



Determinación de la productividad y consumo de combustible del camión volvo A40ffs en la mina Comandante Guevara

Determination of productivity and fuel consumption of the Volvo A40ffs truck at the Comandante Guevara mine

Determinação da produtividade e do consumo de combustível do camião Volvo A40ffs na mina Comandante Guevara

Orlando Belette-Fuentes^I

orlandobelette@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-2866-0540>

Ernesto Reyes-Céspedes^{II}

ernesto.reyes@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-8003-3619>

Christian Ordóñez-Guaycha^{III}

cordoniez@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-0111-8476>

Josué González-Coronel^{IV}

josue.gonzalez@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-0859-0493>

Eduardo Santiago Cazar-Rivera^{IV}

ecazar@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-6081-1804>

Correspondencia: orlandobelette@gmail.com

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 05 de junio de 2024 * **Aceptado:** 17 de julio de 2024 * **Publicado:** 16 de agosto de 2024

- I. Profesor Titular, Universidad de Holguín, Cuba.
- II. Docente Investigador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH, Sede Morona Santiago, Morona Santiago, Ecuador.
- III. Docente Investigador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH, Sede Morona Santiago, Morona Santiago, Ecuador.
- IV. Docente Investigador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH, Sede Morona Santiago, Morona Santiago, Ecuador.
- V. Docente Investigador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH, Sede Morona Santiago, Morona Santiago, Ecuador.

Resumen

La investigación se realizó en la mina de Níquel Ernesto Che Guevara de Moa Holguín, con el objetivo de determinar el comportamiento de la productividad y consumo de combustible de los camiones volvo A40Ffs y las excavadoras. Para el desarrollo de esta investigación, se realizó un trabajo de campo donde se hizo un estricto monitoreo de los camiones y de la excavadora, realizándose el estudio de la productividad, consumo de combustible, masa viajera transportada por los camiones entre otras variables, revisándose también los planes de operaciones y registros del control a la producción, así como las variables registradas por el sistema de posicionamiento global (GPS). Como conclusión se obtuvo Se determinó el consumo de combustible por viaje, por kilómetro y por toneladas de mineral transportado, obteniéndose un consumo de 25.1 l de petróleo por hora de trabajo del camión; 0,507 l/Km recorrido del mismo y 0.403 l/t en base seca transportada y se calculó el tiempo requerido por la excavadora para cargar cada camión con masa viajera y sin ella, lo que permite, con el parque adecuado de camiones asignado a cada excavadora, ahorrar 4.7 horas de operación de la excavadoras por turno, que equivale a 192.91 h/turno y 140 000 pesos/año.

Palabras clave: Consumo de combustible; Productividad; Camiones mineros; Excavadoras mineras.

Abstract

The research was conducted at the Ernesto Che Guevara Nickel Mine in Moa Holguín, with the aim of determining the productivity and fuel consumption behavior of the Volvo A40Ffs trucks and excavators. For the development of this research, field work was carried out where strict monitoring of the trucks and the excavator was done, carrying out the study of productivity, fuel consumption, traveling mass transported by the trucks, among other variables, also reviewing the operations plans and production control records, as well as the variables recorded by the global positioning system (GPS). As a conclusion, it was obtained that fuel consumption per trip, per kilometer and per ton of transported mineral was determined, obtaining a consumption of 25.1 l of oil per hour of work of the truck; 0.507 l/km traveled and 0.403 l/t in dry transported base and the time required by the excavator to load each truck with and without traveling mass was calculated, which allows, with the appropriate fleet of trucks assigned to each excavator, to save 4.7 hours of excavator operation per shift, which is equivalent to 192.91 h/shift and 140,000 pesos/year.

Keywords: Fuel consumption; Productivity; Mining trucks; Mining excavators.

Resumo

A investigação foi realizada na mina de Níquel Ernesto Che Guevara em Moa Holguín, com o objetivo de determinar o comportamento da produtividade e do consumo de combustível dos camiões e escavadoras Volvo A40Ffs. Para o desenvolvimento desta investigação foi realizado um trabalho de campo onde foi realizada uma monitorização rigorosa dos camiões e da escavadora, estudando a produtividade, o consumo de combustível, a massa viajada transportada pelos camiões entre outras variáveis, e também revendo planos de operações e registos de controlo da produção, bem como as variáveis registadas pelo sistema de posicionamento global (GPS). Como conclusão, determinou-se o consumo de combustível por viagem, por quilómetro e por tonelada de mineral transportado, obtendo-se um consumo de 25,1 l de óleo por hora de trabalho do camião; 0,507 l/Km de deslocamento e 0,403 l/t em base seca transportados e foi calculado o tempo necessário para a escavadora carregar cada camião com e sem massa de deslocamento, o que permite, com o parque adequado de camiões atribuído a cada escavadora, poupar 4,7 horas de funcionamento da escavadora por turno, o que equivale a 192,91 horas/turno e 140.000 pesos/ano.

Palavras-chave: Consumo de combustível; Produtividade; Camiões de mineração; Escavadoras de mineração.

Introducción

La industria minera constituye la base de materia prima para la industria metalúrgica. Sin metales no podría subsistir prácticamente ninguna rama de un país. La materia prima necesaria para la obtención de los metales la constituyen los minerales cuya extracción es la tarea primordial de la industria minera. La actual Unidad Básica Minera de la Empresa Comandante Che Guevara cuenta con equipos de transporte de alta tecnología, pero aún en la actualidad no se ha logrado alcanzar el máximo de los indicadores técnico-productivos proyectados, aspectos poco estudiados y en el que se debe profundizar más para lograr mayor eficiencia y calidad posible en el transporte de la masa minera. El transporte del mineral es un elemento de gran importancia en el flujo tecnológico de cualquier empresa minera. La elección, puesta en marcha y funcionamiento del tipo de transporte, exige la mayor rigurosidad en cuanto a su factibilidad económica y disponibilidad técnica.

Históricamente este ha sido uno de los elementos más problemáticos de la industria del níquel, debido fundamentalmente a las características inherentes de los yacimientos lateríticos, como son, una humedad casi perenne en los frentes de trabajo y la topografía accidentada típica de estos yacimientos. Por otro lado, con el paso de los años han ido aumentando las distancias de tiro del mineral. Todo esto trae aparejado que los sistemas de transporte diseñados no sean lo suficientemente eficientes, según lo planificado. En la actualidad estos fenómenos han ido en retroceso debido a la introducción de tecnologías de punta y a la aparición de nuevas formas de planificar la transportación del mineral. El objetivo de esta investigación consiste en determinar la productividad y consumo de combustible de los camiones volvo A40Ffs y las excavadoras en la mina de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara, para definir las causas que influyen en la deficiencia de los mismos durante la operación de carga y transporte de la masa minera.

Estado actual de la temática en Cuba

Toirac Covas (2010) en su investigación sobre el rendimiento del transporte automotor en la mina de la Empresa Che Guevara plantea que la disponibilidad técnica de los equipos de transporte de masa minera se afecta por estadía de los equipos en áreas de los talleres por deficiente suministro de piezas de repuesto en un 3.01 %, la productividad horaria y la utilización del parque de los equipos de transporte se afecta hasta un 7 % por deficiente preparación de los frentes de trabajo para el desarrollo de la minería, y que la vida útil del equipamiento para las condiciones actuales de explotación con alto rendimiento, en ninguno de los casos se corresponde con la propuesta establecida por el fabricante siendo, en todo los casos menores. Guerra (2012) realizó un análisis crítico y detallado sobre la eficiencia de las excavadoras en la Empresa Comandante Che Guevara, donde plantea que la alta selectividad de la extracción con retroexcavadora permite la extracción del mineral útil en las áreas donde existen intercalaciones de rocas básicas, no pudiendo ser así en el caso de las Dragalinas. Reflejando también que la extracción por bancos múltiples con retroexcavadora tiene su campo de aplicación en los yacimientos de lateritas níquelíferas de la región, donde resulta ventajoso para determinadas condiciones geólogo – mineras presentes en los mismos. Téllez Pérez (2019) en su trabajo Rendimiento de la sincronización de las labores de arranque y carga en la mina Ernesto Che Guevara, plantea la necesidad de realizar una valoración económica efectiva de la variante retro/camión, pero no deja claro las ventajas y desventajas de esas variantes. Reyes (2014) en su investigación, dejó claro le necesidad de hacer un estudio de

comparación de las variantes retroexcavadora/camión Volvo y Dragalina/camión Volvo. Otros autores como Ojeda et al., (2022), Gómez y Correa, (2011) y (García, 2013) no consideraron el factor productividad de los camiones en sus investigaciones.

Materiales y métodos

Para el desarrollo de este capítulo se realizó un trabajo de campo donde se monitorearon los camiones del modelo volvo A40Ffs recientemente ingresado a la Empresa. En general se monitorearon 11 turnos de trabajo, 300 viajes de los camiones cargados y vacíos desde los frentes de arranque hasta los puntos de descarga y otros lugares. También se hicieron fotografías laborales para conocer en detalles el comportamiento del gasto de combustible, la productividad y la masa viajera de los camiones, así como el proceso organizativo del transporte minero. Se determinó las características técnico-operativas del camión VOLVO A40Ffs, su ciclo de trabajo, on board weighing (equipo operativo), sistema de carga y descarga.

Monitoreo de las operaciones mineras

Durante la segunda quincena de abril y la primera de mayo se efectuó un monitoreo detallado de las operaciones mineras del proceso de carga y transporte del mineral en la mina de la ECG, en la tabla 1 se muestran los equipos y áreas previstas en la planificación de la mina durante el monitoreo de las operaciones en cada una de las jornadas de trabajo.

Las principales variables monitoreadas fueron:

- Consumo de combustible;
- Distancia recorrida;
- Masa en la cama del camión;
- Velocidad del camión;
- Tiempo de cada una de las actividades ejecutadas en las operaciones minera.

Tabla 1: Datos generales del periodo monitoreado a las operaciones mineras.

Fecha	Equipo carga	Equipo transp	Hora inicio	Hora final	Tiempo monitor	Área bloque	Pozo banco	Yaci-miento	Lluvia d/año	Dist Km	#cami asigna.	Excav. t/turno
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
17/4	1174	1316	07:19	18:53	11:34	S-48	54	P.G.	17.8	2.0	2	1500
19/4	1174	1313	07:20	13:56	06:36	S-48	44	P.G.	17.8	3.0	3	1500
22/4	1305	1320	12:35	15:20	02:45	H-59	B-184	Y.S.	47.8	5.1	7	1000
23/4	1305	1313	07:17	11:26	04:09	H-58	B-184	Y.S.	47.8	5.1	7	1000
24/4	1305	1313	07:26	12:37	05:11	H-59	B-183	Y.S.	47.8	5.1	8	1000
25/4	1305	1316	07:28	10:19	02:51	H-59	B-183	Y.S.	47.8	5.0	8	1500
29/4	1311	1318	07:21	15:54	08:33	S-60	B-50	Y.N.	68.0	3.9	5	1800
30/4	1311	1313	07:35	18:11	10:36	S-60	B-56	Y.N.	68.0	3.9	5	1800
2/5	1311	1316	07:09	18:34	11:25	S-60	B-56	Y.N.	68.0	3.9	3	1000
3/5	1305	1316	07:28	18:47	11:19	H-59	B-178	Y.S.	47.8	5.0	7	1000
8/5	1311	1314	19:21	04:30	09:09	S-60	B-50	Y.N.	68.0	4.4	4	950

Para la determinación de las variables antes mencionadas, se utilizaron los registros de la computadora del camión A40Ffs y un cronómetro digital de hasta 30 registros en memoria. Además, en los turnos monitoreados se revisaron los planes de operaciones y registros del control a la producción, así como las variables registradas por el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) instalado en cada uno de los camiones y disponibles en el despacho de producción y el departamento técnico de la mina.

Monitoreo de la productividad, consumo de combustible, y otras variables de los camiones

En la tabla 2 se resumen los datos del monitoreo de los camiones y las principales variables determinadas durante el estudio. En la misma se muestran las principales variables monitoreadas, donde se determinó el número de viajes de cada camión, el cual promedia 1.45 viajes por hora, equivalente a una productividad de 31 t en base seca por hora. También se muestran las determinaciones de la masa viajera media en la cama de los camiones, la cual oscila entre 0.86 y 1.84 t en base seca por cada viaje transportado. Las diferencias en la masa viajera están dadas por las diferencias de masa volumétrica del mineral y el grado de adherencia del material a la cama de

los camiones, los cuales a su vez dependen de la humedad del mineral en cada uno de los frentes de minería. También se muestra el total de la masa viajera durante los 119 viajes de camiones monitoreados, la cual asciende a 223 t, y es equivalente a dejar de transportar 10 camiones de mineral. De esta forma se determinó el número de viajes de los camiones necesarios a realizar según el plan de minería para cada frente de arranque y carga de mineral de las excavadoras. Por ello se determinó la capacidad de los camiones con y sin masa viajera, como se puede ver en la tabla 2, y la pérdida de productividad del camión en el turno a causa de la masa viajera. Por otra parte, se determinó el número de camiones necesarios para cumplir el plan de producción, considerando o no la masa viajera con la menor cantidad posible de la misma. En estas condiciones de operaciones se determinó el consumo de combustible de los camiones en una y otra operación minera; así como el consumo horario, por kilómetro recorrido y por viaje efectuado de los camiones, los cuales oscilaron de acuerdo a las características y distancia de los frentes de minería, de los puntos de descarga del mineral. Se concluye que como consecuencia de la masa viajera en los camiones se perdían en cada turno 145 l de Diesel, lo cual representa 106 mil l/año, más de 90 t de Diesel y además dejar de utilizar un camión en 180 días al año.

Tabla 2: Determinación de las variables del monitoreo de los camiones.

Equipo	TM	# viajes	RT	RV	CDM	CDH	CDR	CDV
	Hr	#	Km	Km/viaje	l	l/h	l/Km	l/vía
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1312	6.6	13	58.7	4.5	133.4	22.9	0.44	10.3
1313	19.9	28	262.7	9.4	509.7	25.7	0.52	18.2
1314	9.2	9	90.2	10.0	166.6	25.0	0.54	18.5
1316	37.2	53	395.3	7.5	181.3	24.6	0.51	14.7
1318	8.6	12	109.7	9.1	199.8	26.8	0.55	16.7
1320	2.8	4	35.6	8.9	75.1	28.9	0.47	18.8
Total	84.1	119	263.4	8.0	517.7	25.1	0.51	15.7

Donde:

1- Siglas o nombre del camión; 2- Tiempo monitoreado a cada equipo (camión); 3- Número de viajes durante el tiempo muestreado 4- Recorrido promedio del camión por viaje realizado; 5-

Suma total de todos los recorridos efectuados por el camión durante el tiempo en que fueron monitoreados sus operaciones; 6- Consumo total de combustible del camión durante todo el tiempo monitoreado; 7- Consumo de combustible promedio del camión por hora de trabajo durante el tiempo monitoreado 8- Consumo de combustible del camión por kilómetro recorrido; 9- Consumo de combustible del camión por viaje realizado.

Tabla 2: Determinación de las variables del monitoreo de los camiones. Continuación.

Equipo	CDM	VmM	VmC	QH	TCT	TCA	TNV	TTV
	l/t	Kph	Kph	t/h	min	min	min	min
1	10	11	12	13	14	15	16	17
1312	0.62	21.0	20.2	32.6	339	11	26	27
1313	0.39	21.1	21.2	33.9	1031	159	37	42
1314	0.48	21.1	23.1	23.6	389	11	43	44
1316	0.35	22.4	22.8	30.5	1720	183	32	36
1318	0.44	27.2	23.9	29.4	341	105	28	37
1320	0.38	23.2	22.3	34.1	156	0	39	39
Total	0.40	22.4	23.3	31.0	1115	131	33	37

Donde:

10- Consumo de combustible del camión por tonelada de mineral transportada; 11- Velocidad media del camión según el monitoreo efectuado por la computadora para los tramos de la traza (camino) bueno, regular y malo; 12- Velocidad media calculada según la distancia recorrida y la duración de cada viaje, lo primero por la PC del camión y lo segundo por el cronómetro; 13- Productividad de explotación del camión, t/h; 14- Suma de todo el tiempo del motor trabajando en cada equipo (camión); 15- Suma de todo el tiempo del motor apagado en cada equipo (camión); 16- Duración del viaje promedio para los tiempos del motor del equipo trabajando; 17- Duración del viaje promedio en el tiempo total monitoreado en el camión.

Tabla 2: Determinación de las variables del monitoreo de los camiones. Continuación.

Equipo	VH	MVV	MVT	VT	QMV	PQMV	QNsMV	NCcMV
	#/h	t/viaje	t	#/turno	t/turno	t/turno	t/turno	#
1	18	19	20	21	22	23	24	25

1312	1.97	0.86	11.1	23.6	391	20.3	406	11.2
1313	1.40	1.07	29.8	16.9	410	18.0	424	10.7
1314	0.98	1.84	16.6	11.8	283	21.7	302	15.5
1316	1.43	1.17	62.0	17.1	375	20.0	396	11.7
1318	1.40	1.36	16.3	16.8	352	22.9	372	12.4
1320	1.45	1.49	6.0	17.5	409	26.0	431	10.7
Total	1.45	1.19	38.9	17.4	377	20.2	395	11.7

Donde:

18- Número de viajes por hora; 19- Masa viajera (acompañante) en la cama del camión durante el tiempo monitoreado; 20- Masa viajera total transportada durante todos los viajes del camión en el periodo monitoreado; 21- Número de viajes del camión en el turno; 22- Productividad del camión en el turno considerando la masa viajera en la cama del camión; 23- Pérdida de productividad del camión en el turno por causa de la masa viajera; 24- Productividad neta del camión en el turno considerando la utilización de una red de sogas de Henequén cuyo peso y dimensiones ocupa 220 Kg en la capacidad de la cama del camión; 25- Número de camiones necesarios en el turno para transportar toda la masa de mineral del plan de producción de este frente de arranque y carga en la minería considerando la pérdida de productividad del camión por concepto de la masa viajera, o la capacidad real de transporte del camión con la existencia de masa viajera.

Tabla 2: Determinación de las variables del monitoreo de los camiones. Continuación.

Equipo	CRCcMV	CRCsMV	NCcR	NVcR	NVsR	DcR	DsR
	t	t	#	#	#	t/turno	t/turno
1	26	27	28	29	30	31	32
1312	16.5	17.2	10.8	255	265	2621	2722
1313	24.3	25.2	10.3	174	180	3171	3283
1314	24.0	25.6	14.5	171	183	3169	3384
1316	21.9	23.1	11.1	190	200	2795	2946
1318	20.9	22.1	11.8	199	210	3309	3489
1320	23.4	24.7	10.2	177	187	3332	3513
Total	22.0	23.1	11.2	192	202	2963	3108

Donde:

- 26- Capacidad real de la cama del camión descontando la masa viajera en cada viaje;
 27- Capacidad real de la cama del camión sin el efecto de la masa viajera, y con el uso de la red de Henequén de 220 Kg de la cama del camión; 28- Número de camiones necesarios en el turno para transportar toda la masa mineral del plan de producción desde ese frente minero si los camiones tuviesen la red de Henequén instalada; 29- Número de viajes necesarios de los camiones en el turno para cumplir el plan si todos los camiones tuviesen la red de Henequén instalada; 30- Número total de viajes de los camiones en el turno para cumplir el plan de producción si ninguno de los camiones tuviese red instalada; 31- Consumo de combustible de los camiones en el turno cuando trabajan con la red de Henequén; 32- Consumo de combustible de los camiones en el turno cuando trabajan sin la red de Henequén.

Tabla 2: Determinación de las variables del monitoreo de los camiones. Continuación.

Equipo	DA _t C	DA _a C	DA _a C	TOC _c MV	TOC _s MV	GOA _t C	GOA _a C
	l/turno	l/año	\$/año	h	h	\$/turno	\$/año
1	33	34	35	36	37	38	39
1312	101	73811	73073.18	119	114	167.38	122190.07
1313	112	81882	81063.46	128	123	165.39	120735.78
1314	214	156464	154899.90	135	127	325.10	237320.94
1316	151	110360	109256.05	120	113	232.61	169804.28
1318	180	131364	130050.31	130	123	254.12	185504.93
1320	181	132098	130777.18	121	115	237.00	173013.47
Total	145	106002	104942.03	124	118	218.98	159854.63

Donde:

- 33- Ahorro de combustible de los camiones en el turno con el uso de la red de Henequén;
 34- Ahorro de combustible de los camiones en el año con el uso de la red de Henequén; 35- Monto del ahorro de combustible de los camiones en el año con el uso de la red de Henequén;
 36- Tiempo de operación de los camiones cuando trabajan con masa viaje en la cama; 37- Tiempo de operación de los camiones cuando trabajan sin masa viajera en la cama a causa de la red de henequén; 38- Gastos de Operaciones de los camiones ahorrados por turno; 39- Gastos de Operaciones de los camiones ahorrados al año.

Monitoreo de la productividad, consumo de combustible, y otras variables para las excavadoras

En la tabla 3 se resumen los datos del monitoreo de las excavadoras y las principales variables determinadas durante el estudio. En esa tabla se muestran las variables monitoreadas, donde se determinó el tiempo de trabajo de la excavadoras para cargar cada camión, el número de viajes que pueden cargar las excavadoras por hora y por turno, así como el tiempo de cada una de las operaciones de las excavadoras, entre ellas, el tiempo neto y total cargando un camión, tiempo en espera de la maniobra de entrada y salida de los camiones al frente de minería, tiempo en habilitar y hacer la revisión técnica de las excavadoras en el campo, tiempo de espera por camiones atascados y el buldócer preparando y limpiando el frente entre otros tiempos secundarios y menos representativos por su magnitud y frecuencia. Se realizó un análisis del tiempo que la excavadora pierde por causa de la masa viajera, la cual resta capacidad de carga al camión, así como por no constar con el parque adecuado de camiones. Además, se tomaron las cantidades de combustible cada día y los trabajos planificados por la orden de extracción y los registros de control de la producción del departamento técnico de la mina. Con estas variables se determinó el consumo de combustible de la excavadora por tonelada de mineral cargado, por camión cargado, por hora y por turno, así mismo se determinó el nivel de pérdida de tiempo y productividad en cada turno como resultado de la masa viajera y por la excavadora trabajar con un número de camiones inferior al necesario para que ella esté ocupada alrededor del 85 % de tiempo del turno.

Tabla 3: Determinación de las variables del monitoreo de las excavadoras.

Equipo	TM	CCa	TCa	TEs	TPe	MCa
	h	#	min	min	min	T
1	2	3	4	5	6	7
1305	26.3	31	108.2	5.3	28.5	761
1311	39.7	55	157.1	13.7	61.9	1250
1174	18.2	33	171.2	48.1	44.3	574
Total	84.1	119	436.5	67.1	134.7	2584.8

Donde:

1- Siglas o nombre de la excavadora; 2- Tiempo monitoreado a cada excavadora; 3- Número de camiones cargados durante el tiempo monitoreado; 4- Suma del tiempo total empleado por la excavadora para cargar los camiones, min; 5- Total de tiempo que la excavadora estuvo en espera por maniobra de los camiones, camión atascado u otras causas; 6- Total de tiempo que la excavadora estuvo parada por merienda, habilitando, revisión técnica, preparación del cargadero por el buldócer u otras causas; 7- Masa de mineral neta cargada por la excavadora durante el periodo monitoreado.

Tabla 3: Determinación de las variables del monitoreo de las excavadoras. Continuación.

Equipo	TNC	TTC	NCCa	QEH	QET	NCp
	min	min	#/h	t/h	t/turno	#
1	8	9	10	11	12	13
1305	3.7	4.6	8.8	216	2593	7
1311	3.1	4.2	5.9	134	1612	4
1174	6.6	8.0	4.4	76	913	2
Total	4.2	5.4	6.3	139	1674	4.5

Donde:

8- Tiempo neto medio empleado en cargar un camión; 9- Tiempo total necesario para cargar un camión; 10- Número de camiones cargados por la excavadora en cada hora; 11- Productividad de explotación horaria de la excavadora; 12- Productividad de explotación en el turno de la excavadora; 13- Número de camiones planificados a la excavadora para ese turno.

Tabla 3: Determinación de las variables del monitoreo de las excavadoras. Continuación.

Equipo	RMVp	QTp	TEP	NCcMV	QNEfC	NCcR
	Km	t/turno	min	#	t/turno	#
1	14	15	16	17	18	19
1305	5.052	1032	20	11	3859	10
1311	3.982	1399	35	10	3869	9
1174	2.100	1500	25	4	1567	7
Total	3.739	1331.5	28.1	9	3228	9

Donde:

14- Distancia media de transportación de los camiones a cada excavadora; 15- Plan de producción medio previsto en los días y turnos en que se monitoreó esa excavadora; 16-Tiempo empleado por la excavadora en otros trabajos; 17- Número de camiones necesarios para que la excavadora no pare por falta de camiones; 18- Productividad de la excavadora sin perder tiempo por falta de camiones; 19- Número de camiones con la red de Henequén para que la excavadora no pare por falta de camiones.

Tabla 3: Determinación de las variables del monitoreo de las excavadoras. Continuación.

Equipo	QEcRfC	QEpC	DHE	DCE	DrEfC	DAEt	DAEa
	t/turno	t/turno	l/turno	l/turno	l/turno	l/turno	l/año
1	20	21	22	23	24	25	26
1305	4051	1266	988	484	461	504	367762
1311	4086	2257	671	300	284	371	270546
1174	1660	654	714	419	396	295	215152
Total	3404	1555	765	381	361	384	280510

Donde:

20- Productividad nominal de la excavadora trabajando con el parque necesario de camiones con la red de Henequén; 21- Producción no realizada por la excavadora en el turno al no asignársele el parque necesario de camiones; 22- Combustible habilitado actualmente a las excavadoras en un turno de trabajo; 23- Combustible consumido en la excavadora según la cantidad de trabajo planificado para cada turno de trabajo; 24- Combustible requerido por las excavadoras para realizar la producción planificada actualmente en el turno; 25- Diesel no utilizado (ahorrado) por las excavadoras para cumplir el plan de producción previsto para los turnos monitoreados; 26- Ahorro anual de combustible de la excavadora por concepto de la masa viajera y el parque requerido de camiones.

Tabla 3: Determinación de las variables del monitoreo de las excavadoras. Continuación.

Equipo	GACEa	TOEcMV	TOEsMV	GOhE	GOTe	GOaE
	\$/año	h	h	\$/h	\$/turno	\$/año
1	27	28	29	30	31	32
1305	364084	11	8.1	40.14	117.93	86091.53
1311	267841	11	5.0	40.14	240.86	175828.33
1174	213001	11	7.0	45.76	183.44	133912.75
Total	277705	11	6.3	41.70	192.91	140827.87

Donde:

27- Monto anual ahorrado en combustible por las excavadoras; 28- Tiempo de operación de las excavadoras en el turno con masa viajera y parque de camiones en el turno; 29- Tiempo de operación de las excavadoras en el turno sin masa viajera y parque de camiones requerido en el turno; 30-Costo horario de operaciones de las excavadoras; 31-Gastos de operaciones ahorrado por la excavadora en el turno por aumento de capacidad del camión sin masa viajera y parque de camiones requeridos; 32- Gastos de operaciones ahorrado por la excavadora al año por aumento de capacidad del camión sin masa viajera y parque de camiones requeridos.

También se tuvo en cuenta el régimen de lluvias caídas en la mina (tabla 4).

Cálculo de la red para la cama del camión

Durante el monitoreo de los camiones en diferentes turnos de trabajo, se demostró que, durante la operación de transporte de la masa minera, en determinados viajes se hace necesario realizar la limpieza de la cama de los mismos, ya sea con una retroexcavadora o con la cama del mismo camión levantada dándole hacia adelante y hacia atrás, para evitar que el camión circule en los viajes vacíos con cierta cantidad de toneladas de mineral pegada en la cama. En diferentes estudios realizados por especialistas en minas de la Empresa, se ha demostrado que con una red de sogas de material (Henequén) el mineral no se pega en la cama del camión y este puede realizar el turno de trabajo completo sin necesidad de hacer la limpieza de la misma, evitando la pérdida de tiempo dentro de la jornada laboral y el consumo de combustible de la retroexcavadora y del mismo camión en esta operación. Es por ello que se da la tarea de realizar el cálculo de la red antes mencionada para un aumento de la productividad de los camiones (Volvo A40FFS) durante un ciclo de trabajo.

1. Cálculo del área de la cama del camión (Volvo A40FFS):

- ✓ Área de la base: $A = B * L = 3074 * 5821 = 17.9 \text{ m}^2$
- ✓ Área lateral: $Al = L * 2H = 5821 * 2(1507) = 17.5 \text{ m}^2$
- ✓ Área del frente: $Af = H * B = 1507 * 3074 = 4.6 \text{ m}^2$
- ✓ Área total: $At = Ab + Al + Af = 17.9 + 17.5 + 4.6 = 40.1 \text{ m}^2$

2. Cálculo de la red para la cama del camión:

- ✓ Longitud de la soga por el borde de la cama de (24 mm): $Lb = (2*L) + (2*B) = (2*5821) + (2*3074) = 17,79 \text{ m}$,
- ✓ Longitud de cada soga por el largo de la cama: $Ll = L+H = 5821+1507 = 7,32 \text{ m}$,
- ✓ Longitud de cada soga por el ancho de la cama: $LB = (2*H) + B = (2*1507) + 3074 = 6,088 \text{ m}$, Número de sogas por el ancho de la cama: $\eta.\text{ancho} = (LB+d)/(d+ \varnothing 1) = (6300+1,6)/(1,6+12) = 448 \text{ sogas}$,
- ✓ Número de sogas por el largo de la cama: $\eta.\text{largo} = (Ll+d)/(d+ \varnothing 2) = (7328+1,6)/(1,6+6) = 964 \text{ sogas}$,
- ✓ Área de la red: $Ared = Ll* LB = 7,32*6,08 = 44,61 \text{ m}^2$

Donde:

L : largo de la cama del camión (5821 mm);

H : altura de la cama del camión (1507 mm);

B : ancho de la cama del camión (3074 mm);

$\varnothing 1$: diámetro de la soga por el ancho de la red (12 mm);

$\varnothing 2$: diámetro de la soga por el largo de la red (6 mm);

d : distancia entre sogas de la red (1,6 mm).

Determinación de los Gastos Económicos

En la tabla 5 se presenta la determinación de los gastos incurridos.

Tabla 5: Determinación del costo horario de operaciones del camión articulado Volvo A40Ffs, de la retroexcavadora Liebherr 974B y excavadora Dragalina Liebherr HS855HD.

Elementos de costo	Camión articulado			Retroexcavadora			Excavadora		
	MN/h	CUC/h	Mt/h	MN/h	CUC/h	Mt/h	MN/h	CUC/h	Mt/h

Mantenimiento	-	26.49	26.49	-	19.84	19.84	-	22.62	22.62
Amortización	8.11	-	8.11	16.99	-	16.99	19.37	-	19.37
Salario	1.49	-	1.49	1.49	-	1.49	1.70	-	1.70
Vacaciones	0.13	-	0.13	0.14	-	0.14	0.16	-	0.16
Seguridad social	0.21	-	0.21	0.21	-	0.21	0.24	-	0.24
Impuesto util. Fuerza de trabajo.	0.37	-	0.37	0.37	-	0.37	0.42	-	0.42
Estimulación en CUC	-	0.44	0.44		0.44	0.44	-	0.50	0.50
Estimulación en MN	0.66	-	0.66	0.66	-	0.66	0.75	-	0.75
Total	10.97	26.93	37.9	20.28	20.28	40.14	22.64	23.12	45.76

Medidas para minimizar la contaminación de la naturaleza por causa de la transportación de masa minera

- No derramar residuos tóxicos en el suelo que provoquen la contaminación de las aguas;
- Mantener el riego de agua con pipas a lo largo de las vías, área de plataforma, áreas del taller en períodos de larga sequía;
- Colocar los guardapolvos a los equipos de transporte.

Medidas de seguridad para los camiones

- No posesionarse dentro del radio de acción de la máquina excavadora;
- Acercarse a cargar solo cuando se esté seguro que el operador que carga lo haya visto y dar señales de tipo visual (luces) o sonoras (claxon);
- Lograr la mayor horizontalidad del camión a la hora de ejecutar la carga;
- Circular por los caminos a velocidades establecidas;
- No circular paralelo, ni adelantar si el camión no está detenido;
- Depositar el material en los puntos escogidos;
- No abandonar la posición de sentado cuando esté cargando el camión;
- No abandonar el camión en pendientes confiando en los frenos de parqueo;

- No circular siempre por las mismas marcas dejadas por el camión anterior, de manera que se puedan evitar las zanjas profundas.

Conclusiones

Se determinó la productividad y el consumo de combustible de los camiones volvo A40Ffs y las excavadoras en la mina de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara, el cual permitió definir las causas que influyen en la deficiencia de los mismos, durante la operación de carga y transporte de la masa minera. Se calculó la masa viajera por cada camión, reportando una cantidad de 1.19 t por cada viaje, para un total de 230 507 t, con un equivalente de 264796.66 pesos considerando el consumo de combustible. La reducción de la masa viajera con la red de henequén permitió incrementar la capacidad de la cama del camión de 21.7 a 22.9 t por viaje, lo que representa dejar de transportar en cada turno 10 viajes. Además, permitió dejar de consumir 384 l de combustible por cada excavadora en el turno, producto al efecto de la masa viajera. Se determinó el consumo de combustible por viaje, por kilómetro y por toneladas de mineral transportado, obteniéndose un consumo de 25.1 l de petróleo por hora de trabajo del camión; 0,507 l/Km recorrido del mismo y 0.403 l/t en base seca transportada y se calculó el tiempo requerido por la excavadora para cargar cada camión con masa viajera y sin ella, lo que permite, con el parque adecuado de camiones asignado a cada excavadora, ahorrar 4.7 horas de operación de la excavadoras por turno, que equivale a 192.91 h/turno y 140 000 pesos/año.

Referencias

1. Andrea Alejandra, G., Gil Costa, V., Mansilla, M., Narváez, D., Eugenia Bertello, M. y Besso, M. (2016). Simulación aplicada al cálculo de capacidades de almacenamiento y stock piles. *Minería y Geología* 32(2),70-86. ISSN 1993 8012
2. García de La Cruz, M. (2013). Procedimiento para el reemplazo de los equipos mineros. (Tesis doctoral). Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. 153 p.
3. Gómez M. R. A. y Correa E. A. A. (2011). Análisis del transporte y distribución de materiales de construcción utilizando simulación discreta en 3D. *Boletín de Ciencias de la Tierra* 30(1), 39–52. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/article/view/29292>

4. Khitous, F., Strozzi, F., Urbinati, A. Alberti, F. (2020). A Systematic Literature Network Analysis of Existing Themes and Emerging Research Trends in Circular Economy. *Sustainability* 12(4), p. 1633. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12041633>
5. Guerra, E. (2012). Relación entre la productividad, el mantenimiento y el reemplazo del equipamiento minero en la mina de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. (Tesis de Maestría). Instituto Superior Minero Metalúrgico. 89p.
6. Hudson, J. P. (2003). Factores que afectan productividad y costo en el carguío y transporte. Informe técnico. RungeLatinAmerica Ltda. <http://www.editec.cl/mchilena/dic2003/Articulo/informe.htm>.
7. Orfila, O., Salgueiredo, F., Saint Pierre, G., Sun, H., LI, Y.,
8. Gruyer, D. & Glaser, S. (2017). Fast computing and approximate fuel consumption modeling for Internal Combustion Engine passenger cars./*Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 50(1), 14-25.
9. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2016.10.016>
10. Khorasani, A.M., Gibson, I., Goldberg, M., Littlefair, G. (2018). A comprehensive study on surface quality in 5-axis milling of SLM Ti-6Al-4V spherical components. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(1), p. 3765-3784. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-017-1048-9>
11. Correa, A. (2012). La ingeniería de rocas en la de explotación racional e integral de canteras: énfasis en el análisis cinemático. *Revista Ingeniería e Investigación, DYNA*, 79 (1), 81-88.
12. Téllez Pérez, R. (2019). Evaluación de los factores que influyen en el cálculo de volumen de mineral. (Tesis de Maestría). ISMM, Moa, Holguín, Cuba.
13. Rueda Barrios, Y., Belette Fuentes, O., Ojeda Pardo, F., Hernán García, L. C., Reyes Céspedes, E., Zambrano Cárdenas, G. O. y Varela Rodríguez, J. D. (2021). Influencia de los errores de los acimutes de partida en la exactitud de la poligonal. *Revista Polo del Conocimiento*, 6 (2). DOI: <https://doi.org/10.23857/pc.v6i2.2263>
14. 12. Acosta González, L. E., Ojeda Pardo, F. R., Belette Fuentes, O. y Pérez Fernández, J. A. (2021). Comparison of settlements by geodetic methods and numerical modeling. Test case: fuel storage tank. *Revista Polo del Conocimiento* 6(6), No 6. URL:

15. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/2747>
16. 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. *Revista Neuroquantology*, 20(7). 2806-2815. ISSN: 1303-5150.
17. DOI: <https://doi.org/10.14704/nq.2022.20.7.NQ33359>.
18. VOLVO Construction Equipment Online (2022). Disponible en: <http://www.voloce.com>
www.edicionesespeciales.elmercurio.com/destacadas/detalle/index.asp?idnoticia=0130052007021X0060023
19. Toirac, A. (2010). Estudio del rendimiento del transporte automotor en la mina de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. [Tesis de grado]. ISMM. Cuba. 75p.
20. Wichert, J. (2020). Mining of Slate and Production BT - Slate as Dimension Stone: Origin, Standards, Properties, Mining and Deposits (J. Wichert (Ed.); Springer International Publishing, 159–201). DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-35667-5_6
21. 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. *Revista Neuroquantology*, 20(7), 2806-2815. ISSN: 1303-5150.
22. DOI: <https://doi.org/10.14704/nq.2022.20.7.NQ33359>.
23. Reyes Céspedes E. (2014). Determinación de la precisión de las redes de densificación geodésicas en la mina ECG. (Tesis de maestría). Universidad de Moa (UMoa), 89p.