

Determinación de las normas de explotación y consumo del Volvo A45G para el yacimiento Camarioca Este

Determining standards of operation and consumption of Volvo A45G vehicle transport for Camarioca East deposit

Frank Alejandro Cabrera Regueiro franktrust00@gmail.com ⁽¹⁾

Lianeyis Aguilera Terrero laterrero@ismm.edu.cu ⁽²⁾

⁽¹⁾ Empresa Niquelífera Ernesto Che Guevara, Moa, Cuba

⁽²⁾ Universidad de Moa, Moa, Cuba

Resumen: Se determinaron las normas de explotación y consumo del transporte automotor Volvo A45G para el yacimiento Camarioca Este. Para el desarrollo de esta investigación se realizó un trabajo de campo donde se efectuó el monitoreo de los camiones, realizándose el estudio de la productividad y consumo de combustible, para la cual se caracterizó la tecnología de explotación existente en el yacimiento Camarioca Este. Se calculó además el tiempo de ciclo de los camiones Volvo A45G, para determinar las normas de explotación y consumo de los vehículos.

Palabras clave: caminos mineros, minería a cielo abierto, transporte minero

Abstract: The operating and consumption standards for Volvo A45G vehicle were determined for Camarioca East deposit. To fulfill the purpose of this research, a fieldwork was carried out in order to monitor trucks, making production study and fuel consumption by characterizing the existing exploitation technology at Camarioca East deposit. The cycle time of Volvo A45G trucks was also calculated to determine the operating and fuel consumption standards of these vehicles.

Keywords: mining roads, mining transportation, open pit mining

Introducción

El transporte del mineral es un proceso de gran importancia en las empresas mineras para garantizar el aumento de la productividad. La selección y funcionamiento del

transporte exige la mayor rigurosidad en cuanto a su factibilidad económica y disponibilidad técnica (Masule, 2017; Belette-Fuentes *et al.*, 2024).

El transporte en una mina a cielo abierto es muy variado y se selecciona según las distancias al depósito o planta de beneficio, el material que se esté acarreado y los volúmenes de producción (Riquelme-Bastías, 2022; Ojeda Pardo *et al.*, 2022; Canelón, Carrasco & Rivera, 2024; Shao & Kumral, 2024). Incide en cuán efectiva, constante y productiva sea la explotación del yacimiento y en la obtención de parámetros técnico-económicos eficientes (Maguiña, 2023; Cavalcante Oliveira & Costa, 2024).

El transporte automotor es el más difundido en la explotación de minas a cielo abierto (García-De la Cruz, Ulloa-Carcassés & Belete-Fuentes, 2013; Sonhi-Manassa, Polanco-Almanza & Legrá-Lobaina, 2019). En la empresa niquelífera Ernesto Guevara los equipos mineros y de transportación han sido estudiados desde diversos puntos de vista con el fin de aumentar el rendimiento productivo de la mina (Legrá-Cepero, 2012; Galano Quintero *et al.*, 2021; Montero-Gainza *et al.*, 2021; Rubino-de la Cruz, 2022).

El rendimiento general del laboreo minero de los frentes de arranque en las minas de la empresa Ernesto Guevara de Moa ha estado por debajo de las productividades medias de explotación establecidas para cada una de las líneas de equipos que forman el conjunto tecnológico arranque-carga-transporte (Belete-Fuentes, Estenoz-Mejía & Diéguez-García, 2016). El parque actual de equipos en operaciones (tecnológicos y auxiliares) para los movimientos de masa minera en las diferentes etapas del flujo tecnológico debe garantizar una disponibilidad técnica por encima de un 90 %, razones por la que se deben cumplir la planificación de adquisición de los mismos. La extracción y transporte del mineral en la empresa, por bancos múltiples o longitudinal sin profundización en forma de abanico, se realiza con excavadoras hidráulicas, dragalinas ESH-545 y camiones articulado Volvo A45G, que representan más del 80 % del equipamiento de la mina.

El cálculo del rendimiento de los sistemas de transporte para garantizar su eficiencia está dado por la determinación de sus principales indicadores técnicos y productivos a partir del cálculo del ciclo de trabajo de cada equipo y se encuentra vinculado al sistema de carga empleado. Este factor de rendimiento está vinculado a la productividad real de explotación, las condiciones de utilización del equipamiento y los costos en que se

incurren y muestra la eficiencia del sistema de transporte empleado para la explotación de los recursos minerales.

Aunque se han tomado diversas medidas, no se ha logrado implementar una normativa de explotación específica para los diferentes camiones y equipos mineros del yacimiento Camarioca Este. El objetivo de este trabajo es determinar las normas de explotación y consumo del transporte automotor Volvo A45G para el yacimiento Camarioca Este que explota la empresa niquelífera Ernesto Guevara.

Características del yacimiento Camarioca Este

El yacimiento Camarioca Este se encuentra ubicado en la parte noreste de la provincia Holguín, en el municipio de Moa. Ocupa un área de 19.53 Km², de ellas se encuentran desarrollados en red de exploración detallada dos sectores de 1.80 y 3.51 Km² respectivamente.

La extracción y transporte del mineral es la actividad fundamental de la mina. Está subordinada a las exigencias del proceso industrial y a las condiciones naturales del yacimiento, por lo que se precisa de un punto de recepción, beneficio y homogeneización que equilibre las fluctuaciones en los volúmenes y la calidad del mineral.

Materiales y métodos

Se empleó el método matemático-estadístico para el cálculo y determinación de los indicadores técnico-productivos de los parámetros de explotación de los vehículos.

Se consideraron los indicadores técnicos: tiempo de carga, tiempo de maniobra, tiempo de viaje cargado, tiempo de descarga y tiempo de viaje vacío.

Se monitorearon 38 camiones que laboran en los turnos de trabajo, 237 viajes de los camiones cargados y vacíos desde los frentes de arranque hasta los puntos de descarga.

Las características de los camiones Volvo A45G se consultaron en los catálogos Volvo Construction Equipment (2022), Construction Equipment Guide (2024) y Van Keppel (2024).

Para el cálculo de la productividad de los equipos de transporte automotor se utilizaron las ecuaciones:

Productividad horaria del camión

$$Q_H = \frac{60k_u q_{rc}}{T_{cc}}$$

Dónde:

q_{rc} : Capacidad real del camión; t

Productividad por turno

$$Q_t = Q_H \cdot T_t \cdot K_{ut}$$

Dónde:

T_t : Duración de un turno de trabajo

Productividad diaria

$$Q_d = Q_t \cdot N_t$$

Dónde:

N_t : Número de turnos por día

Determinación de los factores que inciden en el rendimiento de los equipos de transporte automotor

Los factores más importantes que influyen en la efectividad y rendimiento de la explotación del transporte automotor en la explotación de yacimientos lateríticos son: condiciones minero técnicas de la zona de trabajo; características técnicas del equipamiento; condiciones climáticas; régimen de trabajo; experiencia del operador; disponibilidad mecánica; distancia de transportación y tiempos de ciclo. La influencia de estos factores determinará el rendimiento de la explotación de los equipos de transporte automotor utilizados en la minería del níquel lo que permitirá crear una metodología que permita realizar la evaluación del rendimiento de los equipos.

Cálculos de los indicadores técnicos del transporte automotor

Para los cálculos de explotación se establecen los parámetros técnicos, tecnológicos y organizativos racionales del transporte automotor para las condiciones reales de excavación-carga.

Tiempo de ciclo del camión

El ciclo de trabajo de los camiones incluye las operaciones de carga, recorrido cargado, muestreo, descarga, limpieza de la cama del camión, regreso al punto de carga y las maniobras entre operaciones. La duración de cada una de estas operaciones se establece basada en la nominación en los turnos de trabajo en las distintas áreas de explotación.

$$T_{cc} = t_{car} + t_{des} + t_{mc} + t_{rc} + t_{rv} + t_{esp} + t_{md} + t_{lm} + t_{fr}$$

Dónde:

t_{car} : Tiempo de carga del camión (min)

t_{des} : Tiempo de descarga del camión (min)

t_{mc} : Tiempo de maniobra para carga (min)

t_{rc} : Tiempo de recorrido cargado (min)

t_{rv} : Tiempo de recorrido vacío (min)

t_{esp} : Tiempo de espera (min)

t_{md} : Tiempo de maniobra para descarga (min)

t_{lm} : Tiempo de muestreo más el tiempo de la limpieza de la cama (min)

t_{fr} : Tiempo de preparación y/o ramales (min)

Tiempo de carga del camión

Se determinó en igualdad de condiciones a partir de la densidad en estado disgregado de la carga a transportar:

$$Y_d = \frac{Y}{K_e}$$

Cuando $Y_d > \frac{q_c}{v_c}$, el tiempo de carga se determina a partir de la capacidad de carga del camión q_c , es decir:

$$q_{cubo} = \frac{V_{cubo} K_{ll} Y}{K_e} = V_{cubo} K_{ll} Y_d$$

$$N_c = \frac{q_c}{q_{cubo}}$$

$$t_{car} = N_c \frac{t_c}{60}$$

Cuando $Y_d < \frac{q_c}{V_c}$ el tiempo de carga se determina a partir del volumen del camión.

$$V_{rcubo} = V_{cubo} K_{II}$$

$$N_c = \frac{V_c}{V_{rcubo}}$$

Dónde:

V_c : volumen geométrico del camión, transferido a la masa mineral en banco (m^3)

Y_d : masa volumétrica del mineral disgregado (t/m^3)

Y : masa volumétrica del mineral en banco (t/m^3)

t_c : duración del ciclo de excavación (s)

V_{cubo} : volumen del cubo (m^3)

q_c : capacidad de carga del camión (m^3)

N_c : cantidad de cubos (m^3)

El tiempo de descarga oscila entre 25 y 40 segundos.

Tiempo de maniobras: depende de las condiciones de explotación, del estado técnico de los camiones, de la organización de las operaciones y de las condiciones climáticas.

Tiempo de recorrido cargado y vacío: depende de la velocidad que pueda desarrollar el camión que a su vez depende de varios factores: estado técnico del equipo y de las vías de comunicaciones y condiciones climáticas fundamentalmente. La velocidad también se limita por las normas de seguridad del trabajo.

$$t_{rc} + t_{rv} = \frac{60L_{rc}}{V_{rc}} + \frac{60L_{rv}}{V_{rv}}$$

Dónde:

L_{rc} : Distancia del recorrido cargado (Km)

V_{rc} : Velocidad del recorrido cargado (Km/h)

L_{rv} : Distancia de recorrido vacío (Km)

V_{rv} : Velocidad del recorrido vacío (Km/h)

Distancia de transportación: La distancia a recorrer y las condiciones de transportación son los factores más importantes, en función de los cuales se debe operar el equipo para poder realizar un trabajo eficiente.

Disponibilidad mecánica: Indica el tiempo disponible que cada equipo en función del tiempo planificado para mantenimiento y reparación de averías. Para la comparación entre líneas de equipos de transportación la disponibilidad es la misma para cada equipo, de 83 % se considera que no es un parámetro inherente al tipo de equipo en dependencia de uso al que ha sido expuesto.

Factor de utilización por lluvia: indica la pérdida de tiempo ocasionada por las afectaciones climáticas durante la extracción y la transportación.

Factor de utilización del turno operacional: tiempo restante del turno de trabajo que no incluye las pérdidas de tiempo planificadas para los cambios de turno, descanso para merienda, almuerzo y el tiempo empleado para habilitar los equipos. Cuando se determina mediante la normalización se le resta el tiempo de preparación de los frentes u otro tiempo perdido en las operaciones.

Descripción del proceso tecnológico de la carga y transporte del mineral

El ciclo de trabajo que incluye la revisión del vehículo, maniobra de carga en el frente y de descarga en el punto de recepción, oscila entre 35 y 50 min con relación a la distancia de ubicación de los frentes actuales de trabajo.

Interrupciones que ocurren en el turno

Acontecen debido al tiempo de espera de los camiones articulados en el punto de carga por limpieza de los frentes de trabajo, recorrido técnico, medición topográfica, muestreo y revisión del corte, cambios de posición de la excavadora o retroexcavadora, tiempo de espera de los camiones articulados en el punto de descarga por tupiciones en la tolva o llegada de dos o más camiones a la vez, además de la limpieza del mineral adherido en el volteo de los camiones articulados.

Método de cálculo para determinar la pv según la velocidad media (vm)

Tiempo de recorrido por el camión

El tiempo de recorrido de los camiones depende de factores como el tiempo para alcanzar la velocidad de crucero o régimen lleno y vacío, la distancia de recorrido para lograr la velocidad del régimen y para detenerse, y la pendiente del terreno.

Procedimiento para la determinación de la velocidad

Se tomó la velocidad instantánea de los camiones al recorrer los primeros 50 m y luego de 100 en 100 durante el recorrido y 50 m antes de llegar al destino en condiciones de pendiente de 0-5 % y de 6-10 % en ida y regreso (Tabla 1).

Tabla 1. Velocidad del camión según la pendiente

Parámetros	Pendientes entre 0 y 5 %	Pendientes entre 6 y 10 %
Velocidad de crucero	26.7 km/h	28.2 km/h
Espacio de recorrido para alcanzar la velocidad de crucero	0.215 km	0.260 km
Espacio recorrido para frenar	0.185 km	0.235 km

Para la determinación de la velocidad media de ida y regreso para una distancia ≤ 0.2 km con pendientes medias de 0-5 % y de 6-10 % se realizó una serie de ecuaciones para los casos en que se produzcan paradas. Estas ecuaciones dan un alto grado de precisión para determinar la velocidad media de los camiones, pues están basadas en la curva de performance de este tipo de camión, la cual difiere poco de las diferentes marcas usadas en esta mina.

Los elementos de ciclo se tomaron por el método tradicional, cronometraje y fotografías y se clasificaron en tres grupos.

Primer grupo: Tiempos del ciclo en que el camión no está transportando ni moviéndose de regreso, los cuales son obligatorios:

Tiempo de maniobra para cargar

Tiempo de carga

Tiempo de maniobra para descarga

Tiempo de descarga

Segundo grupo: Las interrupciones del ciclo que ocurren durante el turno y que son proporcionales al número de viajes en todos los turnos son las limpiezas del volteo, de tolva y del cargadero. En los turnos diurnos las interrupciones están dadas por recorrido técnico, medición topográfica y muestreo del corte

Tercer grupo: Las interrupciones del turno ocurren producto a la revisión de los equipos como repostado con agua y combustible y la revisión técnica de los equipos.

El primer y segundo grupo se dan como tiempos fijos (T_f) y el tercer grupo como utilización de la jornada (kh). El tiempo de recorrido es variable en función de la distancia y condiciones viales.

La productividad se calcula por la expresión:

$$P = \frac{C_v \cdot V_m \cdot kh}{2D + Eq}$$

$$Eq = \frac{T_f \cdot V_m}{3600}$$

Donde

P: productividad

C_v : Capacidad de carga del camión (t)

D: Distancia de transportación en un sentido (Km)

kh : Coeficiente de utilización de la jornada

Eq : Equivalente en espacio recorrido a V_m en los tiempos fijos (Km)

V_m : Variable en función de la distancia y la vía (Km/h)

Norma para los 2 turnos en que no se realizan estas operaciones

Se trabaja un tiempo corto donde sólo influyan en la productividad los elementos del ciclo neto, $kh = 1$ y T_f sólo incluye el primer grupo.

Resultados de la productividad del camión Volvo A45G

Productividad para el camión A45G promedio para los 2 turnos. Primer caso

$$K_h = \frac{480 - 70}{480} = 0.85$$

$$C_v = 27 t$$

$$P = 37.72 \text{ Tm/h}$$

Productividad para el camión A45G. Segundo caso

$$K_h = \frac{480 - 50}{480} = 0,986$$

$$C_v = 27 \text{ t}$$

$$P = 37.13 \text{ Tm/h}$$

Productividad para el camión A45G para lapsos de tiempo corto sin ninguna interrupción.

Tercer caso

$$K_h = \frac{480 - 0}{480} = 1$$

$$C_v = 27 \text{ t}$$

$$P = 44.37 \text{ Tm/h}$$

Productividad para el camión VOLVO A45G, promedio para los dos turnos. Primer caso

$$K_h = \frac{480 - 70}{480} = 0.85$$

$$C_v = 20 \text{ t}$$

$$P = 37.72 \text{ Tm/h}$$

Productividad para el camión VOLVO A45G en el turno. Segundo caso

$$K_h = \frac{480 - 50}{480} = 0.89$$

$$C_v = 20 \text{ t}$$

$$P = 39.49 \text{ Tm/h}$$

Productividad para el camión VOLVO A45G para un lapso de tiempo. Tercer caso

$$K_h = \frac{480 - 0}{480} = 1$$

$$C_v = 20 \text{ t}$$

$$P = 44.37 \text{ Tm/h}$$

Normas de consumo para los camiones A45G en el yacimiento Camarioca Este

El estudio de la norma se realizó al 100% de los equipos mineros del yacimiento Camarioca Este que se encuentran disponible. Se consideraron en todos los casos el estado óptimo del equipo, las horas trabajadas, los kilómetros recorridos, la habilidad operacional y los escenarios de operación.

Métodos empleados para la determinación de la norma de consumo

-Surtido a máxima capacidad el tanque de combustible y toma de lecturas del horómetro y el odómetro ante de iniciar la operación.

-Al concluir la operación se repite la toma de lecturas de horómetro y odómetro, calculando por diferencia las horas trabajadas y los kilómetros recorridos.

-Combustible consumido por display. En algunos casos se realizaron resurtido a máxima capacidad y se pudo comprobar que la diferencia entre el consumido por display y el habilitado es de +/- 10 L lo cual puede estar asociado por la nivelación de la plataforma, mal llenado y por la temperatura del combustible en tanque.

Las normas de consumo se determinaron en el yacimiento Camarioca Este en diferentes escenarios de trabajo. Estos escenarios fueron:

-Carga y transporte de mineral desde el frente minero hacia la planta de recepción y clasificación de mineral (Objeto 01).

-Carga y transporte del mineral desde el frente minero hacia el depósito de mineral (Plataforma) (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados promedio de los camiones articulados según los escenarios

Escenarios de trabajo	Norma de Consumo	
	l/h	Km/l
Frente A Obj. 01	29.42	0.55
Frente A Depósito	29.90	0.53
Total general	29.66	0.54

Conclusiones

Se establecieron los factores que influyen en la efectividad y rendimiento de la explotación del transporte automotor en la minería del níquel.

Se calcularon los indicadores técnicos-productivos y de consumo del transporte automotor que permitió determinar las normas de explotación y consumo de los camiones Volvo A45G.

Se determinaron los parámetros de las normas de consumo en un rango de 26 a 40 l/h y las normas de explotación en un rango de 35 a 50 min.

Referencias bibliográficas

Belete-Fuentes, O., Estenoz-Mejía, S. & Diéguez-García, Y. (2016). Performance mining equipment (extraction-load-transportation) in the Ernesto Guevara Factory. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (39), 12-20. <http://dx.doi.org/10.15446/rbct.n39.49117>

Belette-Fuentes, O., Reyes-Céspedes, E., Ordóñez-Guaycha, C. & González-Coronel, J. (2024). Determinación de la productividad y consumo de combustible del camión volvo A40ffs en la mina Comandante Guevara. *Polo del Conocimiento*, 9(82), 458-476. <https://doi.org/10.23857/pc.v9i8.7834>

Canelón, R., Carrasco, C. & Rivera, F. (2024). Design of a remote assistance model for truck maintenance in the mining industry. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 30(1), 175-201. <https://doi.org/10.1108/JQME-02-2023-0024>

Cavalcante Oliveira, C.F. & Costa, L.V. (2024). Dimensionamento de equipamentos de carregamento e Transporte autónomo: estudo de caso de uma mineradora do sul do Pará. *Revista Foco*, 17(10). <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/6569>

Construction Equipment Guide. (2024). *Volvo A45G Off-Highway Truck*. <https://www.constructionequipmentguide.com/charts/off-highway-trucks/volvo/a45g/30709282>

Galano-Quintero, M., Alayo-Llorent, J.A., García-de la Cruz, M.I., Reynaldo-Arguelles, C.L. & Cutiño-Liranza, M. (2021). Costo de operación de los equipos mineros en la Unidad Básica Minera de la Empresa Ernesto Che Guevara. *Ciencia & Futuro*, 11(1), 58-78. <https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistacyf/article/view/2034>

García-De la Cruz, M.I., Ulloa-Carcassés, M. & Belete-Fuentes. O. (2013). El reemplazo de equipos mineros: un enfoque desde el rendimiento y los servicios técnicos de la

contratación. *Minería y Geología*, 29(2), 46-70.

<https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/634>

Legrá-Cepero, Y. (2012). Análisis del potencial productivo del equipamiento minero de la empresa Ernesto Che Guevara. *Ciencia & Futuro*, 2(4), 39-48.

<https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistacyf/article/view/761>

Maguiña, A.J. (2023). *Optimización del sistema de transporte en la rampa 400 mina Hércules CIA. Minera Lincula S.A-200*. (Trabajo de Diploma, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Perú).

<https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5924>

Masule, K.G. (2017). *Metodología para la determinación de los indicadores técnicos-productivos de los equipos de transporte automotor en la minería del níquel*. (Trabajo de Diploma, Universidad de Moa, Cuba).

<http://ninive.ismm.edu.cu/handle/123456789/2104>

Montero-Gainza, T., Alayo-Llorent, J.A., Reynaldo-Arguelles, C.L. & García-de la Cruz, M.I. (2021). Evaluación a la gestión del mantenimiento en equipos de excavación de la Unidad Básica Minera. *Ciencia & Futuro*, 11(2), 69-86.

<https://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistacyf/article/view/2081>

Ojeda Pardo, F., Reyes Céspedes, E., Belette Fuentes, O., Ordoñez Guaycha, C. A. y Cazar Rivera, E. S. (2022). Application of queuing theory to mining equipment maintenance. *Neuroquantology*, 20(7), 2806-2815.

<https://doi.org/10.14704/nq.2022.20.7.NQ33359>

Riquelme-Bastías, A.G. E. (2022). *Propuesta de plan de optimización de producción de carguío y transporte para la gran minería a cielo abierto*. (Tesis Doctoral, Universidad Andrés Bello, Colombia).

<https://repositorio.unab.cl/server/api/core/bitstreams/e811b84e-33b4-4add-b75f>

Rubino-de la Cruz, R. (2022). Recuperación de los cubos de los cargadores frontales de transporte en la empresa minera del níquel en Cuba. *Minería y Geología*, 38(1), 168-176.

<http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/2117>

- Shao, Z. & Kumral, M. (2024). Implementación de modelado de procesos gaussianos en el mantenimiento predictivo de maquinarias mineras. *Mining Technology*, 133(4), 348-368. <https://doi.org/10.1177/25726668241275434>
- Sonhi-Manassa, M.F. Polanco-Almanza, R.G. & Legrá-Lobaina, A.A. (2019). Optimización económica de la transportación con camiones en una mina a cielo abierto profunda. *Minería y Geología*, 35(1), 1-16. <https://www.redalyc.org/journal/2235/223559793004/223559793004.pdf>
- Van Keppel (2024). 2024 Volvo Construction Equipment A45G. <https://www.vankeppel.com/New-Inventory-2024-Volvo-Construction-Equipment-Articulated-Truck-A45G-15669707>
- Volvo Construction Equipment. (2022). A45G Articulated Haulers Overview. <https://www.volvoce.com/united-states/en-us/products/articulated-haulers/a45g/>