



Conciencia Tecnológica

ISSN: 1405-5597

contec@mail.ita.mx

Instituto Tecnológico de Aguascalientes
México

Escamilla López, Miguel
Estudio de Productividad en una Mina de Mineral de Hierro a Cielo Abierto
Conciencia Tecnológica, núm. 27-30, 2005
Instituto Tecnológico de Aguascalientes
Aguascalientes, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94403005>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Estudio de Productividad en una Mina de Mineral de Fierro a Cielo Abierto

Investigación Técnica

M.C. Miguel Escamilla López

Instituto Tecnológico de Colima / Departamento de Ingeniería Industrial
Avenida Tecnológico No.1 Villa de Alvarez, Colima. Tel / Fax (312) 312 99 20 y 312 63 93 Ext. 244
melite2000@hotmail.com

Resumen

En el presente trabajo, se muestra la forma en la que se realizó un estudio de productividad a un equipo eléctrico de carga (Pala BUCYRUS-ERIE 5-15 con capacidad para 3000 tph), trabajando en descapote (material estéril), con el fin de determinar su productividad real, así como los factores que la afectan y proporcionar alternativas para mejorarla.

El estudio mostró que la productividad meta de la empresa (2600 tph), no se estaba alcanzando por diversas causas; entre las principales se pueden mencionar la fragmentación de la rezaga, el operador de la pala, así como los factores de llenado tanto del bote (cucharón de la pala) y de los camiones a los cuales cargaba.

Palabras Clave

Descapote, rezaga, bote, botazo, factor de llenado, fragmentación de la rezaga, terreros, material in situ.

Introducción

En la industria minera a cielo abierto, las actividades de carga y acarreo tanto de mineral como de material estéril o descapote, son actividades cotidianas, permanentes y vitales, para el logro de sus objetivos operacionales; son la clave para asegurar la continuidad del proceso de beneficio del mineral y por lo tanto, deben ser desempeñadas por equipos de carga y acarreo de gran capacidad y confiabilidad, a fin de asegurar una alta eficiencia y productividad en éstas.

El retiro del descapote es una actividad que permite ir poco a poco dejando al descubierto el mineral y contar con inventarios suficientes para cumplir con los programas de producción en la planta de beneficio; uno de los problemas más comunes en este tipo de actividades, es la dificultad para alcanzar los objetivos de productividad planteados por la empresa, debido a diversas causas que tienen que ver con el tipo de mineral explotado, la fragmentación de la rezaga (material estéril producto del tumbado con explosivos), la localización de la mina, el clima de la región, la capacidad del equipo de carga y acarreo, los métodos de trabajo, la topografía del terreno, etc., situación que puede llegar a afectar las finanzas y en algunas ocasiones el clima laboral de la empresa [1].

Aquí la ingeniería industrial tiene una gran área de oportunidad; ya que mediante la aplicación de métodos de muestreo, herramientas estadísticas básicas y avanzadas, así como técnicas de análisis de datos, puede ayudar a analizar y reducir este tipo de problemas; caso específico de la presente investigación, que fue realizada en una mina de mineral de fierro a cielo abierto localizada al norte del estado de Colima.

Durante los últimos 2 años y lo que va del presente, la productividad meta de la pala eléctrica BUCYRUS-ERIE 5-15 fijada en 2,600 tph, no se ha alcanzado y ha venido cayendo sin causa justificada; la productividad registrada para los años 2001, 2002 y parte del 2003, son de 2,296, 2,030 y 2,120 tph, respectivamente. Esto genera en consecuencia, graves problemas operativos y financieros como la reducción constante del inventario de mineral expuesto para beneficio, así como el incremento en el costo por tonelada de descapote movida a los terreros [2].

Debido a esto, a solicitud de la superintendencia de operación de minado de la empresa, se realizó un estudio de productividad al equipo de carga que efectúa esta operación; la planeación, el desarrollo y los resultados del mismo, se muestran en la presente publicación.

Fundamentos Teóricos

Con el fin de tomar una muestra representativa de la población mediante un método estadístico, se utilizó la siguiente fórmula que proporciona un nivel de confianza del 95.45 % y un margen de error de ± 5 % [3].

$$n = \left(\frac{40 \sqrt{n' \Sigma x^2 - (\Sigma x)^2}}{\Sigma x} \right)^2$$

donde :

- n = tamaño de la muestra que se desea determinar
- n' = número de observaciones previas
- x = valor de cada observación

Mediante esta fórmula primero hay que efectuar un cierto número de observaciones para después aplicarla tantas veces como sea necesario hasta satisfacer el número de observaciones requerido.

Materiales y Métodos

El equipo de carga es una pala eléctrica BUCYRUS-ERIE modelo 5-15 con capacidad para 30 toneladas por botazo y 3000 tph, la que por lo general trabaja con una flota de 4 a 5 camiones eléctricos EUCLID R-170, con capacidad para 170 toneladas por viaje; el número de camiones se determina con base en la duración del ciclo de carga y acarreo del material estéril hacia los terreros [4].

La propuesta de investigación, fue la de recopilar y analizar información de campo mediante técnicas y herramientas estadísticas y de ingeniería industrial, que permitan determinar la productividad real actual de la pala, cuales son los principales los factores que la afectan, así como proporcionar alternativas que ayuden a alcanzar la meta establecida.

Así mismo, el objetivo de esta investigación fue determinar la productividad real de la pala eléctrica BUCYRUS-ERIE modelo 5-15, cuales son los factores significativos que la afectan, así como alternativas para mejorarla. La investigación, fue realizada en cuatro etapas, las cuales se describen a continuación :

(1) Planeación del muestreo. Ya que el proceso de carga y acarreo es un proceso continuo y considerando que la fragmentación de la rezaga, el turno de trabajo y el operador son tres posibles factores que afectan la productividad de la pala, se determinó aplicar el método de muestreo combinado (estratificado-sistemático), considerando como estratos a estos tres factores, tomándose una muestra sistemáticamente a intervalos fijos de tiempo, determinados por una tabla de números aleatorios.

Con el fin de agilizar la toma de la muestra en campo, se determinaron y clasificaron previamente las demoras tanto operativas como no operativas; dentro de las primeras se consideraron :

Falta de camiones.- Interrupción de la actividad de carga a consecuencia de la falta de camiones.

Limpieza del área.- Interrupción de la actividad de carga para efectuar labores de limpieza del área mediante un tractor, con camiones en espera.

Selección de tamaños.- Interrupción de la actividad de carga para separar piedras grandes de la rezaga.

Otras.- Interrupción de la actividad de carga por eventos que se dan aisladamente como, inspección visual al equipo, levantamientos topográficos, cambio de área de carga, maniobras con el cable eléctrico, retiro por voladura, etc.

Dentro de las segundas (demoras no operativas), se consideraron :

- Mantenimiento preventivo programado al equipo.
- Mantenimiento correctivo al equipo.
- Cambio de turno.
- Necesidades personales de los operadores.

Fragmentación de la rezaga. La rezaga es el material estéril fragmentado producto del tumbado mediante explosivo; no existe un método estadístico para medir su grado de fragmentación y por lo tanto, esta se mide solo visualmente. Para efectos de la presente investigación, la rezaga se estratificó en tres niveles que se midieron de esta forma de acuerdo con sus características físicas y grado de fragmentación, como sigue:

Fragmentación buena.- Material arcilloso en su mayoría, con rocas bien fragmentadas y pocas piedras grandes con buena altura para el ataque de la pala.

Fragmentación regular.- Material arcilloso y rocoso con piedras grandes al principio o sobre la rezaga, con buena altura para el ataque de la pala.

Fragmentación mala.- Material rocoso con muchas piedras grandes en la totalidad de la rezaga, con altura media o baja no adecuada para el ataque de la pala.

Ahora bien, es necesario dejar en claro en que consiste o que es una piedra grande :

Piedra grande.- Piedra de gran volumen que debe ser separada de la rezaga para su posterior fragmentación mediante métodos manuales.

Factor de llenado.- Tampoco existe un método analítico para medir el factor de llenado del bote de la pala y del camión; por lo tanto, este factor también debió ser calificado visualmente durante la operación de carga. En este caso, se determinaron tres niveles de llenado :

Colmado.- Camión o bote con un volumen de mineral que sobrepasa significativamente sus bordes y sin huecos en el interior.

Raso .- Camión o bote con un volumen de mineral que sobrepasa sus bordes con algunos huecos en el interior.

Bajo .- Camión o bote con un volumen de mineral que no sobrepasa sus bordes con algunos huecos en el interior.

(2) Recopilación de información. Para la recopilación de la información de campo (muestra), se procedió al diseño de una hoja de chequeo que se muestra en la figura 1; en esta hoja se registraron tiempos en segundos, entre botazo y botazo, factores de llenado para cada botazo y para el camión, así como el tiempo de demora si la hubo, entre camión y camión.

Como ya se mencionó anteriormente, la muestra consistió de 1,034 mediciones o viajes para estar dentro del 5% de error, mismas que fueron recopiladas en un tiempo aproximado de 30 días durante los tres turnos de operación.

Así mismo, también fue necesario determinar puntos de acotamiento para el inicio y el término de cada ciclo de carga del bote y del viaje, como sigue :

Ciclo por botazo.- Inicia y termina cuando el bote abre y el material estéril cae al camión.

Ciclo de carga.- Inicia cuando ya existe suficiente espacio para que el camión en espera se pueda acomodar (este tiempo se incluye en el primer botazo) y termina cuando el operador de la pala da la señal al camión para indicar que el cargado terminó.

(3) Estructura y análisis de la información. Para el análisis y manejo de la información, fue necesario conocer algunas constantes operacionales de la empresa para el cálculo de las cargas por viaje [5].

Volumen estimado por viaje en un camión R-170 :

Colmado = 96.9 m³
 Raso = 87.9 m³
 Bajo = 68.4 m³

Densidad del material estéril in situ = 2.72 ton/m³

Factor de densidad de la rezaga :

Material rocoso = 70% de la densidad in situ
 Material arcilloso = 65% de la densidad in situ

De esta forma, el peso por viaje de material estéril para efectos de la presente investigación, es:

En material arcilloso :

Viaje colmado = (2.72 x 0.65 x 96.9) = 171.3 tons.
 Viaje raso = (2.72 x 0.65 x 87.9) = 155.4 tons.
 Viaje bajo = (2.72 x 0.65 x 68.4) = 120.9 tons.

ESTUDIO DE PRODUCTIVIDAD																		
PALA BUCYRUS-ERIE 5-15																		
Operador _____		Turno _____			Analista _____			Fecha _____										
Estado de la rezaga _____																		
Visibilidad _____					Clima _____													
VIAJE No.	BOTAZO 1		BOTAZO 2		BOTAZO 3		BOTAZO 4		BOTAZO 5		BOTAZO 6		BOTAZO 7		BOTAZO 8		VIAJE f	DEMORA t
	t	f	t	f	t	f	t	f	t	f	t	f	t	f				
1																		
2																		
3																		
29																		
30																		

t = tiempo de terminación f = factor de llenado bote / camión (C = colmado, R = raso, B = bajo)

Fig. 1 HOJA DE CHEQUEO UTILIZADA PARA LA TOMA DE INFORMACION DE CAMPO (MUESTRA)

En material rocoso :

Viaje colmado = (2.72 x 0.70 x 96.9) = 184.5 tons.

Viaje raso = (2.72 x 0.70 x 87.9) = 167.4 tons.

Viaje bajo = (2.72 x 0.70 x 68.4) = 130.2 tons.

(4) **Resultados.** El Tiempo Neto de Operación (TNO) y Tiempo Efectivo de Operación (TEO) del equipo, se calcularon con base al Tiempo Total de Operación (TTO), como sigue :

$$\text{TNO} = \text{TTO} - \text{Demoras No Operativas}$$

$$\text{TEO} = \text{TNO} - \text{Demoras Operativas}$$

La figura 2 muestra un resumen de los resultados obtenidos en el muestreo en campo, donde se puede apreciar que los factores de llenado, los tiempos de operación y las demoras operativas, están fuertemente influidos por la fragmentación de la rezaga.

CONCEPTO	FRAGMENTACION		
	BUENA	REGULAR	MALA
Botes colmados (%)	36.4	16.4	7.5
Botes rasos (%)	40.9	39.6	27.5
Botes bajos (%)	22.7	44.0	65.0
Botes totales	2,255	1,888	904
Viajes colmados (%)	39.7	41.0	36.3
Viajes rasos (%)	38.7	45.8	47.5
Viajes bajos (%)	21.4	13.2	16.2
Viajes totales	514	371	147
Botes por viaje	4.4	5.1	6.2
TNO (horas)	28.9	28.3	15.8
Demoras operativas (horas)	3.7	4.6	1.3
TEO (horas)	25.2	23.7	14.5
Minutos por botazo	0.77	0.90	1.05
Minutos por viaje	3.37	4.58	5.92

Fig. 2 RESULTADOS DEL MUESTREO DE CAMPO

Con los datos anteriores, se procedió al cálculo de la productividad de la pala en función de la fragmentación de la rezaga y considerando el factor de llenado del camión; la figura 3 resume el peso calculado para cada viaje de material estéril con base al factor de llenado, así como la productividad calculada de la pala en cada tipo de rezaga. De esta forma, considerando las productividades calculadas en cada tipo de rezaga, la productividad promedio de la pala (PPP), es :

$$\text{PPP} = (2,744.) (514 / 1,031) + (2,142) (371 / 1,031) + (1,580) (149 / 1,031)$$

$$\text{PPP} = 2,367.7 \text{ toneladas por hora}$$

CONCEPTO	FRAGMENTACION		
	BUENA	REGULAR	MALA
Viajes colmados	204	152	54
Viajes rasos	200	170	71
Viajes bajos	110	49	24
Viajes totales	514	371	149
Toneladas por viaje colmado	171.3	177.9	184.5
Toneladas por viaje raso	155.4	161.4	167.4
Toneladas por viaje bajo	120.9	125.6	130.2
Toneladas totales	79,324	60,633	24,973
TNO (horas)	28.9	28.3	15.8
Productividad calculada	2,744.8	2,142.5	1,580.6

Fig. 3 CALCULO DE PRODUCTIVIDADES

Resultados y Discusión

La figura 4, muestra la productividad en cada tipo de rezaga; es claro que bajo las condiciones actuales solo trabajando sobre una fragmentación buena es posible alcanzar el objetivo de productividad de la pala.

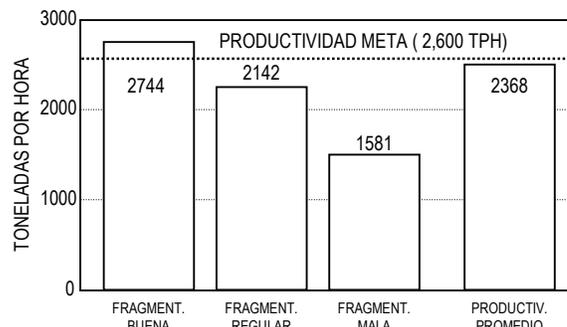


Fig. 4 COMPARATIVO DE PRODUCTIVIDADES

La figura 5 muestra la productividad por operador y el número de botazos por viaje; se aprecia que existe una diferencia significativa entre los operadores de la pala, tal vez debido a cuestiones de capacitación.

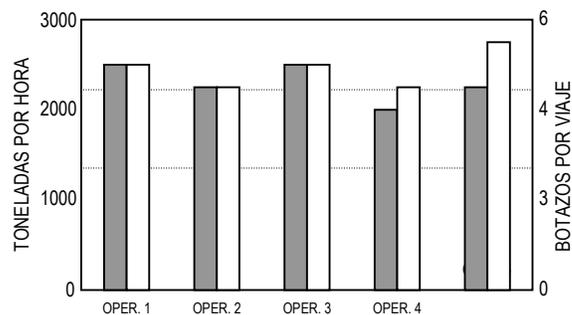


Fig. 5 PRODUCTIVIDAD Y BOTAZOS POR OPERADOR

Así mismo, en la figura 6 se aprecia claramente que de acuerdo a la productividad calculada por turno de trabajo, este no es un factor significativo que afecte la productividad de la pala.

1er. TURNO	2do. TURNO	3er. TURNO
2,395	2,361	2,348

Fig. 6 PRODUCTIVIDAD POR TURNO

Observaciones generales.- Algunos detalles observados en la operación del equipo observados durante el muestreo de campo, son los siguientes :

La demora promedio por cambio de turno es de 20 minutos; ya que el equipo para 15 minutos antes de su término y arranca 5 minutos después de su inicio.

El primer botazo siempre resulta de mayor duración que los restantes; ya que en este se incluye el tiempo que tarda el camión en acomodarse.

El 40% de las veces, el camión en línea de espera no se acomoda adecuadamente al esperar su turno de carga cuando hay espacio suficiente para hacerlo.

Los botes con bajo nivel cuando se trabaja sobre rezaga bien fragmentada, se generan porque el operador no efectúa el ataque de la pala correctamente.

Los viajes con bajo nivel son generados por los botes con bajo nivel, a que el operador no utiliza el bote para repartir mas uniformemente la carga en el camión y también a que este toma un estándar personal no justificable de 4 ó 5 botazos por viaje sin importar el factor de llenado que hayan tenido estos, ni el factor de llenado del camión.

La secuencia de los camiones frecuentemente no sigue un orden; es decir, el orden lógico de la flota de camiones se altera constantemente.

Conclusiones

Con base en el análisis efectuado, se concluye que los factores que influyen fuertemente en la productividad de la pala son, en orden de importancia, la fragmentación de la rezaga y el operador. Existen otros factores que sí influyen, pero la información recopilada en campo no proporciona evidencia suficiente de que ésta sea significativa, como el turno de trabajo, la visibilidad, el área de maniobra, etc.

El porcentaje de botes con bajo nivel (38.2%), se considera alto, lo cual incrementa la duración promedio del ciclo de carga. Así mismo, el porcentaje de viajes con bajo nivel (17.7%), también se considera alto; en consecuencia, en ambos casos se afecta negativamente la productividad de la pala.

Bajo las condiciones actuales, es posible alcanzar la productividad meta de 2,600 tph sólo cuando se trabaja sobre rezaga bien fragmentada o bien, sobre rezaga con fragmentación regular siempre y cuando los viajes con bajo nivel sean mínimos.

Por otra parte, con el fin de incrementar la productividad de la pala se proponen las siguientes acciones :

Unificar criterios con los operadores de los camiones para que el acomodo del camión en espera sea el correcto, con el fin de reducir el tiempo del primer botazo, siempre y cuando haya suficiente espacio para hacerlo.

Efectuar cursos de adiestramiento para los operadores de la pala, con el fin de establecer estándares de trabajo y uniformizar criterios respecto a:

- Ataque de la pala.
- Utilización del bote para repartir uniformemente la carga en la caja del camión.

Finalmente, ya que la productividad meta establecida en 2,600 tph no es posible alcanzarla bajo las actuales condiciones de operación, se recomienda verificar el actual factor de densidad utilizado para el material estéril in situ (2.72 ton/m³), así como los porcentajes estimados para la rezaga (70% en material arcilloso y 65% en material rocoso), efectuando nuevas mediciones y pruebas de laboratorio; o bien, replantear esa productividad meta para que ésta sea acorde a las actuales condiciones de operación.

Referencias

- [1] CMBJPC (2001, 2002), *Reportes Anuales de Operación*, PC, México.
- [2] CMBJPC (2003), *Reportes Mensuales de Operación*, PC, México.
- [3] Organización Internacional de Trabajo (1994), *Introducción al Estudio del Trabajo*, 3ra. edición, capítulo 16, Limusa, México.
- [4] CMBJPC (1993), *Requerimientos para Producir 3.0 y 3.5 Millones de Toneladas de Pellets al Año a Partir de Minerales con Contenidos de FeM < 37%*, PC, México.
- [5] CMBJPC (1994), *Process Capacity Analysis by Equipments to Produce 3.0 Million of Pellets Tons Per Year*, PC, México.