

## **Análisis del consumo de combustible y del índice de desgaste de los neumáticos de los equipos mineros**

### *Analysis of fuel and index tire wear miners equipment*

Marlo Leyva-Tarafa<sup>1</sup>, Armando Cuesta-Recio<sup>2</sup>, Orlando Belete-Fuentes<sup>3</sup>, José Alayo-LLoren<sup>4</sup>

#### **RESUMEN**

El trabajo se realizó en una Mina perteneciente al Grupo Empresarial Cubaníquel, Holguín, Cuba, con el objetivo de determinar los índices de consumo de combustible y desgastes de neumáticos respectivamente de los camiones y excavadoras; se estructuró en dos partes: en la primera se hizo un análisis del consumo del combustible de los camiones y en la segunda parte se estudió este consumo en las retroexcavadoras. Además se determinó el índice de desgaste de los neumáticos de los camiones. Se evaluó el consumo unitario de la potencia generada. Como resultado final se obtuvo un índice de combustible de 31,73 l/h y 47,6 l/h para camiones y retroexcavadoras respectivamente; superior al reportado actualmente de 25 l/h, como promedio, debiendo adoptarse las comprobaciones pertinentes para su ajuste. El índice de desgaste de los neumáticos durante la explotación de los camiones fue de 163 h/mm, lo que se considera pequeño.

**Palabras claves:** consumo, explotación, eficiencia, combustible, máquina minera, desgaste de neumático.

#### **ABSTRACT:**

The work was done in a mine belonging to the Business Group Cubaníquel, Havana, Cuba, in order to determine the rates of fuel consumption and tire wear respectively of trucks and excavators; It was divided into two parts: the first was an analysis of the fuel consumption of trucks and in the second part of this consumption was studied in backhoes. In addition the rate of tire wear was determined trucks. The unit consumption of the power generated was evaluated. As a final result of a fuel index 31, 73 l/h and 47, 6 l/h for trucks and backhoes respectively it was obtained; currently reported above 25 l/h, on average, having the necessary checks for adjustment adopted. The rate of tire wear during operation of the trucks was 163 h / mm, which is considered small.

**Key words:** consumption, operation, efficiency, fuel, mining machine tire wear.

Recibido 14 de febrero del 2018; revisión aceptada 10 de marzo 2019

<sup>1</sup> Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Cuba. [mltarafa@ismm.edu.cu](mailto:mltarafa@ismm.edu.cu)

<sup>2</sup> Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Cuba. [acuesta@ismm.edu.cu](mailto:acuesta@ismm.edu.cu)

<sup>3</sup> Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Cuba. [obelete@ismm.edu.cu](mailto:obelete@ismm.edu.cu)

<sup>4</sup> Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Cuba. [jalayo@ismm.edu.cu](mailto:jalayo@ismm.edu.cu)

## INTRODUCCIÓN

Entre los aspectos más importantes en las explotaciones mineras se encuentran las técnicas empleadas en las actividades de extracción, acarreo y transportación de la masa minera, dentro de las que se hallan equipos como las excavadoras hidráulicas y de cables además de los camiones. La eficiencia de estas actividades depende de varios indicadores dentro de los que se encuentran el consumo de combustibles, aceites y lubricantes además del desgaste de los neumáticos en los camiones. Es por ello que en este trabajo se realiza un análisis del comportamiento de estos indicadores en el conjunto excavadora – camión.

Las excavadoras Volvo EC 650 empleadas para el destape y extracción de mineral son los equipos que inician ambas actividades, las que concluyen con el traslado y descarga de la masa minera transportada por los camiones Volvo A40D hasta los depósitos o escombreras donde los topadores frontales (buldócer) apilan el mineral.

Debido al predominio de los equipos antes mencionados, este análisis estará basado en la explotación de las retroexcavadoras y camiones, enfatizando en los parámetros de explotación y e índices de fiabilidad.

De forma general los índices de disponibilidad y fiabilidad de los equipos dependen de la eficiencia en la explotación de los mismos, esta explotación depende de los parámetros técnicos de la maquinaria y la relación que existe entre el sistema de mantenimiento y las operaciones que realizan los operadores. Autores como [1, 2], e investigadores como [2-9] han realizado trabajos sobre la importancia del mantenimiento del equipamiento minero, pero no analizan la productividad de estos equipos como parámetro dependiente de la disponibilidad técnica y de los tiempos improductivos durante el mantenimiento, tampoco consideran el índice de consumo de combustible de los camiones y retroexcavadoras. La mayoría de los autores se limitan al análisis de la disponibilidad técnica resultado de un efectivo mantenimiento, pero no llegan a correlacionarlo con fluctuación la productividad y eficiencia como consecuencia de estos, es por eso que el objetivo de esta investigación es determinar los índices de consumo de combustible, lubricantes y desgastes de neumáticos de las excavadoras y camiones respectivamente como indicadores que indiquen en la eficiencia y productividad de estos equipos.

## METODOLOGÍA

### a) Consumo de combustible de los camiones y retroexcavadoras

#### **Determinación del consumo del combustible de los camiones Volvo A40D:**

El índice de consumo de combustible por hora de los equipos, se obtuvo de la formulación:

$$I = \frac{C_c}{h_t}, [l/h] \quad (1)$$

Dónde:

$C_c$ : Consumo de combustible (l)

$h_t$ : Horas de trabajo (h)

Para la determinación del índice se analizó el 70 % de los camiones y excavadoras en operaciones efectuando un grupo de tareas en el orden siguiente de ejecución:

1. medición de la capacidad del tanque;
2. cantidad de combustible una vez habilitado;
3. longitud del recorrido de los camiones y la pendiente máxima y mínima por horas de trabajo de las excavadoras;
4. mediciones complementarias del combustible al inicio y al finalizar el turno.

Para disminuir posibles errores se efectúa una medición una vez habilitado el equipo al inicio del turno y otra final al concluir el turno, haciéndose estas en el mismo lugar. La cantidad de combustible se registró a partir de sensores instalados como modo de comprobación.

El manual del fabricante indica que estos camiones tienen un consumo de 23 a 40 litros por hora para condiciones normales de trabajo; según nuestra experiencia, sobre este consumo influyen una serie de factores dentro de los que se pueden destacar los siguientes:

1. distancia de tiro.
2. irregularidad de la superficie del vial.
3. topografía del terreno.
4. métodos de operación.
5. calidad del combustible.

### **Consumo de combustible de las retroexcavadoras Volvo EC 650**

Las mediciones del combustible se realizaron en lugares horizontales para evitar errores de medición en las máquinas.

Luego de haber habilitado la máquina una vez iniciada la jornada de trabajo y se procedió a realizar la medición inicial del combustible en la excavadora, estas mediciones se realizaron periódicamente cada dos o tres horas en función de la intensidad de trabajo.

Según el fabricante el consumo de combustible estas máquinas tienen en condiciones normales de trabajo oscilan entre 45 a 55 l/h.

Del análisis se obtuvieron resultados del consumo superiores según las normas del fabricante y otros muy por debajo; estos valores son resultado del incumplimiento de algunas de las normas técnicas del manual de instrucciones dentro de las que se encuentran las siguientes:

1. posición de excavación incorrecta adoptada por el operador

2. cuando el motor trabajando innecesariamente a altas revoluciones por encima de lo establecido por el fabricante para régimen normal
3. realización de giros de 180 grados con el cubo cargado de masa minera
4. sistema de inyección fuera de mantenimiento y de calibración

### **Determinación del consumo de lubricantes en los camiones**

Dentro del consumo de lubricantes (Castrol) se tuvo en consideración el volumen quemado durante la combustión, pues este contribuye a que los niveles de aceite desciendan.

Además de lo anterior el consumo de aceite se ve afectado por una serie de factores, tales como:

1. la conducción con alto régimen de motor;
2. el freno motor;
3. el estado técnico del motor;
4. la cilindrada
5. la viscosidad del lubricante;
6. temperatura de trabajo del motor.

El consumo de combustible Castrol ( $C_c$ ) se puede expresar en gramos por caballo vapor hora (g/cvh) o según la cantidad de aceite que se emplea para 100 litros de combustible; esta última forma de medición de consumo será la empleada en este trabajo.

$$C_c \approx (0.5 - 1.00)g/cvh$$

$$C_c \approx (0.25 - 1.00) \%$$

Este trabajo comenzó con el control del depósito de combustible lleno y el de aceite lleno hasta la marca superior de la varilla de nivel (48 litros). El control del nivel se realizó entre 2 cambios de aceite.

El índice de consumo de lubricante por hora de los equipos se obtuvo de la fórmula siguiente (tomado de Guerra 2012):

$$I = \left( \frac{A_c}{C_u} \right) \cdot 100, [\%] \quad (2)$$

Donde:

$A_c$ : Litros de aceites llenados (l)

$C_u$ : Litros de combustibles llenados (l)

Dentro del análisis de la valoración de los índices técnico- económicos y productivos en la explotación de cualquier yacimiento, se hace necesario tomar en consideración el consumo de lubricantes, pues este incide en la eficacia y eficiencia de cualquier maquinaria en uso [10].

Este índice da un criterio de cómo se comporta el consumo de lubricantes de la máquina, para ello se procedió de la siguiente manera:

1. Se verificó la pureza de lubricante;
2. Se midió un litro de aceite y se pesó en una balanza (en gramos);
3. Una vez pesado el envase con que se habilitan los camiones, se procedió a la verificación de la medida correcta;
4. Se confeccionó un registro de control de lubricantes habilitado por cada camión;
5. Una vez establecida la planilla con todos los datos necesarios, se procedió a los cálculos para la obtención del índice de consumo de lubricantes por cantidad de combustible.

Para el análisis estadístico de los datos se utilizó el software PSPP V1.10.1

Para una mejor lubricación se debe tomar en consideración lo siguiente.

*Prohibiciones:*

- a. No pasar el milite máximo de llenado del tanque (MAX);
- b. No rehabilitar hasta que el nivel de aceite llegue al mínimo

*Recomendaciones*

- a. En un motor caliente, el nivel de aceite se debe controlar 3 minutos después de apagado el mismo;
- b. Si el motor no alcanzó la temperatura de trabajo, se debe esperar 5 minutos para efectuar el control del nivel de aceite.

**Determinación del índice de desgaste de neumáticos de los camiones.**

El consumo de neumático es uno de los índices técnico-económico-productivos de relevante importancia para la evaluación de la racionalidad con que se explotan los camiones de tiro mineral.

Para obtener mayor alcance en la investigación, se tuvieron en cuenta una serie de factores que determinan el menor o mayor grado de desgaste de los neumáticos:

- Total de horas trabajadas;
- Estado técnico de los caminos mineros;
- Distancia recorrida;

- Condiciones específicas del régimen de trabajo del equipo;
- Control de inflado de los neumáticos.

#### **Orden de obtención del índice de consumo de neumáticos:**

1. Se toma un neumático nuevo y se mide la altura de la capa de rodaje;
2. Se toma la hora en el horómetro de inicio de explotación del neumático;
3. Se toma el código del neumático por posición de montaje de izquierda a derecha y de derecha a izquierda trasera;
4. Cada 30 días se chequea el desgaste existente entre el estándar y el real.

Conociendo el desgaste de los neumáticos y las horas trabajadas se efectúa el análisis del índice del consumo de los neumáticos para un año en una flota de equipos.

## **RESULTADOS**

### **Índice de consumo de combustible de los camiones según horas de trabajo**

La determinación del índice de consumo del combustible de los camiones, según horas trabajadas [3] se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1.** Resultados del índice de consumo de combustible de los camiones A40D según horas trabajadas

<b>No. de orden</b>	<b>Consumo de combustible</b>	<b>Horas trabajadas</b>	<b>Índice (l/h)</b>
	<b>(l)</b>	<b>(h)</b>	
1	42,0	1,24	33,87
2	129,4	3,54	36,55
3	58,0	1,72	33,72
4	57,0	1,85	30,81
5	60,0	1,90	31,58
6	101,5	3,15	32,22
7	24,7	0,75	32,93
8	4,8	0,20	24,00
9	27,0	0,82	32,93
10	68,0	2,09	32,54
11	58	1,95	29,74

12	54,7	1,68	32,56
13	120	3,67	32,70
14	56,2	2,0	28,10
Desviación estándar		1,01	2,97
Valor máximo		3,67	36,55
Valor mínimo		0,20	24,00
Valor medio		1,90	<b>31,73</b>

### Índice de combustible de las retroexcavadoras

La determinación del índice de combustible de la retroexcavadora [3], se muestra en la tabla 2.

**Tabla 2.** Resultados del índice de combustible de la retroexcavadora Volvo EC 650, según horas trabajadas

No. de orden	Consumo de combustible (l)	Horas trabajadas (h)	Índice (l/h)
1	100	2,0	50,0
2	130	3,0	43,3
3	110	2,0	55,0
4	150	3,0	50,0
5	125	3,0	41,7
6	138	3,0	46,0
7	140	3,0	46,7
8	142	3,0	47,3
9	115	2,0	57,5
10	130	3,0	43,3
11	120	3,0	40,0
12	100	2,0	50,0
Desviación estándar		0,5	5,2
Valor máximo		3,0	57,5
Valor mínimo		2,0	40,0
Valor medio		2,7	<b>47,6</b>

Los resultados de las tabla 1 y 2 indican que el índice de combustible de los camiones según las horas trabajadas, varía entre 24,00 y 36,55 l/h, a diferencia de las retroexcavadoras que oscila sus valores en 40,00 y 57,50 l/h.

### Índice de consumo de lubricante

El cálculo del índice de consumo de lubricante del tipo Castrol se realizó sobre las bases de las mediciones prácticas controladas por el equipo de medición en la mina, con la aplicación de la fórmula (2), cuyos resultados se muestran en las tablas 3 y 4.

**Tabla 3.** Resultados del índice de consumo de lubricante del tipo Castrol en los camiones

No. de orden	Horas trabajadas (h)	Cantidad de lubricante (l)	Índice (l/h)
1	102,00	102,00	1,000
2	242,00	240,50	0,994
3	175,50	282,00	1,607
4	111,50	380,00	3,408
5	375,75	488,50	1,373
6	210,00	143,50	0,683
7	261,75	368,00	1,406
Desviación estándar		0,33	0,90
Valor máximo		4,35	3,41
Valor mínimo		3,41	0,68
Valor medio		<b>3,78</b>	<b>1,50</b>

**Tabla 4.** Resultados del índice de consumo de lubricantes del tipo Castrol en las retroexcavadoras

No. de orden	Horas trabajadas (h)	Cantidad de lubricante (l)	Índice (l/h)
1	353,00	372,50	1,055
2	861,00	112,50	0,131
3	628,00	171,00	0,272
4	791,00	319,50	0,404

Desviación estándar	0,08	0,41
Valor máximo	2,66	1,06
Valor mínimo	2,52	0,13
Valor medio	<b>2,58</b>	<b>0,47</b>

Como se observa en las tablas 3 y 4, el índice de consumo de los lubricante en los equipos mineros analizados, en el caso de los camiones promedia 1,50 l/h y para las retroexcavadoras está entre 0,13 y 1,06 l/h, siendo superior a los valores emitidos por el fabricante según catalogo.

Las causas que han provocado la alteración entre los valores obtenidos y los del fabricante consisten en la aplicación de malas prácticas.

### Índice de desgaste de los neumáticos

Una vez procesados los datos del control de consumo de neumáticos, se realizó la interpretación estadística de correlación entre el desgaste contra horas trabajadas (figura 1), se obtuvo la correspondiente ecuación de regresión, que permite predecir en función de las horas trabajadas por el camión, cuál será el desgaste de sus neumáticos y al cabo de que tiempo proceder a su sustitución.

Se realizó un análisis estadístico, donde se comprobó la condición de normalidad de los datos suministrados por el usuario.

Análisis de Regresión - Modelo Lineal  $Y = a + b \cdot X$

Variable dependiente: Desgaste  
 Variable independiente: Horas trabajadas

Parámetro	Error Estimación	Estadístico estándar	T	P-Valor
Ordenada	19,7495	99,2091	0,19907	0,8425
Pendiente	149,164	4,52562	32,96	0,0000

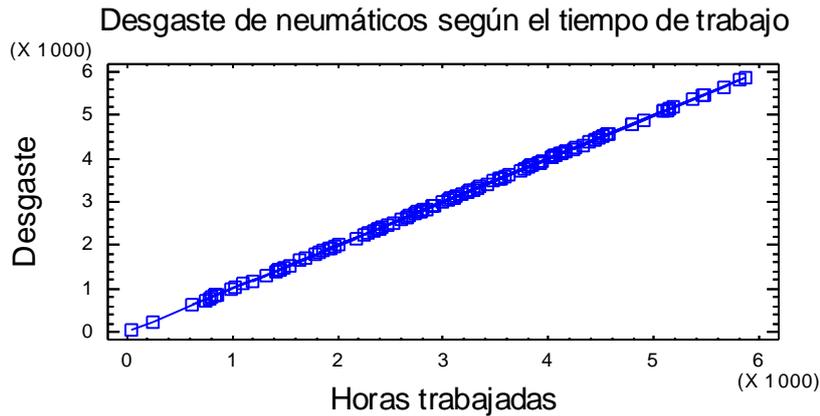
### Análisis de la Varianza

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	Cociente-F	P-Valor
Modelo	2,3434E8	1	2,3434E8	1086,36	0.0000
Residuo	2,73953E7	127	215711,0		

Se muestran los resultados del ajuste al modelo lineal para describir la relación entre Desgaste y Horas trabajadas. La ecuación del modelo ajustado es:  $Y = 19,7495 + 149,164 \cdot X$

Dado que el p-valor en la tabla ANOVA es inferior a 0.01, existe relación estadísticamente significativa entre Y y X para un nivel de confianza del 99%.

El estadístico R-cuadrado indica que el modelo explica un 89,5332% de la variabilidad en Y. El coeficiente de correlación es igual a 0,94622, indicando una relación relativamente fuerte entre las variables. El error estándar de la estimación muestra la desviación típica de los residuos que es 464,447.



**Figura 1.** Desgaste de neumáticos según las horas trabajadas.

Se comprobó que los camiones durante el periodo analizado, presentan una velocidad de desgaste promedio de 163 h/mm.

### Evaluación del consumo unitario de la potencia generada

Como es conocido por todos, la potencia mecánica que desarrollan los motores de los camiones es el indicador de mayor proporcionalidad a los costos de adquisición de los mismos. Se impone por tanto una correcta selección de las relaciones lógicas entre capacidades geométricas y de resistencia contra capacidades de tara o peso máximo soportable por la potencia a desarrollar por el motor de esos equipos.

Evaluando este consumo unitario por la relación potencia neta por tonelada de mineral transportado tendremos (3) y (4):

a) Según fabricante:

$$PM_t = \frac{N}{C_c} = \frac{240 \text{ kW}}{32 \text{ t}} = 7,50 \text{ kW/t} \quad (3)$$

Según lo real (uso actual)

$$PM_t = \frac{N}{C_c} = \frac{240 \text{ kW}}{21,1 \text{ t}} = 11,37 \text{ kW/t} \quad (4)$$

De lo anterior se deduce que en la práctica de la minería actual se está consumiendo más potencia por tonelada de mineral transportada por los camiones que la recomendada por el fabricante; 11,37 contra 7,50 kW/t.

Esto traducido a criterio de consumo de combustible, que siempre es proporcional a la potencia del motor, indica que se está consumiendo innecesariamente más combustible por tonelada que el necesario, lo cual se puede resolver de la siguiente forma:

- Un motor de menos potencia con los demás parámetros constructivos sin variar;
- Una cama de mayor dimensión que permitiera cargar mayor volumen debido al bajo peso específico del mineral laterítico de mineral.

Se sabe que el fabricante realiza el diseño experimental de la maquinaria para el transporte de áridos cuya densidad ( $t/m^3$ ) muy superior al de la laterita de los yacimiento de Moa, Cuba.

Todo lo anterior implica una reducción de los costos de operación del equipamiento, pues con los mismos gastos monetarios se transportaría alrededor de un 20% más de lo actual. Todo ello debido a la reducción de los costos unitarios (\$/t) y normas de consumo de combustibles, lubricantes, neumáticos, etc, por cada tonelada.

### **Aporte de la reducción de consumos unitarios**

Como quiera, además que con los mismos consumos de combustible se estarían transportando 4 t/ciclo por encima de la carga actual de 13 t/ciclo, el índice de consumo podría disminuir en  $17/13 = 1,307$  o sea:

1. En lugar del índice obtenido en esta investigación para el consumo de los camiones que era de 22 l/h, se obtendría 6,8 l/h
2. En lugar del índice promedio reportado actualmente de 25 l/h se obtendrían 19,12 l/h

El ahorro de 2 litros de combustible por hora por cada camión representaría un monto total de (5), (Gómez & Correa 2011):

$$A_p = (10 \text{ cam}) \cdot 0,85 \cdot (288 \text{ días efect}) \cdot \frac{3 \text{ turnos}}{\text{días}} \cdot \frac{8 \text{ horas}}{\text{turno}} \cdot 0,8 \cdot \frac{2 \text{ l}}{\text{h}} \quad (5)$$

$$A_p = 94 \text{ 003 l/año.}$$

Otras valoraciones de los efectos económicos de las normas de consumo y productividades podrían derivarse de continuar con este análisis.

## CONCLUSIONES

1. El índice de consumo de combustible determinado para los camiones Volvo A40D y retroexcavadoras Volvo EC 650, que operan en la mina es de 31,73 l/h y 47,6 l/h respectivamente, en ambos casos superior al reportado; mientras que el índice de consumo de lubricante (Castrol) obtenido para los camiones, 1,50 l/h y las excavadoras, 0,47 l/h muy superior a los reportados.
2. El índice de consumo de neumáticos obtenido en los camiones es de 163 h/mm, inferior a los rangos establecidos para esta minería, debiendo realizar futuros estudio que considere las características de los viales.

## REFERENCIAS

- [1] G. Batista, C. Coutin, C. González, and Z. Torres, "Valoración del potencial de las rocas y minerales industriales para el desarrollo municipal en la República de Cuba," *Instituto de Geología y Paleontología*, 2011.
- [2] E. Guerra, "Relación entre la productividad, el mantenimiento y el reemplazo del equipamiento minero en la mina de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara," Tesis Maestría]. ISMM. Cuba. 89p, 2012.
- [3] O. Belete-Fuentes, S. Estenoz-Mejía, and Y. Diéguez-García, "Performance mining equipment (extraction-load-transportation) in the Ernesto Guevara Factory," *Boletín de Ciencias de la Tierra*, pp. 12-20, 2016.
- [4] G. De Jong and M. Ben-Akiva, "A micro-simulation model of shipment size and transport chain choice," *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 41, pp. 950-965, 2007.
- [5] M. I. García-De la Cruz, M. Ulloa-Carcassés, and O. Belete-Fuentes, "El reemplazo de equipos mineros: un enfoque desde el rendimiento y los servicios técnicos de la contratación," *Minería y Geología*, vol. 29, pp. 46-70, 2013.
- [6] R. A. Gómez and A. A. Correa, "Análisis del transporte y distribución de materiales de construcción utilizando simulación discreta en 3D," *Boletín de Ciencias de la Tierra*, pp. 39-51, 2011.
- [7] O. Orfila, C. F. Salgueiredo, G. Saint Pierre, H. Sun, Y. Li, D. Gruyer, *et al.*, "Fast computing and approximate fuel consumption modeling for internal combustion engine passenger cars," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 50, pp. 14-25, 2017.
- [8] J. S. Quiroga Mendiola, "Proceso de mantenimiento de los camiones mineros y su influencia en la producción en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara," Departamento de Minería, 2011.
- [9] P. Vásquez-Coronado and V. Tenorio, "Modelos de optimización del ciclo de carguío-transporte-acarreo," *Revista Tecnología Minera*, vol. 58, 2015.
- [10] M. I. García de la Cruz, "Procedimiento para el reemplazo de los equipos mineros," 2013.