

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA



**“FACTOR EQUIVALENTE ENTRE LA FLOTA DE CARGUIO
Y ACARREO, Y SU APLICACIÓN EN EL AREA DE
DISPATCH EN MINERA YANACOCHA”**

INFORME DE SUFICIENCIA

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE MINAS**

**ELABORADO POR:
JOSE ANTONIO CASTILLO CALDERON**

**ASESOR:
Dr. Ing. ISAURO CARLOS AGREDA TURRIATE**

**LIMA - PERÚ
2014**

AGRADECIMIENTO

A Minera Yanacocha por apoyarme en mí informe.

A mis compañeros de trabajo y colaboradores, por prestar su tiempo y experiencia
para este fin.

A los profesores de la Universidad Nacional de Ingeniería y mis colegas de la escuela
(UNI) que me brindaron su valioso apoyo en mi formación profesional.

DEDICATORIA

A Dios y mis a padres por permitirme hacerlo

A mi familia por motivarme y Tenerme paciencia

A las personas que creyeron en mí hasta el final en especial a mi abuelo "Gato".

RESUMEN

El dimensionamiento de la flota de acarreo en minería superficial es una tarea muy compleja donde intervienen muchas variables aleatorias, técnicas, geométricas, económicas, etc. En un ambiente donde existen muchas marcas, modelos y tamaños de equipos que existen en el mercado

La producción y los costos por tonelada se ven influenciados por el factor de productividad de los equipos, es decir, la cantidad de camiones necesarios que deben ser asignados por cada unidad de carga. En teoría el número de camiones reflejado en la capacidad de acarreo balanceará la producción estimada por el equipo de carguío hasta completar la capacidad potencial instalada, en éste punto se tiene el factor de productividad (FP). Este debe ser un aspecto muy importante a ser considerado en la toma de decisiones en el área de Dispatch de Operaciones Mina

ABSTRACT

The hauling fleet sizing in surface mining is a complex task which involves many random, technical, geometric and economic variables in an environment where there are many brands, equipment models and sizes competing for the user.

The production costs per TM are influenced by the efficiency factor between the teams concerned, ie, the number of trucks needed to be allocated for each unit of loading. In theory the numbers of trucks reflected in the carrying capacity will balance the estimated production of the haulage equipment to complete the potential installed capacity, at this point the match factor (MF) has to be taken into account. This should be a very important aspect to be considered in decision-making in the area of Dispatch Mining Operations

ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCION	9
CAPITULO I - ASPECTOS GENERALES	12
1.1 La Empresa	13
1.2 Descripción del área	13
1.3 Mapa de procesos	14
CAPITULO II –PARAMETROS DE LA UTILIZACION Y PRODUCTIVIDAD	19
2.1 Parámetros	20
CAPITULO III - ACTIVIDADES DE CARGUIO, ACARREO Y LA ASIGNACION OPTIMA	26
3.1 Actividades del camión	26
3.2 Cola y espera en las palas	29
3.3 Productividad de las palas	30
3.4 Asignaciones de camiones para cada ruta	32
CAPITULO IV - SISTEMA DE DESPACHO Y PROCESOS	33
4.1 Software y hardware para administración de flota	33
4.2 Sistema de despacho	34
4.3 Soporte tecnológico	36
4.4 Sistema integrado	37
CAPITULO V - FACTOR DE PRODUCTIVIDAD	39
5.1 Definición	40
5.2 Aplicación en el área de Dispatch	42
5.3 Factor de productividad como herramienta de gestión	47

CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFIA	52

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1 Capacidad promedio de camiones por flota	25
Tabla 5.1 Datos obtenidos, capacidades de equipos	45

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Mapa de procesos	15
Figura 2.1 Reporte de parámetros	19
Figura 3.1 Ciclo de acarreo	27
Figura 4.1 Vista del tráfico de camiones	35
Figura 4.2 Arquitectura del sistema de información	36
Figura 4.3 Replicación de datos	38
Figura 5.1 Eficiencia de las flotas	42
Figura 5.2 Código en SQL	46
Figura 5.3 Producción horaria	46
Figura 5.4 Cola de camiones	48
Figura 5.5 Tiempo de acarreo para cada ruta	48

INTRODUCCIÓN

La relación Pala-Camión siempre ha sido una decisión muy importante en el éxito de las operaciones de la mina a cielo abierto, esto es complejo dado que se deben considerar diversas características, restricciones y criterios propios de las operaciones en minería a cielo abierto. Estos aspectos pueden ser: las características del material a transportar, el equipo de carguío, requerimientos en las rutas de transporte, espacios para maniobras, condiciones del botadero, capacidad, rendimiento de los motores en altura, transmisiones mecánicas, configuración de los ejes, sistema de manejo mecánico o eléctrico, tamaño de los neumáticos, disponibilidad, entre otros. También se sabe por experiencia que la congestión de camiones afecta la productividad, por lo cual se debería incluir: restricciones en el planeamiento de mina, restricciones de disponibilidad de camiones y cargadores, colas de camiones, restricción de vida útil de camiones y cargadores. Según la literatura (Burt et al. 2005) señalan que en aún no existe un método claro y sencillo para determinar un óptimo número de camiones y cargadores. En la práctica, la decisión depende, en gran medida, de un experto de selección de equipos.

Entre los diferentes modelos utilizados para el cálculo de la flota de camiones mineros, el Factor de Productividad o en idioma inglés "Match Factor", ha sido

utilizado durante décadas con este propósito y, a su vez, como un indicador de productividad, se suponen tiempos promedios fijos de operación que no permiten considerar los efectos de la congestión que se podría producir en cada una de las etapas del ciclo de transporte, por lo tanto el modelo no incluye tiempos de espera en colas. En este punto se ajustará el modelo a las características del caso esto es aplicar el concepto y utilizarlo como herramienta de gestión en la toma de decisiones.

Los sistemas de despacho son una de las herramientas principales para la optimización del uso de activos. Además el sistema no es flexible a los cambios en el entorno de funcionamiento, tales como previsión de tiempos de parada, condiciones de minado en campo, soporte tecnológico, clima y averías de emergencia. En estas circunstancias el área de Dispatch cumple una función fundamental y crítica en la operación minera (core business) por tal motivo las decisiones que se tomen en cada momento afectarán significativamente los resultados de un turno de trabajo.

Se explicarán los parámetros tales como velocidades, distancia de acarreo, productividades, usos, disponibilidades, etc. Que permitirán medir el desempeño de la operación y por ende tomar los respectivos controles así como las decisiones que contribuyan a lograr los objetivos del plan de minado. El soporte tecnológico es vital

para el funcionamiento adecuado y continuo tanto en hardware como software del sistema de despacho así como los procesos internos o lógicas de optimización que lo componen.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

En la actualidad, Minera Yanacocha se encuentra en su etapa final de explotación, tal como lo muestra el plan de minado, quedando solo opciones de ajuste y de oportunidades en otros proyectos que le den mayor solidez y continuidad en el negocio minero.

El área de Dispatch cumple una importante labor dentro del área de operaciones mina en la empresa y sus funciones; que en este capítulo se detallan como “Mapa de procesos” derivan básicamente de la optimización de activos tales como equipo de carguío, transporte, auxiliares, etc. y todo el soporte que necesite la operación en cuanto a información que ayude al cumplimiento del plan de minado.

1.1 La Empresa

Minera Yanacocha es una empresa productora de oro a tajo abierto. La zona de operaciones está a 45 kilómetros de la ciudad de Cajamarca, entre los 3 500 y 4 100 metros sobre el nivel del mar. La empresa tiene como misión entregar una producción rentable, sostenible y responsable, está comprometida con su comunidad y el país, por tal motivo está realizando en todas las áreas un trabajo de excelencia operacional, es así que en operaciones mina se ha implementado un sistema de gestión que ayuda a cumplir los objetivos de seguridad y eficiencia.

1.2 Descripción del área

El área de Dispatch es la central de información hacia la operación minera, el manejo de datos es el soporte en la toma de decisiones en campo, esto incluye identificar oportunidades respecto a la mejor ruta, en demoras en cierto punto del proceso, correcta asignación de destinos de materiales, soporte tecnológico en campo (señal wireless, funcionamiento del sistema en equipos de campo).

La asignación de los equipos es una decisión importante para la satisfacción de las necesidades de productividad. El objetivo de la optimización en el área de Dispatch es maximizar la eficiencia de la flota. En el sistema de

despacho de camiones se aplica *programación lineal*, esto es optimizar los ciclos de transporte de los camiones, en lo posible, disminuyendo los tiempos no productivos considerando ciertas restricciones y canales de distribución lo que repercute directamente en la producción diaria para determinar el número mínimo de camiones necesarios.

1.3 Mapa de procesos

Los procesos en el área de Dispatch giran en torno al ciclo de acarreo, en todo el proceso están regidos por procedimientos estándares de trabajo que aseguran la seguridad, el desarrollo tal como se muestra en la figura 1.1 involucra desde que el camión:

- Ingresar al circuito vacío.
- Ingresar al agrupamiento con otros camiones – flotas diferentes.
- Ingresar a la cola de espera para ser cargado.
- Sale cargado con material.
- Ingresar para descargar material.

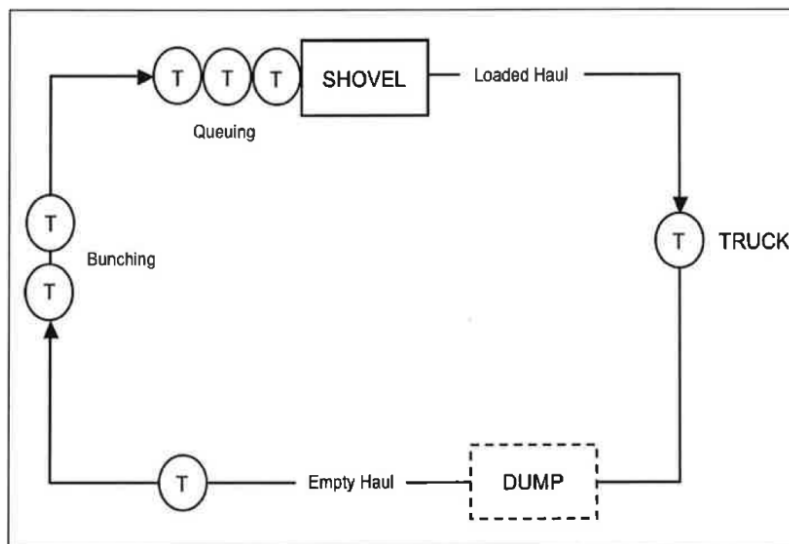


Figura 1.1 Mapa de procesos

Fuente: Material handling in mining, Carmichael – 1986

1.3.1 Ingresar al circuito vacío

En esta parte del proceso el “viaje vacío del camión” se ve afectado en gran parte por condiciones en las vías esto debido a factores naturales inherentes al tipo de configuración geológica (estabilidad de suelos) y/o geográfica (clima) para lo cual se determinan controles en campo en el mantenimiento de vías, que incluye corrección de la capa de rodamiento usando materiales competentes provenientes de otros frentes de carguío, materiales que distribuyen mejor las cargas como geotextiles, geomallas, etc. Además de la mitigación de polvo (cisternas de regado).

1.3.2 Ingresa al agrupamiento con otros camiones flotas diferentes

En este punto la lógica de distribución les da preferencia a los equipos que previamente se han configurado como de “alta prioridad” basándose en la programación lineal, para determinar esta configuración es necesario tener información de lo que ocurre realmente en campo es decir condiciones de frentes, desempeño de operadores, soporte de equipo auxiliar y de la supervisión local. Aquí es donde en algunos casos interviene la solución personal a criterio y por propia experiencia.

1.3.3 Ingres a la cola de espera para ser cargado

Esta es una posición clave en el despacho dado que el objetivo es la optimización, el ciclo debe ser regulado de tal forma que las colas deban ser minimizadas a cero, así es como utilizando la menor cantidad de camiones se puede completar el ciclo de carguío que incluye el tiempo de cuadrado del próximo camión, tiempo de carguío, rango de excavación (dig rate) una demora en estos parámetros traerá como consecuencia atrasos en el servicio y por siguiente colas de camiones. Una vez más el soporte de la supervisión local en campo es fundamental al igual que la disponibilidad mecánica de los equipos de carguío.

1.3.4 Sale cargado con material

Según la flota de camiones que este viajando cargado hacia el destino asignado podrá transportar una capacidad de material (ver 3.1.12 Tonelaje Nominal) con determinado rendimiento que está sujeto a la disponibilidad mecánica de los mismos. Nuevamente las condiciones de la vía influyen en esta parte del proceso.

La correcta asignación del destino está ligada al tipo de material que ha sido extraído del frente de carguío, material que previamente ha sido evaluado por valor económico (mineral o desmonte) por el área de Control de mineral y Geología siendo ellos quienes autorizan el envío de la variedad de materiales a la cancha de desmonte acido o inerte stock pile de mineral con contenido de finos y óxidos, stock de mineral de alta ley.

1.3.5 Ingresas para descargar material

El Plan de descarga incluye la secuencia a seguir en este punto del proceso, la eficiencia está determinada por las condiciones de estabilidad del suelo, señalizaciones, zonas para materiales específicos y en gran parte por la pericia de los operadores y la

supervisión local. Esto determina el éxito de esta parte del proceso y finalmente el camión sale vacío hacia una nueva asignación.

CAPITULO II

PARAMETROS DE LA UTILIZACION Y PRODUCTIVIDAD

La calidad y cantidad de información es vital para la toma de decisiones en campo tanto como para cambiar el frente de un equipo de carguío como para detener una parte de la flota por falta de capacidad. En la figura 2.1 se muestran los parámetros del despacho en Minera Yanacocha.



Figura 2.1 Reporte de parámetros
Fuente: cortesía Minera Yanacocha

2.1 Parámetros

A continuación se definen los parámetros que determinan el desempeño de la operación.

2.1.1 Tiempo de operación (OT)

Es el tiempo en el cual el equipo está encendido y está haciendo trabajo productivo o en inglés "Operating Time". Ej.: La pala está en el frente de carguío, el camión está acarreado el material o está regresando para otra carga.

2.1.2 Tiempo de demoras (DT)

Es el tiempo que el equipo está encendido pero no está haciendo trabajo productivo o en inglés "Delay Time". Ej.: limpieza de tolva, cambio de operador, cambio de guardia, relleno de combustible, servicios higiénicos, revisión y chequeo, tiempo de traslado, perfilando, disparo, etc.

2.1.3 Tiempo de paradas (SB)

Es el tiempo que el equipo está disponible mecánicamente para la operación es decir apagado y sin uso por consideraciones operativas o en inglés "Stand By Time". Ej.: falta de equipo de acarreo, falta de

equipo de carguío, condiciones inseguras, falta de grifo, falta de frente, equipo listo de mantenimiento, refrigerio, clima severo, etc.

2.1.4 Mantenimiento programado (PM)

Es el tiempo que el equipo no está operando debido al mantenimiento programado o en inglés "Preventive Maintenance". Este mantenimiento debe fijarse y planificarse para permitir una operación eficaz, el tiempo empieza en su momento programado o cuando el equipo se entrega o se apaga lo que ocurra más pronto, hasta que el periodo del mantenimiento programado haya terminado.

El área de operaciones mina es responsable de entregar o apagar el equipo a tiempo y Mantenimiento es responsable por el retorno a tiempo del equipo operativo y esta puntualidad se medirá separadamente.

2.1.5 Mantenimiento no programado (NP)

Es el tiempo que el equipo no está operando debido a cualquier falla del instante es decir cuya reparación no estuvo planificada también se le denomina: mantenimiento "No Programado", o exceso en el

tiempo del mantenimiento programado. En este caso el tiempo empieza en cuanto el equipo deja de operar y se comunica a mantenimiento, para un retraso del mantenimiento programado el tiempo empieza en cuanto el período de tiempo (PM) haya terminado.

El mantenimiento no programado termina cuando el equipo es reparado y entregado a operaciones mina.

2.1.6 Tiempo total (TT)

Sumando todos los tiempos anteriores tenemos el tiempo total que debe considerarse para el equipo, está dado por la siguiente formula:

$$TT = OT + DT + SB + PM + NP$$

2.1.7 Disponibilidad mecánica (MA)

Es el porcentaje de tiempo que el equipo está disponible para su operación, en inglés “Mechanical Availability”, está dado por la siguiente formula:

$$MA = \left(\frac{TT - PM - NP}{TT} \right) \times 100$$

2.1.8 Uso de la disponibilidad (UA)

Es el porcentaje de tiempo que el equipo está encendido respecto al tiempo que está disponible, en inglés “Use of Availability”, está dado por la siguiente formula:

$$UA = \left(\frac{OT + DT}{OT + DT + SB} \right) \times 100$$

2.1.9 Uso

Es el porcentaje del período de tiempo que el equipo se está utilizando u operando respecto del total de tiempo en que esta con el motor encendido, en inglés “Use” está dado por la siguiente formula:

$$Use = \left(\frac{OT}{OT + DT} \right) \times 100$$

2.1.10 Uso efectivo (Usage)

Es el porcentaje de tiempo disponible que el equipo está operando respecto de total de tiempo que esta mecánicamente disponible, es una medida del uso de los equipos por parte de operaciones mina, en inglés “Usage” está dado por la siguiente formula:

$$Usage = \left(\frac{OT}{OT + DT + SB} \right) \times 100$$

2.1.11 Distancia equivalente horizontal (EFH)

Es la distancia que el camión podría recorrer en el mismo tiempo que le demanda sobre una pendiente (positiva o negativa), en inglés “Equivalent flat haul” está dado por la siguiente formula:

$$X = V \times T \rightarrow T = \frac{X}{V}$$

$$T_{EFH} = T_{Ruta}$$

$$\frac{EFH}{V_{Horizontal}} = \frac{X_{Ruta}}{V_{Ruta}}$$

$$EFH = X_{Ruta} \times \frac{V_{Horizontal}}{V_{Ruta}}$$

Donde:

X_{Ruta} = Distancia de la ruta a analizar

$V_{Horizontal}$ = Velocidad en la ruta horizontal

V_{Ruta} = Velocidad en la ruta a analizar

EFH = Distancia de la ruta equivalente horizontal

2.1.12 Tonelaje Nominal

El tonelaje es el valor que resulta de la multiplicación de la capacidad de carga útil del equipo por un factor de ajuste. Este factor varía mensualmente y está afectado por el porcentaje de humedad en los frentes de carguío, que es determinado por geología. La capacidad de

carga útil es diferente para cada camión, pero en promedio se tienen los siguientes valores según la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Capacidad promedio de camiones por flota

Flota	Tolva	Carga útil promedio
CAT 785C	estándar	138 TM
CAT 785C	liviana	154 TM
CAT 793C-D	estándar	234 TM
CAT 793C-D	liviana	238 TM

Fuente: Valores ajustados a la política de carga útil de Minera Yanacocha

CAPITULO III

ACTIVIDADES DE CARGUIO, ACARREO Y LA ASIGNACION ÓPTIMA

Internamente se definen actividades del camión y la pala para cada parte del mapa de procesos, además se determinaran más parámetros relativos a estas actividades. El objetivo de este capítulo es entender la asignación óptima en base a estos conceptos previos.

3.1 Actividades del camión

La siguiente figura 3.1 representa el ciclo de acarreo en sus diferentes actividades, definido por el sistema de despacho.

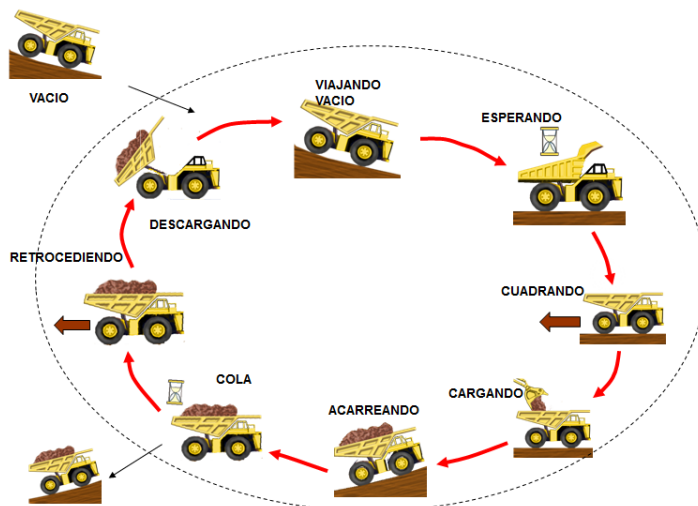


Figura 3.1 Ciclo de acarreo
Fuente: cortesía Jigsaw

3.1.1 Viajando Vacío

El camión se encuentra viajando vacío cuando se dirige al equipo de carguío, los camiones vacíos automáticamente entran en la actividad de “Viajando Vacío” después de haber partido más de 20 m de su punto de descarga. En este momento tiene mucha implicancia el tiempo estimado de llegada a las palas.

3.1.2 Esperando

El camión se encuentra en espera para ser cargado por el equipo de carguío, los camiones en la actividad de “Viajando Vacío” entran en la

actividad de Esperando después de detenerse dentro de la distancia de espera (“waiting distance”) a 60m de la pala.

3.1.3 Cuadrándose

El camión en la actividad de “Esperando” entra en la actividad “Cuadrándose” cuando el GPS detecta que el camión ha iniciado la reversa y se encuentra al frente del equipo de carguío dentro de la distancia de cuadrado (“spotting distance”) a 20 m de la misma.

3.1.4 Cargando

Cuando el camión está cargando en el equipo de carguío, los camiones en la actividad de “Cuadrándose” entran en la actividad de “Cargando” cuando el VIMS del camión detecta que toneladas a través de la balanza del camión.

3.1.5 Acarreando

Los camiones en la actividad “Cargando” entran en la actividad “Acarreando” cuando el GPS detecta que el camión ha viajado más que la distancia de salida (“departure distance”) de 20 m desde la zona de carguío. En este momento tiene mucha implicancia el tiempo estimado de llegada al destino.

3.1.6 En cola

Los camiones en la actividad de “Acarreando” entran en la actividad de “En cola” cuando el GPS detecta que el camión se ha detenido dentro de los límites de una locación de descarga.

3.1.7 Retrocediendo

Los camiones en la actividad “En cola” entran en la actividad de “Retrocediendo” cuando el GPS detecta que el camión ha iniciado la reversa y se encuentra dentro de los límites de la descarga.

3.1.8 Descargando

Los camiones en la actividad “Retrocediendo” entran en la actividad “Descargando” cuando el VIMS informa que el camión está descargando.

3.2 Cola y espera en las palas

Se define por los siguientes conceptos:

3.2.1 Queue

Es un parámetro que indica el tiempo que se encuentran esperando los equipos de acarreo en el frente de carguío y se contabiliza desde

el segundo equipo en espera ya que el primero debe ingresar a cargar.

3.2.2 Hang

Es un parámetro que indica el tiempo que se encuentran esperando los equipos de carguío por la llegada de un equipo de acarreo y se contabiliza desde que el camión sale del carguío y no hay otros equipos de acarreo esperando en el frente de carguío.

3.2.3 Load time (LT)

Es el tiempo transcurrido desde que se inicia el carguío de un camión hasta que éste es despachado.

3.2.4 Spot time (ST)

Es el tiempo transcurrido desde que se despacha a un camión en un equipo de carguío hasta que se inicia el carguío en el siguiente, sin considerar la espera de camiones por el equipo de carguío (hang).

3.3 Productividad de las palas

Existen 3 tipos de productividades que se consideran en el área de Dispatch:

3.3.1 Rango de excavación de las palas

Es la relación entre las toneladas nominales cargadas y el tiempo de carguío, también se le denomina tasa de excavación o Dig rate, está dado por la siguiente formula:

$$\text{Rango de excavacion} \left(\frac{TM}{hr} \right) = \frac{\text{Tonelaje Nominal}}{LT}$$

3.3.2 Productividad Efectiva

Es la relación entre las toneladas nominales cargadas y el tiempo efectivo de carga, incluyendo el tiempo de cuadrado. Esto es lo que se produciría en una hora si el hang fuera cero, está dado por la siguiente formula:

$$\text{Productividad Efectiva} = \frac{\text{Tonelaje Nominal}}{LT + ST}$$

3.3.3 Productividad

Es la relación entre las toneladas nominales y el tiempo total productivo, que incluye tiempo de carguío, tiempo de cuadrado y espera de camiones, está dado por la siguiente formula:

$$Productividad = \frac{Tonelaje\ Nominal}{LT + ST + Hang}$$

De este modo la producción de la hora viene dado por el total de toneladas nominales que produjo todos los equipos de carguío en una hora determinada, incluyendo demoras, traslados y tiempo malogrado, es decir el valor registrable de toneladas.

3.4 Asignaciones de camiones para cada ruta

Se realiza mediante el software de gestión de manejo de flota (JIGSAW), esta herramienta permite controlar y optimizar el uso de los equipos de carguío y acarreo, reduciendo el tiempo de cola y espera de los equipos, priorizando la utilización de equipos más productivos basados en los rangos de excavación, rutas optimas, mezcla, materiales prioritarios, la capacidad de descarga, etc.

Esta asignación dinámica de los equipos está basada en algoritmos de programación lineal que permitan controlar procesos críticos tales como límites de mezcla para las descargas, precisión de minado, asignación dinámica de abastecimiento de combustible, etc.

CAPITULO IV

SISTEMA DE DESPACHO, PROCESOS DE OPTIMIZACION

El objetivo de este capítulo es explicar el funcionamiento del sistema y conocer cómo se optimiza en tiempo real la distribución de los equipos y monitorea la correcta distribución, y con esto obtener:

- Mejorar el tiempo del ciclo de producción.
- Reducir esperas y colas, mayor productividad de camión y equipo de carguío.
- Administración en tiempo real, calidad y oportunidad de decisiones.

4.1 Software y hardware para administración de flota

Esta herramienta permite controlar y optimizar el uso de los equipos de carguío y acarreo, a través de la utilización adecuada de la mina, reducir el porcentaje de la cola y el tiempo de inactividad de los equipos (Hang y Queue), dar prioridad a la utilización de equipos más productivos basados en

los rangos de excavación (digrate), rutas óptimas, mezcla, TKPH, materiales prioritarios, la capacidad de descarga, etc.

4.2 Sistema de despacho

La función del sistema JMineOPS es optimizar el uso de los equipos de mina, garantizando un alto rendimiento de los mismos al menor costo operativo. Utiliza sistema de comunicaciones inalámbricas entre el sistema principal y los equipos.

JMineOPS es un software que usa modelos matemáticos (Programación Lineal, programación Dinámica, teoría de colas, etc.) para la optimización y que es propiedad de la empresa Leyca System la cual provee herramientas y softwares para la industria minera un potencial crecimiento de productividad, especialmente en operaciones de gran envergadura, programación Lineal para solución de flujo de modelo de la operación.

El algoritmo de programación lineal que utiliza el sistema para optimizar el ciclo de acarreo, está sujeto a un modelo, variables y restricciones que hacen aún más específico cada caso, se detallan a continuación:

4.3 Soporte tecnológico

Según la arquitectura del JMineops; ver figura 4.2, se tiene:

- Red de Comunicaciones Inalámbrica: Red 802.11 que se comunica con equipos de campo.
- Red Corporativa: Provee acceso a usuarios corporativos. Despachadores, Administradores, Supervisores de sistema que residen en esta red.
- Servidores Jigsaw: En los cuales se ejecuta el Proceso Central JAMS (Jigsaw Advanced Mining Server) el cual controla el sistema.
- Servidor de Reportes: JView y base de datos replicadas.
- Servidor de Base de Datos: Base de datos en relación al tiempo real.

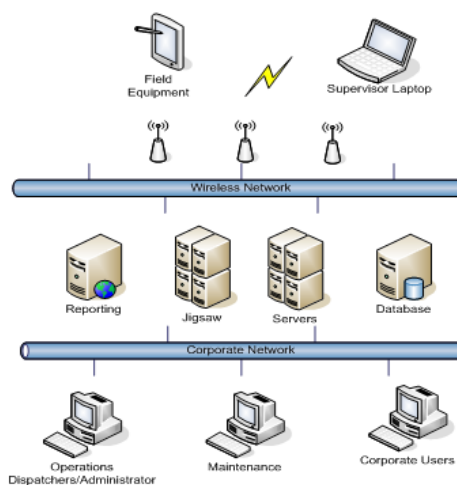


Figura 4.2 Arquitectura del sistema de información

Fuente: cortesía Jigsaw

4.4 Sistema integrado

Éste cuenta con las últimas tecnologías disponibles, de este modo se tiene:

- El software y la comunicación inalámbrica de los fabricantes de tecnologías.
- Conexiones VPN seguras entre el campo y el servidor central.
- Sofisticada replicación de la Base de Datos en Tiempo Real.
- Inteligencia local permite hacer rápidas decisiones, análisis continuo de tendencias de los signos vitales, chequeos de otros sistemas y prevención ante pérdidas de señal.
- Capacidad para trabajar con cualquier infraestructura de red basada en IP.
- Capacidad para medir con mucha precisión todos los tiempos de ciclo mina sin intervención del operador.
- Capacidad instalada de voz sobre IP.

La replicación de Base de datos se realiza en tiempo real; ver figura 4.3, esto implica:

- Tener una base de datos SQL dentro de un Hub a bordo.

- Una replicación de datos (típicamente de 8 segundos) entre oficina central y equipos a bordo.
- Los equipos pueden seguir funcionando sin pérdida de datos, incluso en zonas sin cobertura de comunicación.
- Datos de alta frecuencia pueden ser capturados en forma local.

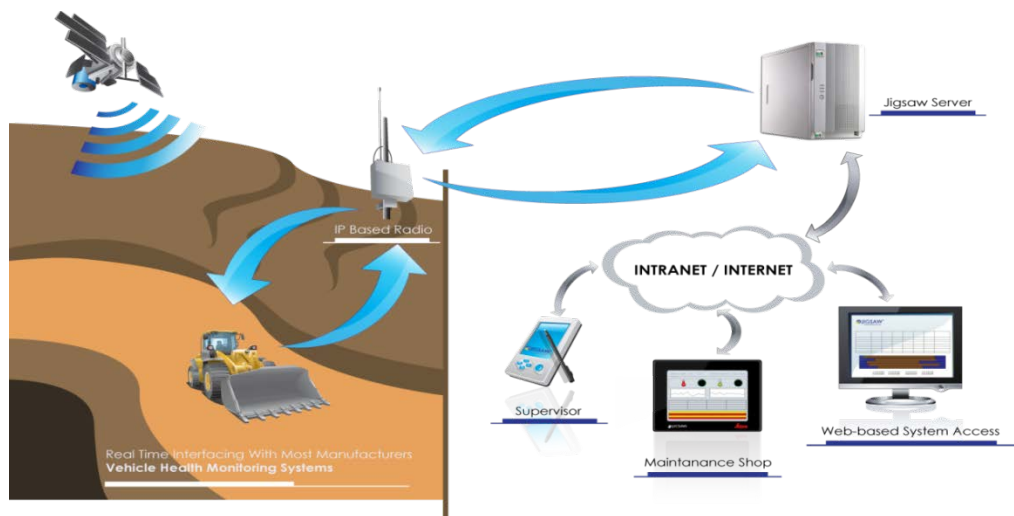


Figura 4.3 Replicación de datos
Fuente cortesía Jigsaw

CAPITULO V

FACTOR DE PRODUCTIVIDAD

En un sistema pala-camión el indicador más importante es aquel que refleja la relación (ratio) entre la productividad de la pala (servidor) y la productividad de las unidades de transporte.

Douglas (1964) determina el número de camiones a través de la utilización de este indicador entre la productividad de un cargador y la productividad de una flota de camiones. La productividad de una unidad (pala o camión) se define como directamente proporcional a su capacidad de carga e inversamente proporcional al tiempo de ciclo. Por su parte, el tiempo de ciclo de los camiones es la suma del promedio de los tiempos de tránsito, carga y descarga; *se excluyen los tiempos de espera producto de los efectos de la congestión.*

En este capítulo se usará al “Factor de Productividad” como un indicador de productividad, Contrariamente a este modelo (arriba descrito) se asumirá que las colas y los tiempos de espera están incluidos en los tiempos del ciclo.

5.1 Definición

El término “factor de Productividad” (FP) se define como la relación de productividad asociada a un conjunto de camiones y la productividad del cargador. El principal supuesto del modelo es la homogeneidad de las flotas de camiones, es decir, todos los camiones son iguales en tamaño y velocidades teóricas de operación además, se suponen tiempos promedios fijos de operación que no permiten considerar los efectos de la congestión que se podría producir en cada una de las etapas del ciclo de transporte. Por lo tanto el modelo no incluye tiempos de espera en colas, está dado por la siguiente fórmula:

$$FP = \frac{(\text{Número de camiones}) \times \text{Ciclo de carguio}}{\text{Ciclo de acarreo}}$$

El factor de productividad combina las eficiencias relativas de las flotas de camiones y palas para crear una eficiencia óptima para el total de la flota. Con esta idea en mente la eficiencia de las unidades del sistema tiene tres resultados posibles para el indicador FP:

- **Sobredimensionamiento de las unidades de carga o palas (FP<1)**, implicando el máximo de utilización de los vehículos de transporte, pero una subutilización de las unidades de carga (aumento del valor de HANG, espera del equipo de carguío).
- **Sobredimensionamiento de la flota de camiones (FP>1)**, implica máxima utilización de las unidades de carguío, pero una subutilización de la flota de vehículos. Los tiempos de espera (congestión) serán crecientes en relación al tamaño de la flota (aumento del valor de QUEUE, espera de los camiones).
- **Equivalencia (FP=1)**, corresponde a la equivalencia perfecta en términos de productividad entre ambos conjuntos de unidades. Los equipos de carguío pueden servir tan rápido como llegan los camiones.

Por ejemplo para un valor menor de FP (como 0.5) se correlaciona con una baja eficiencia total de la flota de 50%, mientras que la eficiencia de acarreo es de 100%. Tal como se muestra en la figura 5.1. Este es un caso de “Under-Trucking”; la eficiencia de las palas esta reducida es decir se tiene altos valores de HANG. Desafortunadamente en la práctica un valor de FP igual a 1, no se puede correlacionar con el valor en tiempo real de FP debido

al agrupamiento que experimentan los camiones. En este sentido el valor calculado del FP es optimista.

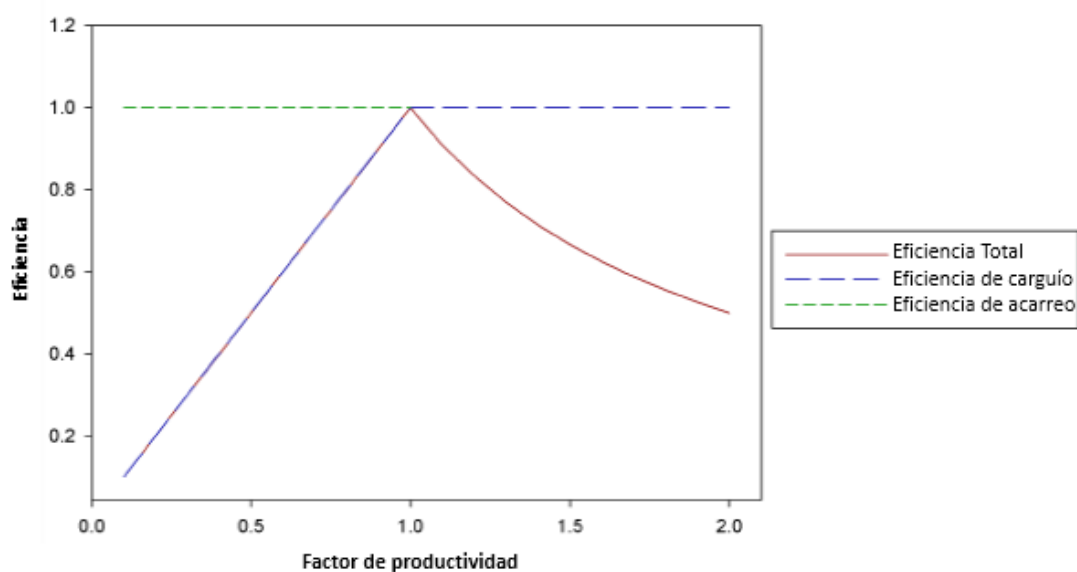


Figura 5.1 Eficiencias de las flotas

Fuente: Manual de arranque, carga y transporte en minería a cielo abierto

El sector minero como Core Business, está interesado en alcanzar un FP cercano a 1, con el cual indicarían que los niveles de productividad de la flota estarían alcanzando los valores óptimos.

5.2 Aplicación en el área de Dispatch

Luego de conocer los conceptos anteriores se tiene más claro la visión global del desarrollo de la operación y la misión como parte del equipo encargado de la optimización del uso de los equipos de mina. Se ha podido encontrar

definiciones básicas, sin embargo toda la complejidad de la operación tanto en campo como visto desde el Despacho está sujeto a un conjunto de variables controlables y no controlables, ya han existido estudios anteriores sobre éstas variables, dicha profundización no es objeto de estudio en este informe pero sí el de usar estos conceptos básicos para tomar las decisiones necesarias que permitan asegurar el buen y correcto desempeño de los equipos, esto es maximizar el uso y minimizar el costo de producción de este modo obtener mayor rentabilidad en el negocio.

Actualmente no existe un reporte que muestre el comportamiento en tiempo real de lo literalmente dicho Factor de Productividad, está claro que dado su concepto está relacionado hacia las eficiencias de carguío y acarreo, y a su vez éstas están relacionadas con las capacidades de carguío y acarreo. Este sería el otro camino para llegar al valor de FP, a continuación se definen estos nuevos conceptos:

5.2.1 Capacidades de minado

Están definidas por:

- Capacidad de Carguío:

$$Cap. \text{ Carguío (Ton)} = \sum (\# \text{ Unds.} \times \text{Productividad carguío} \times \text{Usage} \times \text{Disp. mecánica})$$

- Capacidad de Acarreo:

$$\text{Cap. Acarreo (Ton)} = \sum (\# \text{ Unds. } \times \text{Productividad acarreo} \times \text{Usage} \times \text{Disp. mecánica})$$

Esto daría resultados más reales puesto que estaría involucrando valores de “disponibilidad mecánica” y “usage”; parámetro que en base a datos de demoras, stand by y de producción muestran en qué grado se usa el equipo. Conjugando todos estos conceptos y utilizando la programación para base de datos (consultas en SQL). Se obtienen los siguientes resultados para las capacidades de equipos, ver tabla 5.1.

La sumatoria de todos los valores en la columna “producto” da el valor de capacidad de carguío y acarreo respectivamente. Dividiendo estos valores, de la siguiente manera:

$$FP = \frac{\text{Capacidad de Acarreo}}{\text{Capacidad de Carguío}}$$

$$FP = \frac{17073.46 \text{ Ton}}{14559.41 \text{ Ton}} = 1.172$$

Que muestra que si es posible obtener el valor para el FP, y en este punto se puede advertir una posible cola o QUEUE de camiones. A continuación la figura 5.2 el código utilizado para la obtención de los datos en SQL, se han utilizado determinadas funciones y tablas ya creadas en el servidor de datos, esto sirve para obtener los valores para las productividades, “usage” y disponibilidades mecánicas.

Tabla 5.1 Datos obtenidos, capacidades de equipos

CARGUIO (Por Equipo)

#	shovel_id	shovel_name	material_tonnage	tonnage	ready_hours	productividad	ready_time	standby_time	delay_time	down_time	total_time	usage	disponibilidad	producto
1	25	LD016	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	3600	3600	0.00	0.00	0.00
2	181	LD018	1806.58	1857.24	0.90	2063.60	3240	0	360	0	3600	0.90	1.00	1857.24
3	51	SH006	672.76	648.34	1.00	648.34	3600	0	0	0	3600	1.00	1.00	648.34
4	176	SH008	222.64	222.64	1.00	222.64	3600	0	0	0	3600	1.00	1.00	222.64
5	238	SH009	446.25	487.10	0.62	785.29	2233	1367	0	0	3600	0.62	1.00	487.10
6	244	SH010	0.00	0.00	0.02	0.00	79	0	1821	1700	3600	0.04	0.53	0.00
7	9	SH001	3369.61	3411.11	0.92	3702.14	3317	0	283	0	3600	0.92	1.00	3411.11
8	150	SH002	2437.42	2625.96	0.89	2953.28	3201	0	399	0	3600	0.89	1.00	2625.96
9	33	SH004	2242.86	2290.56	1.00	2290.56	3600	0	0	0	3600	1.00	1.00	2290.56
10	2	SH007	2881.74	3016.46	0.93	3242.54	3349	0	251	0	3600	0.93	1.00	3016.46

CAPACITY: 14559.41

ACARREO (Por Equipo)

#	shovel_id	shovel_name	material_tonnage	tonnage	ready_hours	productividad	ready_time	standby_time	delay_time	down_time	total_time	usage	disponibilidad	producto
27	34	HT118	451.09	451.09	1.00	451.09	3600	0	0	0	3600	1.00	1.00	451.09
28	52	HT119	466.58	470.50	0.89	528.16	3207	0	393	0	3600	0.89	1.00	470.50
29	31	HT120	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	3600	3600	0.00	0.00	0.00
30	21	HT121	0.00	0.00	0.47	0.00	1688	1912	0	0	3600	0.47	1.00	0.00
31	76	HT122	227.48	261.40	1.00	261.40	3600	0	0	0	3600	1.00	1.00	261.40
32	16	HT123	454.82	487.90	0.95	511.93	3431	169	0	0	3600	0.95	1.00	487.90
33	1	HT124	226.51	245.30	0.96	254.42	3471	0	129	0	3600	0.96	1.00	245.30
34	64	HT125	0.00	0.00	0.00	0.00	0	2107	0	1493	3600	0.00	0.59	0.00
35	69	HT126	220.70	228.90	0.97	236.32	3487	0	113	0	3600	0.97	1.00	228.90
36	37	HT127	225.54	249.00	0.92	270.57	3313	0	287	0	3600	0.92	1.00	249.00
37	147	HT128	224.48	235.00	0.65	363.56	2327	0	1273	0	3600	0.65	1.00	235.00
38	83	HT129	224.58	234.70	0.96	245.76	3438	0	162	0	3600	0.96	1.00	234.70
39	73	HT130	228.45	224.50	0.96	233.45	3462	0	138	0	3600	0.96	1.00	224.50
40	162	HT131	441.41	441.41	1.00	441.41	3600	0	0	0	3600	1.00	1.00	441.41
41	190	HT132	223.61	229.40	0.78	293.58	2813	570	217	0	3600	0.78	1.00	229.40
42	194	HT133	439.47	497.40	1.00	497.40	3600	0	0	0	3600	1.00	1.00	497.40
43	193	HT134	225.54	210.90	0.97	218.05	3482	0	118	0	3600	0.97	1.00	210.90
44	192	HT135	441.41	483.90	0.74	656.14	2655	0	945	0	3600	0.74	1.00	483.90
45	198	HT136	443.34	447.90	0.87	515.16	3130	158	312	0	3600	0.87	1.00	447.90
46	199	HT137	443.10	457.25	0.86	528.95	3112	0	488	0	3600	0.86	1.00	457.25
47	200	HT138	218.77	242.30	1.00	242.30	3600	0	0	0	3600	1.00	1.00	242.30
48	201	HT139	220.70	242.30	1.00	242.30	3600	0	0	0	3600	1.00	1.00	242.30
49	202	HT140	222.64	245.90	0.84	292.16	3030	0	570	0	3600	0.84	1.00	245.90
50	203	HT141	221.67	226.90	0.93	245.30	3330	0	270	0	3600	0.93	1.00	226.90
51	204	HT142	443.34	473.80	0.85	556.14	3067	533	0	0	3600	0.85	1.00	473.80
52	205	HT143	0.00	0.00	0.48	0.00	1713	0	1212	675	3600	0.59	0.81	0.00
53	206	HT144	217.80	250.50	1.00	250.50	3600	0	0	0	3600	1.00	1.00	250.50
54	207	HT145	447.22	479.80	0.95	506.68	3409	191	0	0	3600	0.95	1.00	479.80
55	210	HT146	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	3600	3600	0.00	0.00	0.00
56	217	HT147	441.41	439.70	0.99	446.40	3546	0	54	0	3600	0.99	1.00	439.70
57	218	HT148	665.02	751.10	1.00	751.10	3600	0	0	0	3600	1.00	1.00	751.10
58	219	HT149	665.02	683.60	1.00	683.60	3600	0	0	0	3600	1.00	1.00	683.60
59	220	HT150	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	3600	3600	0.00	0.00	0.00
60	221	HT151	443.34	470.60	0.99	474.82	3568	0	32	0	3600	0.99	1.00	470.60
61	222	HT152	224.58	229.20	1.00	229.20	3600	0	0	0	3600	1.00	1.00	229.20
62	223	HT153	447.22	436.20	0.99	442.47	3549	0	51	0	3600	0.99	1.00	436.20
63	224	HT154	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	3600	3600	0.00	0.00	0.00
64	228	HT160	445.28	480.70	1.00	480.70	3600	0	0	0	3600	1.00	1.00	480.70

CAPACITY: 17073.46

Fuente: propia

```

BEGIN
  /* Encontramos el inicio de turno para la fecha actual */
  shift_start := rt_util_get_turno_ini(cur_date);

  /* Obtenemos la hora de inicio de la consulta: "1 hora antes" */
  hour_start := cur_date - INTERVAL '1 hour';

  /* Verificamos que la hora inicio no sea menos al inicio de turno */
  IF hour_start <= shift_start THEN
    hour_start := shift_start; --Establecemos al inicio de turno como la hora de inicio
  END IF;

  /* Obtenemos la informacion de "time_category" en el rango de: hora de inicio - hora actual */
  FOR queryrows IN SELECT
    lvts.flota_id, lvts.flota_name,
    lvts.shovel_id, lvts.shovel_name,
    lvts.sum_vims_tonnage, lvts.sum_material_tonnage,
    lvts.tonnage, lvts.factor_tonnage,
    lvts.total_loads, lvts.total_loads_without_zero,
    lvts.vims_loads, lvts.material_loads,
    lvts.low_loads_above_60, lvts.low_loads_from_60_to_95
  FROM rt_queryxx_get_loads_and_vims_tonnages_by_shovel(hour_start, cur_date) lvts
LOOP

```

Figura 5.2 Código en SQL

Finalmente con estos datos se puede tener valores históricos a lo largo del turno y poder manejar mejor los resultados hora a hora como se muestra en la figura 5.3.

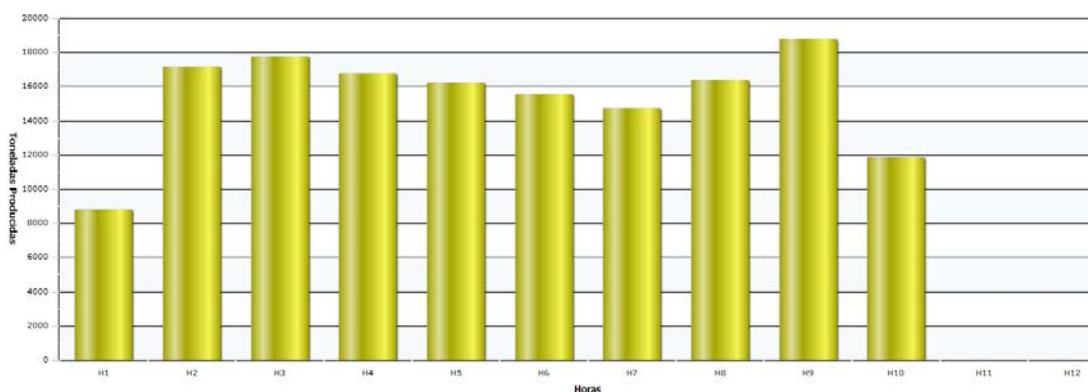


Figura 5.3 Producción horaria

Fuente: Cortesía Minera Yanacocha

5.3 Factor de Productividad como herramienta de gestión

Se puede identificar con mayor rapidez las oportunidades de mejora, y evitar así las colas; ver figura 5.4, y el costo que esto representaría, el tener una herramienta más que ayude al control, permitirá estar más prevenidos. Por ejemplo, en un momento dado del turno este valor es mayor que 1 y va subiendo cada vez más e ir buscando las salidas para evitar que siga aumentando, se encuentra que una solución podría ser la siguiente: el soporte de geología para brindar información detallada del frente de carguío, si en el caso de que la Pala 01, este minando desmonte y mineral y esa variación hace que el ciclo por momentos se alargue o se acorte; ver figura 5.5, y como consecuencia los camiones sobrantes o faltantes afectarán otros equipos de carguío creando inestabilidad en todos los ciclos de acarreo, una vez confirmada la información de geología se toma la decisión junto con la supervisión de campo, de enfocar el minado hacia mineral (en este caso la ruta más larga) y asegurar que no cambiará en un periodo de tiempo más largo que permitirá darle flexibilidad al ciclo de los demás equipos de carguío.



Figura 5.4 Cola de camiones
Fuente: Cortesía Minera Yanacocha

arguio	Talla	Locacion	Poligono	Load Time	Spot Time	Cam. Act. (y)	Cam. Req. (x)	(x)-(y)	Time Acarreo	Descarga	Pay load
SH001	XXLarge	TO3516C1	TO3516C377/L	2.48	0.92	9.8	9.7	0.1	22.37	LQF08L01B.1	7.69
SH002	XXLarge	TO3408C2	TO3408C172/D	3.14	0.97	8.8	8.3	0.5	19.52	LQ_TAILING_ESTE	2.22
SH003	XXLarge	TO3408C3	TO3408C170/D	0	0	0	0	0	0		0
SH004	XXLarge	TO3420C4	TO3420C186/D	3	0.87	5.9	7.1	-1.2	15.52	ETBLIFT08IZQ	1.23

Figura 5.5 Tiempo de acarreo para cada ruta

Fuente: Cortesía Minera Yanacocha

CONCLUSIONES

1. Se ha podido inducir un nuevo parámetro que permitirá tener mejor control sobre los equipos en la operación, la cual se reflejara en mejores resultados, tanto de producción y costos.
2. Se ha dado un nuevo concepto al Factor de Productividad o “Match Factor” con los parámetros de productividades, utilización del equipo y disponibilidades mecánicas los cuales ya incluyen variables como tiempos de ciclos de carguío y acarreo los que a su vez están afectados por todo el agrupamiento que experimentan los camiones al acabar su proceso de descarga. Tanto la utilización del equipo como su respectiva disponibilidad mecánica representan la medida en que son aprovechados los equipos de mina y su respectiva disponibilidad mecánica, todo esto aporta mayor acercamiento al dinamismo de la operación.

3. Mejor control del balance de camiones, se ha logrado medir el comportamiento de las capacidades de carguío y acarreo.
4. Utilizando al Factor de Productividad y sus variaciones en todo momento se tendrá una respuesta rápida para encontrar inconvenientes en el flujo de camiones e identificar oportunidades de mejora.

RECOMENDACIONES

1. Crear un reporte que exporte datos continuamente del servidor para dar a conocer el valor del Factor de Productividad en todo momento del turno y que ayude en la toma de decisiones para poder cumplir el plan de minado. Se podrá iniciar con un reporte en Excel para luego implementarlo en Jigsaw.
2. No considerar al Factor de Productividad como único, debido a que solo muestra una parte del comportamiento del flujo de camiones y su balance.
3. Se tendrán en cuenta las variaciones geométricas del tajo que influyen en buena parte en las comunicaciones vía la red wireless, que sin duda afectará la velocidad en la actualización de datos desde el campo. En este punto el soporte tecnológico es vital dado que tienen que estar actualizando en cada momento la configuración de la red en el tajo debido al dinamismo de la operación.

BIBLIOGRAFIA

1. CHRISTINA BURT, LOU CACCETTA, EQUIPMENT SELECTION FOR SURFACE MINING.
2. INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA, MANUAL DE ARRANQUE, CARGA Y TRANSPORTE EN MINERÍA A CIELO ABIERTO.
3. WILLIAM HUSTTRULID Y MARK KUCHTA, OPEN PIT MINE PLANNING AND DESIGNED, P 44-142, A.A.BALKEMA, ROTTERDAM, BROOKFIELD (1995).
4. CHRISTINA BURT, AN OPTIMISATION APPROACH TO MATERIALS HANDLING IN SURFACE MINES.