



Análisis del potencial productivo del equipamiento minero de la empresa Ernesto Che Guevara*

Yander Legrá Cepero

Carrera: Ingeniería en Minas.

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (Cuba).

Resumen: En la actualidad, con el desarrollo de las nuevas tecnologías para realizar los trabajos mineros en la industria del níquel, la cantidad de equipos de extracción ha ido en aumento para satisfacer la productividad exigida por la industria, por lo que se necesita establecer la reserva de productividad del equipamiento de extracción de la mina, basándose en una metodología que eleve la productividad de la misma con el menor gasto de combustible posible. Este trabajo se propone determinar las reservas de producción del equipamiento de arranque-carga y transporte de la mina de la empresa Ernesto Che Guevara.

Palabras clave: Reserva de productividad; equipos de arranque-carga y transporte.

Loading and haulage mining equipment productivity assessment

Abstract: Due to the development of new technologies to carry out mining activities in the nickel mining industry, the number of mining equipment has been increasing in order to meet industrial production requirements; therefore, it is required to establish the reserve of the mining equipment productivity based on a methodology to increase productivity with the lowest possible fuel consumption. The objective of this investigation is to identify the production reserves of the loading and mining haulage equipment operated at the Che Guevara's plant.

Key words: productivity reserve; mining haulage equipment.

Introducción

Las industrias mineras en nuestro país aportan a la economía varios recursos que aumentan el desarrollo en sus diferentes ramas. La industria niquelífera cubana busca medidas y variantes para lograr un trabajo más productivo por lo que se realizan diferentes investigaciones relacionadas con el proceso de extracción y transporte en las minas a cielo abierto.

La metodología que se ha empleado hasta este momento para la determinación de la productividad de estos equipos no tiene en cuenta el complejo excavadora-camión como un todo. La productividad de los mismos se basa en las características técnicas adaptadas a las condiciones concretas de trabajo. Con el objetivo de determinar las reservas de producción del equipamiento de arranque-carga y transporte de la mina se propone una metodología que tiene en cuenta la productividad de los equipos:

-Camión articulado volvo A40D y A40E.

-Retroexcavadora Liebherr R974.

El Manual de Áridos (López, 1994) recoge una amplia temática, desde la investigación y explotación de los yacimientos, pasando por los equipos de tratamiento para la fabricación de los productos que se demandan, las diferentes aplicaciones, hasta la

adopción de medidas correctoras y preventivas de protección del medio ambiente, pero no detalla una metodología o procedimiento de análisis estadístico para establecer las reservas de productividad del equipamiento de arranque-carga y transporte en las minas.

El Manual de Laboreo (Ortiz, 2010) muestra una de las metodologías más completas para la selección y explotación de equipamiento minero, pero no establece un procedimiento de análisis que establezca las reservas de productividad del equipamiento de arranque-carga y transporte en las minas.

Estabilidad del proceso de extracción de la mena. Generalidades

La ejecución estable del proceso de extracción de la mena define el resultado de la actividad de la fábrica minero-metalúrgica. La estabilidad del proceso de extracción se caracteriza por los límites de las oscilaciones de las extracciones durante un período de tiempo determinado con relación al centro de equilibrio de ese período. En la investigación de la estabilidad del proceso los factores esenciales son los siguientes:

- La magnitud del campo de dispersión real del resultado a lo largo de un período de tiempo determinado que puede ser la hora, turno, jornada, decena, mes, año, etc.
- La correlación entre la posición del centro de dispersión y del centro de tolerancia.

La efectividad existente de los procesos de la mina y el grado de utilización de sus posibilidades productivas dependen de:

- Uniformidad y la ritmicidad de la extracción de la mena.
- Grado de utilización del tiempo de trabajo del equipamiento minero de transporte.

Tabla 1. Especificaciones técnicas del Volvo A40D

Motor		D12DABE2
Potencia máxima	$s^{-1}(\text{min}^{-1})$	30(1800)
Velocidad máxima	Km/h	55
Capacidad de carga	Kg	37 000
Peso neto	Kg	31300
Peso bruto	Kg	68 300

Tabla 2. Especificaciones técnicas del Volvo A40E

Motor		16EAAE3*/ABE3*
Potencia máxima	$s^{-1}(\text{min}^{-1})$	30(1800)
Velocidad máxima	Km/h	57
Capacidad de carga	Kg	39000
Peso neto	Kg	30200
Peso bruto	Kg	69200

Tabla 3. Especificaciones técnicas de la retroexcavadora R974

Motor		Liebherr D 9408 TI-E
Potencia		317Kw
Peso		78,0/84,6 ton
Presión sobre el suelo		1,06-0,95Kg/cm ²
Pluma		8,60m
Ancho de la cuchara		1,90m
Capacidad de la cuchara		4,3m ³

Estudio del cumplimiento de las fotografías individuales de la jornada laboral

Las fotografías son realizadas por cada línea de equipos en los diferentes turnos laborables de 12 horas, tomando 12 muestras para cada línea de equipos con el objetivo de determinar el volumen del material extraído, el tiempo productivo del equipo, el costo de cada operación (extracción y transporte del mineral) y el coeficiente de aprovechamiento de la jornada laboral, entre otros aspectos.

Evaluación del ciclo de transportación

Las siguientes tablas muestran un resumen de las fotografías individuales de la jornada laboral correspondientes a las operaciones de extracción-transporte.

Durante la normación del camión A40D se aprecia que para el transporte de escombros hasta las escombreras, a una distancia de 850 m, en su recorrido cargado llevaba una velocidad de 17 km/h y en su recorrido vacío de 18 Km/h; existen tres camiones transportando escombros hasta las escombreras.

Tabla 4. Resultados de las fotografías (camión A40D)

Indicador del tiempo*	M U E S T R A S												SUM (min)	Pro. (min)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
	T I E M P O (min)													
T_{rc}	5.3	6	5.2	5.9	5.3	5.15	5.1	6	5.8	6	5.4	5.6	66.75	4.17
T_{rv}	4.6	4	4.2	4	4	4.03	4	5.1	4.4	3.5	3.9	3.4	49.13	4.09
T_{mc}	0.9	0.5	0.5	0.5	0.6	0.3	0.6	0.5	0.6	0.2	0.3	0.5	6	0.5
T_d	1.1	0.3	0.4	0.5	0.6	1.1	0.6	0.7	0.4	0.6	0.9	0.2	7.4	0.62
T_c	2.2	2.2	2	2.4	1.9	2.1	3	2.4	2	2.4	1.5	2.5	26.6	2.2
T_{md}	0.1	0.3	0.4	0.5	0.6	1.1	0.6	0.8	0.2	0.1	0.1	0.2	5	0.4

* Trc: Tiempo de recepción. Trv: Tiempo de repetición del ciclo. Tmc: Tiempo de maniobra. Td: Tiempo de descarga. Tc: Tiempo de carga. Tmd: Tiempo de maniobra de descarga.

Para la normación del camión A40E se pudo apreciar que al igual que el camión A40D este llevaba en su recorrido cargado una velocidad de 17 km/h y en su recorrido vacío una velocidad de 18 km/h, para una distancia de 800 m desde el frente de arranque hasta las escombreras; se encontraban transportando escombros dos camiones de este modelo.

Tabla 5. Resultados de la fotografías (camión volvo A40E)

Índice del tiempo	M U E S T R A S												SUM (min)	Pro. (min)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
	T I E M P O (min)													
T_{rc}	5.3	6	5.2	5.9	5.3	5.15	5.1	6	5.8	6	5.4	5.6	66.75	4.17
T_{rv}	4.6	4	4.2	4	4	4.03	4	5.1	4.4	3.5	3.9	3.4	49.13	4.09
T_{mc}	0.9	0.5	0.5	0.5	0.6	0.3	0.6	0.5	0.6	0.2	0.3	0.5	6	0.5
T_d	1.1	0.3	0.4	0.5	0.6	1.1	0.6	0.7	0.4	0.6	0.9	0.2	7.4	0.62
T_c	2.2	2.1	2.5	2.1	2.1	2.3	2.4	2.5	2.8	2.4	2.6	2	28	2.3
T_{md}	0.1	0.3	0.4	0.5	0.6	1.1	0.6	0.8	0.2	0.1	0.1	0.2	5	0.4

Para el proceso de extracción de la mena y de la obtención de las valoraciones de los índices enumerados se utilizan los métodos estadísticos de análisis de la producción. La estabilidad del proceso de extracción de la mena, en relación al centro de dispersión de la magnitud que es investigada, recibe el nombre de uniformidad.

Analicemos el ejemplo de la mina de la empresa Ernesto Che Guevara con ayuda de los métodos de la estadística matemática para establecer la magnitud de la irregularidad de la extracción de la mena y la reserva de la producción mineral.

El análisis de la extracción de la mena en la mina de la empresa Ernesto Che Guevara durante un mes, en diferentes periodos de tiempo, evidencia la irregularidad de la extracción de la mena en el tiempo.

El análisis de los datos del despacho de producción durante un mes, después de las elaboraciones matemáticas correspondientes, con la aplicación de la estadística matemática mostró que realmente en la media, durante un día, se extrajeron alrededor de 5 000 t de mena. La desviación media cuadrática de la masa de mena extraída es de 1 137 t. De esta manera los datos generales por jornadas constituyeron $Q_h = Q_{cp} \pm T$ es decir $Q_d = 5000 \pm 1137$, o en por ciento $Q_d = 100 \% \pm 24.0 \%$. La extracción por jornada de la mena está representada en la Figura 1.

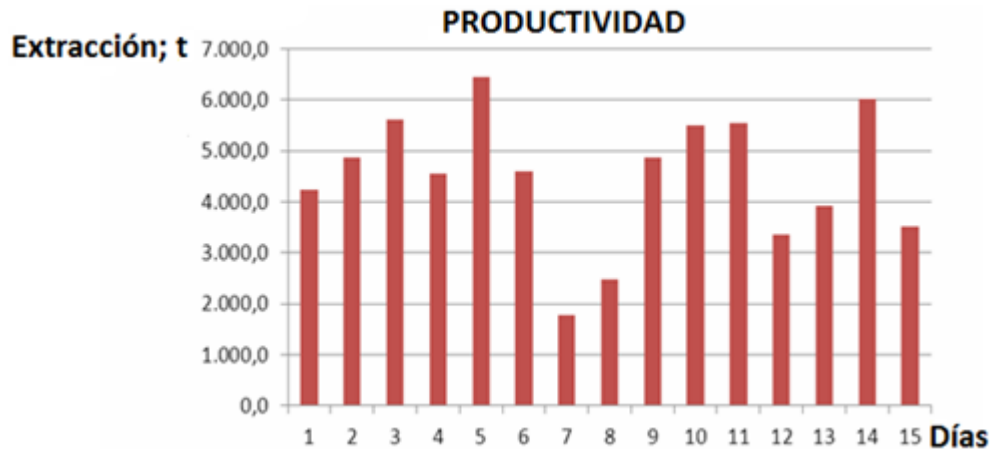


Figura 1. Carácter de la variación de la extracción media por día de la mina en un mes de operación.

La Figura 1 caracteriza la irregularidad del trabajo en la mina. En los primeros días del mes la intensidad de la extracción de la mena por jornadas es pequeña, después tiene lugar su crecimiento hasta la magnitud máxima; la cual se alcanza alrededor de la mitad de la primera decena, disminuye luego y al final aumenta.

La productividad por turno también varía de forma irregular, donde al principio la productividad es baja, para aumentar a mediados y al final del turno la intensidad de la extracción disminuye nuevamente. El segundo turno, desde las siete de la mañana hasta las siete de la noche, es el más irregular en la extracción de la mena.

La disminución de la intensidad de la extracción de la mena, en el inicio y el final del turno, se condiciona, por un lado, por las particularidades de los procesos tecnológicos, y por otro, por las insuficiencias de carácter organizativo. Durante el mes de marzo, la extracción media por jornada de la mena en la mina es igual a 4500 t, la que constituyó un $Q_d = 4500 \pm 2135t$ o $Q_d = 100 \pm 70 \%$. La extracción por jornada de la mena tiene un carácter más uniforme en comparación con la del turno, aquí, aparte del

efecto de la suavización, actúa también la tendencia regular a la disminución de la amplitud de las oscilaciones con el aumento del intervalo de tiempo. Las oscilaciones casi periódicas de la calidad y de la producción se obtienen también en el proceso de la extracción por jornada.

Tabla 6. Tabla de frecuencia de productividad por hora (t/h) en un frente de extracción

Intervalos de productividad (t/h)	Valor medio del intervalo (xi) (t/h)	Frecuencia (ni)
28-30	29	1
30-32	31	2
32-34	33	1
34-44	39	2
44-50	47	4
50-70	60	2

De la Tabla 6 $Q_d = 50 \pm 33t$, o en por ciento $Q_d = 100\% \pm 41\%$.

De esta manera $Q_d = 5632 \pm 3237 t$ o $Q_d = 100\% \pm 57.29\%$.

Tabla 7. Extracción decenal de la mena en el mes de marzo

Decena	Producción (t)	Producción mensual (%)
I	82721	30,01
II	94938	34,43
III	98058	35,56
Total	275717	100

De los datos ofrecidos anteriormente, y también sobre la base del análisis de los datos de la Tabla 7 que caracterizan las cargas medias y las desviaciones media cuadrática o desviación estándar, se puede sacar la conclusión de que la producción en el trabajo de la mina, por decenas, es irregular. La segunda decena es la más uniformemente cargada y las tareas se cumplen más cercanas a las del plan. La mayor producción se tiene en la tercera decena, en la cual tiene lugar la recuperación del incumplimiento del plan durante la primera decena, que es la menor.

Tabla 8. Valores absolutos y relativos de las variables que se caracterizan

Decena	Valor absoluto de la variable que es caracterizada (t)		Valores relativos de la variable que es caracterizada (%)	
	Media (\bar{x})	Desviación (σ)	Media (\bar{x})	Desviación (σ)
I	41 360	29 245	100	70.7
II	47 469	33 565	100	70.7
III	49 029	34 668	100	70.7

De la Tabla 8 se deriva que si tomamos la segunda decena, que es la más uniformemente cargada, como unidad (según la Tabla 7), entonces las oscilaciones por

decenas son: en la primera decena la mina se carga según la extracción en 87 %; en la segunda en 100 % y en la tercera decena en 103,29 %.

Los datos mostrados reflejan la presencia de reservas de productividad según la extracción de la mena. La distribución probabilística de la extracción de la mena, según las decenas-jornadas, se dan en la Tabla 9.

Tabla 9. Distribución probabilística de la extracción de la mena

Periodo de trabajo	Periodo de observación	Índices absolutos (t)		Magnitud relativa (%)	
		VALOR MEDIO	DESV. ESTAN.	MEDIA	DESV. ESTAN.
MES	Hora	312 (t)	127 (t)	100	40.71
	Turno	3 750 (t)	1568 (t)	100	41.81
	Jornada	7 516 (t)	2694 (t)	100	35.84
	Decena	91 905 (t)	64986 (t)	100	70.70

La cantidad de mena que es extraída durante los diferentes intervalos de tiempo (H, T, J, D), y también las desviaciones media cuadrática de la extracción de la mena con respecto a los valores medios, se caracteriza en la Tabla 9.

En la Figura 2 se muestra el esquema de comparación de los niveles de reporte de la extracción del componente útil durante un año con el nivel planificado, el cual permite establecer las reservas del aumento de la extracción durante el periodo del trabajo en la mina. En la planificación perspectiva de la producción minera, habitualmente se aplica una reserva determinada del crecimiento de la productividad del trabajo. Las reservas fueron previstas por el plan, pero no fueron utilizadas en relación con la no ritmicidad de la producción y del incumplimiento del plan en diferentes periodos; el cual se determina comparando la extracción de la mena de los niveles de reporte más bajos con el nivel planificado.

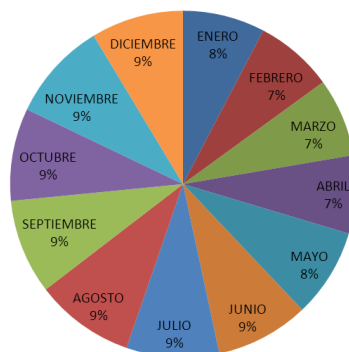


Figura 2. Esquema de comparación de los niveles de reporte de la extracción del componente útil durante un año.

En la Figura 3 la comparación del nivel planificado de la extracción (que está representado por la raya azul) con el nivel reportado (mostrado por la raya roja) describe las reservas de producción; los reportes que superan el plan muestran el aumento de los volúmenes de la producción minera y se expresarán con signo positivo. Si el nivel máximo reportado de la producción resulta inferior al nivel planificado, entonces las reservas de producción se expresarán en magnitudes negativas.

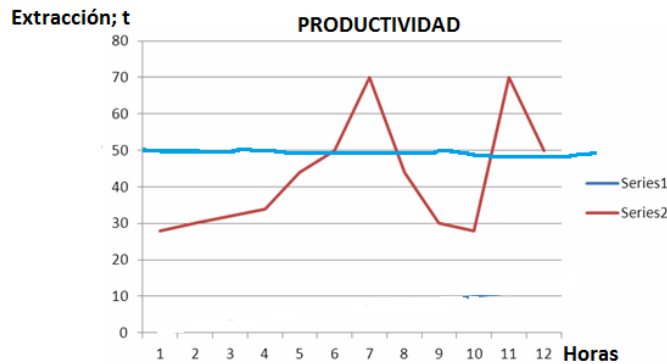


Figura 3. Carácter de la variación de la ritmicidad de la extracción por hora de la mena a lo largo del turno en un frente de extracción.

La comparación del nivel de reporte medio con el máximo planificado muestra las reservas de aumento de la extracción. Para las condiciones de la mina en el mes investigado la dinámica de la magnitud media de cálculo de la extracción de la mena, según los días del mes y la reserva de la producción, son mostrados gráficamente para una quincena en la Figura 4.

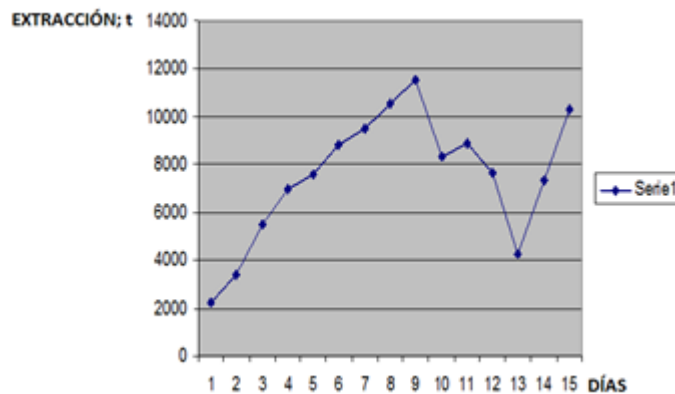


Figura 4. Carácter de la variación de la ritmicidad de la extracción de la mena por jornada a lo largo de la primera quincena del mes.

De la conducta de la magnitud máxima Q_i máx. se deduce que para varias jornadas el volumen de la extracción puede superar el valor doble de la media (X). Al mismo

tiempo la magnitud mínima Q_i mín. para muchas jornadas es igual a cero, lo que corresponde a las horas de los tiempos improductivos de la mina; la dirección de la raya gruesa y su ancho igual a $\pm \sigma$ dan la posibilidad de valorar el carácter de la variación del centro y la magnitud de la dispersión.

De esta manera, si consideramos que la uniformidad representa un límite determinado al cual aspira el proceso productivo en las condiciones ideales de su organización, entonces la organización y la dirección operativa de los trabajos mineros de transporte de la mina Ernesto Che Guevara están lejos de las condiciones óptimas y exigen un mejoramiento radical.

La metodología expuesta anteriormente y el caso de estudio de valoración de los resultados de la producción minera muestran que los métodos estadísticos de análisis es uno de los medios más efectivos para la determinación de las reservas de elevación de la productividad del trabajo en las minas.

Conclusiones

Con la metodología y el método estadístico empleados se enumeraron los resultados de la reserva de producción de la mina de la empresa Ernesto Che Guevara, y se concluyó que la carga en el trabajo de la mina por turno, jornada y decenas es irregular.

Se determinó la variante más efectiva, desde el punto de vista productivo, la cual se puede aplicar en los diferentes frentes para determinar las reservas de producción del equipamiento de arranque-carga y transporte.

Referencias bibliográficas

LÓPEZ, C. 1994: *Manual de áridos*. Editorial Autor-Editor, Madrid.

ORTIZ, F. 2010: Fundamentos del laboreo de minas. ETSIMM [en línea]. Consultado: 2011-10-30. Disponible en: ingenieroenminas.com/fundamentos-de-laboreo-de-minas/

* Trabajo tutorado por el Dr. C. Santiago Bernal Hernández y el Ing. Yosvanis Santiagués Rodríguez.