

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA



“DETERMINACIÓN DEL RATIO DE CONSUMO EN PETRÓLEO EN CAMIONES GIGANTES”

INFORME DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

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

**ELABORADO POR
PAVEL MARTIN OROPEZA MORA**

**ASESOR
ING. JORGE GUSTAVO DIAZ ARTIEDA**

LIMA-PERU

2014

AGRADECIMIENTO

A los docentes de la Universidad Nacional de Ingeniería y mis colegas de la escuela profesional de Minas que me brindaron su valioso apoyo en mi formación profesional.

A Minera Yanacocha por brindarme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente en su operación.

DEDICATORIA

A mis padres por su constante soporte y atención.

A mis hermanos por velar por mi desarrollo.

RESUMEN

Yanacocha es la mina de oro más grande de Sudamérica, como parte de su proceso de producción en el área de Operaciones Mina se realiza el Acarreo de material con camiones gigantes de distintos modelos Caterpillar 793 y Caterpillar 785.

El acarreo de material representa el 48% del costo Operativo y siendo el diésel consumido por los camiones de acarreo el 70% del consumo total del área de Operaciones Mina (según costo operativo 2011); se identificó la necesidad de presupuestar los consumos de combustible en base a variables operativas y planes de minado a futuro debido a la cantidad de flota requerida y su impacto en el costo operativo.

Para poder estimar el consumo de combustible evaluaremos distintas variables de acarreo que puedan impactar en la variación del consumo de combustible, tales como: Modelo de Camión, Perfiles de acarreo, Velocidad del Camión, Altitud de la operación, Rendimiento del equipo por pendiente, etc. los

cuales procederemos a evaluar cómo se comportan en el tiempo y su relación con el consumo de combustible.

La determinación de la relación que puede existir entre estas variables por su gran impacto en el costo operativo nos ayudará a evaluar proyectos nuevos y de expansión, la determinación de costos unitarios ajustados para proyectos futuro, obtener cuadros comparativos de consumo de combustible y realizar análisis de precio – cantidad comparados con las variables operativas en cantidades.

ABSTRACT

Yanacocha is the largest gold mine in South America, as part of its production process in the area of operations is performed Mina Hauling material of different models giant trucks Caterpillar 793 and Caterpillar 785.

Hauling material represents 48% of the operating cost and being consumed by diesel trucks hauling 70% of total consumption Mine Operations Area (as operating cost 2011) identified the need to budget fuel consumption variables based on operational and future mining plans due to the amount of required fleet and its impact on the operating cost.

In order to estimate fuel consumption will evaluate hauling variables that may impact on the variation in fuel consumption, such as: Truck Model, hauling profiles, truck speed, altitude operation, truck performance by grade, etc. which proceed to evaluate how they behave over time and its relation to fuel consumption.

The determination of the relationship that may exist between these variables for its great impact on the operational cost will help us evaluate new and expansion projects, determination of unit costs adjusted for future projects, get tables comparing fuel consumption and analysis of price - amount compared with operating variables in quantities.

ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
CAPITULO I – ASPECTOS GENERALES	
1.1 Ubicación y acceso Minera Yanacocha	15
1.2 Misión y Visión Minera Yanacocha	15
CAPITULO II – PROCESO DE PRODUCCIÓN OPERACIONES MINA	
2.1 Proceso previo	19
2.2 Perforación	19
2.2.1 Velocidad de penetración	20
2.2.1 Velocidad de perforación	21
2.3 Voladura	21
2.4 Carguío	24
2.5 Acarreo	25
2.6 Mantenimiento de vías y equipo auxiliar	25

CAPITULO III – PROCESO PRODUCTIVO CARGUÍO Y ACARREO

3.1	Términos asociados a la utilización de equipos	28
3.1.1	Horas totales del equipo	28
3.1.2	Horas disponibles del equipo	28
3.1.3	Horas de equipo malogrado	29
3.1.4	Horas de equipo operativo	29
3.1.5	Demoras	29
3.1.6	Stand By	30
3.1.7	Disponibilidad Física	30
3.1.8	Uso de la disponibilidad	31
3.1.9	Uso del equipo	31
3.1.10	Usage	31
3.1.11	Distancia Equivalente horizontal (EFH)	32
3.2	Carguío	33
3.2.1	Cálculo de capacidad de carguío y su influencia en el balance de flota	33
	de Acarreo	
3.2.2	Análisis de sensibilidad de parámetros de Carguío	34
3.3	Acarreo	35
3.3.1	Cálculo de capacidad de acarreo	35
3.3.2	Análisis de sensibilidad de parámetros de Acarreo	36
3.4	Capacidad de Producción por turno	37
3.4.1	Principales variables involucradas en la producción	38

3.4.2 Limitantes del balance de flota carguío y acarreo	38
3.4.3 Métodos de optimización de la producción	39

CAPITULO IV – VARIABLES INVOLUCRADAS EN EL RATIO DE CONSUMO EN PETROLEO EN CAMIONES

4.1 Fundamento teórico	41
4.1.1 Análisis dimensional	42
4.1.2 Especificaciones técnicas por modelo de flota	42
4.2 Comportamiento estadístico de variables de acarreo	44
4.2.1 Análisis de correlación entre las variables según data histórica	46
4.2.2 Determinación de tendencias y ecuación de comportamiento del ratio de consumo en petróleo en camiones	48

CAPITULO V – APLICACIONES, ESTIMACIÓN Y CONTROL DE CONSUMO

5.1 Impacto del consumo del diésel en el costo operativo.	51
5.2 Impacto financiero del ratio de consumo en petróleo en camiones	52
5.3 Cuadros de control de consumo de combustible	53

CONCLUSIONES	55
---------------------	----

RECOMENDACIONES	57
------------------------	----

BIBLIOGRAFÍA	58
---------------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3.1	Capacidad de carguío para un turno	34
TABLA 3.2	Capacidad de acarreo para un turno	36
TABLA 4.1	Consumos de combustible en galones / hora según Caterpillar	43
TABLA 4.2	Distancia equivalente cargado Caterpillar 785	44
TABLA 4.3	Pendiente Caterpillar 785	45
TABLA 4.4	Distancia equivalente cargado Caterpillar 793	45
TABLA 4.5	Pendiente Caterpillar 793	46
TABLA 4.6	Análisis de correlación Caterpillar 785	47
TABLA 4.7	Análisis de correlación Caterpillar 793	48
TABLA 5.1	Calculo consumo de combustible ratios constantes	52
TABLA 5.2	Cálculo consumo de combustible ratios variables	53
TABLA 5.3	Comparación de consumo versus estimación del consumo	54

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1	Proceso producción operaciones mina	18
FIGURA 2.2	Reporte en tiempo real de perforación	21
FIGURA 2.3	Clasificación de dureza en rocas	22
FIGURA 2.4	Clasificación de dureza en suelos	22
FIGURA 2.5	Diseño para suelo de dureza suave	23
FIGURA 2.6	Diseño para suelo de dureza media	23
FIGURA 2.7	Diseño para roca de dureza dura	24
FIGURA 2.8	Instalación de geotextil en vías de acarreo	27
FIGURA 3.1	Uso de la disponibilidad	31
FIGURA 3.2	Uso del Equipo	31
FIGURA 3.3	Usage de Equipos	32
FIGURA 3.4	Determinación del EFH en una ruta	32
FIGURA 3.5	Determinación del EFH por tramos	32
FIGURA 3.6	Análisis de sensibilidad carguío	35
FIGURA 3.7	Análisis de sensibilidad acarreo	37

FIGURA 3.8	Variación de la producción durante el turno	39
FIGURA 4.1	Variable 01 de consumo de combustible	46
FIGURA 4.2	Variable 02 de consumo de combustible	47
FIGURA 4.3	Ratio de consumo de combustible Caterpillar 785	49
FIGURA 4.4	Ratio de consumo de combustible Caterpillar 793	49
FIGURA 4.5	Resistencia total cargado y vacío Caterpillar 793D	50
FIGURA 5.1	Distribución de costo para acarreo	51

NOMENCLATURA

EFH	Distancia equivalente recorrida por el camión de acarreo
ANFO	Agente de voladura mezcla de nitrato de amonio y petróleo
RMR	Valorización de macizo rocoso
Haul Road	Vía de acarreo
Queue	Tiempo de espera de camiones en cola para ser cargados
%DF	Porcentaje de disponibilidad física
Payload	Carga útil del camión
OPEX	Costos operativos

INTRODUCCIÓN

El consumo de combustible por parte de los camiones gigantes es el gasto más representativo en el costo operativo, se identificó la oportunidad de asociar los ratios de consumo en petróleo en camiones con parámetros operativos de acarreo durante la elaboración del presupuesto donde los perfiles de acarreo se incrementan y el dato de consumo de galones por hora se mantenía constante.

Las aplicaciones para esta estimación además de utilizarse en presupuestos operativos pueden servir en la evaluación de costos de proyectos mineros y poder obtener un consumo de combustible ajustado a los perfiles de acarreo y condiciones operativas a evaluar.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1 Ubicación y acceso Minera Yanacocha

El distrito minero de Yanacocha se encuentra ubicado en los andes del norte del Perú. El proyecto está dentro de la provincia de Cajamarca, a 20 Km. al norte de la ciudad de Cajamarca y a 700Km al norte de la ciudad de Lima, la capital del Perú. El distrito comprende un área de 120 Km² y está centrado en los 78°30 de longitud oeste y 7°00 de latitud sur, y una altitud media de 3540 msnm.

El acceso al distrito Yanacocha se hace por un desvío de la carretera que va desde Cajamarca hacia la provincia de Hualgayoc. Son aproximadamente 49 Km de carretera desde la ciudad de Cajamarca hasta las instalaciones de la mina.

1.2 Misión y visión Minera Yanacocha

Misión Minera Yanacocha

Aprovechar su capacidad organizativa y operativa para continuar entregando una producción rentable, sostenible y responsable. Invertir para obtener el valor

total de Yanacocha mientras se desarrollan o adquieren nuevas zonas de trabajo en la región.

Visión Minera Yanacocha

Ser reconocidos por sus inversionistas, empleados y grupos de interés externos como la compañía minera más valorada y respetada de Sudamérica.

Valores Minera Yanacocha

- Actuar con integridad, confianza y respeto.
- Premiar la creatividad, el espíritu emprendedor y el compromiso para la acción.
- Demostrar liderazgo en seguridad, cuidado del medio ambiente y responsabilidad social.
- Desarrollar a nuestros empleados en nuestra búsqueda de la excelencia.
- Insistir en el trabajo en equipo, así como una comunicación honesta y transparente.
- Promover un cambio positivo fomentando la innovación y aplicar las buenas prácticas.

CAPITULO II

PROCESO DE PRODUCCIÓN OPERACIONES MINA

El minado en Minera Yanacocha es un proceso sistematizado que consiste en fragmentar, extraer y transportar el material con contenido valioso de oro y plata (yacimiento mineralizado) de su ubicación natural en el interior de los cerros y transportarlo a las canchas de lixiviación (pads) y stocks o depósitos para tratamiento en el Gold Mill.

En las operaciones de minado trabajan recursos humanos, materiales y equipos que continuamente cortan y extraen de manera ordenada en capas horizontales el material del área del yacimiento formando una abertura en el suelo (tajo abierto).

El minado sigue el proceso mostrado en la figura 2.1

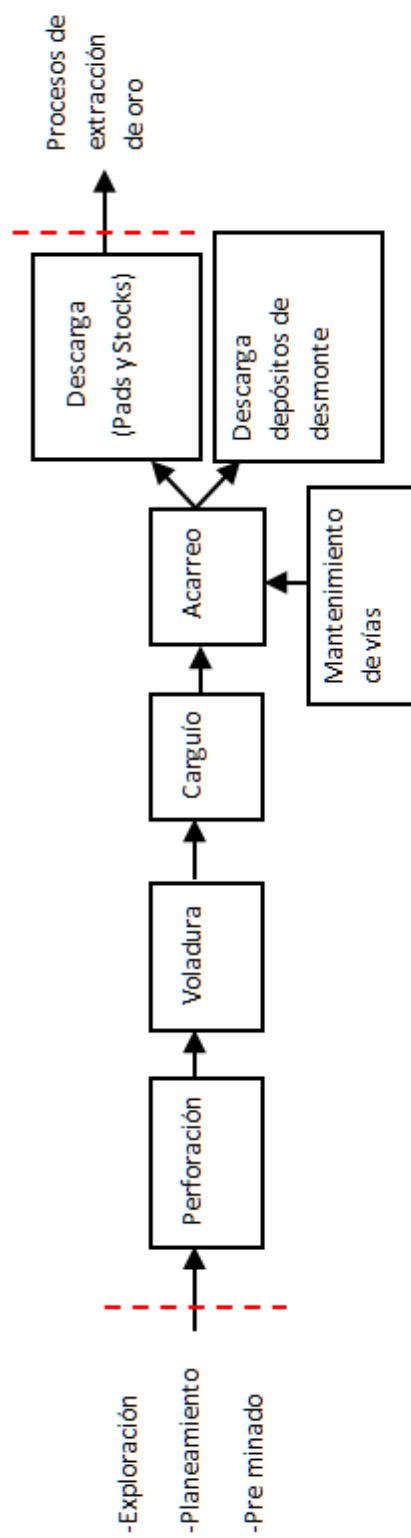


Figura 2.1 – Proceso Producción Operaciones Mina

2.1 Proceso Previo

Existen una serie de actividades previas al proceso productivo entre las cuales vamos a comentar la exploración, el planeamiento y el pre minado.

Las labores de exploración se realizan a nivel distrital y regional donde el equipo de exploraciones tiene como objetivo el descubrir las reservas de mineral para el futuro de la mina, y cumplirlas de acuerdo a los objetivos planteados por la corporación, así como producir al máximo para las reservas en Ore Control.

El departamento de Planeamiento de Minera Yanacocha, está dividido en 2 zonas de acuerdo a la distribución de tajos:

Este : Yanacocha, Chaquicocha y Maqui Maqui.

Oeste : La Quinua, El Tapado y Cerro Negro.

Cada grupo se conforma por: LTP (Planeamiento a Largo Plazo), MTP (Planeamiento a Mediano Plazo) y STP (Planeamiento a Corto Plazo), con soporte de las áreas de Geotecnia e Hidrogeología.

El pre minado de acuerdo a las evaluaciones de plazo y costo se realiza con flota menor utilizando volquetes de 50 toneladas, en caso de realizar el pre minado con flota gigante el costo incurrido se capitaliza hasta llegar a una determinada cantidad de onzas minadas.

2.2 Perforación

Es el primer paso para fragmentar la dura roca natural, en esta actividad las perforadoras (maquinas) hacen agujeros (taladros) de 7 7/8" hasta 10 5/8" de

diámetro y 10 a 12 metros de profundidad. En el área de perforación se hacen varios taladros uniformemente espaciados que conforman la malla de perforación.

En Minera Yanacocha se utiliza la perforación rotativa usando equipos *Atlas Copco PV 271*, *Ingersol Rand DML* y *Roc L8*. De acuerdo a la naturaleza del terreno y al tipo de malla a perforar (mallas de producción, procedimiento o pre corte) se selecciona la perforadora en base a la profundidad y ancho operativo de los equipos.

Para terrenos con presencia de material fino que dificultan la estabilidad de la perforadora se utilizan perforadoras *Ingersoll Rand DML*, debido a su dimensión que es más pequeña que las *Atlas Copco PV 271*. Esta particularidad se observa mayormente en el tajo La Quinoa debido a la naturaleza del yacimiento.

Las perforadoras utilizadas para la perforación del pre corte en paredes finales son las *Roc L8* debido a sus menores diámetros que son adecuados para generar fracturas en la roca de acuerdo al diseño de malla.

Los parámetros de medición de la performance de una guardia o de un operador se miden de acuerdo a distintos indicadores entre los cuales se mencionan la velocidad de penetración y la velocidad de perforación.

2.2.1 Velocidad de Penetración

Relaciona la profundidad del taladro con el tiempo que toma en llegar a esta profundidad, no considera el tiempo de traslado de un taladro a otro. Los reportes en tiempo real muestran el indicador por equipo lo que ayuda a identificar desviaciones y problemas de terreno. Este reporte se muestra en la figura 2.2.

2.2.2 Velocidad de Perforación

Relaciona la profundidad del taladro con el tiempo de penetración más el tiempo de traslado de un taladro a otro. En la figura 2.2 se aprecia la velocidad de perforación en tiempo real lo cual permite ayudar al supervisor a encontrar desviaciones en la calidad de los pisos.

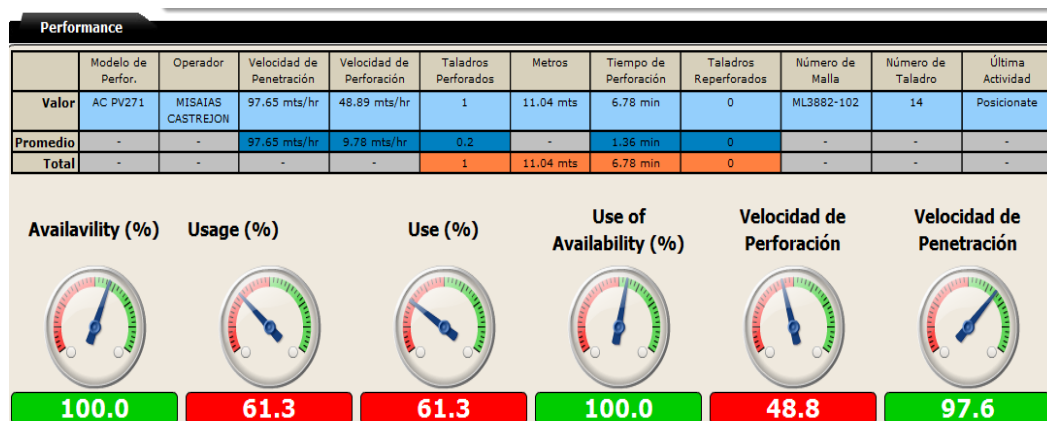


Figura 2.2 – Reporte en tiempo real de perforación

2.3 Voladura

En esta etapa se llenan los taladros vacíos con distintos agentes de voladura: ANFO, ANFO pesado e iremita, utilizando accesorios de voladura para detonar los agentes, generando una gran energía que logra fragmentar la roca. En el momento de la voladura todas las personas y equipos son evacuados del área a distancias seguras.

De acuerdo al tipo de alteración en la roca clasificamos la dureza de la roca lo que se muestra en la figura 2.3.

Dureza	Resistencia a la Compresión Uniaxial (Mpa)	Índice de Carga Puntual* (Mpa)	RMR**	Estimación en Terreno de la Resistencia	ROCAS EN MYSRL
Muy Duro	>100	>4	60 - 100	Un trozo de roca requiere varios golpes de martillo geológico para fracturarse.	SILICE MA SVA (YANACOCCHA SUR - PARTE BAJA)
Duro	50 - 100	2 - 4	40 - 60	Un trozo de roca requiere mas de un golpe con el martillo geológico para fracturarse	SILICA ALUNITA (YANACOCCHA) SILICE MA SVA (YANACOCCHA)
Medio	25 - 50	1 - 2	20 - 40	Un trozo de roca puede fracturarse con un único golpe de martillo geológico, pero no es posible descostrar la roca con un cuchillo.	***ARGILICO AVANZADO HANGINWALL (LA QUINUA) ***ARGILICO AVANZADO FOOTWALL (LA QUINUA) ***SILICA CLAY 1 (YANACOCCHA) SILICE GRANULARTIPO 2 (YANACOCCHA)
Suave	<25	<1	< 20	Un golpe con la punta del martillo geológico deja un indentación superficial. La roca puede ser descostrada con una navaja pero con dificultad.	SILICE GRANULARTIPO 3 (LA QUINUA)

Figura 2.3 – Clasificación de dureza en rocas

Debido a la naturaleza del yacimiento en la zona oeste (Tajos de La Quinua, Tapado y Tapado Oeste) donde existen mayor cantidad de finos la clasificación del terreno se muestra en la figura 2.4.

Dureza	Módulo de Elasticidad (Kg/cm ²)	SUELOS EN MYSRL
Duro	> 1000	FERRICRETA CONSOLIDADA GOSSAN
Medio	100 - 1000	FERRICRETA NO CONSOLIDADA SECUENCIA SUPERIOR DE GRAVAS SULPHIDES NON SULPHIDES
Suave	< 100	ARGILICO FINOS (PALEOSUELO - BEDDED FINES)

Figura 2.4 – Clasificación de dureza en suelos

Teniendo en cuenta las consideraciones de dureza mencionadas anteriormente y la cantidad de agua presente en las distintas locaciones se diseñan las mallas de perforación, la cantidad y el diseño de carga por locación las cuales se

muestran en la figura 2.5 (diseño para suelo de dureza suave), figura 2.6 (diseño para suelo de dureza media) y figura 2.7 (diseño para roca de dureza dura).

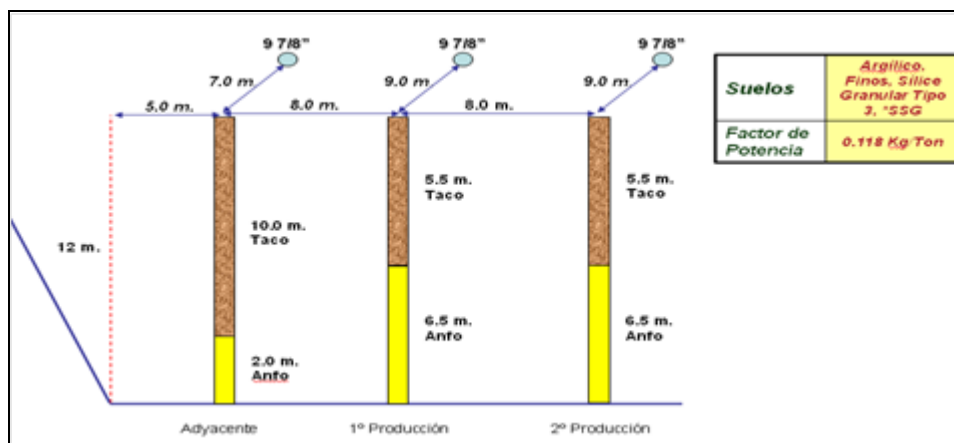


Figura 2.5 – Diseño para suelo de dureza suave

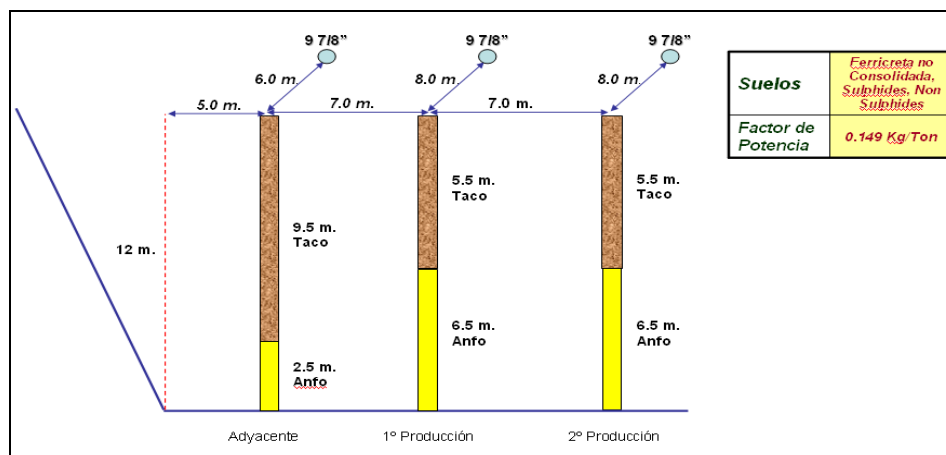


Figura 2.6 – Diseño para suelo de dureza media

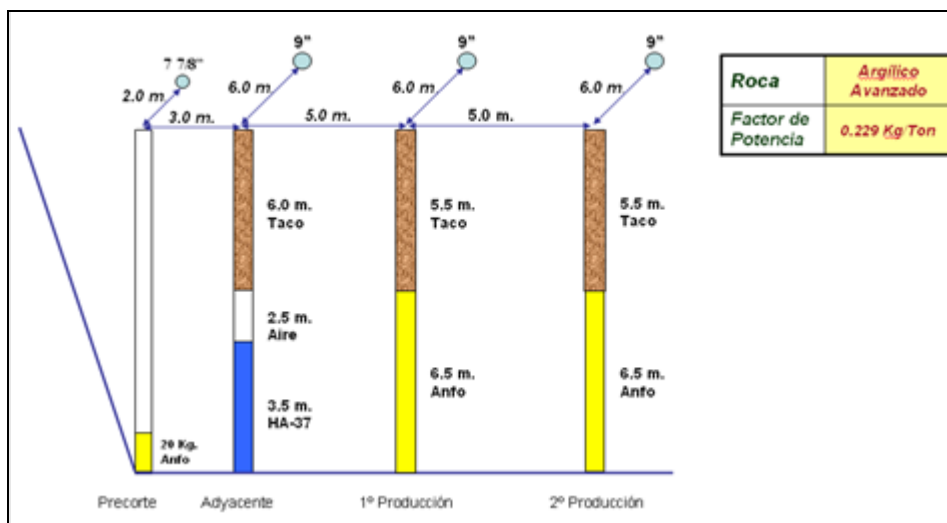


Figura 2.7 – Diseño para roca de dureza dura

Actualmente el proceso de voladura se encuentra tercerizado en su etapa de suministro de agentes de voladura y carguío de taladros. El diseño de mallas de perforación y la secuencia de la voladura la realiza personal de Minera Yanacocha.

2.4 Carguío

En esta etapa los equipos de carguío (Palas, Cargadores y Excavadoras) cargan sucesivamente sus cucharones con el material fragmentado por la voladura cargándolos en la tolva de los camiones hasta llenarlos adecuadamente. El material de mina es de dos clases principales:

- Mineral: material con contenido valioso de oro y plata.
- Desmonte: material sin contenido valioso.

Debido a la operación dinámica se utilizan equipos de carguío que consumen petróleo, en la operación se cuenta con los siguientes equipos:

- Palas Hitachi EX5500
- Excavadoras Hitachi EX2500

- Cargadores frontales Caterpillar 994
- Cargadores frontales Caterpillar 992

Los términos asociados a utilización de equipos y mejoras en el proceso de carguío se detallan en el capítulo III.

2.5 Acarreo

En esta etapa los camiones de mina llevan el material de la mina a las zonas de descarga transitando por las vías de acarreo, las distancias recorridas generalmente son de varios kilómetros (3 a 6 Km).

La descarga de los camiones se realiza de forma organizada cumpliendo procedimientos rigurosos destinados a salvaguardar la integridad de los trabajadores y equipos, esta puede ser de tres tipos principalmente:

- Descarga en canchas de Lixiviación.
- Descarga en stocks de Gold Mill.
- Descarga en depósitos de desmonte.

Los términos asociados a utilización de equipos y mejoras en el proceso de acarreo se detallan en el capítulo III.

2.6 Mantenimiento de Vías y Equipo Auxiliar

Todo el proceso de Carguío y Acarreo no sería 100% eficiente si no contara con el apoyo del adecuado equipo de soporte, tecnología y procesos óptimos. Como actividad complementaria tenemos la actividad de mantenimiento de vías la cual es un soporte a la operación cuya función principal es mantener en condiciones

óptimas las superficies de rodadura de las vías y accesos. Para el proceso de mantenimiento de vías y equipo de soporte se cuenta con los siguientes equipos:

- Tractores de orugas Caterpillar D10
- Tractores de orugas Caterpillar D11
- Tractores de ruedas Caterpillar 844
- Motoniveladoras Caterpillar 24H
- Motoniveladoras Caterpillar 16H
- Camiones cisterna para riego de vías Caterpillar 777
- Camiones cisterna para riego de vías Caterpillar 785
- Camabaja Tow haul con tracto de Caterpillar 793

Para el proceso de mantenimiento de vías se utilizan las motoniveladoras en el corte y limpieza en haul roads además de cisternas gigantes para el riego de vías por control de polvo.

El equipo de soporte utilizado para la limpieza de pisos de equipos de carguío son los tractores de ruedas mientras que los tractores de orugas se utilizan principalmente en la descarga de material, el camabaja se utiliza para transportar equipos de carguío, perforadoras y equipos auxiliares de un tajo a otro.

En la zona oeste de la mina donde se cuenta con mayor cantidad de finos, se utilizan geotextiles y geomallas en la base de los haul roads para evitar un desgaste prematuro en las vías por presencia de lluvias la instalación del geotextil se aprecia en la figura 2.8.



Figura 2.8 – Instalación de geotextil en vías de acarreo

CAPITULO III

PROCESO PRODUCTIVO CARGUÍO Y ACARREO

3.1 Términos asociados a utilización de equipos

Los términos de utilización de equipos están de acuerdo a la definición del fabricante de equipos.

3.1.1 Horas totales de equipo

Son el total de las 24 horas del día, los 365 días del año, es decir se consideran todos los estados del equipo, se consideran para cada equipo.

3.1.2 Horas disponibles de equipo

Son las horas en que el equipo está disponible para producir, a disposición de Operaciones Mina.

3.1.3 Horas de equipo malogrado

Son las horas en que el equipo no está disponible para producir, ya sea por reparación correctiva (No Programada) o preventiva (Mantenimiento Programado). Está a responsabilidad de Mantenimiento Mina.

3.1.4 Horas de equipo operativo (ready)

Son las horas en que el equipo está operativo y haciendo trabajo productivo (produciendo toneladas).

3.1.5 Demoras (delays)

Es el tiempo en que el equipo está operativo, pero no realizando trabajo productivo. Algunas demoras son:

- Limpieza de tolva
- Cambio de operador
- Cambio de guardia
- Relleno combustible
- Disparo
- Esperando instrucciones o supervisor
- Uso de servicios higiénicos (SSH)
- Revisión y chequeo

- Perfilando
- Esperando topógrafo
- Traslados por propios medios

3.1.6 Stand-by

Es el tiempo en que el equipo está disponible mecánicamente, pero apagado por consideraciones operativas. Ejemplos de paradas por stand-by son:

- Equipo parado por falta de equipo de acarreo
- Parada por condiciones inseguras
- Falta de frente
- Falta de grifo o cisterna
- Equipo listo en mantenimiento
- Falta de operador
- Refrigerio
- Traslado en cama baja

3.1.7 Disponibilidad Física

Es el porcentaje del tiempo total que el equipo está disponible para operaciones. Es una medida de la eficiencia de Mantenimiento.

3.1.8 Uso de la disponibilidad

El porcentaje de tiempo que el equipo está encendido, en producción o en demoras, respecto al tiempo que está disponible mecánicamente. Este parámetro involucra directamente a los Stand by.

$$\text{Uso de la disponibilidad} = \frac{\text{Horas operativas} + \text{Demoras}}{\text{Horas totales} - \text{Horas malogrado}}$$

Figura 3.1 – Uso de la disponibilidad

3.1.9 Uso del equipo

El porcentaje de tiempo en que el equipo está produciendo, respecto del total de tiempo en que está con el motor encendido. Este parámetro involucra directamente a las Demoras Operativas.

$$\text{Uso} = \frac{\text{Horas operativas}}{\text{Horas operativas} + \text{Demoras}}$$

Figura 3.2 – Uso del Equipo

3.1.10 Usage

El porcentaje de tiempo en que el equipo está produciendo, respecto del total de tiempo disponible mecánicamente. Es una medida de la eficiencia del aprovechamiento de los recursos por parte de Operaciones.

$$Usage = \frac{Horas\ operativas}{Horas\ operativas + Demoras + Horas\ de\ stand\ by}$$

Figura 3.3 – Usage de Equipos

3.1.11 Distancia equivalente horizontal (EFH)

Es la distancia horizontal que el camión podría recorrer en el mismo tiempo que le demanda sobre una pendiente ya sea positiva o negativa. Para el presente análisis utilizaremos la distancia equivalente horizontal cargado (EFH loaded) y la distancia equivalente horizontal vacío (EFH empty).

Como ejemplo calcularemos el EFH en la ruta mostrada en la figura 3.4 donde el cálculo del EFH para el primer tramo de la ruta se muestra en la figura 3.5.

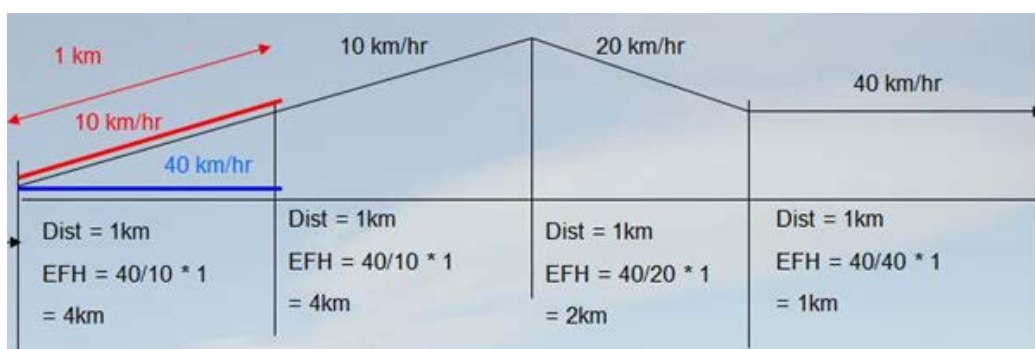


Figura 3.4 – Determinación del EFH en una ruta

$$EFH = X_{ruta} * \frac{V_{Horizontal}}{V_{ruta}} = 1km * \frac{40km/hr}{10km/hr} = 4km$$

Figura 3.5 – Determinación del EFH por tramos

De la figura 3.4 la distancia equivalente horizontal es de 11 kilómetros mientras que la distancia de la ruta es de 4 kilómetros, el cálculo considera tanto pendientes positivas como negativas.

3.2 Carguío

3.2.1 Cálculo de capacidad de carguío y su influencia en el balance de flota de acarreo

La capacidad de carguío se calcula en base a los parámetros de disponibilidad física, usage de equipos de carguío, productividad en toneladas por hora y el número de equipos en determinado periodo.

En base a estos datos se estima la producción para planes de minado el cual se muestra en la tabla 3.1, donde se aprecia que el cálculo de las toneladas y los parámetros involucrados en su cálculo.

Luego de obtener las toneladas para un determinado periodo utilizaremos este valor para el cálculo de camiones equiparando capacidades de carguío y acarreo, utilizamos como restricción la capacidad de carguío esto nos limitará la cantidad de flota de acarreo y en consecuencia el consumo de combustible.

Tabla 3.1 – Capacidad de carguío para un turno

	Cat 992G	Cat 994D	Cat 994F	Hit 2500	Hit 2500 - New	Hit 5500
# Equipos	2	2	1	2	2	4
Total Horas	24	24	12	24	24	48
% Disponibilidad Física	84%	84%	83%	87%	87%	84%
Horas Operativas	20	20	10	21	21	40
%Usage	62%	84%	85%	81%	81%	91%
Horas Ready	13	17	8	17	17	37
Tiempo carguío (min)	4	4	4	4.2	4.2	2.6
Tiempo cuadrado (min)	1	1	1	1	1	0.8
Tiempo espera (min)	1	1	1	1	1	1
Total Ciclo (min)	6	6	6	6.2	6.2	4.4
# Ciclos	125	169	85	164	164	499
Productividad	900	1,700	1,850	1,400	1,400	3,600
Producción por flota	11,260	28,659	15,699	23,655	23,655	131,837

Producción total 12 horas **234,764**

3.2.2 Análisis de sensibilidad de parámetros de Carguío

Procederemos a analizar la variabilidad de la capacidad de carguío y su impacto en la producción. Como línea base utilizaremos la producción estimada según presupuesto así como los parámetros de disponibilidad física, usage de equipos de carguío, productividad en toneladas por hora, el número de equipos y los parámetros del ciclo de carguío.

Hacemos variar estos parámetros en un porcentaje determinado y obtenemos el grafico de sensibilidad en la figura 3.6

Se observa que la variación del usage y disponibilidad física son los parámetros que afectan más a la capacidad de producción en forma directa, el tiempo de carguío (loading time) afecta la capacidad de carguío en mayor proporción de forma inversa.

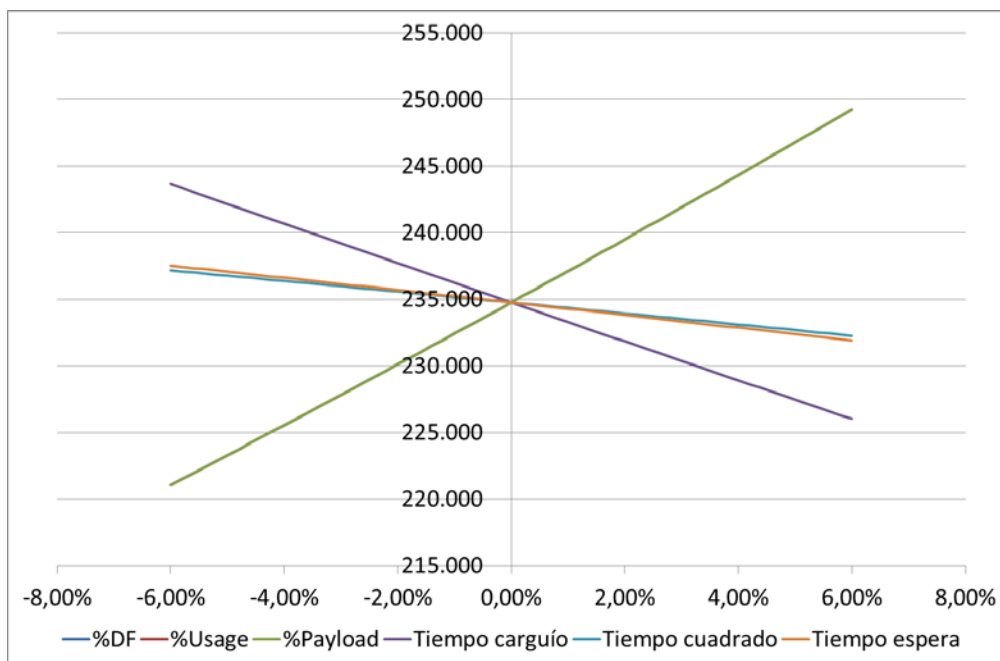


Figura 3.6 – Análisis de sensibilidad carguío

3.3 Acarreo

3.3.1 Cálculo de capacidad de acarreo

La capacidad de acarreo se calcula en base a los parámetros de disponibilidad física, usage de equipos de acarreo, productividad en toneladas por hora y el número de equipos en determinado periodo.

El resultado de la capacidad de acarreo es similar en toneladas a la capacidad de carguío determinada anteriormente, este balance se ve afectado por variaciones en las condiciones de frentes de minado que afectan el usage de los equipos de carguío, lo que varía la cantidad requerida de camiones de acarreo. Se detalla el cálculo de la capacidad de acarreo en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 - Capacidad de acarreo para un turno

	Cat 785C	Cat 793C	Cat 793D	Cat 793F
# Equipos	10	30	24	1
Total Horas	120	360	288	12
% Disponibilidad Física	86.09%	87.3%	87.4%	55.9%
Horas Operativas	103	314	252	7
%Usage	93.6%	94.5%	94.1%	94.1%
Horas Ready	97	297	237	6
Loading Time (min)	2.56	3.87	3.87	3.87
Tiempo cuadrado (min)	1.00	1.00	1.00	1.00
Tiempo descarga (min)	1.20	1.30	1.30	1.30
Viajando cargado (min)	21.09	18.14	17.59	17.59
Viajando vacío (min)	8.18	10.08	9.24	9.24
Ciclo sin queue (min)	34.02	34.39	33.00	33.00
Queue (min)	2.5	2.5	2.5	2.5
Ciclo total (min)	36.5	36.9	35.5	35.5
Velocidad cargado (Km/hr)	15.3	17.8	18.4	18.4
Velocidad vacío (Km/hr)	23.9	27.8	28.7	28.7
EFH cargado (Km)	10.8	10.8	10.8	10.8
EFH vacío (Km)	3.3	4.7	4.4	4.4
Payload Factor	100%	100%	100%	100%
Payload Final	145	234	238	238
# Viajes	159	483	400	11
Productividad	237.4	380.6	402.2	402.2
Producción por flota	22,953	113,077	95,258	2,537

Producción total 12 horas

233,826

3.3.2 Análisis de sensibilidad de parámetros de Acarreo

Analizamos la variabilidad de la capacidad de acarreo, utilizando parámetros de usage, disponibilidad física y las actividades del ciclo de acarreo el cual se muestran en la tabla 3.2.

Hacemos variar estos parámetros en un porcentaje determinado y obtenemos el grafico de sensibilidad en figura 3.7.

La variación del usage, carga útil (payload) y disponibilidad física son los parámetros que afectan más a la capacidad de acarreo en forma directamente proporcional, de forma inversa lo hace el Queue y la distancia equivalente cargado (EFH cargado) en mayor proporción.

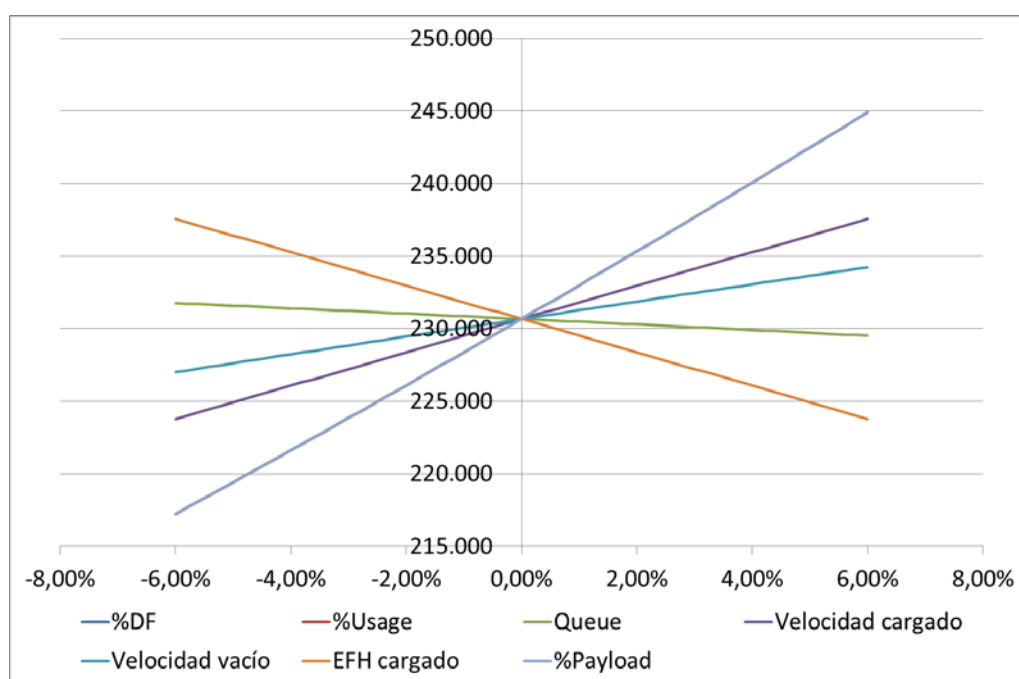


Figura 3.7 – Análisis de sensibilidad acarreo

3.4 Capacidad de Producción por turno

Las metas de producción estimadas o presupuestadas en el día a día pueden variar con las condiciones climáticas, incremento en productividad y reducción de distancias. La capacidad de producción como observamos debe estar balanceada por la capacidad de carguío y la capacidad de acarreo.

3.4.1 Principales variables involucradas en la producción

Luego de los resultados obtenidos en los análisis de sensibilidad las variables más representativas e influencia en forma directa durante el turno de doce horas son:

- Disponibilidad Física
- %Usage
- Payload

En forma inversamente proporcional tenemos las variables que están relacionadas a condiciones de la operación y estados o actividades de los equipos de carguío ó acarreo:

- EFH (distancia equivalente acarreo)
- Queue (acarreo)
- Tiempo de carguío (carguío)

3.4.2 Limitantes del balance de flota carguío y acarreo

Principalmente se dan por condiciones de áreas de carguío y accesos a zonas de descarga, las cuales se ven afectadas por presencia de lluvias, estas condiciones obligan a invertir mayores recursos tanto en material importado para mejorar el piso de los equipos de carguío como horas de equipo auxiliar para la conformación de la reparación de estas áreas. Esto obliga a tener demoras por reparación y en consecuencia el usage disminuye tanto de carguío como de acarreo.

Esta variación hace que el sistema de despacho recalculé el requerimiento de camiones, lo cual afecta en las horas que recorre la flota de acarreo y en consecuencia existe una variación significativa del consumo de combustible. Las demoras operativas de inicio de turno y el cambio de operador muestran un perfil de producción con picos y caídas como se muestra en la figura 3.8.



Figura 3.8 – Variación de la producción durante el turno

Al igual que las condiciones de terreno, la variación en las demoras afecta directamente al usage y el requerimiento de flota de acarreo.

3.4.3 Métodos de optimización de la producción

Reducción de demoras, mediante facilidades de cambio de guardia las cuales permiten un reducir los tiempos por cambio de operador y no parar los equipos de acarreo, en caso que parquear los camiones para el periodo de refrigerio esto equivale a 35 horas por turno con una flota de 55 camiones Caterpillar 793.

Abastecimientos de combustible a equipos de carguío durante el cambio de turno, disparos a inicio de turno; ambas opciones permiten reducir las demoras operativas e incrementar el usage de equipos.

Reducción de distancias de acarreo, tanto en el planeamiento de minado como en campo mediante shortcut's, la reducción de un kilómetro en distancia cargado equivalente (EFH Loaded) puede significar un incremento de 6,000 toneladas de producción por turno con una flota de 55 camiones Caterpillar 793.

CAPITULO IV
VARIABLES INVOLUCRADAS EN EL RATIO DE CONSUMO EN PETROLEO EN
CAMIONES

4.1 Fundamento teórico

La necesidad de presupuestar el consumo de combustible para camiones se sustenta en la variación en galones observada durante el año 2011. Existen especificaciones técnicas de consumo que provee el fabricante de los equipos de acarreo, las cuales son rangos de consumo en galones por hora cuya variación se sustenta en las condiciones de terreno, accesos a frentes de carguío y condiciones de vías.

En los presupuestos operativos se cuenta con la información de horas de acarreo por flota en forma mensual y anual, las cuales se asocian al ratio de consumo en petróleo en camiones (burn rate) para estimar cantidad de galones en periodos determinados. Estimaciones anteriores sólo consideraban promedios de consumo los cuales no se veían afectados por parámetros operativos.

En el capítulo anterior evaluamos el impacto de la variación de indicadores de estados así como de actividades del ciclo de acarreo, en este capítulo procederemos a determinar correlaciones entre estas variables y el consumo de combustible de camiones gigantes.

4.1.1 Análisis dimensional

La data de ingreso para la variable de ratio de consumo en petróleo en camiones o burn rate son galones de combustible por hora.

$$\text{Galones} = L^3$$

$$\text{Hora} = T$$

$$\text{Ratio de consumo en petróleo en camiones} = L^3T^{-1}$$

Las variables operativas que vamos a relacionar con el consumo de combustible deben estar dimensionalmente igual a la ecuación del consumo en galones por hora de diésel.

4.1.2 Especificaciones técnicas por modelo de flota

Las flotas analizadas corresponden a camiones Caterpillar 785, Caterpillar 793. Respecto a las aplicaciones de trabajo a las cuales se somete a los camiones el fabricante especifica tres condiciones para el consumo horario de combustible:

- Bajo: funcionamiento continuo a un peso bruto medio menor del recomendado. Caminos de acarreo excelentes. Sin sobrecarga, factor de carga bajo.
- Media: funcionamiento continuo al peso bruto medio cerca del recomendado. Caminos de acarreo en buen estado. Sobrecarga mínima, factor moderado de carga.
- Alto: Operación continua en o sobre el peso bruto máximo recomendado. Sobrecarga, caminos de acarreo difíciles, alto factor de carga.

De acuerdo a las condiciones detalladas, el fabricante especifica el rango de ratios de consumo en petróleo en camiones para distintas flotas de acarreo los cuales se detallan en la tabla 4.1.

Tabla 4.1 – Consumos de combustible en galones / hora según Caterpillar

OFF HIGHWAY TRUCKS						
Model	Low		Medium		High	
	liter	U.S. gal	liter	U.S. gal	liter	U.S. gal
770	20.4-30.6	5.4-8.1	30.6-40.8	8.1-10.8	40.8-51.0	10.8-13.5
770G	18.3-27.5	4.8-7.3	27.5-36.6	7.3-9.7	36.6-45.8	9.7-12.1
772	23.6-35.3	6.2-9.3	35.3-47.1	9.3-12.4	47.1-58.9	12.4-15.6
772G	22.0-32.9	5.8-8.7	32.9-43.9	8.7-11.6	43.9-54.9	11.6-14.5
773E	27.4-41.2	7.2-10.9	41.2-54.9	10.9-14.5	54.9-68.6	14.5-18.1
773G	29.0-43.5	7.7-11.5	43.5-58.0	11.5-15.3	58.0-72.5	15.3-19.2
773G Tier 4f	29.0-43.5	7.7-11.5	43.5-58.1	11.5-15.4	58.1-72.6	15.4-19.2
775G	30.9-46.3	8.2-12.2	46.3-61.7	12.2-16.3	61.7-77.1	16.3-20.4
775G Tier 4f	30.9-46.4	8.2-12.3	46.4-61.9	12.3-16.4	61.9-77.4	16.4-20.4
777D	37.5-56.3	9.9-14.9	56.3-75.0	14.9-19.8	75.0-93.8	19.8-24.8
777G	37.5-56.2	9.9-14.8	56.2-75.0	14.8-19.8	75.0-93.7	19.8-24.8
777G Tier 4f	38.7-58.0	10.2-15.3	58.0-77.4	15.3-20.4	77.4-96.7	20.4-25.5
785C	53.7-80.6	14.2-21.3	80.6-107.5	21.3-28.4	107.5-134.4	28.4-35.5
785D	54.2-81.4	14.3-21.5	81.4-108.5	21.5-28.7	108.5-135.6	28.7-35.8
789C	70.6-105.9	18.7-28.0	105.9-141.2	28.0-37.3	141.2-176.5	37.3-46.6
793D	90.8-136.2	24.0-36.0	136.2-181.6	36.0-48.0	181.6-227.0	48.0-60.0
793F	96.7-145.0	25.5-38.3	145.0-193.3	38.3-51.1	193.3-241.7	51.1-63.9
793F HAA	90.7-136.0	24.0-35.9	136.0-181.4	35.9-47.9	181.4-226.7	47.9-59.9
795F	123.3-184.9	32.6-48.9	184.9-246.6	48.9-65.2	246.6-308.2	65.2-81.4
797F	146.8-220.3	38.8-58.2	220.3-293.7	58.2-77.6	293.7-367.1	77.6-97.0
797F HAA	147.9-221.8	39.1-58.6	221.8-295.8	58.6-78.2	295.8-369.7	78.2-97.7

NOTE: Load factors above 50% may be experienced in many applications.

4.2 Comportamiento estadístico de variables de acarreo

De acuerdo a los análisis de sensibilidad revisados en el capítulo III, procederemos a evaluar los parámetros más representativos asociados al acarreo.

Se detalla en la tabla 4.2 el análisis descriptivo de la distancia equivalente cargado (EFH loaded) para la flota Caterpillar 785, durante el periodo 2010 – 2011. Así como la pendiente promedio que proviene de la división de la distancia equivalente cargado entre la distancia horizontal en la tabla 4.3 para la flota Caterpillar 785.

Del análisis de sensibilidad descrito en el capítulo III se toma en consideración la distancia equivalente cargado para el análisis como se muestra en la tabla 3.2 el tiempo que recorren los camiones cargados representan casi el 70% del tiempo sólo de acarreo (cargado y vacío).

Tabla 4.2 – Distancia equivalente cargado Caterpillar 785

<i>EFH Loaded Cat 785</i>	
Mean	10.36
Standard Error	0.09
Median	10.72
Standard Deviation	2.05
Sample Variance	4.20
Kurtosis	-0.19
Skewness	-0.42
Range	11.20
Minimum	4.23
Maximum	15.43
Sum	5,823
Count	562

Tabla 4.3 – Pendiente Caterpillar 785

<i>Pendiente Cat 785</i>	
Mean	2.07
Standard Error	0.00
Median	2.07
Standard Deviation	0.09
Sample Variance	0.01
Kurtosis	-0.40
Skewness	-0.15
Range	0.45
Minimum	1.85
Maximum	2.29
Sum	1,164
Count	562

Se detalla en la tabla 4.4 el análisis descriptivo de la distancia equivalente cargado (EFH loaded) para la flota Caterpillar 793, durante el periodo 2010 – 2011. Así como la pendiente promedio que proviene de la división de la distancia equivalente entre la distancia horizontal en la tabla 4.5 para la flota Caterpillar 793.

Tabla 4.4 – Distancia equivalente cargado Caterpillar 793

<i>EFH Loaded Cat 793</i>	
Mean	14.65
Standard Error	0.06
Median	14.67
Standard Deviation	1.63
Sample Variance	2.65
Kurtosis	-0.73
Skewness	0.09
Range	7.64
Minimum	11.22
Maximum	18.86
Sum	10,079
Count	688

Tabla 4.5 – Pendiente Caterpillar 793

<i>Pendiente Cat 793</i>	
Mean	2.21
Standard Error	0.00
Median	2.22
Standard Deviation	0.10
Sample Variance	0.01
Kurtosis	-1.02
Skewness	-0.26
Range	0.43
Minimum	1.97
Maximum	2.40
Sum	1,520
Count	688

4.2.1 Análisis de correlación entre las variables según data histórica

Para tener una ecuación dimensionalmente equivalente al ratio de consumo de combustible, relacionamos la capacidad por flota en galones de combustible, las distancias equivalentes, velocidad por tramo cargado y vacío, pendiente promedio por equipo y las horas incurridas en periodos mensuales. Ajustamos los valores de capacidad en galones sobre las horas promedio del ciclo del camión la cual definimos como la variable 1 como se muestra en la figura 4.1.

$$X1 = \text{Log} \left(\frac{\text{Capacidad}}{\frac{\text{EFH cargado}}{\text{Velocidad Cargado}} + \frac{\text{EFH vacío}}{\text{Velocidad vacío}}} \right)$$

Figura 4.1 – Variable 01 de consumo de combustible

Se define a la pendiente definida como la relación entre la distancia equivalente cargado y la distancia horizontal como la variable 2, esta variable se muestra en la figura 4.2.

$$X2 = \left(\frac{EFHcargado}{distancia\ horizontal} \right)$$

Figura 4.2 – Variable 02 de consumo de combustible

Por ser la variable 2 adimensional, la variable 1 cumple con la relación del Ratio de Consumo en petróleo en camiones = L^3T^{-1} .

Resultado de estos análisis de correlación obtenemos los datos para la flota Caterpillar 785 en la tabla 4.6. y en la tabla 4.7 los datos para la flota Caterpillar 793.

Tabla 4.6 – Análisis de correlación Caterpillar 785

SUMMARY OUTPUT								
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0.73							
R Square	0.53							
Adjusted R Square	0.53							
Standard Error	1.70							
Observations	562							
<i>ANOVA</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	2	1817.13	908.56	314.52	3.05767E-92			
Residual	559	1614.78	2.89					
Total	561	3431.90						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	46.092	3.399	13.560	0.000	39.415	52.769	39.415	52.769
X Variable 1	-13.632	0.857	-15.901	0.000	-15.316	-11.948	-15.316	-11.948
X Variable 2	11.476	0.813	14.117	0.000	9.879	13.073	9.879	13.073

Tabla 4.7 – Análisis de correlación Caterpillar 793

SUMMARY OUTPUT								
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0.62							
R Square	0.39							
Adjusted R Square	0.39							
Standard Error	1.67							
Observations	688							
<i>ANOVA</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	2	1224.97	612.48	219.30	2.45068E-74			
Residual	685	1913.13	2.79					
Total	687	3138.10						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	12.520	4.968	2.520	0.012	2.766	22.273	2.766	22.273
X Variable 1	1.879	1.154	1.628	0.104	-0.387	4.144	-0.387	4.144
X Variable 2	14.110	0.812	17.375	0.000	12.515	15.704	12.515	15.704

4.2.2 Determinación de tendencias y ecuación de comportamiento del ratio de consumo en petróleo en camiones

La relación inversa que se observa entre el ratio de consumo en petróleo en camiones, la distancia equivalente cargado (EFH cargado) y la pendiente de los camiones en determinados periodos nos lleva a relacionar estas variables al consumo de combustible; tenemos comportamientos distintos en una misma flota ya sea por asignaciones fijas de origen – destino de acarreo o por tener una operación dinámica con distintos frentes de carguío.

De acuerdo a los análisis de regresión entre las variables anteriormente descritas tenemos la siguiente ecuación de ratio de consumo de combustible para la flota Caterpillar 785, en función a distancias equivalentes tanto cargado como vacío, velocidad cargado, velocidad vacío y pendiente recorrida cargada en la figura 4.3.

$$\begin{aligned} \text{Ratio Cat 785} = & 46.09 - 13.63 \text{ Log} \left(\frac{\text{Capacidad}}{\frac{\text{EFH cargado}}{\text{Velocidad Cargado}} + \frac{\text{EFH vacío}}{\text{Velocidad vacío}}} \right) \\ & + 11.48 \left(\frac{\text{EFH cargado}}{\text{distancia horizontal}} \right) \end{aligned}$$

Figura 4.3 – Ratio de consumo de combustible Caterpillar 785

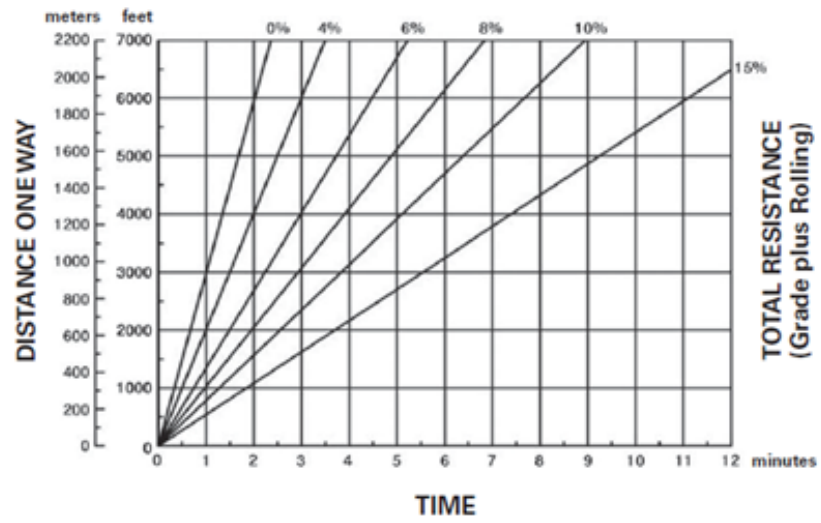
De igual forma para la flota Caterpillar 793 obtenemos la ecuación del ratio de consumo de combustible en la figura 4.4.

$$\begin{aligned} \text{Ratio Cat 793} = & 12.52 + 1.88 \text{ Log} \left(\frac{\text{Capacidad}}{\frac{\text{EFH cargado}}{\text{Velocidad Cargado}} + \frac{\text{EFH vacío}}{\text{Velocidad vacío}}} \right) \\ & + 14.11 \left(\frac{\text{EFH cargado}}{\text{distancia horizontal}} \right) \end{aligned}$$

Figura 4.4 – Ratio de consumo de combustible Caterpillar 793

La resistencia total (pendiente más rodadura) proporcionada en el manual del fabricante se muestra en la figura 4.5, donde se observa que las variables de la resistencia total, están consideradas en los cálculos descritos en este capítulo, debido a que en este análisis se tomó en cuenta el acarreo en varios tajos se tiene una restricción con el dato de resistencia a la rodadura de vías.

LOADED



EMPTY

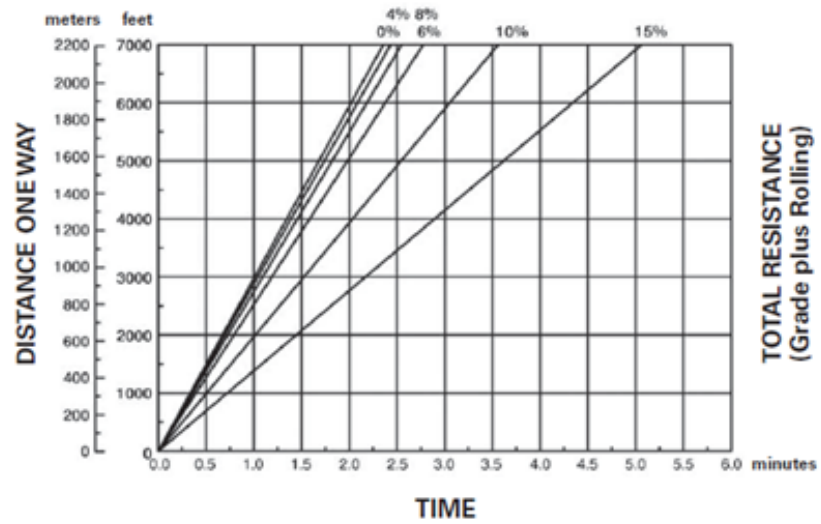


Figura 4.5 – Resistencia total cargado y vacío Caterpillar 793D

CAPITULO V

APLICACIONES, ESTIMACIÓN Y CONTROL DE CONSUMO

5.1 Impacto del consumo del diésel en el costo operativo.

Según la figura 5.1 de distribución de costos, el diésel consumido de camiones representa el 72% del costo operativo total para acarreo (costo labor, materiales y servicios contratados, sin considerar costo de mantenimiento) a su vez este consumo de combustible representa el 35% del costo operativo de Mina (Operaciones y Mantenimiento). Los costos de llantas bajos obedecen a vida de llantas superiores a 6,800 horas en la flota Caterpillar 793.

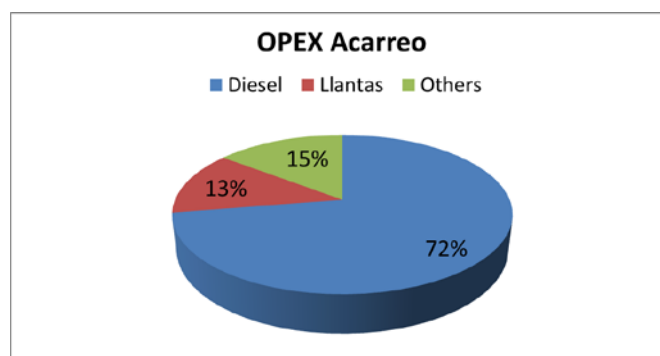


Figura 5.1 – Distribución de costo para acarreo

5.2 Impacto financiero del ratio de consumo en petróleo en camiones

En la evaluación de nuevos proyectos o expansiones de tajo se consideran costos horarios de acarreo constantes lo cual puede ajustarse de acuerdo a las relaciones que existen entre el consumo de combustible y los perfiles de acarreo, estas estimaciones se utilizaron para determinar el costo operativo en la expansión del tajo Tapado Oeste donde el perfil de acarreo se incrementa de 13 kilómetros hasta 21 kilómetros en distancia equivalente cargada.

En tabla 5.1 se muestra el costo operativo asumiendo costos horarios constantes, se aprecia la diferencia con costos operativos de la tabla 5.2 donde el costo operativo es función de los perfiles de acarreo.

Tabla 5.1 – Cálculo consumo de combustible ratios constantes

	ene-14	feb-14	mar-14	abr-14	may-14	jun-14
Horas Cat 793	32,435	29,325	32,639	31,947	33,370	32,478
Burn Rate (galones por hora)	47	47	47	47	47	47
Precio Diesel por galón	4.05	4.05	4.05	4.05	4.05	4.05
\$ totales	6,173,913	5,582,056	6,212,892	6,081,134	6,352,000	6,182,096

\$ totales **36,584,091**

Tabla 5.2 – Cálculo consumo de combustible ratios variables

	ene-14	feb-14	mar-14	abr-14	may-14	jun-14
Horas Cat 793	32,435	29,325	32,639	31,947	33,370	32,478
EFH cargado	11.9	12.6	13.0	14.4	14.3	14.9
EFH vacío	5.6	6.0	7.1	7.9	8.1	8.4
Velocidad cargado	13.1	12.9	13.0	14.6	15.3	16.8
Velocidad vacío	20.5	20.2	20.3	22.9	23.9	26.4
Distancia	4.5	4.8	4.8	5.3	5.4	5.7
Burn Rate (galones por hora)	47.94	47.75	49.68	49.83	49.33	48.94
Precio Diesel por galón	4.05	4.05	4.05	4.05	4.05	4.05
\$ totales	6,297,696	5,670,706	6,567,302	6,447,279	6,667,172	6,437,422

\$ totales **38,087,578**

Para un periodo de 6 meses la variación en dólares es cerca de 2 millones de dólares, para una flota estimada de 55 camiones Caterpillar 793, por lo que se hace necesario utilizar estimaciones de consumo de diésel basados en perfiles de acarreo.

5.3 Cuadros de control de consumo de combustible

En base a las estimaciones de consumo de diésel por flota construimos cuadros de control los cuales tendrán como finalidad analizar desviaciones al consumo propuesto. Como se aprecia durante el año 2013 tenemos el consumo dentro de lo estimado en la tabla 5.3.

Durante el 2013 se tuvieron ratios de consumo cercanos a valores altos según el fabricante, considerando que la mayor parte de los ciclos de acarreo se dieron en la zona oeste donde la calidad de las vías se vio afectada por la presencia de lluvias y la naturaleza del yacimiento que contiene alta cantidad de finos.

Además durante este periodo la carga útil de los camiones fue de 103% respecto a su capacidad nominal.

Tabla 5.3 – Comparación de consumo versus estimación del consumo 2013

	ene-13	feb-13	mar-13	abr-13	may-13	jun-13	jul-13	ago-13
Horas Cat 793	32,494	28,755	31,582	31,296	31,663	31,656	33,231	32,674
EFH cargado	9.2	9.4	8.7	7.4	6.6	6.1	7.5	8.2
EFH vacío	5.4	5.4	5.2	4.4	4.1	3.6	4.0	4.5
Velocidad cargado	14.9	14.9	14.0	13.6	13.8	13.8	13.9	14.7
Velocidad vacío	21.7	20.5	18.8	18.5	18.5	19.4	20.9	21.8
Distancia	4.0	4.0	3.8	3.2	2.9	2.7	3.0	3.4
Burn Rate (galones por hora)	45.89	46.28	45.75	46.57	45.76	45.98	48.01	46.80
Galones estimados	1,491,277	1,330,772	1,444,813	1,457,535	1,448,880	1,455,679	1,595,376	1,529,267
Galones reales	1,555,152	1,269,710	1,394,960	1,537,625	1,366,331	1,449,426	1,583,042	1,508,567
desviación	4.28%	-4.59%	-3.45%	5.49%	-5.70%	-0.43%	-0.77%	-1.35%

CONCLUSIONES

1. El consumo de combustible debe estimarse con respecto a los perfiles de acarreo, la velocidad del camión y la pendiente de la ruta de acarreo por locación o tajo.
2. En época de lluvia la desviación por condiciones es mayor lo que disminuye en época seca debido a que los ciclos de acarreo son más estables.
3. La determinación de ratios de consumo elevados superiores a 48 galones por hora en proyectos de ampliación puede significar un perfil de acarreo con pendientes muy elevadas lo que podría evitarse con un diseño de vías de acarreo donde la distancia equivalente no sea muy elevado con respecto a la distancia horizontal.
4. Llevar una base de datos ordenada por consumo a nivel de equipo permitirá comparar consumos presupuestados con consumos reales además de poseer una herramienta para estimar costos operativos para proyectos futuros.

5. Debido a la cantidad de tajos a diferentes alturas la estimación realizada se podría aplicar en otras operaciones a tajo abierto.

RECOMENDACIONES

1. En la evaluación del ratio de consumo de combustible no se diferencié el consumo por tajo, se recomienda restringir ciertos equipos o flotas por tajos para el seguimiento del ratio de consumo.
2. Utilizar esta herramienta para evaluación de proyectos con alta variación de perfiles de acarreo para estimar un costo operativo que no dependa únicamente de las horas de acarreo.
3. Se recomienda utilizar el análisis realizado que sirve como línea base para futuras mejoras tales como utilización de aditivos que puedan mejorar el rendimiento en galones por hora de los camiones de acarreo.
4. Llevar un adecuado control del consumo por parte del área de Logística de evitar desviaciones que no se sustenten en condiciones operativas.

BIBLIOGRAFÍA

1. CATERPILLAR INC. Manual de rendimiento Caterpillar. Edición 2012, Peoria Illinois EEUU.
2. HINES, W., MONTGOMERY, D., GOLDSMAN, D., BORROR, C. Probabilidad y estadística para ingeniería. Cuarta Edición, Editorial CECSA.