

Revista Boletín Ciencias de la Tierra

DOI: <https://doi.org/10.15446/rbct.n39.49117>

Bol. Cienc. Tierra, Número 39, p. 12-20, 2016. ISSN electrónico 2357-3740. ISSN impreso 0120-3630.

DOI: <https://doi.org/10.15446/rbct.n39.49117>

Performance mining equipment (extraction-load-transportation) in the Ernesto Guevara Factory

Rendimiento del equipamiento minero de arranque-carga-transporte de la empresa Comandante Ernesto Guevara

Orlando Belete-Fuentes a, Severo Estenoz-Mejía b & Yoandro Diéguez-García c

a Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Holguín, Cuba, obelete@ismm.edu.cu

b Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Holguín, Cuba, sestenez@ech.moa.minem.cu

c Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Holguín,, Cuba, ygdieguez@ismm.edu.cu

Received: February 11th, 2015. Received in revised form: October 26th, 2015. Accepted: November 3rd, 2015

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

Abstract

The general efficiency of the mining work of the outburst fronts in the locations of the Company Ernesto Guevara of Moa is below the productivities established stockings of exploitation for each one of the lines of teams that form the group technological outburst-load- transports. In the work approaches are exposed about the yield of the mining teams and their productivity, the behavior of the group is analyzed excavating truck for two variants of exploitation applied in the Mine: excavator-articulate truck and excavator- rigid truck. Magnitudes of the different technician-economic-productive indexes of the basic equipment are obtained on whose base cycles and productivities, and the consumption of specific fuel of the operations was determined.

The results are based in technician-productive aspects and include comparative approaches among the technique current excavator-articulate truck and excavator- rigid truck.

Keywords: Mining equipment, Synchronization, Exploitation, Mining Transport

Resumen

El rendimiento general del laboreo minero de los frentes de arranque en las minas de la Empresa Comandante Ernesto Guevara de Moa, se encuentra 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. En el trabajo se exponen criterios sobre el rendimiento de los equipos mineros y su productividad, se analiza el comportamiento del conjunto excavadora- camión para dos variantes de explotación aplicados en la Mina: Excavadora-Camión articulado y excavadora-Camión rígido. Se obtienen magnitudes de los diferentes índices técnico-económico-productivos del equipamiento sobre cuya base se determinaron las productividades y el consumo de combustible específico de las operaciones.

Los resultados se fundamentan en aspectos técnico-productivos e incluyen criterios comparativos entre la tecnología Excavadora-Camión articulado contra excavadora-Camión rígido. Se determinó la variante más efectiva desde el punto de vista consumo energético y minero técnico del conjunto Excavadora-Camión.

Palabras clave: Equipamiento Minero, Rendimiento, Explotación, Transporte Minero

1. Introducción

La industria minera en cualquier país del mundo aporta a su economía cuantiosos recursos que complementan el desarrollo en sus diferentes ramas. La industria niquelífera cubana, busca alternativas y variantes para lograr un trabajo más productivo y eficiente, por lo que se realizan diferentes investigaciones relacionadas con el proceso de extracción, transporte, beneficio y procesamiento metalúrgico de las lateritas (Estenoz, 1999; Belete, 2000; Belete et al. 2003 y Arrau, 2004).

Estudios realizados igual que Xiribimbi (1999); Belete et al. (2003) y Belete et al. (2008) determinan las vías para seleccionar el equipamiento minero racional considerando el método de explotación, sin embargo, no consideran los criterios sobre el rendimiento de los equipos mineros y su productividad, no analizan el comportamiento de la eficiencia del conjunto excavadora camión ni los diferentes índices técnico-económico-productivos del equipamiento básico y el consumo de combustible específico de las operaciones.

Existen procedimientos metodológicos que determinan la productividad de los equipos de arranque-carga y transporte en las diferentes minas de otros países (por ejemplo, los trabajos del Dr. Kuleshev, profesor de la Universidad Técnica de San Petersburgo), no así en estos yacimientos de particularidades específicas, donde se debe tener en cuenta el complejo excavadora-camión como un todo, sabiendo que los cálculos se realizan partiendo de las características técnicas de cada uno de ellos adaptadas a las condiciones concretas de trabajo (Estenoz, 1991).

El objetivo de esta investigación consistió en determinar el rendimiento del equipamiento minero óptimo que considere la sincronización de los equipos de arranque-carga-transporte de cualquier tipo y capacidad, en función del volumen y la distancia de transportación del material.

2. Materiales y métodos

Los datos utilizados para el análisis proceden de investigaciones realizadas en la mina de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara de Moa por Belete et al. (2008) y de observaciones directas en el campo, monitoreando los camiones cargados y vacíos desde los frentes de arranque hasta los puntos de descarga. También se hicieron mediciones para conocer en detalles el consumo energético y la productividad de las máquinas mineras, así como la organización del transporte minero, los cuales presentan los resultados del cálculo de las productividades teórica, técnica y de explotación de las excavadoras y camiones para jornada laboral de doce horas (un turno de trabajo) (Registro No. 55128, 2004).

El muestreo se realizó en cada frente de arranque, depósitos de mineral y escombreras, tanto para las excavadoras como para los camiones en todos los viajes, cargado y vacío.

En todos los frentes de arranque mineros se analizaron criterios sobre el comportamiento del conjunto excavadora camión para dos variantes de explotación aplicados en la Mina Che Guevara de Moa (Belete et al. 2008):

Excavadora-Camión articulado.

Excavadora-Camión rígido.

Teniendo en cuenta el complejo de mecanización en las operaciones de arranque-carga y transporte, para el cálculo de la productividad técnica de las excavadoras y camiones, se utilizó la siguiente fórmula (Britaev & Zamishlaev, 1984):

2.1. Productividad técnica

Donde:

Q_{Tec} - Productividad técnica de la excavadora en dependencia del tipo de camión a utilizar, m³/h;

k_i - Coeficiente de irregularidad de las operaciones de carga y transporte. Se considera próximo a 1 ó 100% para la más alta y efectiva organización y sincronización de las operaciones de carga y transporte;

k_u - Coeficiente de utilización de la capacidad de la cama;

T_c - Tiempo del ciclo unitario de las operaciones de arranque-carga, y descarga de la cuchara de la excavadora, min;

T_{cb} - Tiempo que duran las operaciones de maniobra y cambio del camión en la zona de carga de la excavadora, el cual depende de la propia maniobralidad del camión, de la características de la plataforma y del esquema de acceso a la excavadora;

q_e - Volumen de material que carga la cuchara de la excavadora, en m³. Este está determinado por la capacidad geométrica de la cuchara de la excavadora (E) en m³ y el coeficiente de llenado (KLL);

x - Cantidad de ciclos de trabajo de la excavadora o relación q_c/q_e .

Donde:

q_c - Capacidad geométrica óptima que debe tener el camión;

K_e - Coeficiente de esponjamiento del mineral.

La capacidad óptima de la cuchara de la excavadora para el trabajo de arranque-carga debe de estar en correspondencia con la capacidad de la cama del camión (E), la misma se calcula por la fórmula siguiente (Estenoz, 1999):

Donde:

a - Coeficiente de acomodo y comprensión de la masa de material en la cuchara de la excavadora. Este coeficiente depende de la forma de la cuchara, las propiedades físico-mecánicas del material y el tipo de excavadora.

La constante 4,39, para camiones, en la fórmula (3) representa el punto medio óptimo en la cantidad de ciclos que debe realizar la excavadora para obtener el máximo de productividad en los trabajos.

Se correlacionaron los valores de la capacidad de la cuchara de la Dragalina para el trabajo de arranque-carga E, contra el coeficiente de acomodo de la carga (a), cuyos valores fueron tomados de la relación $a = f(E)$ de la curva de la función $a = 0,0015 * E^2 + 0,0662 * E + 1,6893$. Esta función se obtuvo del procesamiento de varias mediciones realizadas en los frentes de arranque (Fig. 1).

De la Fig. 1 se deduce que la capacidad geométrica de la cuchara de la excavadora está estrechamente relacionada por el coeficiente de acomodo y comprensión de la masa de material en la cuchara de la excavadora, el cual permite un mayor aumento del coeficiente de llenado, disminuir el tiempo de ciclos de la excavadora y disminuir el tiempo de espera del camión, hecho que permite elevar progresivamente la productividad de las máquinas mineras.

2.2. Productividad de explotación de la Dragalina

Luego de calculada la productividad técnica de la excavadora (Q_{ex}) en función de la capacidad de la carga de los camiones, así como de la sincronización con las operaciones de arranque-carga, se determinó la productividad de explotación de las excavadoras (Q_{ex}) durante los turnos de trabajos, mediante la fórmula siguiente (Estenoz, 1999):

Donde:

Q_h - Productividad horaria de la excavadora en dependencia del tipo de camión a utilizar, m^3/h .

Coeficiente de utilización de la excavadora en un turno de trabajo.

Donde:

T - Duración del turno de trabajo; min.

Tp - Tiempo perdido por la excavadora en el transcurso del turno por diversas razones, las cuales se dividen en evitables (puramente organizativas) e inevitables.

Después de estas valoraciones de suma importancia para tomar decisiones, (Xiribimbi, 1999); (Belete et al. 2008), se deben revisar los promedios históricos de cada uno de estos valores y aumentarlos o disminuirlos en función de la realidad y circunstancia de cada mina.

2.3. Cálculo del parque de excavadora

Para la determinación del parque de excavadora de la mina se valoraron múltiples aspectos, los cuales se agruparon en la magnitud del coeficiente de reparaciones y mantenimientos imprevistos, así como en la magnitud económica de las pérdidas por el incumplimiento en los diferentes períodos de tiempo tanto para los trabajos mineros como para las operaciones de preparación y tratamiento metalúrgico. Además se consideraron las afectaciones de comercialización del producto final y los incumplimientos de los planes de producción.

Los conceptos anteriores se pueden simplificar a través de la siguiente expresión (Pereda & Polanco, 1999):

Donde:

Ec_{am}: Capacidad del equipo de transporte;

N_c - parque de excavadora;

KLL - coeficiente de llenado de la cuchara;

g: Peso volumétrico, t/m³;

E_{exc}: Capacidad geométrica de la excavadora, m³.

2.4. Cantidad de excavadoras necesarias para asegurar la productividad anual planificada de la mina (Estenez, 1999).

Donde:

Q_m - Productividad media de la cantera por turno; m³/turno;

k_{rm} - Coeficiente que considera las reparaciones y mantenimientos imprevistos dentro del turno de trabajo.

N_e - Cantidad de excavadoras;

Q_{ex} - Productividad de explotación de la excavadora.

Donde:

C_t - Cantidad de turnos al año; en unidades.

M_m - Masa minera a extraer anualmente en la mina, t/año.

Donde:

Ma -Masa mineral a extraer para abastecer la planta metalúrgica, se determina considerando los volúmenes del producto terminado de la empresa y la recuperación general de los componentes útiles del mineral en función de la calidad de la materia prima inicial, en t/año

Mep- Masa de escombros a extraer anualmente en la mina; t/año.

ke- Coeficiente de esponjamiento en la cuchara y en la cama del camión.

g- Masa volumétrica del mineral y de las rocas a extraer; t/m³ (Estenoz, 1999).

Donde: Pni - Producción anual de Ni ; t/año

Cni - Contenido o ley media de níquel en la masa mineral; en %.

Rni - Recuperación de níquel en el proceso de beneficio y tratamiento metalúrgico de la masa de mineral, en parte de la unidad.

2.5. Cantidad de excavadoras en inventario (Estenoz, 1999)

Donde: Ku1: Coeficiente de preparación técnica;

Ninv - Cantidad de excavadoras en inventario.

2.6. Cálculo del tiempo de recorrido total

Este cálculo no incluye el tiempo para la carga del transporte ni el tiempo transcurrido durante la espera del próximo camión para la entrada en el frente de carga (Pereda & Polanco, 1999):

Donde: Tv - Duración del viaje del equipo de transporte o camión, en min.

Lca, Lv - Longitudes respectivas de la vía de transporte para los camiones cuando transitan cargados y vacío, km.

Vca, Vv - Velocidades medias respectivas en la vía, para los trayectos con los camiones cargados y para los camiones vacíos, km.

Td - Demora del camión durante la descarga del mineral en el punto de descarga; min.

Tm - Tiempo de maniobra del camión en la plataforma de descarga; min.

2.7. Cálculo de la productividad horaria del camión (Estenoz, 1999)

Donde: Qc - productividad horaria del camión;

Tv - Duración del viaje del equipo de transporte o camión, en min. En este tiempo no se incluye la duración de las operaciones de carga.

2.8. Cálculo de la productividad del camión por turno considerando el tipo de excavadora (Estenoz, 1999)

Donde:

Qce - Productividad de explotación del camión en el turno; m³/turno

2.9. Cálculo del parque de camiones necesarios para la mina (Estenoz, 1999)

Donde: Qm - Productividad media da la mina por turno, en m³/turno.

kr - Coeficiente de reserva general, el cual considera todo el proceso de preparación técnica, incluidas las reparaciones y mantenimientos programados, así como averías parciales o generales de los camiones y además imprevistos.

2.10. Determinación del consumo de combustible de los camiones

La productividad de explotación de los camiones, distancia de transportación del material y la productividad general de la mina, permiten determinar el consumo energético de los camiones y valorar el más económico para las condiciones medias de trabajo de la mina (Rodríguez, 2003).

Finalmente se puede mediante la fórmula 14, calcular el consumo energético de los camiones (Estenoz 1999):

Donde:Cep - Consumo específico de combustible, l/h.

Según investigaciones de Britaev & Zamishlaev, (1984) y Estenoz, (1999), el consumo energético de los camiones mineros depende de su capacidad de carga. La línea general del incremento de la potencia media de los motores en función de la capacidad de la cama se puede representar por la siguiente función (Estenoz, 1999):

Sustituyendo en la fórmula (14) y (15) se obtuvo finalmente el consumo energético medio de los camiones por turno para el trabajo con excavadora de 4, 5 y 6 m³ de capacidad de la cuchara.

3. Discusión y análisis de los resultados

Los resultados obtenidos se fundamentaron en el siguiente análisis:

La productividad de explotación de la excavadora según la capacidad de la cama del camión y la distancia de transportación obtenida por la fórmula (4) se ilustra en la Fig. 2.

La Fig. 2 indica el cálculo de la productividad de explotación de la excavadora según la capacidad de la cama del camión y la distancia de transportación para cucharas de la excavadora de 4, 5 y 6 m³ de capacidad, esto indica que la productividad de explotación va disminuyendo hasta los primeros 6 000 m y a partir se produce un descenso brusco.

En la Fig. 2 se expresa el número de cucharas de la excavadora para la cama de los camiones: $X=q_c/q_e$, La Fig. 3 muestra la cantidad de cucharas de la excavadora para la cama de los camiones en función de la distancia de transportación. Se utilizaron cucharas de la excavadora de 4, 5 y 6 m³ de capacidad. Se puede observar una relación lineal entre el número de cucharas de la excavadora y la distancia de transportación.

La capacidad de la cama del camión para todos los casos, varía en función de la cuchara de la excavadora cuya tendencia al aumento, depende de la distancia de transportación (Fig. 4).

Aquí se expresa que la capacidad de la cama del camión, según la cuchara de la excavadora de 4,5 y 6 m³ de capacidad, aumenta en función de la distancia de transportación.

La productividad del camión disminuye según la distancia de transportación (Fig. 5):

La Fig. 5 muestra la disminución de la productividad horaria del camión según la capacidad de la cuchara de la excavadora (para 4,5 y 6 m³) y la distancia de transportación.

La Fig. 6 señala como disminuye la cantidad de camiones según se va alejando el frente de carga, hasta llegar a 7 000 m de distancia en función de la capacidad de la cuchara de la excavadora.

Para poder conocer la producción anual de la mina, fue necesario calcular el número total de camiones, donde se produce un aumento gradual de la productividad en los primeros 2 000 m de distancia, luego esta misma productividad comienza a descender hasta los 7 000 m (Fig. 7).

El número total de camiones para el cumplimiento de la producción anual (Fig. 7), se logra aumentando la distancia de transportación y la capacidad de la cuchara de la excavadora para 4, 5 y 6 m³. Parecido a los casos anteriores, hay un aumento de la cantidad de camiones en los primeros metros de distancia de transportación, por lo tanto aumenta la productividad. Luego comienza a disminuir con la distancia de transportación.

Los resultados de la variante analizada del cálculo del consumo de combustible de los camiones se representan en la Fig. 8, donde se muestra el consumo energético de la flota de camiones trabajando con Dragalina de 4, 5 y 6 m³ de capacidad en la cuchara.

Es evidente que con una mayor distancia de transportación, hay un menor número de viajes por turno, y por lo tanto, mayor consumo energético, así los indican las curvas en colores de la Fig. 8, donde expresa que el consumo energético de la flota de camiones disminuye en los primeros 2 000 m y comienza a aumentar hasta los 7 000 m. Se propone que para la transportación del mineral, se usen distancias menores de 2 000 m.

Un análisis similar al caso anterior se realizó para el estudio de la productividad a la variante Dragalina-camión rígido obteniéndose resultados parecidos.

Analizando ambas variantes desde el punto de vista de consumo energético, para 7 000 m de longitud de recorrido, la más racional resultó ser la Dragalina - camión rígido con capacidad de la cuchara de 4 m³ y capacidad de la cama de 30 t, y desde el punto de vista minero técnico, la variante Dragalina - camión articulado con capacidad de la cama de 21.6 t.

4. Conclusiones

El estudio realizado en la Mina de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara permitió determinar el rendimiento del equipo minero óptimo que considera la sincronización de los equipos de arranque-carga-transporte de cualquier tipo y capacidad, en función del volumen y la distancia de transportación del material.

Se desarrolló un método para determinar la relación entre la capacidad de la cuchara de la excavadora, cama del camión y distancia de transportación, que permite disminuir el consumo específico de combustible por toneladas de mineral extraído y transportado, así como alcanzar el mayor grado de homogenización del material en la cama del camión, y finalmente se determinó la variante más efectiva desde el punto de vista de consumo energético (la variante Camión rígido - Dragalina con capacidad de la cama de 30 t), y desde el punto de vista minero - técnico, resultó ser la variante camión articulado- Dragalina con capacidad de la cama de 21.6 t.

Referencias

- [1] Arrau, J., Avances tecnológicos para máquinas mineras. [en línea], [fecha de consulta 02/12/2004]. Disponible en: <http://www.portalminero.com>
- [2] Belete-Fuentes, O., Máquinas de excavación-carga. Folleto. Editorial G-Art, Guantánamo, Cuba, 2000. 60 P.
- [3] Belete-Fuentes, O., Estenoz-Mejía, S. y Diéguez-García, Y., Vías para seleccionar el equipamiento minero racional considerando el método de explotación, Taller Internacional de la Geología y la Minería del Níquel Cubano en: Memorias del V Congreso de Geología y Minería, La Habana, Cuba, 2003. ISBN 959-7117-11-8.
- [4] Belete-Fuentes, O., Estenoz-Mejía, S. y Diéguez-García, Y., Sincronización de las labores de arranque-carga-transporte de las labores mineras en la Mina de la Empresa Ernesto Che Guevara. Moa. Evento CINAREM 10/2008. ISBN 957-7237-2-1-6.
- [5] Correa-Arroyave, A., Galerías mineras: La modelización analítica como una ayuda geomecánica para el diseño minero. Revista Ingeniería e Investigación, 25, pp. 10-19, 1991.
- [6] Elias, M., Nickel laterite deposits-geological overview, resources and exploitation, in: Giant Ore Deposits: Characteristics, Genesis, and Exploration Cooke, D.R., Pongratz, J., eds, Centre for Ore Deposit Research, Special Publication 4. Univ. of Tasmania, pp. 205-220, 2000.
- [7] Estenoz-Mejía, S. Metodología para seleccionar el equipamiento óptimo en la sincronización de las labores de arranque, carga y transportación de minerales en las canteras, Evento IX Sesión Científica del CIL, Libro de resúmenes, Moa, Cuba, pp. 2-15, 1999.
- [8] García, R., Dúmpers articulados veinte años en el mercado. Revista Rocas y Minerales. XV (188), pp. 90- 92, 1997.
- [9] Pereda, S. y Polanco-Almanza, R., Transporte minero. 2da ed. Editorial Félix Varela. La Habana. 1999, 325 P.
- [10] Xiribimbi, R., Comportamiento del transporte automotor durante el trienio 1996 en la mina de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Tesis de grado. Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Cuba. 1999, 65P.
- [11] Gutiérrez, R., Influencias de las características del mineral laterítico en los índices de explotación de los camiones articulados VOLVO A40D y A35C en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Tesis de grado. Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Cuba. 2003, 60 P.
- [12] Torres, P. Estudio de la efectividad de los equipos de extracción en el yacimiento Moa Oriental. Tesis de Maestría en Minería. Instituto Superior Minero Metalúrgico, Moa, Cuba. 2003. 78 P.
- [13] Registro No. 55128. 2004. Metodología de formación del servicio técnico del equipamiento minero de transporte en las empresas de carbón. Tesis en opción al grado de

Master en Ciencias. [en línea], [Fecha de consulta: 28/09/2009]. Disponible en: http://www.bankrabort.com/work/work_55128.html?similar=1

[14] Rodríguez, A., Mayor tonelaje y más tecnología serán claves del camión minero, 2003. [en línea], [Fecha de consulta: 20/10/2008] Disponible en: <http://html.rincondelvago.com/ccamióminero.html>.

O. Belete-Fuentes, es graduado de Ing. de Minas en 1986 y de Dr. en Ciencias Técnicas en 1999, ambos del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez", en Holguín, Cuba. Se desempeña como profesor de Topografía Minera y Máquinas Mineras en la facultad de Minas del ISMMM desde 1979, con 36 años de experiencia en la docencia. Ha publicado varios artículos relacionados con la Topografía Minera, y específicamente en el cálculo de los errores que afectan el volumen de mineral extraído. Ha participado en proyectos nacionales e internacionales. Es coordinador de la maestría Topografía Minera y ha obtenido varios premios en investigación otorgados por la Academia de Ciencias Provincial de Cuba. Es miembro del tribunal nacional de defensa de doctorado. Ha dirigido varios doctorados y maestrías. ORCID: 0000-0002-2491-8030

S. Estenoz-Mejía, es graduado de Ing. de Minas en 1985 en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez", en Holguín, Cuba. Se desempeña como especialista de Minas en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara de Moa desde 2007. Trabajó de investigador principal en el centro de investigación del Níquel (CEDINIQ) 10 años. Ha participado en proyectos nacionales e internacionales y tiene artículos publicados en revistas de alto impacto. Orcid: 0000-0002-9068-5001

Y. Diéguez-García, es graduado de Ing. de Minas en 2006 con título de oro y de Dr, en Ciencias Técnicas en 2014, ambos del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez", en Holguín, Cuba. Se desempeña como profesor de fragmentación de rocas con explosivos en la Facultad de Geología y Minería del ISMMM desde el año 2006, posee 10 años de experiencia en la docencia. Ha publicado varios artículos relacionados con la explotación subterránea y a cielo abierto. Ha participado en proyectos nacionales e internacionales. Es coordinador de la Maestría Minería y ha obtenido premios en investigación otorgados por la Academia de Ciencias Provincial de Cuba. Es miembro de la Comisión nacional de la Carrera de Minería y Vicedecano Docente de la Facultad. ORCID: 0000-0003-0054-5476