrenamiento en el manejo y administración del sistema Dispatch en el rendimiento de los indicadores de productividad de carguío y acarreo.

- Evaluar cómo la implementación de un sistema de gestión de indicadores influye en la eficiencia de los indicadores de productividad del proceso de carguío y acarreo.

## 1.5 Hipótesis

### 1.5.1. Hipótesis General

La gestión y control del sistema de despacho de equipos mina provoca la mejora de los procesos de carguío y acarreo.

### 1.5.2 Hipótesis Específicas

- La gestión de los principales indicadores de productividad influye positivamente en el proceso de carguío y acarreo
- El rendimiento de los indicadores de productividad está relacionado directamente con la capacitación y entrenamiento en el manejo y administración del sistema Dispatch.
- La implementación de un sistema de gestión de indicadores influye positivamente en los indicadores de productividad del proceso de carguío y acarreo.

## 1.6 Antecedentes

Lazo<sup>1</sup> (1966). Realizó el estudio de investigación titulado *Transporte de mineral en la mina Toquepala*, se elabora una descripción del proceso de carguío y acarreo donde nos contextualiza cómo se desarrolla esta actividad y cuáles eran las medidas de control implementadas, una de la cuales era la comunicación visual por medio de vigías ubicados en los puntos de intersección de la ruta de acarreo y en los puntos

---

<sup>1</sup> Lazo Calizaya Adolfo, (1966) Transporte de Mineral en la mina Toquepala.

de descarga final. Este proceso de asignación manual tiene como desventaja una baja o casi nula reacción en tiempo real por parte de la supervisión y era susceptible a los errores propios de las personas.

Hidalgo<sup>2</sup>(1975). En su trabajo de investigación “Carguío y transporte en MC cune pit de Cerro de Pasco”, describe los factores que influyen en el funcionamiento del proceso de carguío y transporte, así como los criterios empíricos utilizados. Uno de los aportes fue de presentar el método de Torre Alta o Despachador Visual, donde se expone la idea de un centro de control para la administración y control de los equipos mineros.

Agreda<sup>3</sup>(1975). En su investigación “La técnica de la simulación aplicada al problema del transporte de mineral en la mina Marcona (uso de la computación electrónica)”, describe y desarrolla la metodología de la técnica de simulación utilizando el lenguaje de programación FORTRAN. Como principal aporte es su aplicación en la unidad minera mejorando el proceso de transporte y acarreo al modificar la distribución de los equipos de acarreo asignados a los diferentes equipos de acarreo.

En 1979 se funda la empresa Modular Mining Systems, Inc. la cual lanza al mercado el primer sistema de gestión de flota “Dispatch” cuyos fundamentos son: coleccionar datos en tiempo real, almacenar y organizar los datos, resolver problemas en tiempo real, controlar el tiempo y estado de los activos de la unidad minera y por consecuencia presentar una reducción en sus costos operativos. Desde

---

<sup>2</sup> Hidalgo Rodríguez Alfonso, (1975) Carguío y Transporte en MC Cune Pit de Cerro de Pasco.

<sup>3</sup> Agreda Turriate Isauro, (1975) La Técnica de la simulación aplicada al problema del transporte de mineral en la mina Marcona (Uso de Computación Electrónica)

ese entonces el proceso de carguío y acarreo en las diferentes minas a tajo abierto alrededor del mundo donde se implementa esta solución experimentaron el incremento de su producción.

Un ejemplo internacional de ello es la implementación del sistema Dispatch en la mina de carbón Centralia, que es una mina de carbón sub-bituminoso superficial situada a unos 10 kilómetros al noroeste de la ciudad de Centralia en el estado de Washington, Estados Unidos, las variables influyentes eran los costos operativos y la productividad de los equipos mineros, de los cuales esta última tuvo un incremento en el año 2005 tras la implementación del sistema Dispatch; como se relata en la revista Mining Engineering en el artículo titulado "*Centralia coal mine upgrade haulage, mine monitoring*".

Fuertes<sup>4</sup> (2003). En la investigación titulada *implementación del sistema de despacho de volquetes (Dispatch) en la mina Cuajone para lograr una alta productividad y un eficiente control de las operaciones*. describe que en el contexto nacional es conocido que una de las primeras minas en implementar el sistema Dispatch fue la unidad minera de cobre Cuajone, una operación minera ubicada en el distrito de Torata, provincia de Mariscal Nieto – Moquegua, en Julio de 1998, donde se logró mejorar la productividad de los camiones, así como el control del mineral en las palas; esta implementación permitió a su vez la disminución de la carga laboral en el área de topografía.

En la actualidad el sistema Dispatch existe como aporte tecnológico mundial y está claro que ayuda en la mejora del proceso de carguío y acarreo, sin embargo, no

---

<sup>4</sup> Fuertes Tello, P. M. (2003). Implementación del sistema de despacho de volquetes (Dispatch) en la mina Cuajone para lograr una alta productividad y un eficiente control de las operaciones. Universidad Nacional de Ingeniería. Programa Cybertesis PERÚ

es sólo la implementación del sistema Dispatch lo que asegura el incremento de la productividad, sino más bien la gestión de las variables que permiten el manejo de este, es decir, cómo se administra el sistema dispatch para lograr un desempeño efectivo que esté alineado a la información recibida en tiempo real.

Richard<sup>5</sup> (2004). En el artículo “*Effective production monitoring in open pit mines: Beyond the technology*” se señala “El monitoreo efectivo y control de las operaciones de camiones y palas requieren una combinación de sistemas de información y la administración de su desempeño” , lo cual indica que la complejidad del proceso de carguío y acarreo requiere considerar dos aspectos muy importantes, recopilación de información y administración de su desempeño, todo esto con la finalidad de maximizar la productividad de los activos de la operación minera. El artículo menciona también la necesidad de darle la importancia adecuada al manejo correcto de estos sistemas de información por parte de la compañía pues “El éxito se llevará a cabo por medio de un concienzudo esfuerzo por parte de la administración de la mina para educar a la fuerza laboral en cómo usar la información y el efecto financiero que tienen esas decisiones” (P.L.,2004).

“La productividad también puede definirse como la relación entre los resultados y el tiempo que lleva conseguirlos. El tiempo es a menudo un buen denominador, puesto que es una medida universal y está fuera del control humano. Cuanto menor tiempo lleve lograr el resultado deseado, más productivo es el sistema” (Prokopenko, 1989, pág. 3).

Podemos decir que en el escenario estudio, Antapaccay, mina de cobre ubicada al sur del Perú, región Cusco, provincia de Espinar, la variable productividad involucra

---

<sup>5</sup> Richard, P. L. (2004). *Effective production monitoring in open pit mines: Beyond the technology*. CIM Bulletin, 97(1081), 91-94. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/200213110?accountid=43847>

al tiempo como su primer y principal factor, el cual es administrado por el Sistema Dispatch Next Gen propiedad de la empresa Modular Mining Systems (MMS). En este contexto la poca eficiencia en el manejo del sistema Dispatch en relación a sus algoritmos de optimización (mejor ruta, programación lineal y programación dinámica) conlleva a que los indicadores de productividad tales como: ciclos de carguío y acarreo, tiempos de espera, utilización de equipo, velocidad de excavación, velocidades por pendiente de acarreo, toneladas por hora, entre otros; se vean comprometidos, haciendo del factor tiempo una constante en cada uno de ellos, dando como resultado el objeto de estudio en la presente investigación.

## CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

### 2.1 Marco Teórico

#### 2.1.1 Equipos Mina

La Operación minera cuenta con un total de 103 equipos, 71 principales y 32 auxiliares, de los cuales se ha realizado 86 instalaciones Dispatch, 21 kit's de alta precisión entre palas, cargadores frontales, perforadoras y tractores de oruga y 65 kit's baja precisión entre camiones tractores de ruedas y motoniveladoras:

Tipo	Marca	Modelo	Cantidad
Pala	P&H	2800XPB	2
	Caterpillar	7495HR2	3
	Caterpillar	6060FS	1
Cargador Frontal	Caterpillar	994F	2
	Caterpillar	994K	1
	LeTourneau	L1850	1
Camión	Caterpillar	793D	11
	Caterpillar	797F-HAA	23
	Komatsu	830E	11
	Komatsu	930E-4SE	9
Perforadora	Bucyrus	39HR	1
	Bucyrus	49HR	2
	Caterpillar	MD6540C	1
	P&H	100B	1
	Sandvik	DR560	2

Figura 2.1 Lista de Equipos Principales

Fuente: Elaboración Propia

Tipo	Marca	Modelo	Cantidad
Cisterna Agua	Komatsu	HD 1500	2
Cama Baja	Komatsu	830E-DC	1
Tractor Orugas	Caterpillar	D11T	8
	Komatsu	D475A	1
Tractor Rueda	Caterpillar	834H	2
	Caterpillar	844H	3
Motoniveladora	Caterpillar	16M	4
	Caterpillar	16M	2
Excavadora	Caterpillar	385CL	2
	Caterpillar	390DL	2
Rompe Roca	Komatsu	PC450	1
Rodillo	Caterpillar	CS78B	2
Manipulador	Caterpillar	834H	2

Figura 2.2 Lista de Equipos Auxiliares

Fuente: Elaboración Propia

### 2.1.2 Modelo de Gestión de Activos

El sistema de gestión de activos consiste en un conjunto de normas que definen la finalidad y los requerimientos de rendimiento para numerosos elementos que describen el proceso de gestión de proyectos.

La finalidad de ese sistema de gestión de activos es definir un conjunto de KPI's que pueda ser utilizado para medir el rendimiento de nuestras flotas móviles.

Las fórmulas que se emplearán para calcular los indicadores se basarán respecto los términos empleados en la definición del tiempo basado en el modelo de gestión que se presenta a continuación.

TIEMPO CALENDARIO(TC) o TOTAL(TT)						
Tiempo Programado(TP)					Tiempo No Programado (TNP)	
Tiempo Disponible(TD)				Tiempo de Mantenimiento(TM)		
Tiempo de Operación(TO)			Stand By	MP	MNP	
TNOP	DOP	DONP				
TC o TT	Tiempo de un Periodo (Turno 12 horas, Día 24 Horas etc)					
TP	Tiempo Programado de Trabajo de un Equipo					
TNP	Tiempo Ocasionado por Eventos Externos					
TD	Tiempo que un equipo esta Disponible para ser usado					
TM	Tiempo que un equipo no esta Disponible para ser usado					
TO	Tiempo que un Equipo tiene un operador Asignado					
TNOP	Tiempo Neto Operativo					
DOP	Tiempo de Demora Operativa Programada					
DONP	Tiempo de Demora Operativa No Programada					
Stand By	Tiempo que un equipo esta Disponible pero no es usado					
MP	Tiempo de Mantenimiento Programado					
MNP	Tiempo de Mantenimiento No Programado					

Figura 2.3 Modelo de Tiempos para la Gestión de Activos

Fuente: Xtrata – Tintaya (2011), KPI's corporativos

### 2.1.3 Gestión del Tiempo en Dispatch

El sistema Dispatch administra el tiempo de los equipos a través eventos, los cuales se clasifican en “Estados” y “Categorías”, los probables eventos que se le atribuyen al equipo son representados y expresados a través de una codificación que cada unidad minera elabora de acuerdo con su necesidad, esta codificación es única y el nivel de detalle que se desee llegar dependerá del balance entre la calidad de la información que se desea administrar y la cantidad de recursos que se aplican para esta labor.

**Estados:** Es la clasificación de tiempo del sistema dispatch con la cual se realiza los cálculos y restricciones propias de la solución dispatch, el sistema ofrece 5 estados de los cuales solo 4 se adaptan a la forma de operación de la mina:

- Operativo
- Demora
- Stand by
- Mantenimiento

**Categorías:** Es la clasificación de tiempo asociado al modelo de gestión de activos de la organización, con la cual se realizan los cálculos de KPI's.

- T.Net.Operativo (TNOP)
- D.Opera.Prog (DOP)
- D.Opera.No.Prog (DONP)
- Standby
- Mant.Prog (MP)
- Mant.No. Prog (MNP)
- T.No. Programado (TNP)

Tabla 2.1

*Asociación de Estados y Categorías*

<b>Estado Dispatch</b>	<b>Categoría de tiempo</b>	<b>Descripción</b>
Operativo	T.Net.Operativo	Equipo en producción
Demora	D.Opera.Prog	Equipo en demora controlada
Demora	D.Opera.No.Prog	Equipo en demora no controlada
Stand by	Standby	Equipo en stand by
Mantenimiento	Mant.Prog	Equipo en PM
Mantenimiento	Mant.No. Prog	Falla inesperada
Mantenimiento	T.No. Programado	Falla inesperada externa

Fuente: Elaboración Propia

**Eventos:** Son los sucesos en los que se puede encontrar un equipo a lo largo de un periodo de tiempo los cuales se encuentran clasificados y codificados.

Hora	Estado	Categoría	Código	Descripción
07:20:29	Standby	Standby	165	FALTA PLANIFICACION
07:36:24	Operativo	T.Net.Operativo	1	PRODUCCION
07:44:38	Demora	D.Opera.Prog	105	REFRIGERIO
07:57:46	Demora	D.Opera.No.Prog	118	SIN TENSION POR OPERACIONES
07:59:41	Mantenimiento	Mant.No.Prog	170	NO PROGRAMADO
08:03:31	Operativo	T.Net.Operativo	1	PRODUCCION
08:21:44	Demora	D.Opera.No.Prog	118	SIN TENSION POR OPERACIONES
08:31:06	Operativo	T.Net.Operativo	1	PRODUCCION
08:46:12	Demora	D.Opera.No.Prog	117	MOVIMIENTO LARGO
09:38:29	Standby	Standby	161	CON OPERADOR

Figura 2.4 Registro de Eventos con Codificación Dispatch

Fuente: Base de datos Dispatch (2016), Reporte de registro de estados Dispatch

Cada evento está asociado a una categoría que a su vez están asociados a un estado. El equipo siempre debe encontrarse asignado a un evento.

$$\%Disp.Fisic = \frac{(IT - (MP + MNP + TNP)) \times 100}{IT} = \frac{(TNOP + DOP + DONP + S \tan dby)}{IT}$$

$$\%Disp.Mec = \frac{(IT - (MP + MNP)) \times 100}{IT} = \frac{(TNOP + DOP + DONP + S \tan dby + TNP)}{IT}$$

$$\%Utilizacion = \frac{TNOP \times 100}{(IT - (MP + MNP + TNP))} = \frac{TNOP \times 100}{(TNOP + DOP + DONP + S \tan dby)}$$

$$TiempoTotal = (TNOP + DOP + DONP + S \tan dby + MP + MNP + TNP)$$

Donde:      %Disp.Fisic. = Disponibilidad Física  
               %Disp.Mec. = Disponibilidad Mecánica  
               %Utilización = Utilización  
               Tiempo Total = Tiempo Calendario o Total

Figura 2.5 Principales Indicadores Calculados a partir del Modelo de Tiempos de Gestión de Activos

Fuente: Administración Dispatch (2013), Cálculos de KPI's Antapaccay

### 2.1.4 Cómputo Tonelaje Dispatch

El sistema Dispatch puede administrar el registro del tonelaje movido por medio de 2 algoritmos: interfaces o factores de carga.

**Interfaces:** Es la lectura real del tonelaje cargado en los camiones, censado de la balanza de estos a partir de los sistemas VIM's (Caterpillar) o PLM (Komatsu). La confiabilidad de estos sistemas depende de la calibración de las suspensiones de los equipos, la limpieza de las tolvas, el estado de las vías y la conectividad de las interfaces.

**Factores de Carga:** El sistema Dispatch computa el tonelaje de los equipos de acarreo en función a la flota y a un factor de carga que depende del tipo de material, esta operación se realiza registro por registro ("Viaje por Viaje").

Tabla 2.2  
*Factores de carga dispatch*

Material	CAT 793D	CAT 797F	KOM 830ED	KOM 830EA	KOM 930E
Predeterminado	225	363	210	220	290
PorfidoSulfuro-Alta	213.8	342	199.5	209	275.5
PorfidoMixto-Alta	213.8	342	199.5	209	275.5
PorfidoBrechaYeso-Alta	213.8	342	199.5	209	275.5
BrechaMineralizada-Alta	213.8	342	199.5	209	275.5
Skarn-Alta	213.8	342	199.5	209	275.5
Marginal	213.8	342	199.5	209	275.5
Oxidos	213.8	342	199.5	209	275.5
PorfidoMixtoComplejo-Alta	213.8	342	199.5	209	275.5
PorfidoSulfuro-Baja	213.8	342	199.5	209	275.5
PorfidoMixto-Baja	213.8	342	199.5	209	275.5
PorfidoBrechaYeso-Baja	213.8	342	199.5	209	275.5
BrechaMineralizada-Baja	213.8	342	199.5	209	275.5
Skarn-Baja	213.8	342	199.5	209	275.5
Desmonte	208.1	333	194.1	203.5	268.3
Cobertura	208.1	333	194.1	203.5	268.3
Formacion	208.1	333	194.1	203.5	268.3
Morrena	208.1	333	194.1	203.5	268.3
Relleno	208.1	333	194.1	203.5	268.3
Ripios	208.1	333	194.1	203.5	268.3
Mezcla	208.1	333	194.1	203.5	268.3
Desmonte	208.1	333	194.1	203.5	268.3
<b>PROMEDIO</b>	211.6	338.6	197.4	206.9	272.8

Fuente: Administración Dispatch (2013), Cálculos de KPI's Antapaccay

Los factores de carga han sido elaborados en base a estudios de pesaje, los acules se realizan considerando cada uno de los tipos de material que se tienen registrados en Dispatch

El área de confiabilidad de mantenimiento emite un reporte de cargas de acuerdo con la información del CPU de los equipos de acarreo (VIMS's, PLM), dicha información la obtiene mediante la descarga manual de la información en el sitio.

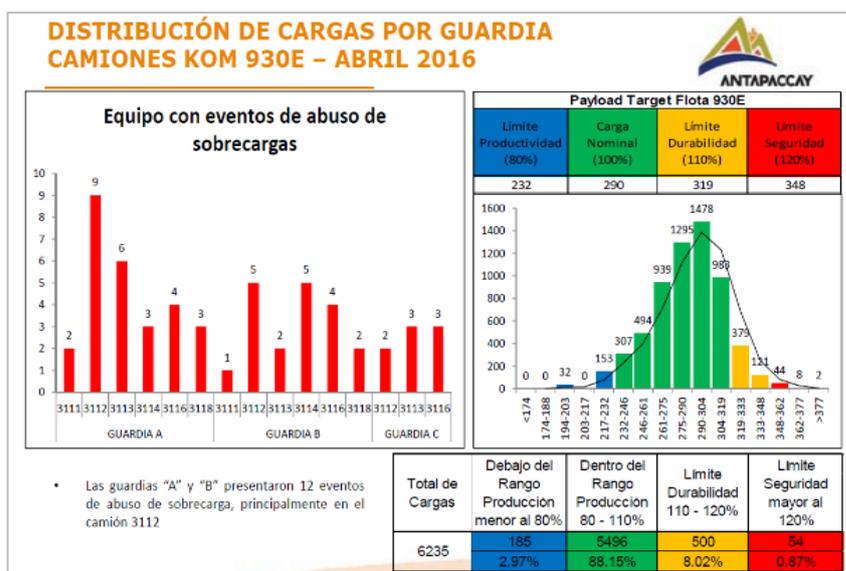


Figura 2.6 Sobrecargas Camiones Komatsu 930E

Fuente: Confiabilidad Mantenimiento (2016), Reporte de sobrecargas

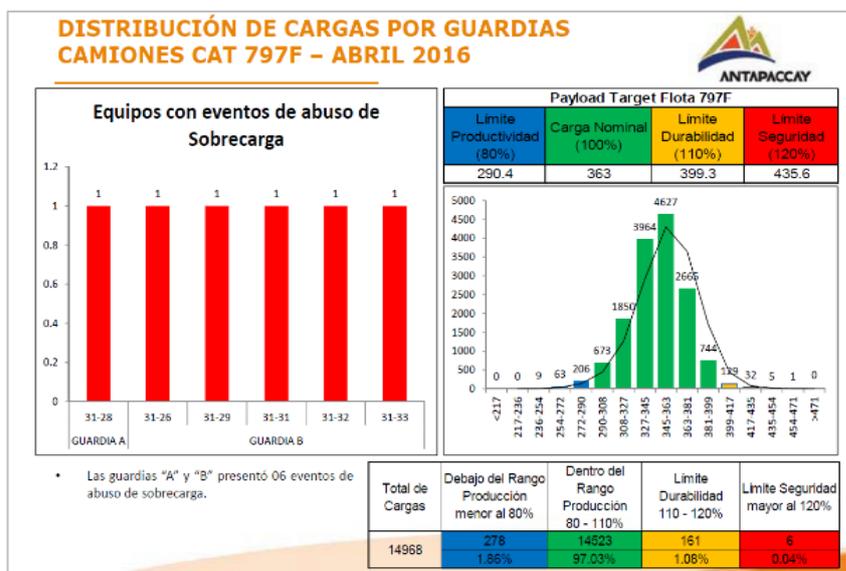


Figura 2.7 Sobrecargas camiones Caterpillar 797F

Fuente: Confiabilidad Mantenimiento (2016), Reporte de sobrecargas

## 2.2 Marco Conceptual

Para mejorar el entendimiento del desarrollado de la presente investigación hemos considerado definir los siguientes conceptos.

**a) Dispatch Nextgen 6.6.4.** - Sistema de control y administración flota de gran escala para minas a Tajo Abierto. Su principal función es proveer asignaciones automáticas optimizadas a los camiones de acarreo. Presenta las siguientes características adicionales:

Posicionamiento GPS de la flota en mina; pala, perforadoras, camiones y equipos auxiliares.

- Determinación de la mejor ruta de acarreo.
- Cálculo del número de camiones necesarios por equipos de carguío.
- Mantiene un registro de paradas para una respuesta rápida a los equipos fuera de servicio.
- Mantiene un registro del Tonelaje cargado.

Dispatch está diseñado para trabajar de manera dinámica y resolver problemas en tiempo real mediante la aplicación de tres algoritmos:

- **Modelo Mejor Ruta (MR):** Programación encargada de determinar la ruta más corta entre dos puntos
- **Modelo Programación Lineal (PL):** Programación encargada de elaborar el plan teórico que maximiza la productividad de la mina, identificando las restricciones en el proceso de carguío y acarreo.

- **Modelo de Programación Dinámica (PD):** Programación encargada de realizar las asignaciones de los equipos de acarreo teniendo como objetivo los flujos de producción obtenidos en la PL.

**b) Provision 3.6.1.-** Sistema de alta precisión, herramienta usada en el guiado de máquinas para manejar las operaciones de pala, cargadores, bulldozer y perforadoras, en minas a tajo abierto.

- Este sistema de alta precisión está enfocado en:
- Satisfacer los requerimientos de control de mineral y productividad.
- Construcción de rampas y superficies de minado según la necesidad
- Mantener una inclinación y elevación adecuadas de las superficies.
- Registra con exactitud y detalle los datos de producción.

Provision está diseñado para interpretar la data GPS proporcionada por los satélites. El sistema se encuentra en tiempo real recibiendo, analizando y enviado correcciones diferenciales a los equipos de campo, logrando una precisión de 20 cm.

**c) Minecare 2.6.1.-** Sistema de mantenimiento, que está diseñado para optimizar la confiabilidad de los equipos, ayudando a la operación minera a mantener mejor el estado de sus flotas de palas, camiones, cargadores, perforadoras y equipos auxiliares.

Presenta las siguiente es características:

- Continuamente captura y monitorea información crítica en tiempo real.
- Notificaciones en tiempo real de los equipos que se encuentren fuera de servicio.

- Notificaciones en tiempo real de las alarmas de cada interfaz instalada (VIMS, VHMS, Cense, etc.)
- Monitoreo en tiempo real de los parámetros proporcionados por las interfaces, para localizar problemas y efectuar análisis de rendimientos.
- Análisis de tendencias para el monitoreo a largo plazo del rendimiento de los equipos en situación específicas dadas por el usuario.

Minecare trabaja a partir de la lectura de interfaces conectadas a las computadoras de los equipos; de donde obtiene la data de eventos de falla de estos y son visualizados en tiempo real por el personal de mantenimiento.

**d) MMS.** - Son las siglas de Modular Mining Systems. Es la empresa dueña de la tecnología y encarga de dar soporte a nivel de software y hardware a los equipos Dispatch instalados en Antapaccay.

**e) Servidor de Aplicaciones.** - Es un equipo que tiene instalado el software y los servicios Dispatch para que brinde los recursos útiles y la información necesaria a los equipos de campo, PC clientes y otros servidores Dispatch. Este servidor contiene toda la lógica de asignación y optimización del Dispatch. Está identificado como PEKTYASRV871 con la ip 10.51.64.159.

**f) Servidor OMS.** - Es un equipo que tiene instalado el software y los servicios de comunicación Dispatch que brinde los recursos útiles y la información necesaria a los equipos de campo, PC clientes y otros servidores Dispatch. Este servidor se encarga de administrar todo el tráfico de comunicación que existe en los equipos de campo y los servidores. Está identificado como PEKTYASRV817 con la ip.10.51.74.16

**g) Hang:** Indica el tiempo promedio en el cual el equipo de carguío está a la espera de la llegada de un equipo de acarreo.

**h) Queue:** Muestra el tiempo promedio de espera de los equipos de acarreo en ser atendidos por el equipo de carguío, luego que estos hayan llegado.

**i) Spot:** Indica el tiempo promedio que tiene la pala desde que despacha a un camión y el primer pase del siguiente camión.

**j) Carguío:** indica el tiempo promedio del tiempo de carguío, que inicia desde que la pala da la primera baldada al camión hasta que el operador de la pala de salida.

**k) Descarga:** Indica el tiempo promedio en la descarga, que inicia cuando el camión registra una velocidad menor a 5 KM/Hr y se encuentre en la baliza virtual de descarga del sistema Dispatch; hasta que el operador solicite asignación o el camión salga de la baliza virtual.

**l) Utilización:** Es el porcentaje de tiempo operativo respecto al tiempo disponible.

**m) Disponibilidad:** Es el porcentaje del tiempo disponible respecto al tiempo calendario

**n) Horas Operativas:** Es el tiempo efectivo de trabajo dedicado al proceso, se obtiene como resultado de multiplicar la utilización y la disponibilidad por el tiempo calendario.

**o) Tiempo Calendario:** Es el periodo de tiempo en el que se desarrollan las actividades, pudiendo estar en los intervalos de: turno, días, semanas, meses, semestres y años

**p) Dig rate:** Indica la relación de carga horario de los equipos carguío. Es la relación entre el payload o factor de carga y el tiempo de carguío.

**q) Productividad Horaria (Tph):** Muestra la producción horaria promedio, aplica tanto a equipos de carguío como acarreo.

**r) Productividad diaria (Tpd):** Muestra la producción diaria, promedio, aplica tanto a equipos de carguío como de acarreo.

**s) Distancia Inclinada:** Es la distancia real recorrida por los equipos la cual puede contar con diferentes pendientes a lo largo del trayecto, en Dispatch se representa mediante nodos.

**t) EFH:** Distancia Horizontal equivalente, es la representación en plano de la distancia que recorrería el equipo en el mismo tiempo empleado en el trayecto inclinado.

**u) TmKmeqv/Hr:** indicador que relaciona la productividad de los equipos de acarreo en relación con la distancia equivalente recorrida por los mismos.

## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 Ámbito de estudio.**

El presente estudio de investigación se realizó en la Compañía Minera Antapaccay. Distrito y provincia de Espinar. Departamento del Cusco.

Para mayor comprensión de la zona de investigación diremos que se ubica en el nivel 3990, Tajo Norte y en el nivel 3840 tajo Sur (15 km del centro poblado Yauri). Entre las principales características de las rutas de la mina se tiene que cuenta con superficie dura y estable, rampas y rutas con pendiente entre -10 y +10%.

#### **3.2. Tipo de investigación.**

Según Hernández, Fernández & Batista (2014) este estudio es descriptivo y correlacional puesto que se pretende describir los hechos o fenómenos que ocurrieron en un determinado tiempo.

Entonces nos encontramos ante una investigación descriptiva porque por medio de la observación directa y otras técnicas se recopiló datos de las variables de estudio, a partir de los cuales permite describir los factores operacionales que influyen significativamente en la producción de la unidad Minera Antapaccay.

### **3.3. Nivel de investigación.**

Según Hernández, Fernández & Batista (2014) el nivel de investigación es descriptivo analítico puesto que se describen y analizan los factores operacionales que influyen en la producción.

### **3.4. Diseño de investigación.**

Por la naturaleza de la investigación (no hay manipulación de variables), se trata de un diseño no experimental. Según Hernández, Fernández y Batista (2014) se da cuando de ello cuando solo se observan los hechos o fenómenos tal cual se dan para después describirlos y analizarlos. Asu vez, Kerlinger (1997) manifiesta que en el nivel no experimental o *expost – facto* es imposible manipular las variables, se observa situaciones que ya existen en la realidad.

Para Hernández, Fernández & Batista (2014), el diseño de la investigación es longitudinal, de tendencia, ya que se han recolectado los datos a través del tiempo, en el presente estudio se realizó por meses, para hacer las inferencias respecto al cambio, sus determinantes y consecuencias. Puesto que, se trató de describir y analizar de qué manera la gestión y control del Sistema Dispatch mejora el proceso de carguío y acarreo en la minera Antapaccay.

### **3.5. Población y muestra.**

#### **3.5.1 Población.**

El proyecto contempló como población de investigación a la flota de carguío y transporte de la empresa minera Antapaccay compuesta por 6 equipos de carguío y 54 equipos de acarreo, en el periodo de los años de inicio de operaciones hasta la fecha de estudio.

### **3.5.2 Muestra.**

Para la presente investigación se trabajó con una muestra no probabilística o dirigida, clasificada como muestra de oportunidad o por conveniencia. En el año 2016 se realizó la actualización de versión 6.4 del sistema dispatch NextGen instalada en el 2014 a su versión 6.6.1, la última versión estable conocida.

### **3.6. Técnica de recolección de datos**

La recolección de datos se realizará por observación directa a la información de la base de datos del sistema Dispatch que se encuentra almacenado en el gestor de base de datos Microsoft SQL server 2008 R2, para este caso en particular tomaremos como muestra solamente la data del año 2016.

### **3.7. Técnica de procesamiento y análisis de datos.**

El procesamiento de datos se realizó a partir de programas como software Microsoft SQL Server 2008R2 y software estadístico. En lo que respecta a el análisis de datos se buscó el análisis de los expertos para que den un alto grado de confiabilidad. Los resultados se presentan en tablas y gráficos.

### **3.8. Identificación de Variables.**

Las variables que se analizarán en el presente trabajo de investigación serán: Administración del Sistema Dispatch (Variable independiente) y el proceso de carguío y acarreo (Variable dependiente)

Variable X: Administración del Sistema Dispatch.

Variable Y: Procesos de carguío y acarreo.

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1 Aplicación en minera Antapaccay**

##### **4.1.1 Toma de decisión en base a información.**

Los sistemas de gestión de flota están estructurados para administrar los equipos de carguío y acarreo basados en:

a) La configuración base o principal con la cual se instala el sistema, que vendría a ser una serie de parámetros rígidos que gobiernan la lógica del sistema, la mayoría de estas ya no cambian durante la vida de la operación minera, pero si existiera la necesidad implica apagar el sistema por un periodo de horas, un ejemplo sería modificar el número de guardias registradas de 3 a 4 porque operativamente se está migrando de un sistema de 10x5 a un sistema 10x10.

b) La configuración secundaria, son todas aquellas que se modifican de acuerdo con la realidad operativa de la unidad minera, por lo general se modifican inicio y durante el turno de trabajo, por ejemplo, la selección de los parámetros globales, que vendrían a ser 8 reglas o restricciones principales que gobiernan las asignaciones de los equipos de acarreo o también conocido como programación dinámica.

c) Las configuraciones de flujo o tiempo son todos aquellos parámetros que utiliza el sistema para determinación del número de equipos de acarreo necesarios a

ser asignados a los equipos de carguío, este proceso conocido como la programación lineal, entre ellos encontramos el flujo de material (Tm/Hr) para alimentar los diferentes destinos, el más importante “Chancado Primario”; el diseño de las rutas que siguen los equipos acarreo para determinar los tiempos de viaje cargado y vacío, etc.

Se identifica que el sistema de gestión de flota Dispatch NextGen, elabora sus procesos de optimización en base al tiempo asociado de cada subproceso sea este medido directa o indirectamente. El despachador es la persona que más interactúa con esas características del sistema, por lo que se hace necesario implementar herramientas externas que proporcionen información útil que le ayuden a ir modificando estos parámetros (configuraciones secundarias y configuraciones de flujo) de acuerdo con la realidad operativa y se pueda tomar la mejor decisión en tiempo real.

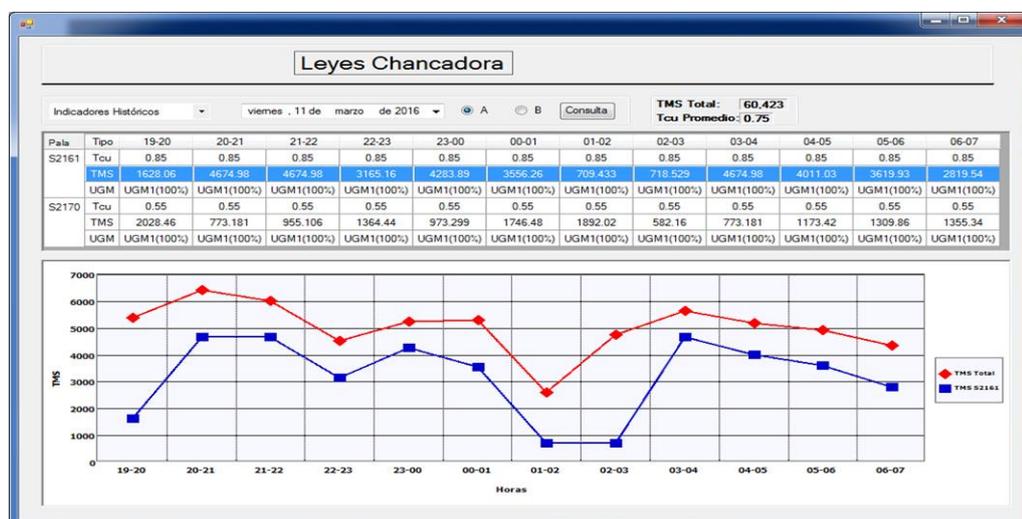


Figura 4.1 Reporte - Seguimiento Horario de alimentación a Chancado

Fuente: Administración Dispatch (2016), Sistema de reportes SIMA

Ejemplo de esto desarrollos principalmente son: Material chancado por hora, producción por equipos de carguío por hora, cola de camiones por hora, hang de palas por hora, tiempos de descarga por hora, tiempos de espera de camiones en

chancado (principal cuello de botella), estado de los equipos de carguío y acarreo en tiempo real; entre otros.

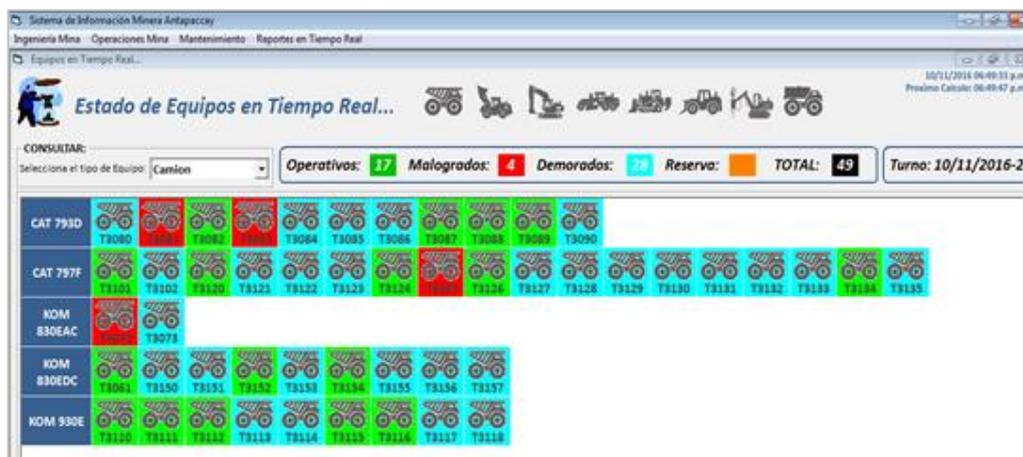


Figura 4.2 Reporte -Estado de Equipo en Tiempo Real

Fuente: Administración Dispatch (2016), Sistema de reportes SIMA

#### 4.1.2 Capacitación y entrenamiento en uso del sistema Dispatch Next Gen

Tomando como apalancamiento la actualización del sistema Dispatch NextGen 6.4 a la versión Dispatch NextGen 6.6.1, se llevó a cabo un plan de capacitación con el equipo de despacho en el uso de la herramienta, el cual consistió en:

a) Elaboración de manuales prácticos de las funcionalidades del sistema (ejemplos: manual para la carga de superficies de diseño, manual para la asignación de mallas de perforación, manual de las herramientas de programación del sistema, etc.).

b) Capacitación rápida con el proveedor Modular Mining Systems MMS para el equipo de despacho, en las funcionalidades básicas del sistema Dispatch NextGen 6.6.1 (Ejemplos, modelos de mejor ruta, programación lineal, programación dinámica y parámetros globales).

c) Capacitación en el mantenimiento de hardware y software del sistema Dispatch NextGen 6.6.1, como parte de la atención de primera línea.

d) Seguimiento uno a uno a los despachadores (Ver Anexo 1) una vez por semana de acuerdo con el sistema de trabajo de estos para identificar prácticas inadecuadas y reforzar habilidades.

#### **4.1.3 Análisis de Indicadores de rendimiento históricos**

La revisión de indicadores utilizando la información histórica en busca de patrones que influyen directamente en el rendimiento, la producción y la eficiencia de la unidad minera, es una actividad que consisten principalmente en la observación y análisis para lo cual es necesario definir los indicadores que se utilizarán para evaluar, medir y focalizar las hipótesis planteadas.

- Productividad de equipos de carguío (Tm/Hr).
- Productividad de equipos de acarreo (Tm/Hr).
- Distancia equivalente - EFH (Km Equiv).
- Capacidad de acarreo (Tm x Km Equiv / Hr).

Se decanto en la selección de estos indicadores por la sencillez del cálculo de estos y la interrelación que existe entre ellos. La productividad mide el flujo de material a minarse y a ser transportado (dispatch busca siempre cubrir esta necesidad), la distancia equivalente es un indicador que representa la relación entre la velocidad y el tiempo de viaje en base a la pendiente de la ruta recorrida. La eficiencia de acarreo se basa en la relación inversamente proporcional de la productividad de equipos de acarreo y la distancia equivalente, a mayor distancia o mayor tiempo de viaje, la productividad se verá afectada y viceversa.

#### 4.1.4 Obtención de resultados

##### 4.1.4.1 Productividad de Equipos de Carguío (Tms/Hr)

Es un indicador que mide la capacidad de flujo de los equipos de carguío al relacionar el tonelaje descargado en un periodo de tiempo (hora, turno, día, etc.) en función de la cantidad de horas que los equipos de carguío se encuentran en su estado operativo.

$$Productividad\ de\ Palas = \frac{Tms}{Hr}$$

Donde:

*Tms = Tonelaje seco descargado*

*Hr = Horas operativas*

De lo expuesto se plotean los valores de productividad alcanzado mes a mes, así como el Plan Budget y el movimiento de tonelaje realizado de los diferentes equipos de carguío.

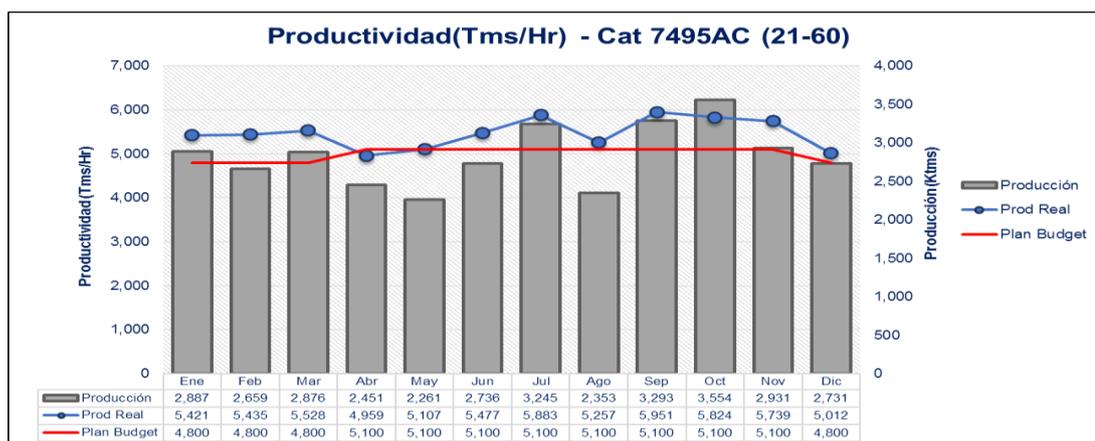


Figura 4.3 Reporte mensualizado de productividad de Pala "2160"

Fuente: Administración Dispatch (2016), Reporte de productividad de palas

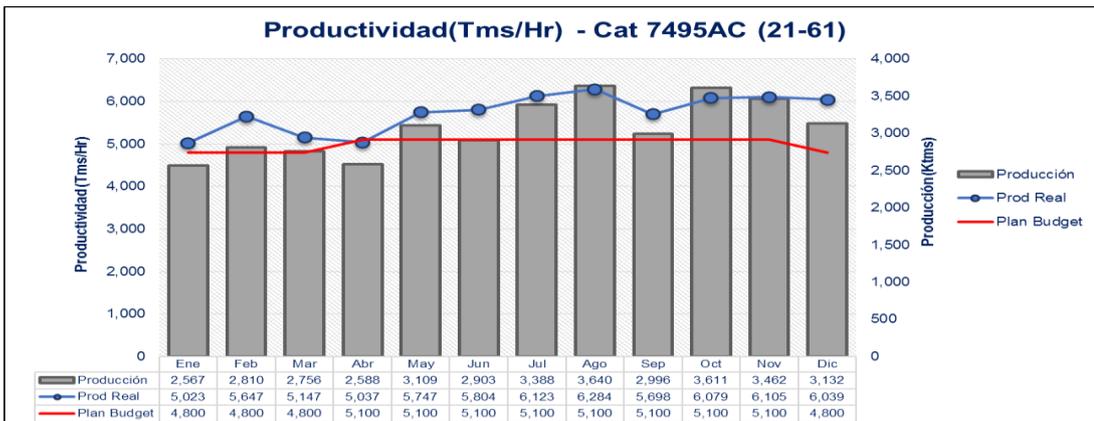


Figura 4.4 Reporte mensualizado de productividad de Pala “2161”

Fuente: Administración Dispatch (2016), Reporte de Productividad de Palas

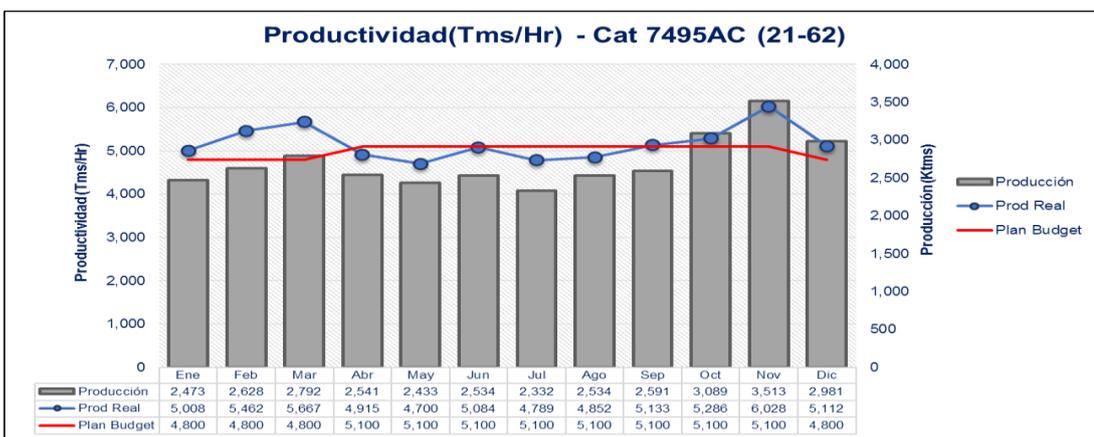


Figura 4.5 Reporte mensualizado de productividad de Pala “2162”

Fuente: Administración Dispatch (2016), Reporte de Productividad de Palas

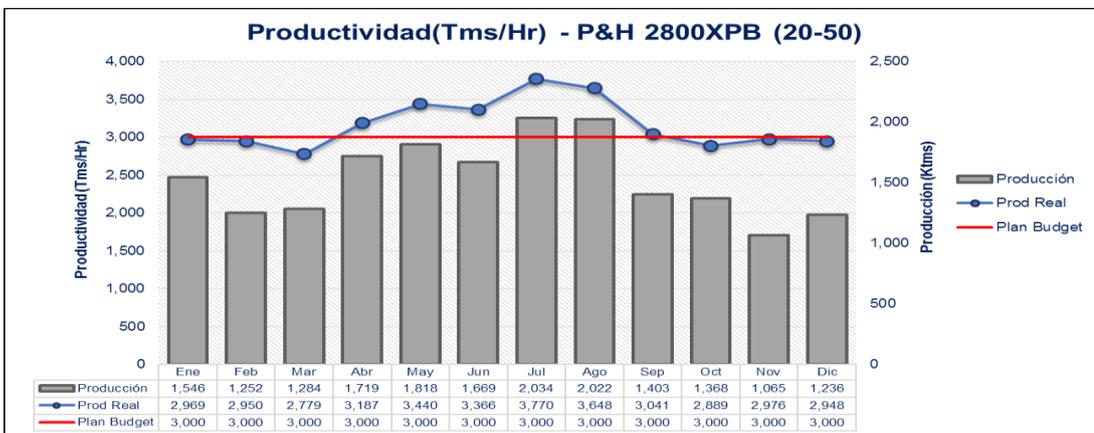


Figura 4.6 Reporte mensualizado de productividad de Pala “2050”

Fuente: Administración Dispatch (2016), Reporte de Productividad de Palas

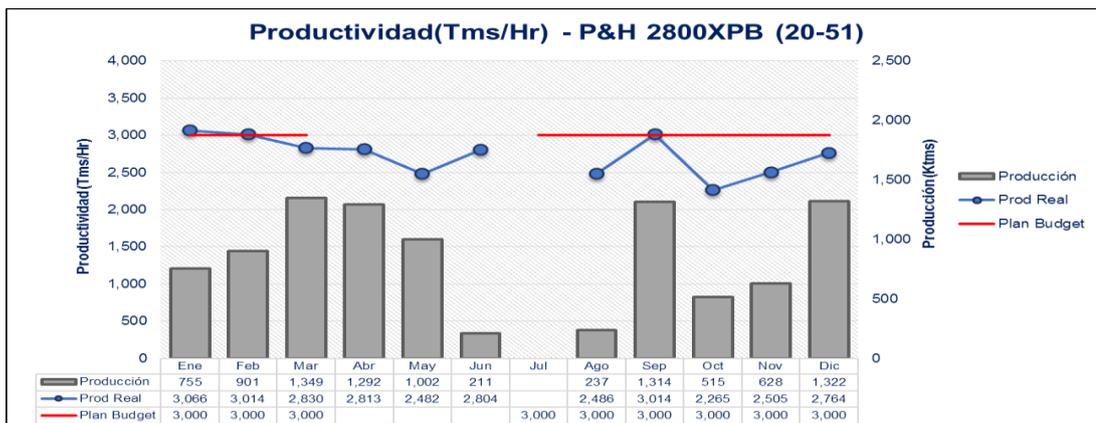


Figura 4.7 Reporte mensualizado de productividad de Pala “2051”

Fuente: Administración Dispatch (2016), Reporte de Productividad de Palas

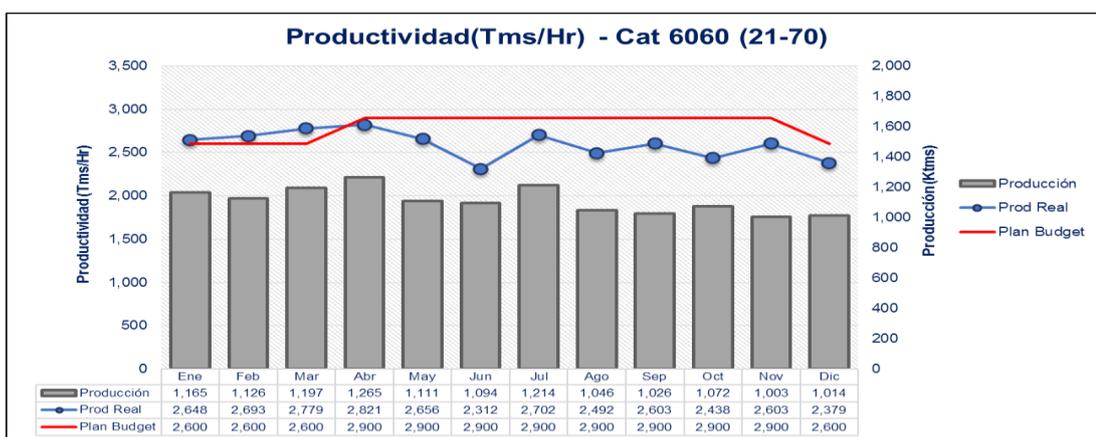


Figura 4.8 Reporte mensualizado de productividad de Pala “2170”

Fuente: Administración Dispatch (2016), Reporte de Productividad de Palas

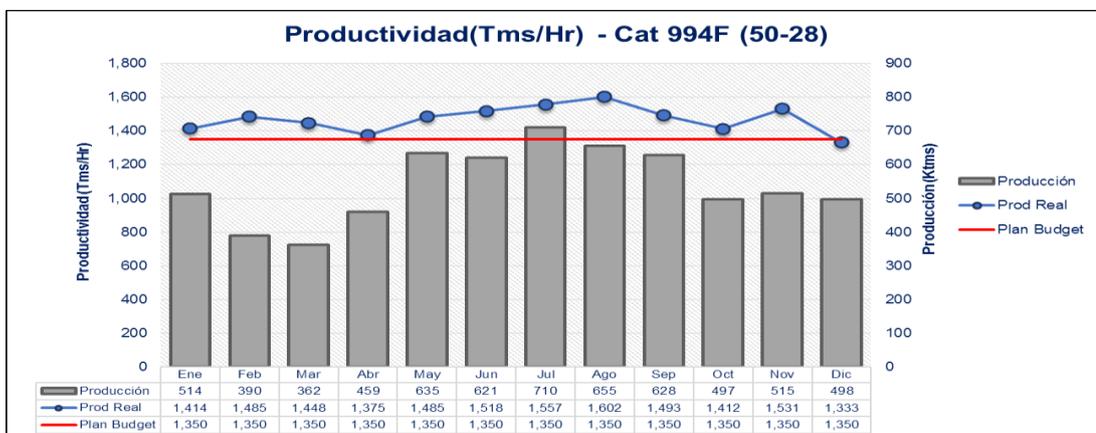


Figura 4.9 Reporte mensualizado de productividad de Cargador “5028”

Fuente: Administración Dispatch (2016), Reporte de Productividad de Palas

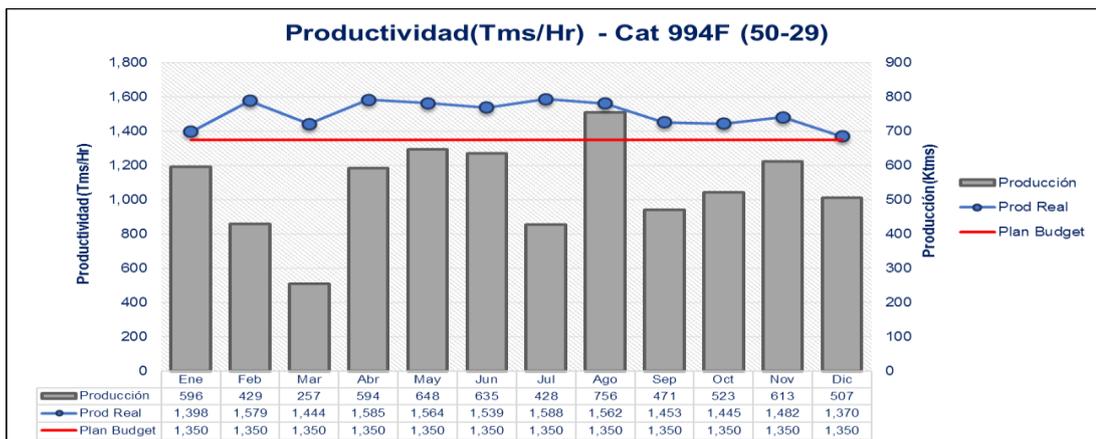


Figura 4.10 Reporte mensualizado de productividad de Cargador “5029”

Fuente: Administración Dispatch (2016), Reporte de Productividad de Palas

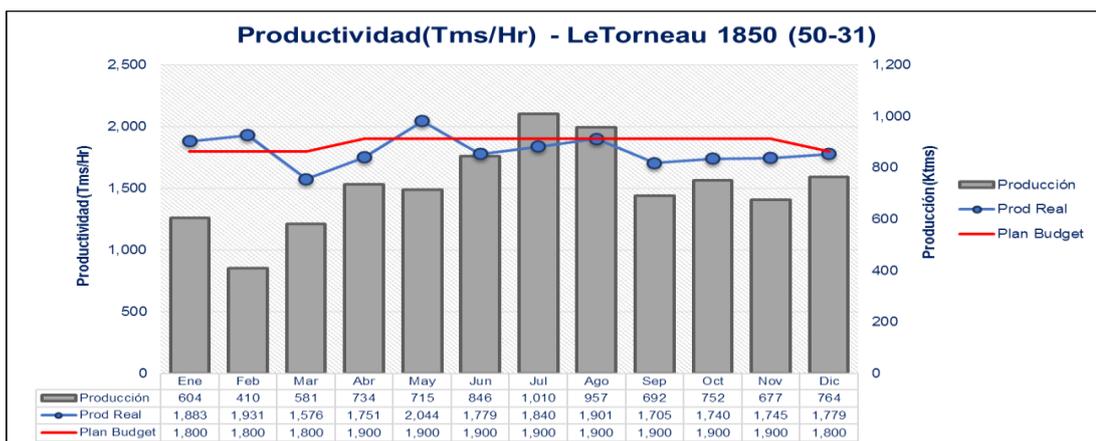


Figura 4.11 Reporte mensualizado de productividad de Cargador “5031”

Fuente: Administración Dispatch (2016), Reporte de Productividad de Palas

#### 4.1.4.2 Productividad de Equipos de Acarreo(Tms/Hr)

Es un indicador que mide la capacidad de flujo de los equipos de acarreo al relacionar el tonelaje descargado en un periodo de tiempo (hora, turno, día, etc.) en función de la cantidad de horas que los equipos de acarreo se encuentran en su estado “operativo”.

$$Productividad\ de\ Flota\ de\ Camiones = \frac{Tms}{Hr}$$

Donde:

*Tms = Tonelaje seco descargado*

*Hr = Horas operativas*

De lo expuesto se plotean los valores de productividad alcanzado mes a mes, así como el Plan Budget y el movimiento de tonelaje realizado por las 4 flotas de camiones.

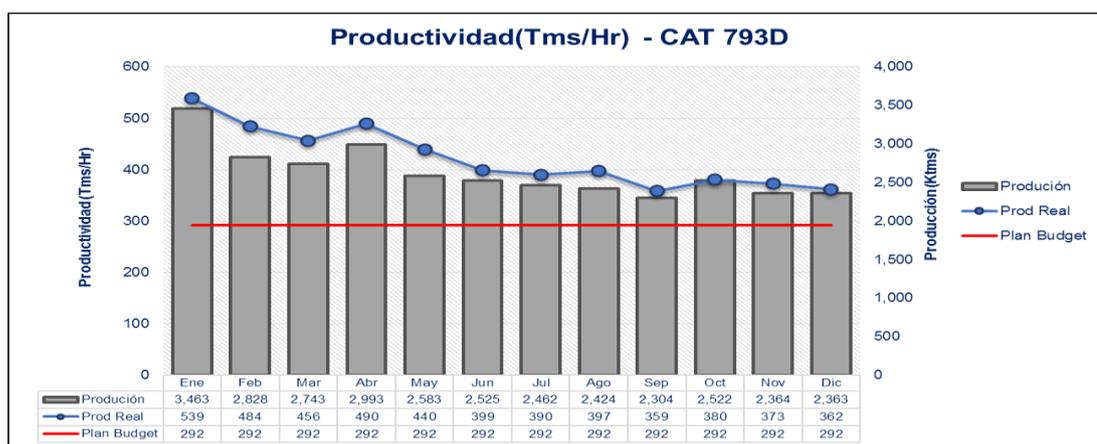


Figura 4.12 Reporte mensualizado de productividad de camiones Caterpillar 793D

Fuente: Administración Dispatch (2016), Reporte de Productividad de Camiones

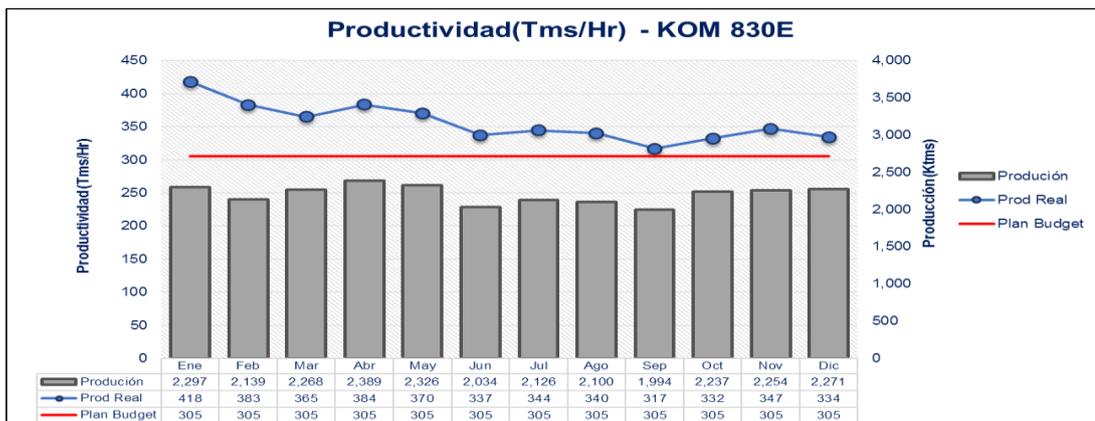


Figura 4.13 Reporte mensualizado de productividad de camiones Komatsu 830E

Fuente: Administración Dispatch (2016), Reporte de Productividad de Camiones

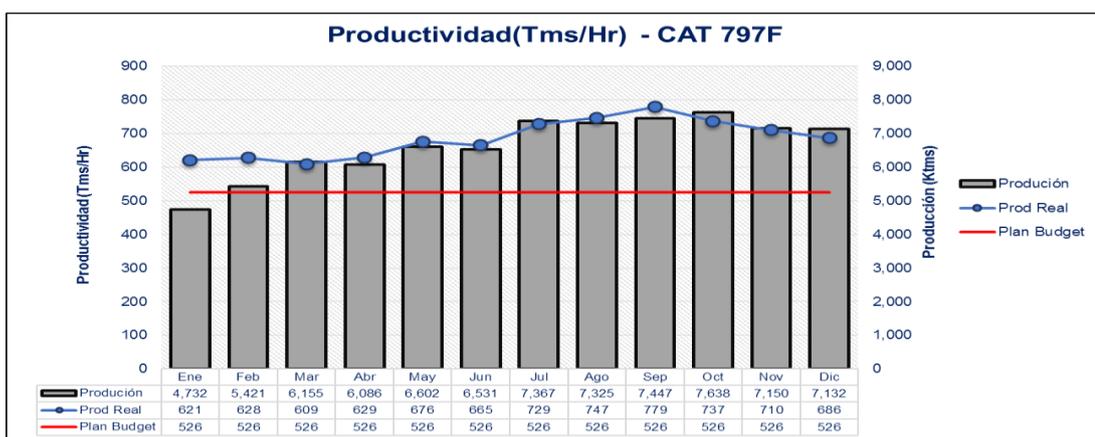


Figura 4.14 Reporte mensualizado de productividad de camiones Caterpillar 797F

Fuente: Administración Dispatch (2016), Reporte de Productividad de Camiones

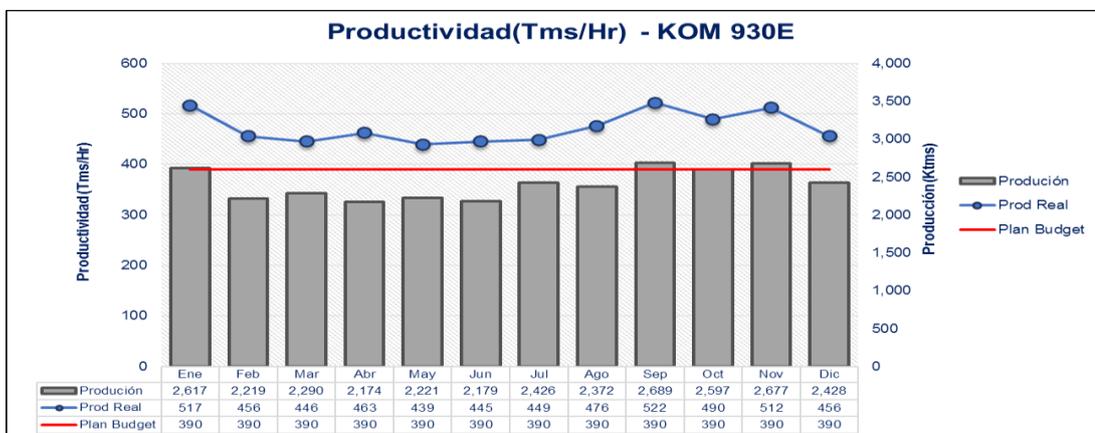


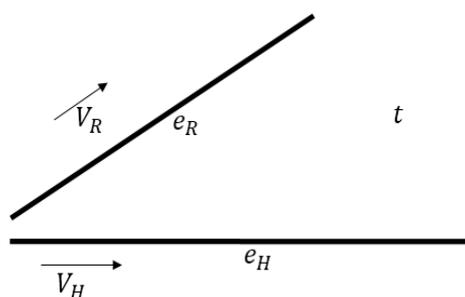
Figura 4.15 Reporte mensualizado de productividad de camiones Komatsu 930E

Fuente: Administración Dispatch (2016), Reporte de Productividad de Camiones

#### 4.1.4.3 Distancia Equivalente - EFH (Km - Equivalente)

Es la distancia en plano que recorrería un camión en un tiempo "t" en el cual recorrió una rampa (tramo inclinado).

Teóricamente se tiene:



$$e_R = V_R \times t$$

$$e_H = V_H \times t$$

$$e_H = \frac{V_H \times e_R}{V_R}$$

Donde:

$e_R =$  Distancia inclinada

$e_H =$  Distancia equivalente horizontal

$V_R =$  Velocidad del camión en rampa

$V_H =$  Velocidad del camión en horizontal

$t =$  Tiempo de viaje

En Dispatch se configuran los factores de velocidades que existen entre la velocidad horizontal y en rampa de acuerdo con la gradiente de esta. Esta información se registra ciclo por ciclo en la base de datos.

Una distancia equivalente mayor indica que los camiones están tomando rutas de acarreo con más pendientes o que la velocidad de tránsito (velocidad

instantánea) no es la adecuada debido a factores externos que influyen directamente tales como:

a) **Efecto tren:** Cuando los equipos de acarreo se agrupan debido a que estos se trasladan a la máxima velocidad del camión más lento que dirige la caravana, y no hay posibilidad de adelantar.

b) **Mantenimiento de vías:** La presencia de equipos auxiliares (Motoniveladoras y Tractores de ruedas) realizando mantenimiento y limpieza de las vías

c) **Bloqueo de vías:** El bloqueo de vías por trabajos auxiliares tales como: cruce de tuberías, traslado de postes, maniobras con cama baja, etc.

d) **Clima:** La diferenciación entre épocas secas y de lluvias influyen directamente en la velocidad por temas de derramamiento de camiones e incremento de eventos operacionales en neumáticos.



Figura 4.16 Reporte mensualizado de EFH de camiones Caterpillar 793D

Fuente: Administración Dispatch (2016), Reporte de Productividad de Camiones

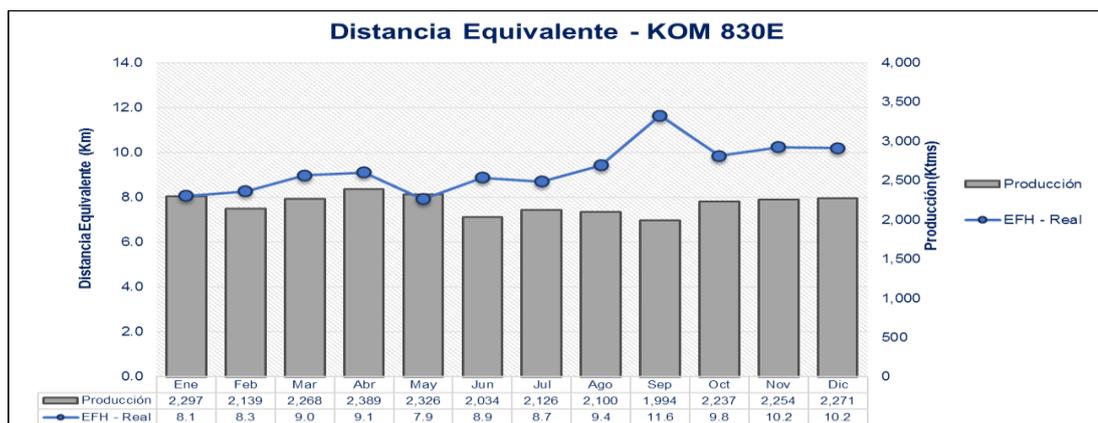


Figura 4.17 Reporte mensualizado de EFH de camiones Komatsu 830E

Fuente: Administración Dispatch (2016), Reporte de Productividad de Camiones

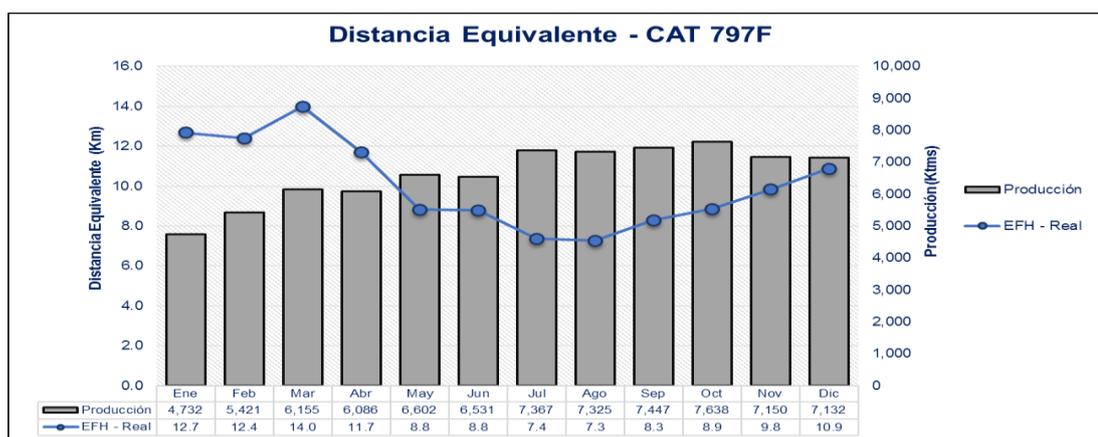


Figura 4.18 Reporte mensualizado de EFH de camiones Caterpillar 797F

Fuente: Administración Dispatch (2016), Reporte de Productividad de Camiones

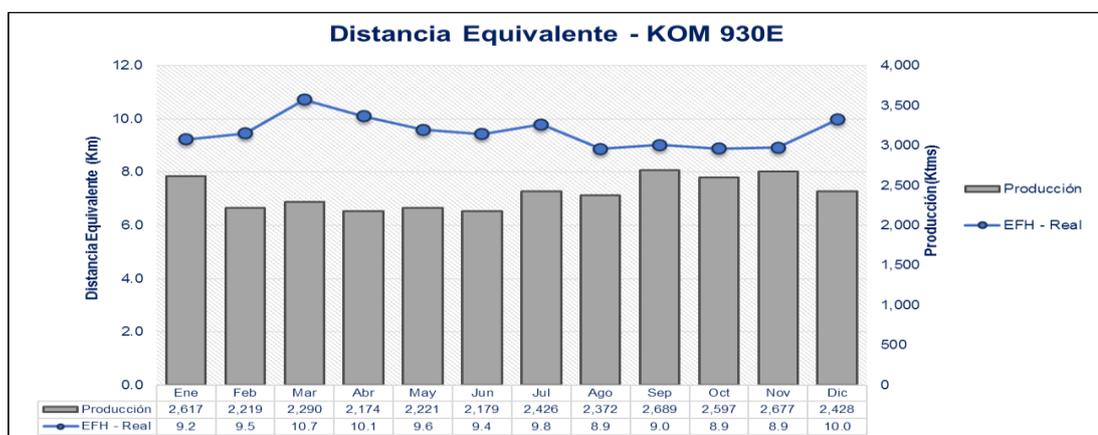


Figura 4.19 Reporte mensualizado de EFH de camiones Komatsu 930E

Fuente: Administración Dispatch (2016), Reporte de Productividad de Camiones

#### 4.1.4.4 Capacidad de Acarreo (Tm x Km Equiv/Hr)

Es un indicador que mide la eficiencia del transporte de material, representa la propiedad de proporcionalidad inversa que tienen la productividad de acarreo y la distancia equivalente (“a mayor distancia de acarreo menor productividad y viceversa”). Bajo esta premisa el producto de estos indicadores siempre es constante asumiendo que el resto de los parámetros no sean modificados en el tiempo (ejemplo: la velocidad de transporte, tiempos fijos).

De lo expuesto se plotean los valores de capacidad alcanzado mes a mes, de tonelaje realizado por las 4 flotas de camiones en contraste con la producción lograda.

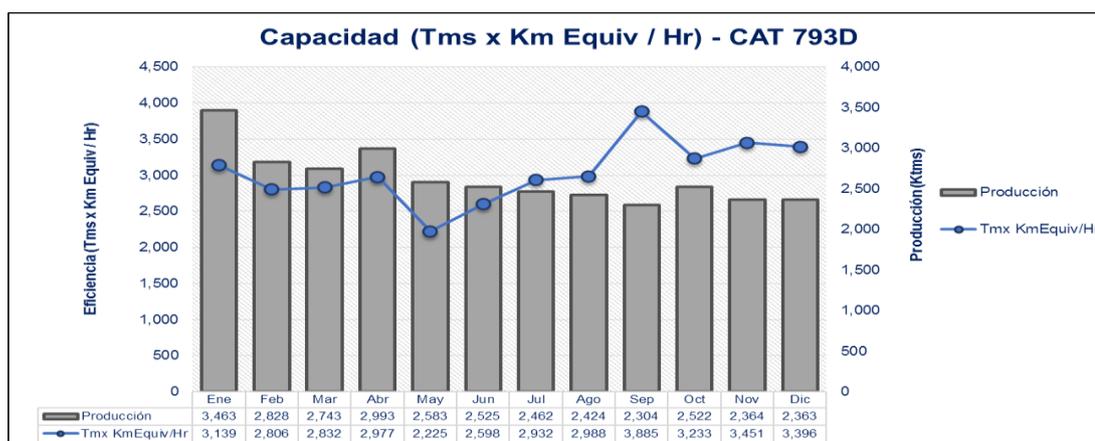


Figura 4.20 Reporte mensualizado de capacidad de acarreo camiones Caterpillar 793D

Fuente: Administración Dispatch (2016), Reporte de Productividad de Camiones

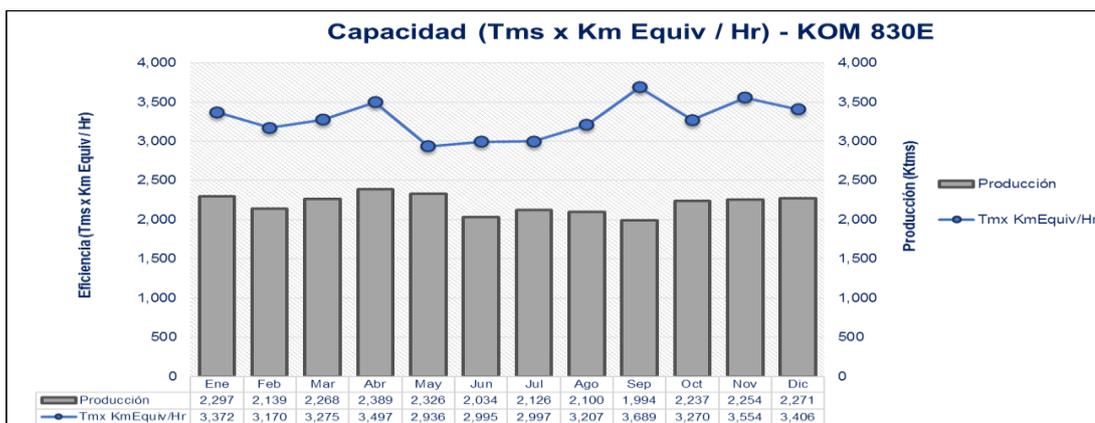


Figura 4.21 Reporte mensualizado de capacidad de acarreo camiones Komatsu 830E

Fuente: Administración Dispatch (2016), Reporte de Productividad de Camiones

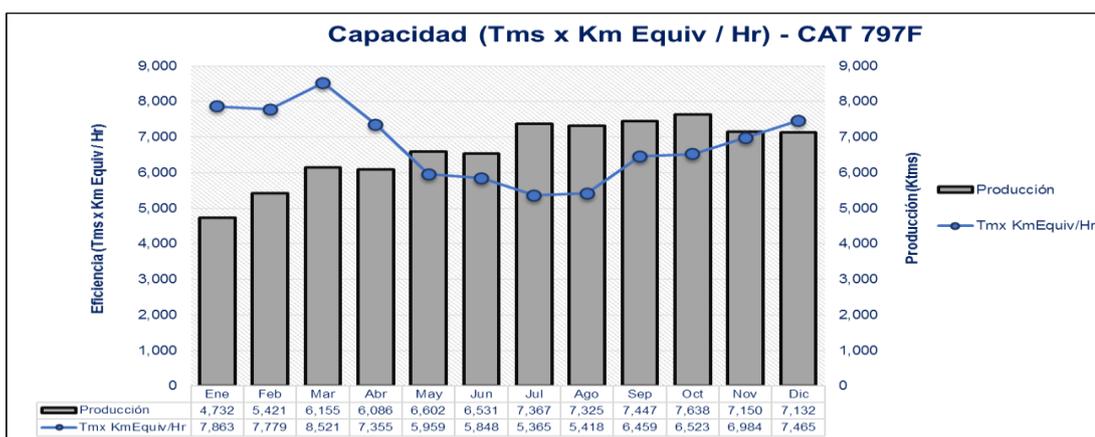


Figura 4.22 Reporte mensualizado de capacidad de acarreo camiones Caterpillar 797F

Fuente: Administración Dispatch (2016), Reporte de Productividad de Camiones

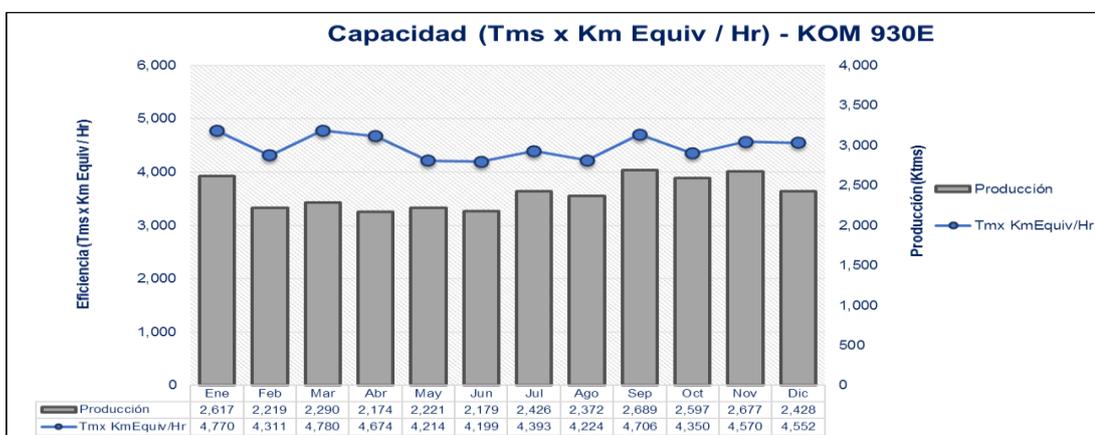


Figura 4.23 Reporte mensualizado de capacidad de acarreo camiones Komatsu 930E

Fuente: Administración Dispatch (2016), Reporte de Productividad de Camiones

## 4.2 Análisis de Resultados

### 4.2.1 Análisis de Validez Interna

El análisis de validez interna se llevará a cabo a partir de revisar las principales causas que atenten contra la misma (“invalidez interna”), esto con la finalidad de proporcionar mayor valor y confiabilidad a la presente investigación. Se planteará el criterio, se hará una breve descripción y se dará el sustento que refuta el criterio de invalidez presentado.

**Historia:** La administración del sistema, así como la atención en campo de los equipos electrónicos está a cargo de la supervisión de administración Dispatch, la cual tiene la responsabilidad de asegurar la máxima disponibilidad del sistema de gestión de flota.

Las mediciones tomadas provienen de la base de datos del sistema de gestión de flota que es alimentado con las transacciones de las terminales computarizadas (PTX) que cada equipo de acarreo tiene instalado. Todos los equipos de acarreo tienen instalado el sistema Dispatch y todos tienen la misma prioridad de atención por los posibles problemas técnicos que puedan presentar tales como: pantallas azules, modo inicio, pérdida de GPS, pantallas colgadas, problemas eléctricos, corrupción de imagen, etc. No se tiene un sesgo que afecte específicamente a una flota de acarreo o a un grupo de equipos de acarreo

Si se presentara alguna caída del sistema (caída de servidores del sistema de gestión de flotas, caída de red de telecomunicaciones), esta afectaría a todos por igual, de todas maneras, el sistema tiene un 97% de confiabilidad, siendo los Extra Load el principal indicador).

Tabla 4.1

% de confiabilidad de registros del sistema Dispatch

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Total, de Registros</b>	<b># Extra load</b>	<b>%Confiabilidad</b>
2016	Enero	54,305	2255	96%
2016	Febrero	50,877	2660	95%
2016	Marzo	53,825	2161	96%
2016	Abril	55,610	1440	97%
2016	Mayo	54,742	912	98%
2016	Junio	52,423	2226	96%
2016	Julio	56,133	821	99%
2016	Agosto	55,126	840	98%
2016	Septiembre	55,497	1528	97%
2016	Octubre	58,125	1049	98%
2016	Noviembre	56,269	1406	98%
2016	Diciembre	55,267	719	99%

Fuente: Elaboración Propia

**Madurez:** Durante la evaluación los equipos de: despachadores de operaciones mina y administración del sistema de gestión flotas fueron los mismo.

**Inestabilidad del instrumento de medición:** El ítem a analizar serial la poca o nula confiabilidad de la información recolectada por los sistemas Dispatch instalados en los equipos de acarreo, para lo cual se utilizó dos métodos de validación (método de las mitades partidas, y el Alpha de Cronbach)

Método de las mitades partidas: Consiste en realizar una sola prueba y por separando a dos grupos de mediación y evaluar la correlación de ambas medidas. En nuestro caso se realizó el cálculo de la capacidad de acarreo, se dividieron los equipos de acarreo equitativamente.

Tabla 4.2

Resultados de  $r$  y  $r^2$

<b>Flota</b>	<b>r</b>	<b>r<sup>2</sup></b>	<b>S</b>
CAT 793D	0.82	0.68	0.01
KOM 830E	0.71	0.51	0.01
CAT 797F	0.91	0.82	0.01
KOM 930E	0.8	0.65	0.01

Fuente: Elaboración Propia

De los resultados se observa que se tiene una correlación de 0.8 - buena con nivel de significancia del 0.99 – muy significativo.

El Alpha de Cronbach nos arroja un valor de 0.806 – Aceptable Elevada, esto revalida lo obtenido en el método de mitades partidas lo que acredita la confiabilidad del instrumento.

El resto de criterio tales como; Inestabilidad del ambiente experimental Instrumentación, selección, mortalidad, difusión de tratamientos y compensación, son superados por el mismo echo a que hacen referencia a la naturaleza de los participantes y a la presencia de sesgos por un inadecuado uso del instrumento, lo cual para la presente investigación no implicaría en un echo de invalidez puesto que el sistema de despacho como instrumento de medición nos proporciona la información en todos aquellos equipos que cuenten con esta instalación (todos los equipos de acarreo) y como estamos clasificando como participante a los equipos de acarreo la naturaleza de los mismos correspondería a la una máquina, todos los participantes estarían expuestos a las mismas condiciones ambientales, sin mortandad de participantes, ni difusión de las mediciones.

#### **4.2.2 Análisis de Validez Externa**

De acuerdo con Hernández, Fernández & Batista (2014). La validez externa se refiere a que tan generalizables son los resultados de un experimento a situaciones no experimentales respecto a otros participantes o poblaciones, por lo cual se puede afirmar que este procedimiento se puede replicar en un 100% en toda unidad minera que cuente con el sistema de gestión de flota Dispatch NextGen de la empresa Modular Mining Systems, la versión no sería un limitante por que la recolección se realiza a través de la base de datos en SQL.

No se generaliza al grado de abarcar todas las unidades mineras a tajo abierto del Perú, por una limitante de conocimiento del funcionamiento de los sistemas de gestión de flota similares que existen en el mercado que ya están implementadas y que son competidores de MMS, por citar unos ejemplos, JigSaw cuyo propietario es Leica que se encuentra implementado en Yanacocha y MineStar de Caterpillar en Toromocho.

#### 4.2.3 Comparación de Resultados

Analizaremos y compararemos los resultados mostrados en capítulo 4 de los cuatro indicadores presentados

**Productividad de Palas:** La productividad de las palas está en función de la capacidad de la máquina, el frente de carguío y el número de camiones disponibles para cubrir la ruta de transporte, de la figura 4.24 observamos que a partir del segundo semestre del 2016 la producción total se vio incrementado por la presencia más significativa del cargador CAT 992G y un ligero subida del productividad de flota BUCYRUS 495HR2 y P&H 2800XPB, esto nos indica que existió una sobre oferta de equipos de acarreo.

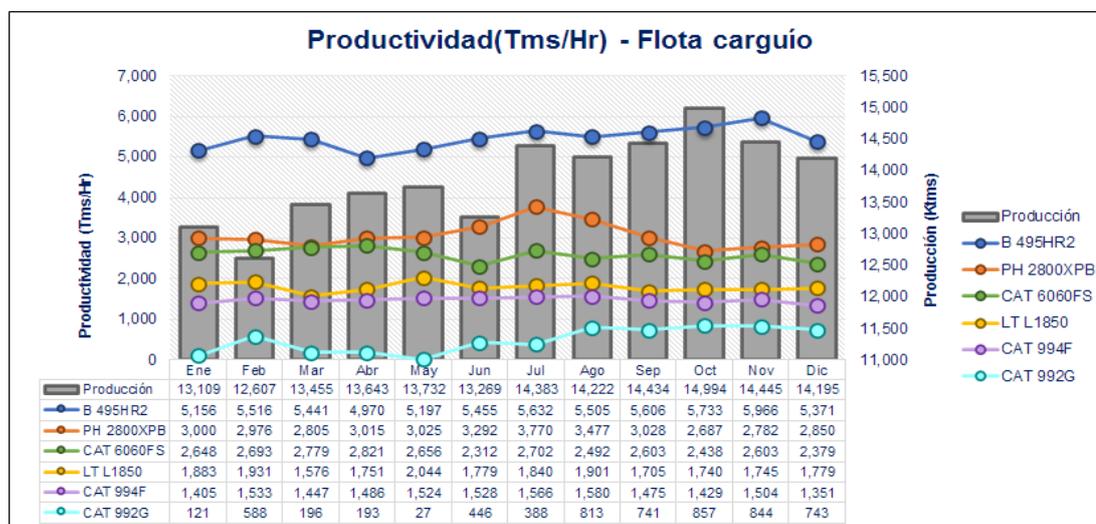


Figura 4.24 Reporte mensualizado de productividad de Carguío

Fuente: Administración Dispatch (2016), Reporte de Productividad de Palas

**Productividad de Camiones:** La correlación directa de este indicador respecto a la producción se evidencia (Figuras 4.10, 4.11, 4.12, 4.13). De la Figura 4.25 se observa la tendencia creciente de la flota CAT 797F, teniendo en cuenta que esta flota representa el 35% de la flota de acarreo su impacto en la producción es significativo, a la par la productividad de la flota CAT 793D Y KOM 830E experimentan una tendencia decreciente pero su impacto no afecta significativamente a la producción. La productividad es un buen indicador, pero es ciego ante los factores de velocidad y distancia.

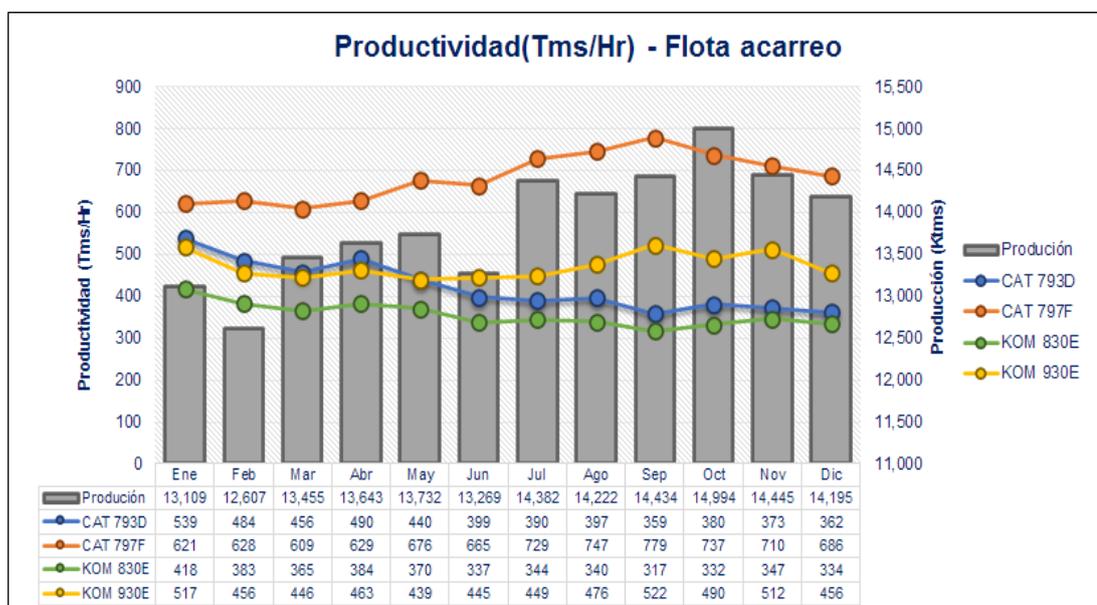


Figura 4.25 Reporte mensualizado de productividad de acarreo

Fuente: Administración Dispatch (2016), Reporte de Productividad de Camiones

**Distancia Equivalente:** Es evidente como la distancia equivalente tiene un efecto inverso a los resultados de producción (tablas 4.16, 4.17, 4.18, 4.19). De la figura 4.26 se observa como las curvas se van equiparando y como este efecto incrementa la producción. La flota CAT 797F pasa de tener distancias equivalentes muy altas el primer semestre a valores más bajos para el segundo semestre, caso contrario para la flota CAT 793D, cosa que no sucede con la flota KOM 930E que mantiene una tendencia constante a lo largo del año. Este cambio significativo

muestra como la asignación adecuada de la flota de acarreo contribuye positivamente en el proceso de carguío y acarreo.

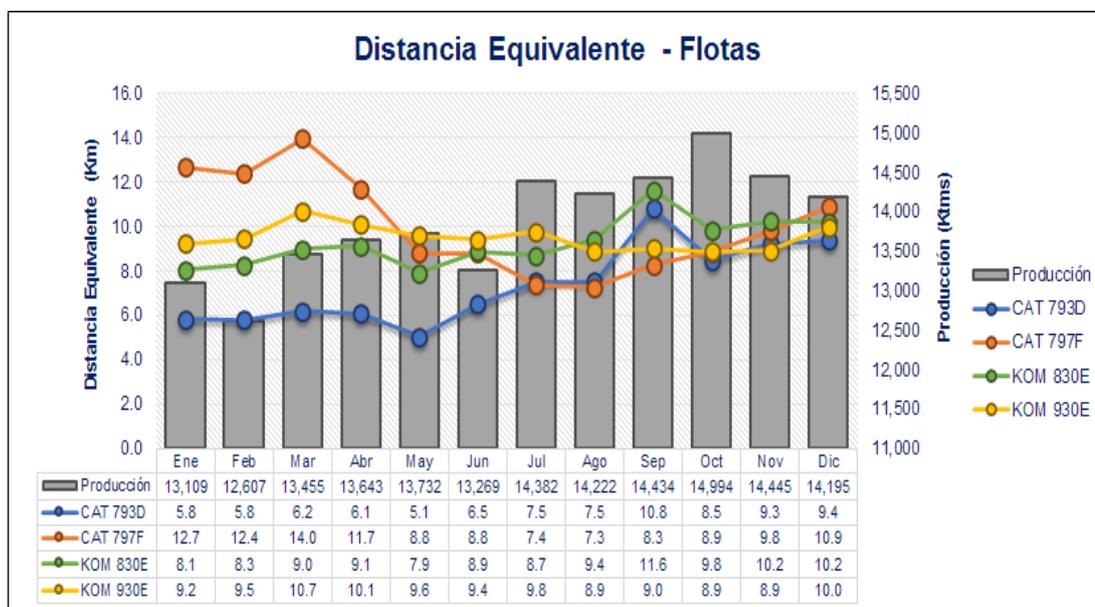


Figura 4.26 Reporte mensualizado de EFH por flotas

Fuente: Administración Dispatch (2016), Reporte de Productividad de Camiones

**Capacidad de Acarreo:** Como ya se había descrito este indicador debería ser idealmente una línea constante, de la figura 4.27 se observa la tendencia lineal de las flotas CAT 793D, KOM 830E, KOM 930E, se identifica que la capacidad de acarreo no se vio afectada por el incremento de la distancia equivalente de las flotas CAT 793D Y KOM 830E, lo que significa que estas flotas mantuvieron y/o incrementaron su rendimiento de velocidades. La tendencia no lineal de la flota CAT 779F se hace notar de inmediato, el factor que más influye en esta variabilidad es la distancia equivalente, que está relacionada a la velocidad y la pendiente de acarreo (Ver Anexo 2), esta flota tiene mejores resultados cuando la distancia equivalente promedio se encuentra por debajo de los 8 Km. A pesar de que la capacidad de acarreo de la flota CAT 797F en el primer trimestre del 2016 son máximas, los resultados de producción no lo acompañan, uno de los principales factores de esta discordancia es el incremento de la distancia equivalente que a su vez significa un

incrementa el tiempo de acarreo que se registra en Dispatch por que esta flota estaba desarrollando bajas velocidades de acarreo. Caso contrario sucede a partir del tercer trimestre del 2016 donde el incremento de la capacidad de acarreo vs la producción si presenta una relación directamente proporcional. Cabe resaltar hay que considerar la limitante técnica del TKPH de los neumáticos de esta flota de camiones respecto a incrementos de velocidad y productividad

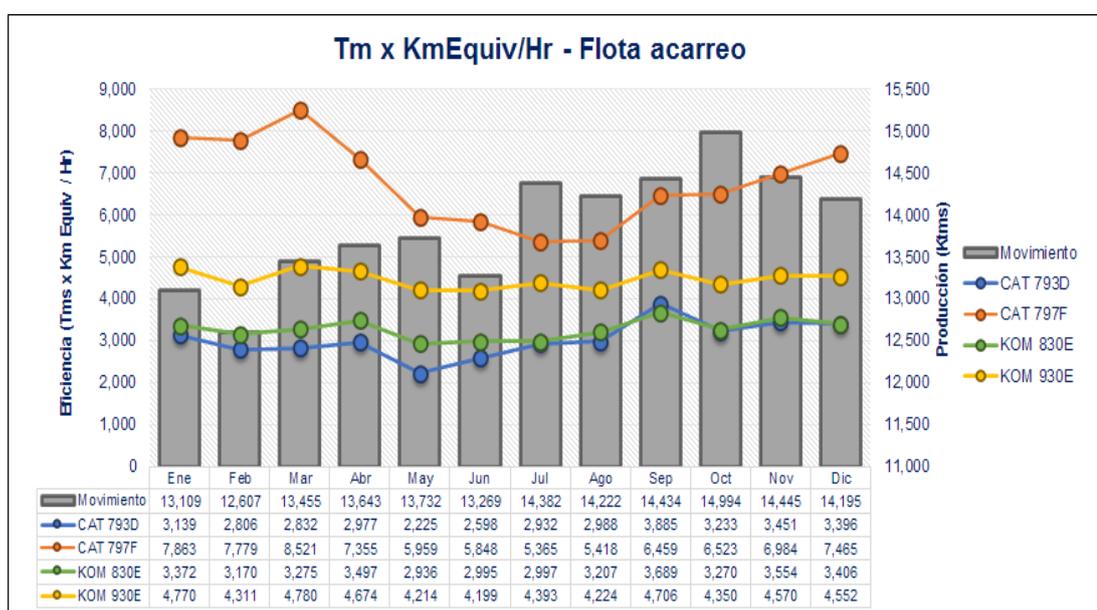


Figura 4.27 Reporte mensualizado de capacidad de acarreo por flota

Fuente: Administración Dispatch (2016), Reporte de Productividad de Camiones

## CONCLUSIONES

Analizando el indicador de capacidad de acarreo, se concluye que la velocidad a la cual circulan los equipos de acarreo tanto cargados como vacíos, es el factor que tiene mayor efecto en la productividad de los mismo, independientemente de la ruta que tenga que recorrer. La unidad minera puede tener rutas cortas, pero si no se tiene continuidad en la velocidad de transporte este indicador se verá seriamente afecto.

Dispatch, en función del grado de automatización que se tenga configurado en el sistema, este dependerá en menor o mayor grado de la interacción humana por ende siempre va a presentar errores de registro de información en función al grado de compromiso y entrenamiento que presenten los participantes.

La productividad es un indicador que está relacionado a diferentes factores que influyen en el ciclo de acarreo de los camiones como: la velocidad de acarreo, payload, tiempo carguío, tiempo de descarga, colas en la carga y la descarga y distancias de acarreo). Ayuda a validar si se tiene cubierto la capacidad de carguío con la capacidad de acarreo, haciendo que el sistema de gestión de flota asigne los equipos de acarreo en función del rendimiento(productividad) de los equipos de carguío.

La distancia equivalente es un indicador que evidencia si los equipos de acarreo están transitando por rutas con pendientes muy pronunciadas o que existen agentes externos que influyen en la velocidad de los equipos de acarreo. Lo cual nos llevaría a realizar seguimiento e inspecciones en campo de las rutas de acarreo, para identificar más a detalle la problemática.

## RECOMENDACIONES

Para el adecuado funcionamiento del sistema Dispatch se debe contar con tres factores muy importantes: contar con un excelente mantenimiento del hardware y software del sistema, contar con un excelente sistema de comunicación inalámbrica y contar con un buen nivel de conocimiento y entrenamiento del sistema, por lo que se recomienda:

- Evaluar y/o establecer un caso de negocio para determinar la rentabilidad de establecer un soporte de campo las 24 horas en guardias de día noche, esto implicaría incrementar en 2 la fuerza laboral actual.
- Para minimizar las pérdidas de comunicación inalámbrica y con esto incrementar la confiabilidad del registro de la información de los tiempos de ciclo, evaluar el costo beneficio de pasar a una red de comunicación LTE.
- Continuar con el entrenamiento como se viene haciendo a nivel de despachador, operador y administrador del sistema y establecer un plan de capacitación anual para mantener el nivel de conocimiento que se tiene del sistema.

Para un análisis más a fondo respecto a los indicadores presentados y la identificación de las principales desviaciones de la productividad se recomienda:

- Establecer un estudio periódico de velocidades con sistemas alternativos tales como el VBOX, para analizar e identificar aquellas rutas que no están cumpliendo con los estándares de velocidad ya sean para las rutas con pendientes positivas, negativas y en curvas.
- Llevar a cabo pruebas de rodaje para las 4 flotas de acarreo, para la calibración de las curvas de velocidad por pendiente, esta información servirá tanto para la administración de sistema Dispatch como para el área de planeamiento mina.
- Elaborar modelos de simulación con flota segregada de acuerdo con el perfil de acarreo que presente la operación, identificando las fortalezas y debilidades de cada una de las flotas de acarreo, para dar un soporte técnico a la observación que se tiene de campo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

Lazo Caliza Adolfo. (1966). *Transporte de mineral en la mina Toquepala*. Universidad Nacional de Ingeniería. Tesis de Bachillerato, facultad de Ingeniería geológica minera y metalúrgica.

Hidalgo Rodríguez Alfonso. (1975). *Carguío y transporte en MC Cune Pit de Cerro de Pasco*. Universidad Nacional de Ingeniería. Tesis de Bachillerato, facultad de Ingeniería geológica minera y metalúrgica

Rodríguez Almandós César. (1975). *Simulación en computadoras del movimiento de materiales a cielo abierto*. Universidad Nacional de Ingeniería. Tesis de Bachillerato, facultad de Ingeniería geológica minera y metalúrgica.

Agreda Turriate Isauro. (1975). *La técnica de la simulación aplicada al problema del transporte de mineral en la mina Marcona (uso de la computación electrónica)*. Universidad Nacional de Ingeniería. Tesis de Bachillerato, facultad de Ingeniería geológica minera y metalúrgica.

Fuertes Tello, P. M. (2003). *Implementación del sistema de despacho de volquetes (Dispatch) en la mina Cuajone para lograr una alta productividad y un eficiente control de las operaciones*. Universidad Nacional de Ingeniería. Tesis de Bachillerato, Programa Cybertesis PERÚ. Lima, facultad de Ingeniería geológica minera y metalúrgica.

Richard, P. L. (2004). Effective production monitoring in open pit mines: Beyond the technology. *CIM Bulletin*, 97(1081), 91-94. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/200213110?accountid=43847>

Centralia coal mine upgrades haulage, mine monitoring. (2005). *Mining Engineering*, 57(11), 37-38. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/232309237?accountid=43847>



### **E.- Cargas Extras**

$$KPI_{cargas\ Extras} = \frac{(Cargas\ Totales - Cargas\ Extras)}{Cargas\ Totales}$$

### **F.- Utilización de Palas y Camiones**

$$Utilización\ de\ Palas = \frac{Tiempo\ Operativo}{Tiempo\ Operativo + Tiempo\ demoras + Tiempo\ Standby}$$

## ANEXO 2

### GRÁFICAS DE VELOCIDADES POR PENDIENTE (CARGADO – VACIO)

