

## Estudio de Productividad del Equipo de Carga en una Mina de Mineral de Hierro a Cielo Abierto

Investigación

M. C. Miguel Escamilla López, Dr. Jorge Meza Jiménez, M.A. Ricardo Llamas Cabello  
Departamento de Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico de Colima  
Avenida Tecnológico No.1, C.P 28976, Villa de Álvarez, Colima. Tel/Fax (312) 3129920 y 3126393 Ext. 244  
melitc2000@hotmail.com

### Resumen

El presente estudio de productividad fue realizado por personal y alumnos del departamento de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de Colima, en una mina de mineral de hierro a cielo abierto ubicada en el municipio de Aquila, Michoacán a petición de la propia empresa; se orientó hacia el equipo de carga (dos cargadores frontales de llantas Caterpillar 992) utilizados para cargar mineral y material estéril producto del tumbe, con el objetivo de determinar su utilización neta, su productividad, los factores que las afectan y proporcionar alternativas para su mejora. Los resultados obtenidos muestran que el equipo de carga tiene en promedio una utilización neta de 4.27 horas y una productividad de 673 tph (toneladas por hora) por turno de trabajo; que resultan bajas respecto a los indicadores meta de la empresa. Por otra parte, la interrupción que más afecta a este equipo es la falta de camiones para el acarreo, tanto en tiempo como en frecuencia con 1.65 horas y 10 eventos en promedio por turno de trabajo.

**Palabras clave:** Utilización neta, productividad, mineral, material estéril, actividades de preparación, interrupciones, factor de llenado, toneladas por hora.

### Abstract

The present productivity research was conducted by staff and students of Industrial Engineering department at the Technological Institute of Colima, in a iron ore opencast mine located in municipality of Aquila, Michoacán, at the request of the company; this study was directed toward to loading equipment (two Caterpillar 992 wheel loaders), used for load fragmented ore and waste product of lie down with explosives, in Caterpillar R-120 trucks, in order to determine net utilization, productivity, factors that affect them and provide improve alternatives. Results show a low net utilization of 4.27 hours and low productivity of 673 tph of loading equipment against target mine indicators. On the other hand, the more sympathetic delay on this equipment is the transportation trucks lack, both in time and in frequency with 1.65 hours and 10 events in average for shift of work.

**Key words:** Net utilization, productivity, ore, aste, preparation activities, delays, filling up factor, tons per hour.

### 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 (cargadores) y acarreo (camiones) de gran capacidad, a fin de asegurar una alta eficiencia y productividad. En este sentido, para que un equipo de carga opere eficientemente, requiere dependiendo de factores operacionales como las distancias de recorrido, al menos de dos a tres equipos de acarreo y por lo tanto siempre será de mayor importancia e impacto que estos últimos.

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 (mineral y material estéril producto del tumbe 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, entre otros; situación que puede llegar a afectar las finanzas y en algunas ocasiones el clima laboral de la empresa.

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, realizada en una mina de mineral de hierro a cielo abierto localizada en el municipio de Aquila Michoacán, a petición de la empresa propietaria de la mina al Instituto Tecnológico de Colima, con el fin de determinar la utilización neta y la productividad del equipo de carga con el que cuenta, que son dos cargadores frontales Caterpillar 992, con números económicos 3-21 y 3-34 ya que en los últimos dos años se ha tenido una discrepancia significativa

entre los valores promedio de estos indicadores reportados por el área de operación, además de que sus valores meta no han sido alcanzados [1].

Sólo trabaja uno de los dos cargadores con los que se cuenta de acuerdo a necesidades, cargando mineral o material estéril, con una flota de 2 a 4 camiones Caterpillar R-120 con capacidad para cargar 120 toneladas; no existe un método analítico para determinar el número de camiones que deben trabajar con el cargador, ya que esto se determina solo con base a la disponibilidad de estos y de los operadores.

La muestra recabada durante el muestreo de campo en el que participaron 4 alumnos de la carrera de Ingeniería Industrial, fue de 45 turnos (15 diurnos, 15 mixtos y 15 nocturnos), lo cual representó un total de 1,710 ciclos de carga, suficiente para lograr un 90% de confiabilidad con un 10% de error en las mediciones registradas, de acuerdo a la fórmula utilizada; el 88% de este tiempo el equipo operó cargando mineral y el 12% cargando material estéril. Los indicadores mostrados en el presente informe son por turno de trabajo y con el enfoque hacia el “equipo de carga”, no por cargador; ya que como solo trabaja un cargador a la vez, se supone que las condiciones de operación prevalecen para ambos cargadores. Por otra parte, el 76% del tiempo muestreado corresponde al cargador 3-21 y el 24% al cargador 3-34.

### Fundamentos teóricos

**Utilización neta.-** Para el equipo de carga, es el tiempo total efectivo de carga más el tiempo correspondiente a aquellas actividades de preparación no productivas que son parte de la operación del equipo y no pueden ser eliminadas [2].

**Productividad.-** Implica la mejora del proceso productivo, lo que significa una comparación favorable entre la cantidad de recursos utilizados y la cantidad de bienes y servicios producidos [3].

**Muestra.-** Parte de una población, seleccionada en forma adecuada que conserva las características más importantes de dicha población [4].

En este caso, con el fin de tomar una muestra representativa del tiempo en operación y del tiempo fuera de operación del equipo de carga mediante un método estadístico, se utilizó la siguiente fórmula considerando un nivel de confianza del 90% y un margen de error de  $\pm 10\%$ .

$$\sigma\rho = \frac{\sqrt{pq}}{n} \quad (1)$$

Donde:

$\sigma\rho$  = error estándar de la proporción.

$p$  = porcentaje de tiempo en operación.

$q$  = porcentaje de tiempo fuera de operación.

$n$  = tamaño de muestra.

Mediante ésta fórmula primero hay que efectuar un cierto número de observaciones para obtener una idea de los valores de  $p$  y  $q$  [5].

**Hoja de chequeo.-** Es un formato especialmente diseñado para recabar datos en campo, de tal forma que sea sencillo su registro sistemático y que sea fácil analizarlos [6].

### Materiales y métodos

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 utilización neta y la productividad real actual del equipo de carga, con el fin de determinar cuáles son los principales factores que las afectan, así como proporcionar alternativas que ayuden a mejorarlas; el estudio fue realizado en 3 etapas, las cuales se describen a continuación.

**(1) Planeación del muestreo.** Ya que el proceso de carga y acarreo es un proceso continuo, se determinó realizar un muestreo igualmente continuo, donde la unidad a muestrear fue el turno de trabajo. Información obtenida a partir de un muestreo preliminar, reveló que el tiempo que el equipo de carga permanecía en operación ( $p$ ) era del 79% del turno de trabajo y el 21% restante permanecía fuera de operación ( $q$ ); con esta información se utilizó la fórmula mostrada en (1), para determinar el tamaño de muestra, lo cual arrojó un total de 44.8 turnos de trabajo; lo que en términos prácticos son 45 turnos de trabajo a muestrear. Para realizar el muestreo de campo definitivo, se determinaron y clasificaron previamente todas las actividades productivas y las no productivas (interrupciones) en la operación del equipo; dentro de las primeras se consideraron:

**Tiempo efectivo de carga.-** Tiempo en el cual el cargador realiza actividades de carga de mineral o material estéril en los camiones.

**Actividades de preparación.-** Actividades en las cuales se interrumpe la actividad de carga pero que son parte de la operación propia de un cargador y no pueden ser eliminadas como:

- Preparación de la rezaga.
- Separación de piedras grandes.
- Limpieza del área.
- Cambio de banco de extracción.
- Inspección visual al equipo.
- Calentamiento del equipo.
- Mantenimiento correctivo menor.

**Actividades no productivas o interrupciones.-** Son eventos durante los cuales el equipo de carga permanece parado apagado o encendido, en este caso se consideraron:

- Falta de camión.
- Cambio de turno.
- Mantenimiento preventivo programado.
- Levantamientos topográficos.
- Alimentos.
- Voladura.
- Otros.

**Factor de llenado.-** Es muy importante observar el factor de llenado del cucharón del cargador, así como del camión; ya que solo así es posible calcular con mayor certeza el volumen y tonelaje de mineral o material estéril cargado en cada viaje. No existe un método analítico para medir este factor y por lo tanto, debe ser calificado visualmente durante el muestreo de campo; en este caso se determinaron tres factores o niveles de llenado:

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

**Raso.-** Camión o cucharón con un volumen de material que sobrepasa sus bordes con algunos huecos en el interior.

**Bajo.-** Camión o cucharón con un volumen de material que no sobrepasa sus bordes con algunos huecos en el interior.

**(2) Muestreo de campo.** Para la recopilación de la información de campo (muestra), se procedió al diseño de una hoja de chequeo; en la que se registraron tiempos en segundos, entre cucharonzas efectuados por el cargador y sus factores de llenado para cada uno y para el camión, así como el tiempo de demora si la hubo, entre camión y camión. Como ya se mencionó anteriormente, la muestra fue recopilada en un tiempo aproximado de 15 días durante los tres turnos de operación; también fue necesario determinar puntos de acotamiento para el inicio y el término de cada ciclo de carga del cucharón y del viaje, como sigue:

**Ciclo por cucharonzaso.-** Inicia y termina cuando el cucharón descarga su contenido en el 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 cucharonzaso del siguiente ciclo) y termina cuando el operador del cargador da la señal con el claxon al camión para indicar que el camión está lleno.

**(3) Análisis de la información.** Para el análisis de la información, fue necesario conocer algunas constantes operacionales y fórmulas manejadas por la empresa para el cálculo de la carga por viaje [2].

$$\text{Utilización neta} = \text{tiempo efectivo de carga} + \text{actividades de preparación} \quad (2)$$

$$\text{Productividad} = \frac{\text{viajes} \times \text{toneladas por viaje}}{\text{utilización neta}} \quad (3)$$

$$\text{Capacidad de caja del camión} = 36.55 \text{ m}^3$$

$$\text{Densidad del mineral fragmentado} = 3.00 \text{ tons./m}^3$$

$$\text{Densidad material estéril fragmentado} = 1.57 \text{ tons./m}^3$$

Con esta última información, el peso por viaje de mineral y de material estéril en función del factor de llenado, para efectos de la presente investigación, es:

En mineral:

$$\text{Viaje colmado} = (30 \text{ m}^3 \times 3 \text{ tons./m}^3) = 90 \text{ tons.} \quad (4)$$

$$\text{Viaje a ras} = (27 \text{ m}^3 \times 3 \text{ tons./m}^3) = 81 \text{ tons.} \quad (5)$$

$$\text{Viaje bajo} = (23 \text{ m}^3 \times 3 \text{ tons./m}^3) = 69 \text{ tons.} \quad (6)$$

En material estéril:

$$\text{Viaje colmado} = (30 \text{ m}^3 \times 1.57 \text{ tons./m}^3) = 47 \text{ tons.} \quad (7)$$

$$\text{Viaje a ras} = (27 \text{ m}^3 \times 1.57 \text{ tons./m}^3) = 42 \text{ tons.} \quad (8)$$

$$\text{Viaje bajo} = (23 \text{ m}^3 \times 1.57 \text{ tons./m}^3) = 36 \text{ tons.} \quad (9)$$

## Resultados y discusión

La tabla 1 muestra un resumen de los resultados obtenidos en el muestreo en campo respecto a la utilización del equipo de carga en un turno de 8 horas, donde se puede apreciar que la utilización neta por turno es de 4.27 horas; es decir, 53.4% del tiempo.

CONCEPTO	ACTIVIDAD	HORAS POR TURNO	
		PARCIAL	TOTAL
Utilización neta	Tiempo efectivo de carga	3.00	4.27
	Activ. de preparación	1.27	
Actividades no productivas	Falta de camión	1.65	3.73
	Cambio de turno	0.55	
	Otros	0.14	
	Mantenimiento	0.30	
	Levantam topográficos	0.05	
	Alimentos	0.92	
	Voladura	0.12	
Utilización neta		53.4 %	

**Tabla 1.** Utilización del equipo de carga.

Por otra parte, en la tabla 2 y en la figura 1 se aprecia que la interrupción más significativa y con mayor frecuencia, es la falta de camión con 1.65 horas y 10 eventos por turno; lo cual indica que todo este tiempo el cargador permanece ocioso, apagado o parado y encendido o realizando actividades de preparación.

En este sentido, se detectó que las interrupciones reales que se generan por concepto de cambio de turno y toma de alimentos, son mayores que las programadas en un 65% y un 83.3% respectivamente, como se muestra en la tabla 3.

No.	ACTIVIDAD	HORAS POR TURNO	FRECUENCIA POR TURNO
1	Falta de camión	1.65	10.0
2	Alimentos	0.92	1.0
3	Cambio de turno	0.55	1.0
4	Mantenimiento	0.30	0.5
5	Otros	0.14	0.7
6	Voladura	0.12	0.2
7	Lev. topográficos	0.05	0.6
<b>T O T A L</b>		<b>3.73</b>	<b>14.0</b>

Tabla 2. Interrupciones al equipo de carga.

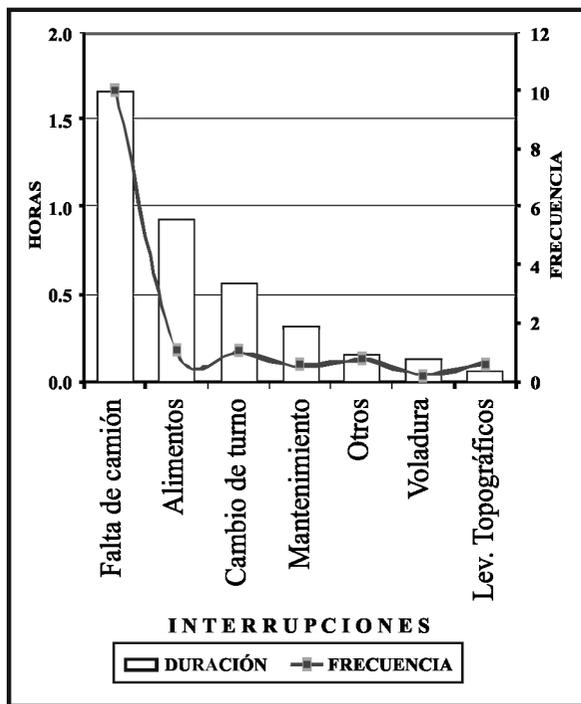


Figura 1. Interrupciones al equipo de carga.

INTERRUPCIÓN	HORAS POR TURNO			△ (%)
	REAL	PROG.	△	
Cambio de turno	0.55	0.33	0.22	65.0
Alimentos	0.92	0.50	0.42	83.3

Tabla 3. Interrupciones real y programada por cambio de turno y alimentos.

En cuanto a la productividad del equipo, en la tabla 4 se resume la información para el cálculo de la duración del ciclo de carga; donde se observa una mayor duración en mineral que en material estéril; ya que este último es más fácil de cargar por su peso y características.

CONCEPTO	MINERAL	ESTERIL
Número de viajes	36	42
Cucharones por viaje	4.7	4.3
Tiempo por cucharonzaso	65 seg.	60 seg.
Duración del ciclo de carga	5.1 min.	4.3 min
Viajes colmados	38 %	38 %
Viajes a ras	56 %	62 %
Viajes bajos	6 %	0 %

Tabla 4. Duración del ciclo de carga.

Con esta información se procede a calcular las toneladas cargadas por viaje, como sigue:

$$\text{Mineral} = 0.38 \times 90 + 0.56 \times 81 + 0.06 \times 69 = 83.7 \text{ tons. (10)}$$

$$\text{Estéril} = 0.38 \times 47 + 0.62 \times 42 + 0.0 \times 36 = 43.9 \text{ tons. (11)}$$

De esta forma, la productividad promedio por turno de trabajo, es:

$$\text{En mineral} = 36 \text{ viajes} \times 83.7 \text{ tons} / 4.27 \text{ horas} = 706 \text{ tph}$$

$$\text{En estéril} = 42 \text{ viajes} \times 43.9 \text{ tons} / 4.27 \text{ horas} = 430 \text{ tph}$$

Y la productividad global promedio considerando el tiempo trabajado en mineral y en material estéril, que fue del 88% y 12% respectivamente, es:

$$\text{Productividad} = 706 \times 0.88 + 430 \times 0.12 = 673 \text{ tph (14)}$$

La figura 2 muestra la productividad por operador del equipo, donde se observa una alta variabilidad; la cual fue obtenida con base a 9 operadores de los 17 que intervinieron durante el desarrollo del muestreo de campo, ya que solo estos 9 operaron el equipo de carga en al menos 2 turnos completos de trabajo.

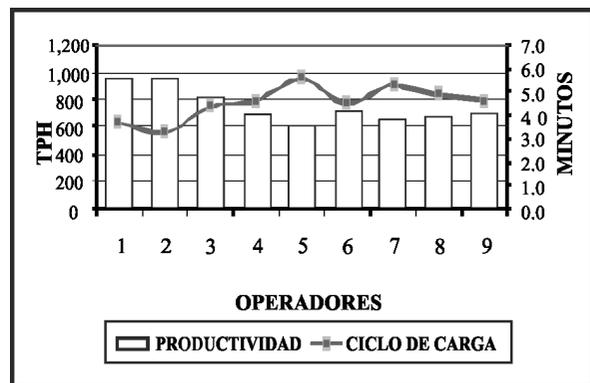


Figura 2. Productividad por operador del equipo de carga

Por otra parte, la figura 3 muestra la productividad y la utilización promedio por turno de trabajo del equipo de carga; donde se observa que no existe diferencia significativa entre la productividad de los turnos diurno y mixto, pero sí respecto al turno nocturno, a pesar de que la utilización neta es mayor durante este último.

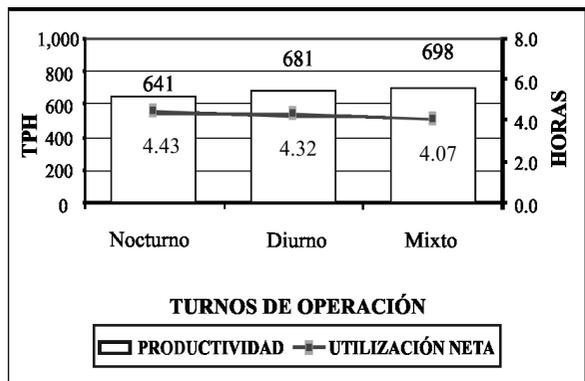


Figura 3. Productividad por turno de trabajo.

### Conclusiones

Bajo las actuales condiciones de operación, la utilización neta y la productividad del equipo de carga son bajas; este se encuentra subutilizado, ya que generalmente opera con un número de camiones menor al requerido, lo cual genera que la interrupción por la falta de camión sea la de mayor impacto en tiempo y frecuencia.

La baja capacidad del sistema de trituración, es la principal causa de que el equipo de carga no opere con el número adecuado de camiones.

La productividad del equipo de acarreo, es afectada por su obsolescencia y estado físico; ya que además de provocar interrupciones frecuentes por mantenimiento correctivo el número real de toneladas por viaje es significativamente menor al de diseño.

Trabajando con el número adecuado de camiones, el equipo de carga tiene capacidad potencial para cargar hasta 1,000 tph de mineral o 610 tph de material estéril por turno de trabajo en promedio; sin embargo esto no será posible si no se incrementa la capacidad del sistema de trituración y se mejora el equipo de acarreo.

La productividad por operador es muy variable debido a que existen muchos operadores para el equipo de carga. La productividad en el turno nocturno difiere significativamente con la de los turnos diurno y mixto a pesar de que se tiene una mayor utilización neta del equipo; lo cual probablemente se deba a la falta de visibilidad durante la noche.

La fragmentación de la rezaga no es un factor que influye en la productividad.

### Recomendaciones

Con el fin de mejorar la productividad del equipo de carga, se proponen las siguientes acciones:

Adiestrar a un grupo pequeño como operadores especializados y exclusivos para el equipo de carga; esto ayudará a reducir la variabilidad en la productividad por operador y los daños al equipo.

Es necesario un programa para el reemplazo del equipo de acarreo en su totalidad.

Generar patios de almacenamiento de mineral, con el fin de incrementar el número de camiones que operen con el equipo de carga y poder efectuar mezclas de mineral.

Reforzar la supervisión, principalmente durante el cambio de turno, la toma de alimentos y el turno nocturno.

### Referencias

- [1] Grupo TERNIUM, Mina "Aquila" (2009, 2010), *Reporte Operativo Anual*, Aquila, Michoacán, México.
- [2] TERNIUM, Hylsa "Las encinas" (2007), *Manual de Operación*, Aquila, Michoacán, México.
- [3] Render B. y Heizer J. (1996), *Administración de Operaciones*, Prentice Hall, 1ra. Edición, México.
- [4] Gutiérrez P. H. y de la Vara S. R. (2009), *Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma*, Mc Graw Hill, México.
- [5] Organización Internacional del Trabajo (2000), *Introducción al Estudio del Trabajo*, 4ta. Edición (Revisada), capítulo 19, Limusa, México.
- [6] Gutiérrez P. H. (2005), *Calidad Total y Productividad*, 2da. Edición, Mc Graw Hill, México.

Artículo recibido: 17 de noviembre de 2010

Aceptado para publicación: 19 de junio de 2011