



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

Estudio de tiempos y  
movimientos del proceso de  
acarreo en una mina y  
propuesta para mejorar su  
eficiencia

TESIS

Que para obtener el título de  
Ingeniera de minas y metalurgista

P R E S E N T A

Dayra Escobar Barrera

DIRECTOR DE TESIS

M.I. José Enrique Santos Jallath



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

El tiempo es decidido,  
no suena su campana,  
se acrecienta, camina,  
por dentro de nosotros,  
aparece como un agua  
profunda en la mirada...

(Pablo Neruda)

## **Agradecimientos**

En especial a las dos mujeres más maravillosas y admirables que tengo el placer de conocer, ya que todos mis logros también han de ser suyos María Gama Rogel y Silvia Patricia Barrera Gama.

A mi abuelo, José por su apoyo incondicional. Al igual que a mi padre Humberto, porque siempre forman parte importante de mi vida.

A la familia Barrera por todo el apoyo brindado, y por estar siempre conmigo en los momentos difíciles.

A todo el equipo AGNICO EAGLE: No se imaginan como aprecio su tiempo y apoyo durante el mes que me permitieron llevar a cabo mi estancia, y el tiempo posterior, ya que sin importar la fecha tan difícil por la que pasamos, siempre me guiaron y estuvieron al pendiente de mí. Tengan por seguro que de cada uno de ustedes me he llevado un aprendizaje muy grande, que me servirá en el futuro.

Con especial gratitud dirijo este trabajo al Ing. Iván Montiel Rodríguez, Ing. Andrés Monge Sáenz, Lic. Efraín Adrián Orozco Lozano, Ing. Fernando Viezcas, Lic. Arely Uribe Martínez y Lic. Hortensia Hernández M.

A mis sinodales B. Sayuri Katagiri Buentello, Huevo Casillas José de Jesús, Guzmán Herrera Viridiana S. y Chacón Wenses Roque Luis Eduardo, gracias por su tiempo y dedicación, en este trabajo y durante toda mi carrera.

A la UNAM y la Facultad de Ingeniería, mi gran casa por haberme enseñado tantas lecciones importantes. De igual manera a todos los profesores que me orientaron en mi formación académica, ya que de cada uno me ha enseñado a comprender una perspectiva nueva y me ha regalado una enseñanza más.

Al M. I. Santos Jallath José Enrique por haber sido mi director de tesis, amigo y mentor. Por su paciencia y apoyo, debido a que fue mi guía a lo largo de cinco años, una gran persona y un excelente profesor...

# CONTENIDO

Agradecimientos .....	ii
Resumen.....	1
1. INTRODUCCIÓN .....	2
1.1 Objetivo .....	4
1.2 Metodología .....	4
1.3 Justificación .....	5
2. Generalidades de la mina.....	6
2.1 Localización .....	6
2.2 Operación general de la mina .....	7
2.2.1 Arreglo general de la mina .....	7
2.2.2 Sistema de explotación .....	10
2.3 Sistema de acarreo.....	17
3. Metodología de tiempos y movimientos .....	20
3.1 Seleccionar y definir el trabajo.....	22
3.2 Toma de datos.....	22
3.3 Análisis de procedimientos .....	25
3.3.1 Tiempos completos del ciclo registrados (Tiempos reales) .....	25
3.3.2 Tiempos teóricos calculados .....	35
4. Mejora al proceso .....	37
4.1 Estimación del número de equipos requeridos .....	37
4.2 Medidas para mejorar el proceso actual .....	41
4.2.1 Tiempos de ciclo.....	41
4.2.2 Tiempos auxiliares.....	48
4.3 Productividad esperada con las mejoras propuestas .....	50
5. Conclusiones .....	52
Referencias.....	53
Anexos.....	54
Anexo 1. Datos muestreados y cálculos.....	54
Anexo 2. Formularios propuestos .....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Localización Mina Pinos Altos y vista satelital. (Fuente: Gammon Lake Resources &amp; Google Earth).</i>	6
<i>Figura 2. Cuerpos mineralizados (Fuente: Agnico Eagle, 2016).</i>	8
<i>Figura 3. Vista longitudinal, Cuerpo Santo niño, Mina Pinos Altos 2007 (Fuente: Matache, 2016 ).</i>	9
<i>Figura 4. Sistema Piramidal de explotación (Fuente: Agnico Eagle, 2016).</i>	11
<i>Figura 5. Ejemplo de barrenación en abanico (Fuente: Agnico Eagle, 2016).</i>	12
<i>Figura 6. Ejemplo plantilla de barrenación en bloques minables (Fuente Agnico Eagle, 2016).</i>	12
<i>Figura 7. Secuencia de recorrido por los diferentes dispositivos, de la señal desde el centro de mando (blaster) hasta el barreno. Para una voladura electrónica.</i>	13
<i>Figura 8. Anclaje en tepetate (Fuente: Agnico Eagle, 2016).</i>	15
<i>Figura 9. Anclaje en mineral. (Fuente: Agnico Eagle, 2016).</i>	16
<i>Figura 10. Tiempos considerados en el ciclo de acarreo.</i>	18
<i>Figura 11. Etapas básicas del estudio de tiempos y movimientos. (Fuente: José Agustín Cruelles, 2013).</i>	21
<i>Figura 12. Camiones AD45 CAT, mina Pinos Altos.</i>	27
<i>Figura 13. Gráficos circulares que representan los tiempos efectuados por muestra.</i>	30
<i>Figura 14. Distribución promedio de tiempos en el acarreo por turno.</i>	33
<i>Figura 15. Distribución promedio de tiempos por ciclo.</i>	34
<i>Figura 16. Resultados obtenidos al comparar los resultados de operadores de martillo y de cargador tipo LHD.</i>	47

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Especificaciones Cargadores tipo LHD R1700G CAT. (Fuente: Manual CAT). .....	14
Tabla 2. Listado de camiones articulados para acarreo que operan dentro de la mina subterránea. ....	18
Tabla 3. Especificaciones Camión AD30 y AD45. (Fuente: Manual Caterpillar). .....	19
Tabla 4.. Formatos de medición de tiempos, (Fuente: Agnico Eagle, 2016). ....	23
Tabla 5. Formato propuesto adicional, para registro de tiempos y movimientos. ....	25
Tabla 6. Datos tomados por día (Ejemplo del turno 1; en el camión 1 ruta 1). ....	26
Tabla 7. Tiempos medidos para cada actividad en la muestra 1. En total el camión realizó 8 viajes en el turno. .....	26
Tabla 8. Camiones AD45 CAT, mina Pinos Altos. ....	29
Tabla 9. Tiempos auxiliares promedios de un turno, equivalente a promedio de un operador. ....	29
Tabla 10. Tiempos promedios por viaje. En el ciclo productivo. ....	31
Tabla 11. Tiempos auxiliares promedios en un turno. ....	31
Tabla 12. Velocidades de recorrido para un camión. ....	35
Tabla 13. Tiempos promedio del ciclo, cálculo teórico. ....	36
Tabla 14. Tonelaje a extraer en condiciones actuales 3700, y para los incrementos a 4000 y a 6000 [ton] mineral. ....	37
Tabla 15. Carga real y número de camiones disponibles, ordenados por modelo de camión. Bajo las condiciones actuales de la mina. ....	38
Tabla 16. Datos necesarios para cálculo de [Ton] movidas por día/modelo de camión. Bajo las condiciones actuales de la mina. ....	38
Tabla 17. Número de equipos necesarios por modelo de equipo para la producción actual. ....	39
Tabla 18. Número de camiones para satisfacer una producción de 4000 [ton]. ....	40
Tabla 19. Número de camiones para satisfacer una producción de 6000 [ton]. ....	40
Tabla 20. Mejoras al aumentar la disponibilidad mecánica de los equipos. ....	42
Tabla 21. Mejoras al reducir en un 50 % el tiempo de espera del cargador LHD. ....	43
Tabla 22. Formato propuesto para coordinar los camiones al principio de turno. ....	44
Tabla 23. . Formato propuesto para operador de cargador tipo LHD. ....	45
Tabla 24. Resultados obtenidos del formato propuesto para el operador de cargador tipo LHD. ....	45
Tabla 25. Formato propuesto para operador de Martillo en el Tiro. ....	46
Tabla 26. Resultados obtenidos del formato propuesto para el operador de cargador tipo LHD. ....	46
Tabla 27. Mejoras al reducir los tiempos muertos en los tiempos auxiliares. ....	49
Tabla 28. Resultados al aplicar todas las mejoras propuestas en los ejemplos. ....	50

## **Resumen**

La mina Pinos Altos ubicada en el estado de Chihuahua presenta una operación aceptable con la que logra cumplir con la producción diaria, pero quiere hacer más eficientes sus operaciones, entre ellas el acarreo, que es una parte importante del ciclo productivo, puesto que el acarreo es el transporte de mineral y material estéril obtenido en la mina y de él dependen los procesos posteriores.

Además, en la mina se pretende alcanzar un segundo objetivo que es incrementar su producción en un futuro cercano, lo que implicará un incremento en insumos y número de equipos.

El objetivo de este trabajo es identificar las deficiencias en el sistema de acarreo, para posteriormente hacer propuestas de mejora.

El método empleado para iniciar con la identificación de áreas de oportunidad para mejorar el proceso, es un estudio de tiempos y movimientos, posteriormente se propone una solución específica a cada área de oportunidad encontrada.

Con dicho estudio se encontró que los principales factores con problemas que se presentan en el acarreo son los tiempos auxiliares, tiempos muertos, condiciones del terreno, falta de coordinación y planeación previa en las actividades.

Para mejorar dichos factores se propone mayor supervisión y control de la operación, así como reducción de tiempos y mejoras en la coordinación de equipos.



# 1. INTRODUCCIÓN

La minería subterránea es el conjunto de operaciones y obras realizadas en el subsuelo para extraer el mineral de un yacimiento, para lograrlo se realizan obras de excavación en la corteza terrestre. El ciclo principal de la minería subterránea consiste en llevar a cabo las siguientes actividades:

- Barrenación: El principio de la perforación se basa en el efecto mecánico de percusión y rotación, cuya acción de golpe y fricción producen el fracturamiento y trituración de la roca. Su propósito es abrir en la roca huecos cilíndricos denominados barrenos y están destinados a alojar al explosivo y sus accesorios iniciadores.
- Cargado y voladura: el cargado es la acción de introducir explosivo necesario en los barrenos, para que en la voladura se pueda mover y fragmentar la roca. La voladura consiste en dar inicio al sistema de iniciación para que detone el explosivo.
- Ventilación: consiste en dejar un tiempo el lugar de la voladura, permitiéndole que aire fresco entre y renueve el aire contaminado (producto de la voladura). En ocasiones la ventilación debe ser apoyada con el uso de extractores.
- Amacice: es la acción de golpear las rocas y tirar aquellas que quedaron sueltas después de realizada la voladura. Siempre debe realizarse de una zona segura a una insegura y con la barra inclinada a 45.
- Fortificación: en esta etapa se trata de estabilizar la obra y lugar de trabajo por medio de métodos eficaces que brinden el soporte necesario.
- Rezagado: es la acción de retirar el material fragmentado, hacia sitios específicos, para que después sea trasladado.
- Acarreo: es la acción de transportar el material fragmentado hasta el lugar donde será procesado.
- Operaciones auxiliares: algunos de ellos son relleno, transporte de materiales, suministro de agua, energía, aire comprimido, entre otros.

Acarreo: El acarreo es el movimiento de material, en el caso de la industria minera, será roca fragmentada, que se encuentra en el lugar de su explotación, que puede ser mineral o estéril, en el primer caso será llevado hasta la planta de beneficio y en el segundo el material deberá ser llevado a su depósito.

El acarreo es una actividad con demasiada importancia debido a que, si éste se detiene, simplemente la roca fragmentada no podría salir del lugar de explotación hacia el lugar donde se beneficiará y por ende la producción se pararía parcial o totalmente.

Algunos problemas que se pueden presentar en el acarreo son: la falta de capacidad para extraer el mineral diario, tiempos muertos, variación en las distancias de acarreo, planeación deficiente, baja disponibilidad de los equipos, mala coordinación, entre otros.

Para solucionar los problemas asociados al acarreo y determinar los factores que influyen la eficiencia del proceso, se puede realizar el análisis del acarreo como proceso con “una técnica de medición de trabajo empleada para registrar los tiempos y ritmos de trabajo correspondientes a los elementos de una tarea definida, efectuada en condiciones determinadas, y para analizar los datos a fin de averiguar el tiempo requerido para efectuar la tarea, según una norma de ejecución preestablecida”, que es llamado estudio de tiempos y movimientos (KANAWATY GEORGE, 1996).

En la mina Pinos Altos, ubicada en el municipio de Ocampo, Chihuahua, se detectaron algunos factores que reducen la eficiencia del acarreo y se deseaba conocer las causas y ver si el proceso podría ser mejorado, así mismo se planteó el propósito de incrementar la producción en un futuro cercano, de 3500 [ton] a 4000 y 6000 [ton], lo cual representa un cambio en el número de equipos de acarreo a utilizar. Pero dicho cambio debe estar fundamentado y acorde a las condiciones actuales de la mina.

El presente trabajo es una respuesta a la necesidad de conocer las condiciones actuales del proceso de acarreo en dicha mina y fue llevado a cabo a solicitud de la empresa para conocer cómo era la eficiencia en éste. Durante el tiempo del estudio, la tarea realizada consistía en conocer los procedimientos, medir tiempos y analizar los resultados obtenidos.

Este estudio se realizó seleccionando los equipos de manera aleatoria para garantizar la confiabilidad de los resultados. Por lo que ninguno de los operadores del equipo de acarreo se ha elegido de acuerdo a su desempeño, pero si se ha demostrado que todos los conductores de los camiones están calificados para realizar dicho trabajo. Ya que todos los conductores de camiones tienen la experiencia, los conocimientos, entre otras cualidades para efectuar el trabajo.

## **1.1 Objetivo**

El objetivo general del presente trabajo es identificar deficiencias en el sistema de acarreo, así como los aspectos que las ocasionan y hacer propuestas de mejora.

Entre los objetivos particulares se encuentra:

- Realizar un análisis de los tiempos de acarreo.
- Encontrar las razones de tiempos muertos o desaprovechados.
- Estimar el número de equipos requeridos para poder cumplir con la producción actual.
- Realizar una estimación del número de equipos para poder satisfacer la producción al incrementar en un futuro, el tonelaje explotado.

## **1.2 Metodología**

Se procedió de la siguiente manera:

Primero se conoció el sistema de acarreo y se acotaron los alcances del presente trabajo.

Después se planteó la forma de trabajar, utilizando un estudio de tiempos y movimientos.

Se realizaron las mediciones necesarias de los tiempos ocurridos durante la actividad de acarreo.

Posteriormente se realizó un análisis de los resultados obtenidos.

Y finalmente se propusieron algunas mejoras, las cuales se espera puedan llevarse a cabo y medir su efectividad (pero esto último no es alcance del trabajo).

### **1.3 Justificación**

El acarreo constituye una parte importante en el ciclo operativo de cualquier mina, no importa el método de explotación que se utilice, ya que toda operación requiere de acarreo.

El tipo de acarreo varía dependiendo de la distancia, el método de explotación, el cuerpo mineral, la inversión requerida, los costos, la preparación del sitio, la competencia de la roca y la producción de la mina, entre otros factores, que determinarán la factibilidad y costos del mismo proceso.

Aunque puede llegar a parecer una tarea sencilla, tediosa, repetitiva y sin importancia, el vigilar los tiempos de acarreo es de suma importancia, ya que afectarán económicamente la producción y las etapas posteriores del proceso.

El acarreo es una de las actividades que se tiene que realizar en menor tiempo, pero que se ve afectada por varias condiciones que delimitan su facilidad y eficiencia.

Con los datos del estudio de tiempos y movimientos, se realizó una proyección de las condiciones actuales de trabajo, con el objetivo de estimar el número de equipos necesarios en operación en caso de un futuro aumento en la producción.

Dicho estudio será de suma importancia debido a que con eso se pretende hacer más eficiente y mejorar el proceso de acarreo, por ende, el proceso productivo de la mina se beneficiará, llegando a necesitar de menos recursos para realizar la misma operación.

## 2. Generalidades de la mina

### 2.1 Localización

La mina Pinos Altos, perteneciente a la compañía canadiense Agnico Eagle, se ubica cerca de la población de Cahuisori, Municipio de Ocampo, Chihuahua. Sobre la Sierra Madre Occidental (Figura1), entre las coordenadas extremas, 28° 15' 06" y 28° 16' 50" (de latitud norte y 108° 16' 32" y 108° 19' 04" de longitud oeste).

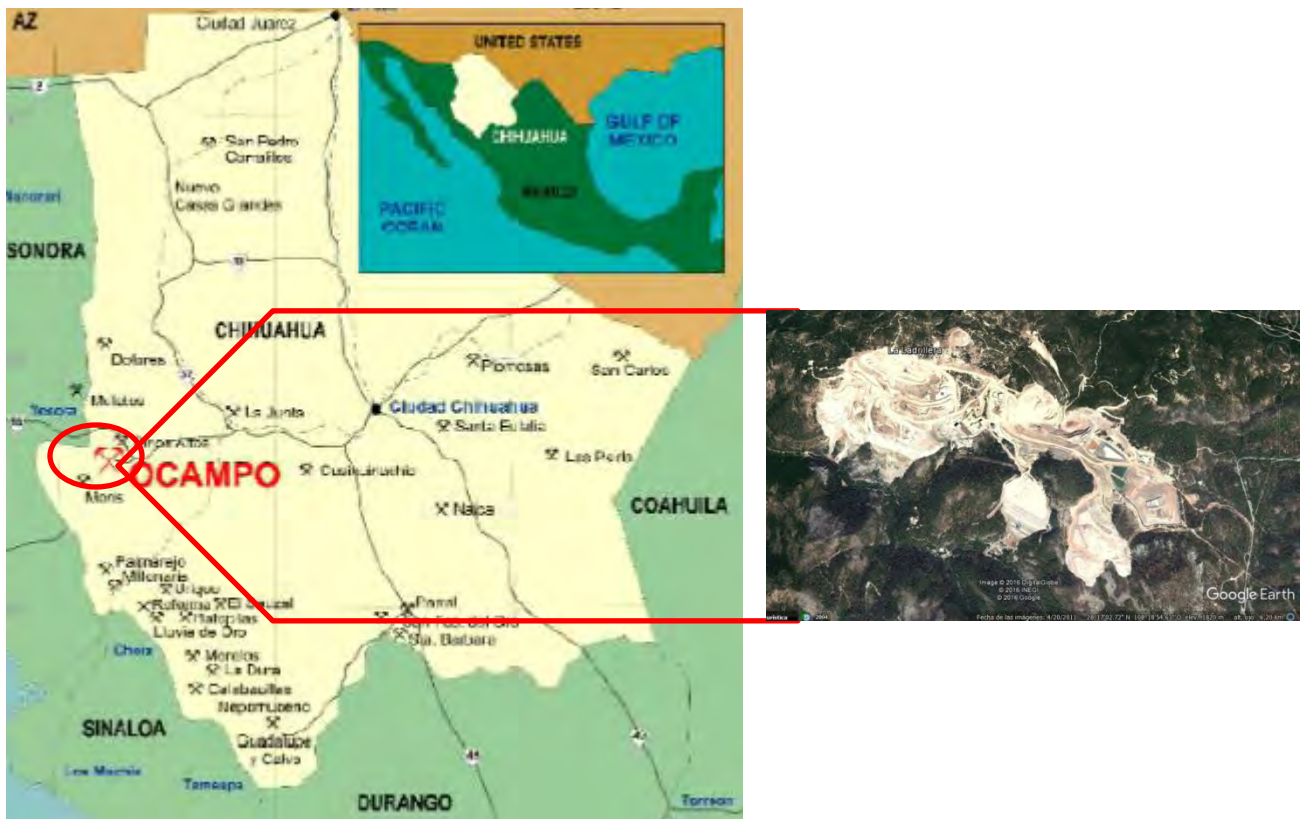


Figura 1. Localización Mina Pinos Altos y vista satelital. (Fuente: Gammon Lake Resources & Google Earth).

## **2.2 Operación general de la mina**

Pinos Altos es productor de Oro (Au) y Plata (Ag). “Sus reservas probadas y probables contienen 1,5 millones de onzas de oro y 37,5 millones de onzas de plata (16 millones de toneladas con 2,88 g / t de oro y 74,18 g / t de plata). Lo cual le da una vida de 9 años a la mina. Pinos Altos se espera que produzca 175,000 onzas de oro en 2016, y un promedio de 178,000 onzas de oro por año a partir de 2017 a 2018.” (AGNICO EAGLE WEB, 2017).

La mineralización en el sitio es de vetas y brechas formadas por procesos epitermales de baja sulfuración.

### **2.2.1 Arreglo general de la mina**

La unidad minera cuenta con las siguientes instalaciones:

Planta de beneficio,

Planta de pasta (Preparación de jales en pasta),

Plantas productoras de concreto,

Tajos activos (Santo niño y San Eligio),

Planta de tratamiento de aguas residuales,

#### **Mina subterránea,**

Área de oficinas,

Campamento (Zona habitacional),

Tepetateras (Depósitos de residuos mineros, solo mineral de baja ley o estéril),

Almacén de materiales,

Talleres de mantenimiento, y

Polvorines.

La mina subterránea cuenta con 2 cuerpos minerales que se explotan actualmente (veta Santo Niño y veta Cerro Colorado). También cuenta con dos proyectos que se nombran Oberon de Weber y San Eligio (Figura 2).

A la mina subterránea se puede acceder por:

- Rampa de exploración, de nivel 22,
- Tiro, que va desde superficie hasta el Nivel 28,
- Rampa de Producción, del nivel 16 hasta el 30

Su producción anual en la mina subterránea es de 1'350,500 [ton], con 2.5 [g/ton] de Au y de 70-80 [g/ton] de Ag. La mayor parte de la explotación actual se lleva a cabo en la mineralización de Santo Niño (Figura 3).

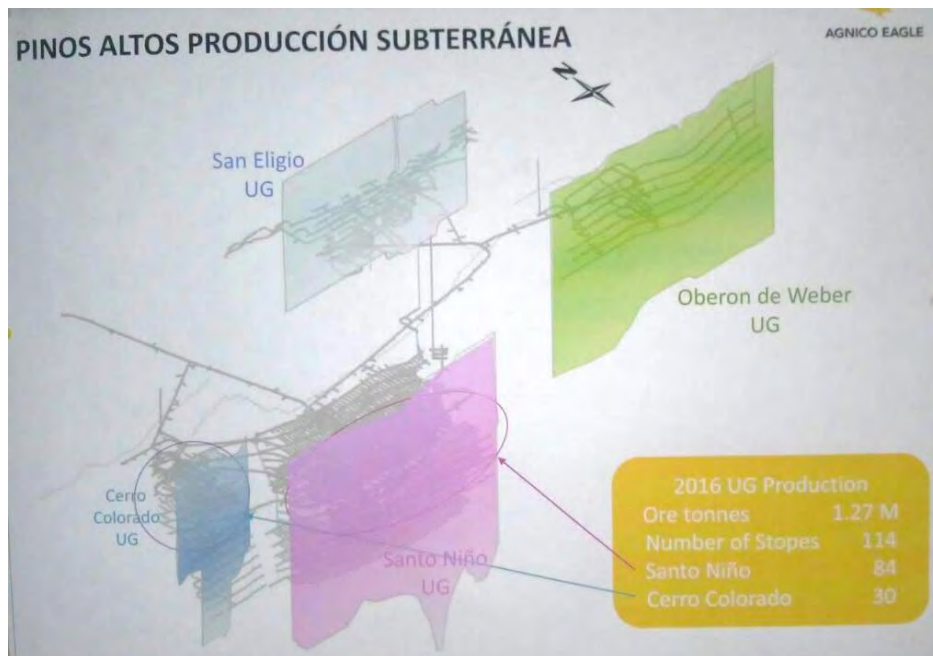


Figura 2. Cuerpos mineralizados (Fuente: Agnico Eagle, 2016).

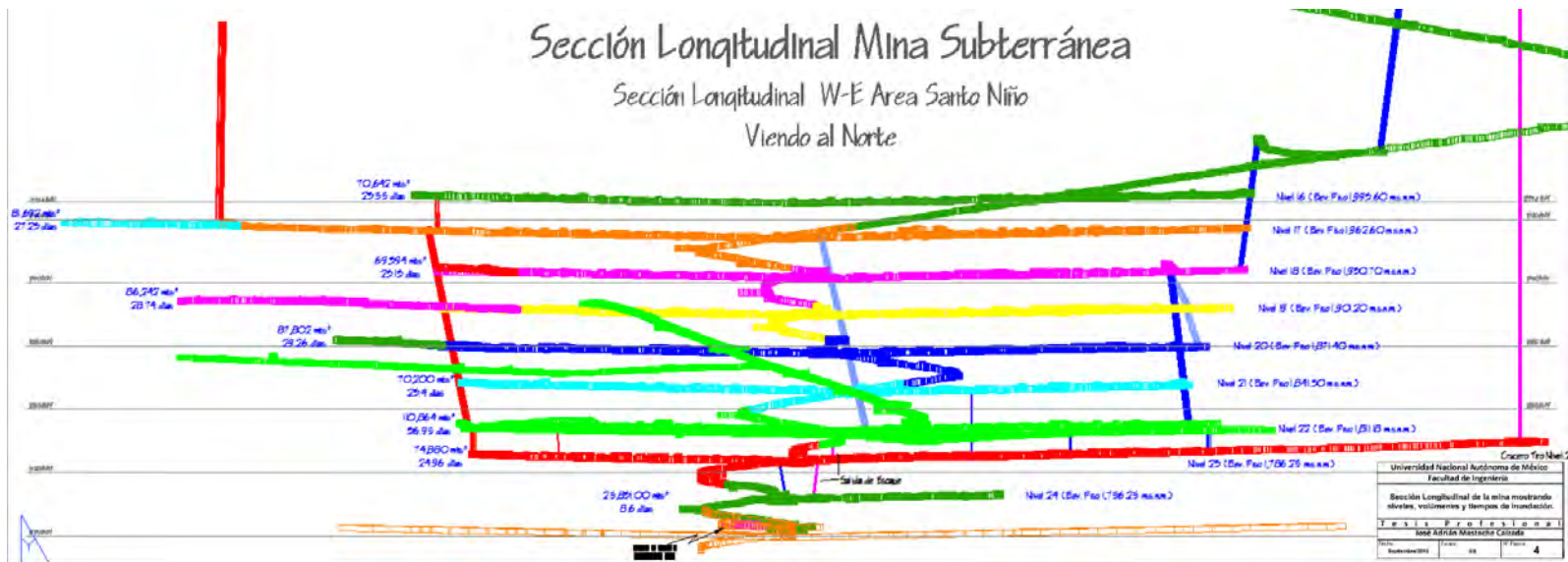


Figura 3. Vista longitudinal, Cuerpo Santo niño, Mina Pinos Altos 2007 (Fuente: Matache, 2016 ).

Con una planta de 327 personas en operación mina subterránea que laboran turnos de 12 horas de trabajo x 12 horas de descanso, en los 14 días corridos que operan dentro de la mina, teniendo 7 días de descanso.



### **2.2.2 Sistema de explotación**

Dentro de los diversos métodos de explotación que se encuentran en la mina, en este caso la minería subterránea, se encuentran métodos especiales, que varían de acuerdo a las diferentes condiciones de la mina. El método aquí empleado es uno muy poco usado en México, llamado VCR por sus siglas en inglés Vertical Crater Retreat, que es parecido a realizar un corte y relleno, con barrenación larga, requiriendo de un relleno con pasta. Se mantiene una secuencia de explotación piramidal.

#### ***Secuencia de minado piramidal***

- 1.- Se identifican los bloques necesarios para cubrir la producción de 3,700 ton/día, y en base a la producción diaria requerida, los bloques primarios formaran una pirámide ascendente.
- 2.- Cumpliendo el ciclo de minado y fraguado de la pasta a su máxima resistencia (28 días) se buscan los siguientes bloques primarios.
- 3.- Cuando ya exista en un bloque secundario y a los laterales bloques primarios rellenos, estos pueden entrar al ciclo de producción (Figura 4).

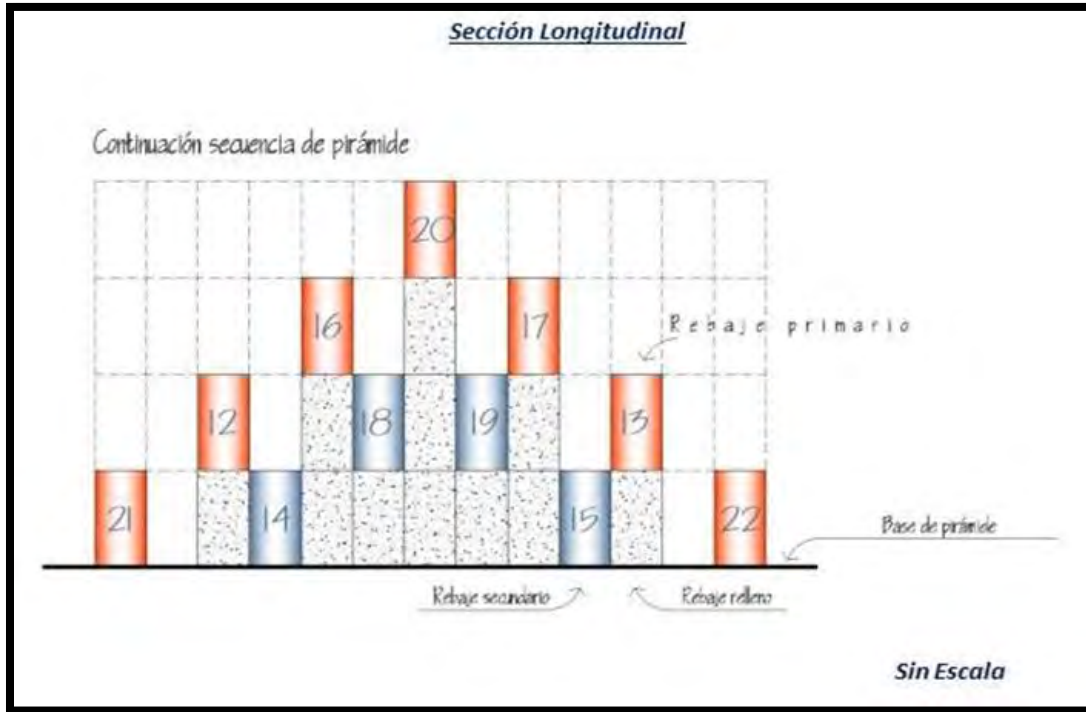


Figura 4. Sistema Piramidal de explotación (Fuente: Agnico Eagle, 2016).

### **Barrenación**

En la mina Pinos Altos se cuenta con 4 equipos SANDVIK jumbo DD320 para la barrenación de desarrollo de obras. Estos son utilizados en la mina para el avance de las obras mediante barrenos distribuidos en la frente de acuerdo a una plantilla de barrenación preestablecida.

El equipo DD320 cuenta con 2 brazos independientes, alcanza una velocidad máxima de 16 Km/h, cuenta con estabilizadores hidráulicos, alcanza una velocidad de rotación máxima de 400 RPM, es compatible con barras de 10', 14' y hasta 16', tiene un motor de 555 HP, este equipo puede cubrir un área de hasta 44.5 m<sup>2</sup>, sus dimensiones son de 11.8m de longitud y 2.95m de altura.

La longitud máxima de barrenación en obras de producción es de 30 [m]. La plantilla de barrenación será variable, debido a que las dimensiones de cada rebaje varían, pero por lo regular se realizara en líneas. La barrenación siempre será descendente con configuración en abanico (figura 5). En obras de producción la barrenación se lleva a cabo siguiendo la veta (Figura 6).

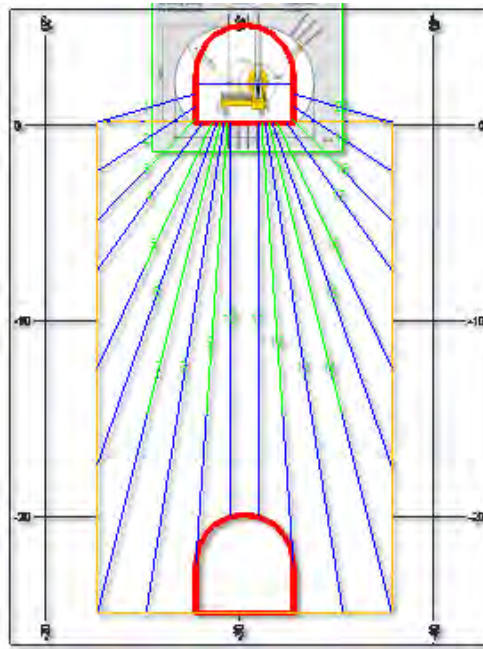


Figura 5. Ejemplo de barrenación en abanico (Fuente: Agnico Eagle, 2016).

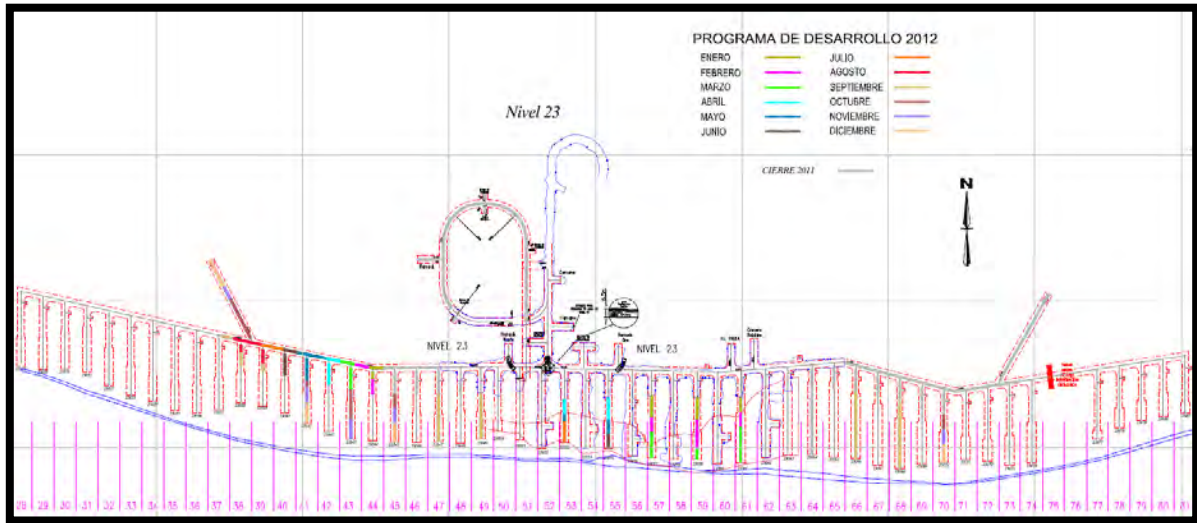


Figura 6. Ejemplo plantilla de barrenación en bloques minables (Fuente Agnico Eagle, 2016).

### ***Cargado y voladura***

El cargado es diferencial, de acuerdo al tamaño de los rebajes y la secuencia de voladura, es de tipo electrónica por lo que a continuación solo se dará un ejemplo de cargado (Figura 7).

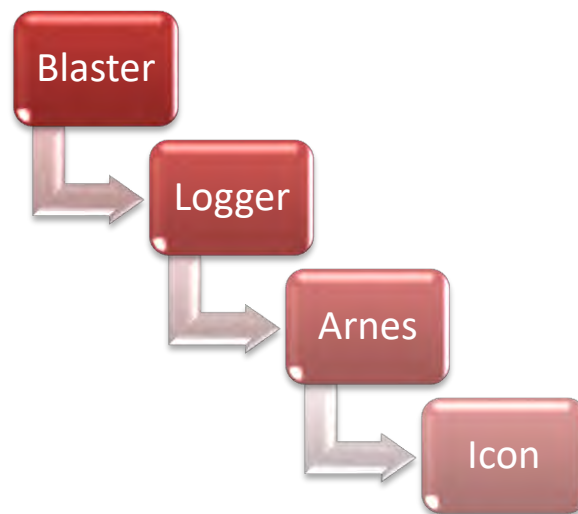
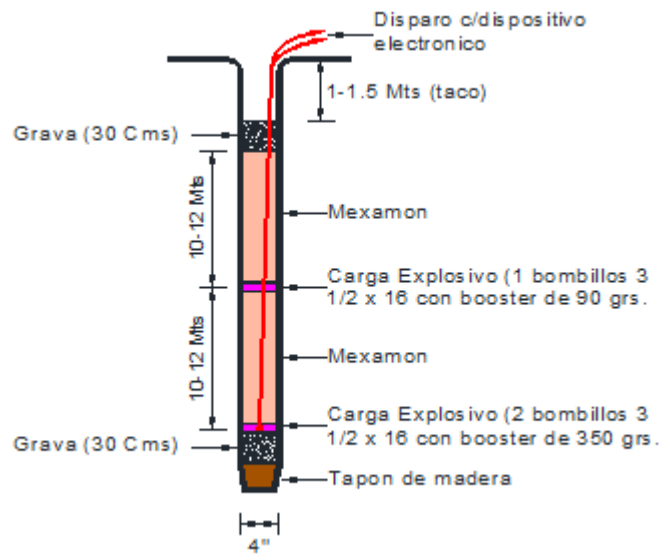



Figura 7. Secuencia de recorrido por los diferentes dispositivos, de la señal desde el centro de mando (blaster) hasta el barreno. Para una voladura electrónica.

## Rezagado

El rezagado se realiza con cargadores articulados tipo LHD R1700G CAT, cuyas características se muestran a continuación (Tabla 1). Pero por la densidad del mineral cada cucharón es capaz de ser llenado con 10 toneladas de material.

Tabla 1. Especificaciones Cargadores tipo LHD R1700G CAT. (Fuente: Manual CAT).

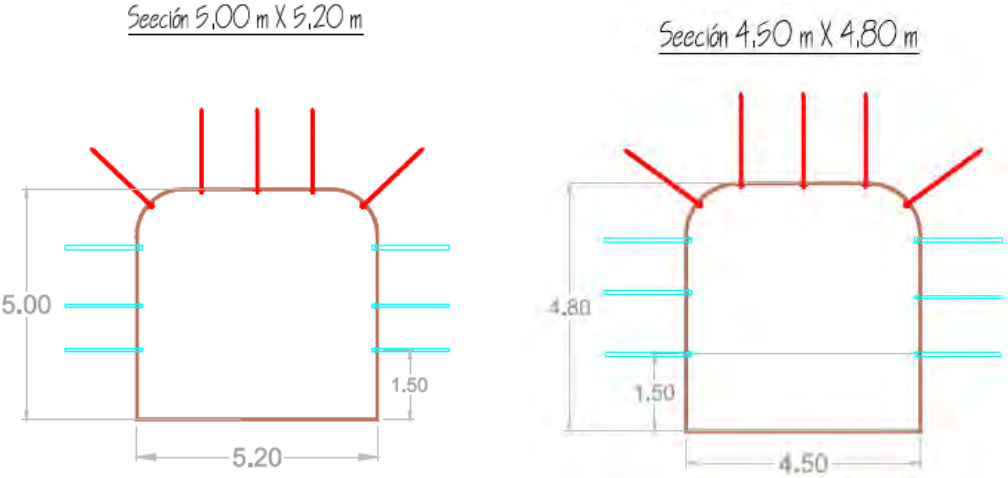


MODELO	R1700G	
Tamaño mínimo de cucharón	5 m <sup>3</sup>	6,5 yd <sup>3</sup>
Tamaño máximo de cucharón	7,4 m <sup>3</sup>	9,7 yd <sup>3</sup>
Capacidad de empuje	12.500 kg	27.560 lb
Longitud	10.800 mm	34'9"
Anchura del cucharón	2818 mm	9'3"
Anchura con neumáticos	2650 mm	8'8"
Altura	2557 mm	8'5"
Peso en orden de trabajo	38.500 kg	84.880 lb
Potencia del motor	231 kW	310 hp
Modelo de motor	3176C EUI ATAAC	
Tamaño de neumáticos	26.5x25 32 telas L5 STMS	
Radio exterior de giro	8854 mm	22'6"
Radio interior de giro	3229 mm	10'7"
Angulo de articulación	44°	
Angulo de oscilación	±8°	
Tiempo para levantar el cucharón	6,8 segundos	
Tiempo para bajar el cucharón	2,4 segundos	
Tiempo para inclinar el cucharón	2,9 segundos	
Tiempo de ciclo total de cucharón	12,1 segundos	
Velocidades de desplazamiento	km/h	mph
De avance 1a	5,1	3,2
2a	9,0	5,6
3a	15,8	9,8
4a	27,1	16,8
De retroceso 1a	5,9	3,6
2a	10,3	6,4
3a	17,9	11,1
4a	30,7	19,1
Altura máxima del pasador del cucharón	4098 mm	13'5"
Angulo máximo de descarga del cucharón	46°	

## Soporte

Las principales dimensiones y configuraciones de soporte se presentan a continuación. Cabe mencionar que se utilizan principalmente tres tipos de anclas para llevar a cabo esta labor: Suellex, Split set y Rebar.

En la Figura 8 se muestran las dimensiones estándar en soporte de tepetate, así como la configuración de soporte; a la izquierda obras generales permanentes, a la derecha obras generales temporales, para este tipo de obras se utiliza en promedio 5 mallas con abertura 10 [cm] x 10 [cm].



Patrón de Andaje  
(Modelo de Instalación de Andas)

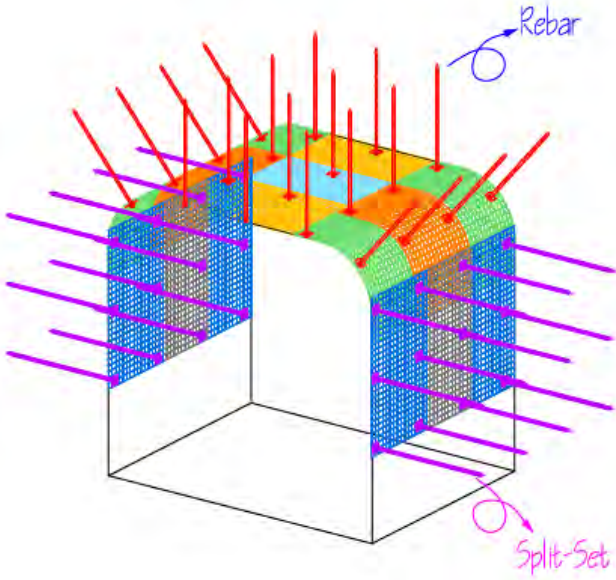


Figura 8. Anclaje en tepetate (Fuente: Agnico Eagle, 2016).

Dimensiones estándar de obras en mineral y configuración de soporte de obras (Figura 9). Aquí se utiliza alrededor de 5 mallas por frente, 12 anclas split set y 5 anclas swellex, en promedio, con las siguiente dimensiones y configuraciones.

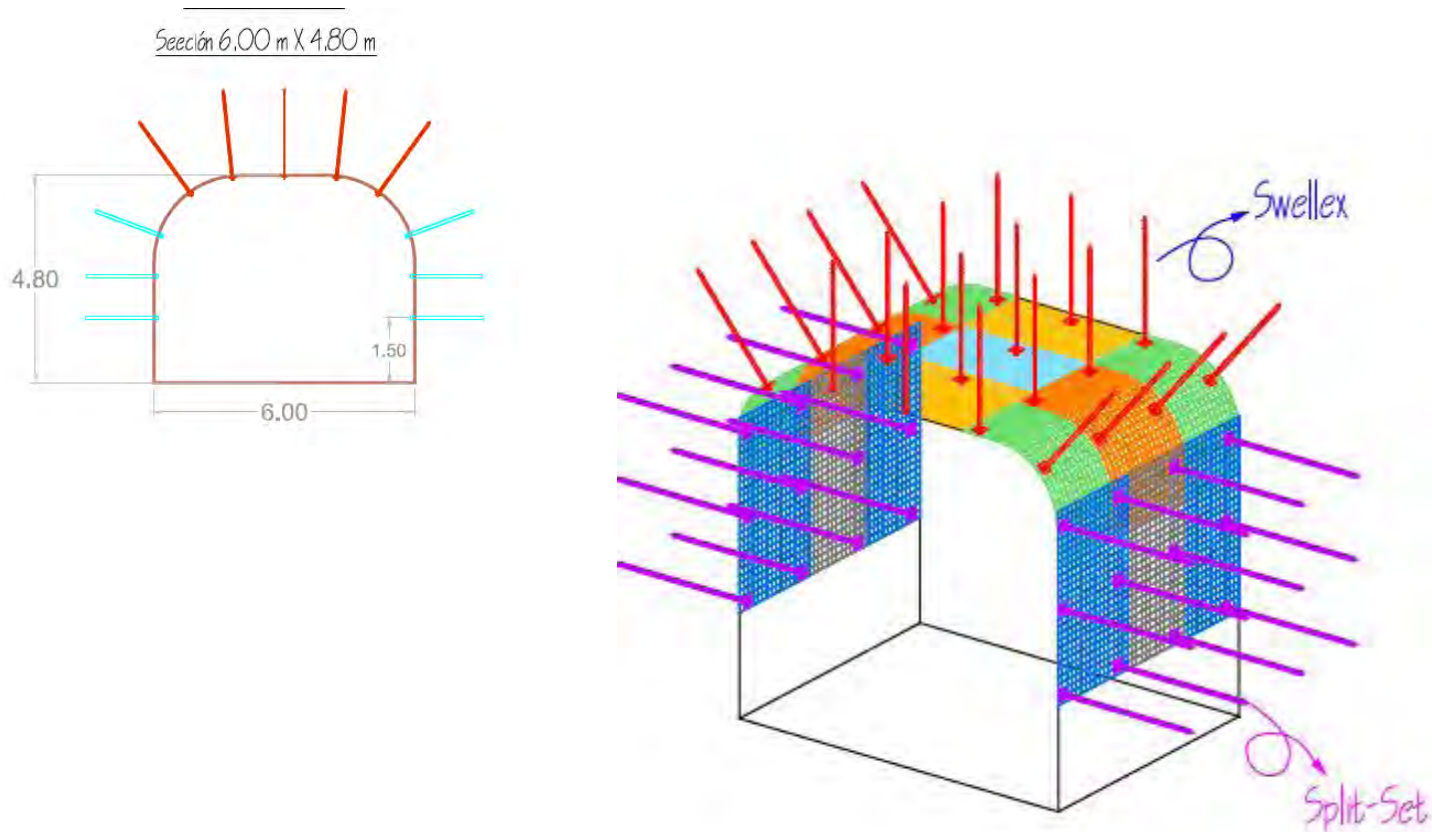


Figura 9. Anclaje en mineral. (Fuente: Agnico Eagle, 2016).

### **Relleno**

Se realiza en dos partes, la primera se coloca la base con tepetate de 14 metros de longitud y se deja la suficiente altura para colocar la segunda etapa, la cual se realiza con un cargador tipo LHD, a dicho cargador se le instaló una herramienta que le sirve para colocar el relleno a control remoto. Aquí se debe formar una cresta de unos 6 metros, completamente lleno. Al final del tapón se sella con concreto lanzado.

En el crucero superior solo se rezaga el mineral que invadió el crucero, se procede a instalar la tubería, para introducir la pasta, se instala también una cámara para estar monitoreando el llenado, en este nivel se instalan unas protecciones de seguridad, barricadas, tapones de lona, malla electro-soldada y una cuchilla de tractor, todo esto para evitar alguna posible caída de personal o equipo.

Hasta que no están instalados los anteriores dispositivos de seguridad, como lo marca el procedimiento, no se comienza a rezagar el mineral con el control remoto. Cuando se termina de rezagar inmediatamente se inicia el relleno, el cual se realiza en tres etapas.

La primera etapa de relleno, de 8 metros de altura, lleva un 7 % de cemento, después de colocada esta pasta, se esperan 3 días, para que ayude al tapón y fragüe un poco; la segunda etapa que es de 20 metros de altura, se realiza con una pasta con bajo porcentaje de cemento, después de colocada, se esperan 28 días para que fragüe perfectamente; la tercera etapa, que son los últimos 2 metros se rellenan con tepetate.

La distribución de la pasta se realiza con una tubería de 8" de diámetro y en los cruceros disminuye a 6". En cada nivel existe un distribuidor que sirve además para quitar velocidad a la pulpa, aquí se encuentran instalados unos medidores de presión, los cuáles son monitoreados constantemente desde el cuarto de control.

El relleno que se utiliza es jal proveniente de la planta de jal en pasta, esta mezcla que se forma aquí es un jal con bajo porcentaje de humedad, agua, cemento y aditivos.

## **2.3 Sistema de acarreo**

El acarreo en la mina Pinos Altos, solo en la mina subterránea, es sencillo, ya que solo consiste en el traslado de material del sitio de explotación hasta el sitio de descarga, siendo la distancia de acarreo considerable, debido a que la unidad Pinos Altos en teoría se tiene que dividir, dependiendo de la profundidad de extracción:

Del Nivel 20, hacia abajo se pretende enviar a la descarga del tiro en el Nivel 27. Posteriormente se descargará en una de dos tolvas, de ahí será trasladado por camiones de volteo a su destino que depende de la naturaleza del producto (si es mineral o tepetate).

Del Nivel 20, hacia arriba se sugiere enviar a descargar hasta superficie, donde será recogido por palas y movido por camiones de volteo pertenecientes a los ejidos circundantes, hasta llegar a la planta de beneficio en caso de ser mineral, de lo contrario será llevado a una tepetatera.

En mina subterránea se cuenta actualmente con una flotilla de 12 camiones articulados (Tabla 2).



Tabla 2. Listado de camiones articulados para acarreo que operan dentro de la mina subterránea.

TRK-01 : CAMIÓN ARTICULADO AD30 CAT
TRK-02 : CAMIÓN ARTICULADO AD30 CAT
TRK-03 : CAMIÓN ARTICULADO AD45 CAT
TRK-04 : CAMIÓN ARTICULADO AD45 CAT
TRK-05 : CAMION ARTICULADO AD45 CAT
TRK-06 : CAMION ARTICULADO AD45 CAT
TRK-07 : CAMION ARTICULADO AD45 CAT
TRK-08 : CAMION ARTICULADO AD45 CAT
TRK-09 : CAMION SANDVIK TH-550
TRK-10 : CAMION SANDVIK TH-550
TRK RENTA-13 : CAMION ARTICULADO AD30 CAT
TRK RENTA-14 : CAMION ARTICULADO AD45 CAT

El TRK-11 y TRK-12 eran marca CATERPILLAR (CAT), modelo AD45, eran rentados pertenecientes a la compañía MADSA, pero salieron de la mina, ya hace algún tiempo.

(El ciclo de acarreo se considera por seis etapas, Figura 10):

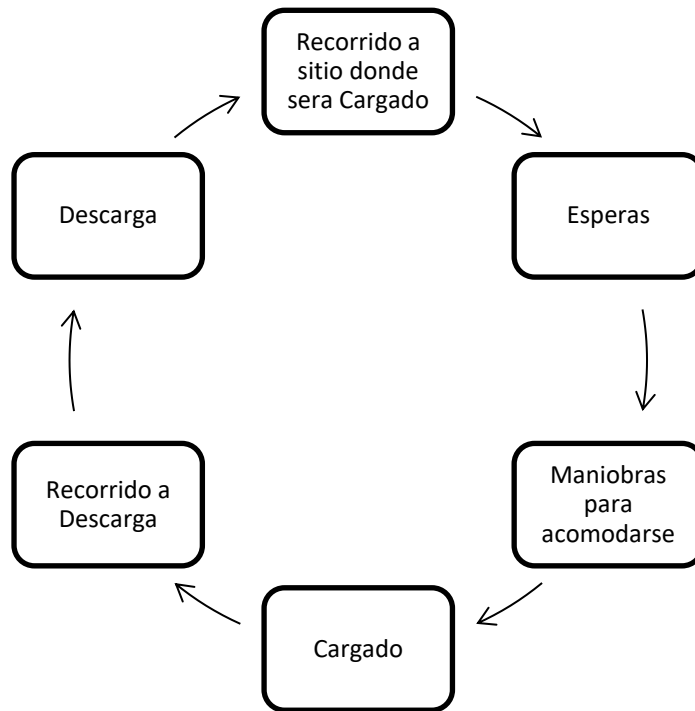


Figura 10. Tiempos considerados en el ciclo de acarreo.

La disponibilidad se toma de datos estadísticos, y no de las muestras, puesto que estas no fueron suficientes para determinar este parámetro.

Se puede notar que la disponibilidad en los camiones AD45 CAT y TH550 SANDVIK es de 62.5%, que ya es bajo, mientras que los camiones AD30 CAT es aún menor, de 45.76%.

La disponibilidad se refiere al tiempo en que el equipo puede ser operado, y no se encuentra fuera por fallas mecánicas. Pero esta disponibilidad no garantiza que el equipo opere todo este tiempo, eso dependerá del operador, las condiciones de la mina, entre otros factores.

Las especificaciones más importantes de los equipos AD30 y AD45 se muestran a continuación (Tabla 3):

Tabla 3. Especificaciones Camión AD30 y AD45. (Fuente: Manual Caterpillar).

MODELO	R1700G		MODELO	AD45	
Tamaño mínimo de cucharón	5 m <sup>3</sup>	6,5 yd <sup>3</sup>	Potencia del motor	380 kW	510 hp
Tamaño máximo de cucharón	7,4 m <sup>3</sup>	9,7 yd <sup>3</sup>	Modelo del motor	3408E-WEU	
Capacidad de empuje	12.500 kg	27.560 lb	Peso de tara	40.500 kg	89.300 lb
Longitud	10.800 mm	34'9"	Capacidad máxima en toneladas	45 t	50 T
Anchura del cucharón	2818 mm	9'3"	Capacidad M3 (SAE) Colimado 2:1	18,4 m <sup>3</sup>	24 yd <sup>3</sup>
Anchura con neumáticos	2650 mm	8'8"	Distribución cargada – Delante	45%	
Altura	2557 mm	8'5"	Detrás	55%	
Peso en orden de trabajo	38.500 kg	84.880 lb	Radio de giro	9228 mm	30'3"
Potencia del motor	231 kW	310 hp	Altura	2700 mm	8'10"
Modelo de motor	3176C EUI ATAAC		Longitud	10.660 mm	35'0"
Tamaño de neumáticos	28.5x25 32 telas L5 STMS		Altura de carga	2660 mm	8'9"
Radio exterior de giro	8854 mm	22'6"	Anchura	3000 mm	9'10"
Radio interior de giro	3229 mm	10'7"	Oscilación	12°	
Angulo de articulación	44°		Articulación	42,5°	
Angulo de oscilación	±8°		Altura con la caja levantada	5946 mm	19'6"
Tiempo para levantar el cucharón	6,8 segundos		Tiempo de descarga, segundos	10	
Tiempo para bajar el cucharón	2,4 segundos		Velocidades de desplazamiento	km/h	mph
Tiempo para inclinar el cucharón	2,9 segundos		De avance 1a	7,5	4,7
Tiempo de ciclo total de cucharón	12,1 segundos		2a	10,6	6,6
Velocidades de desplazamiento	km/h	mph	3a	14,3	8,9
De avance 1a	5,1	3,2	4a	19,2	11,9
2a	9,0	5,6	5a	25,9	16,1
3a	15,8	9,8	6a	34,9	21,7
4a	27,1	16,8	7a	47,1	29,3
De retroceso 1a	5,9	3,6	8a	—	—
2a	10,3	6,4			
3a	17,9	11,1			
4a	30,7	19,1			
Altura máxima del pasador del cucharón	4098 mm	13'5"			
Angulo máximo de descarga del cucharón	46°				

### 3. Metodología de tiempos y movimientos

“Actualmente la Ingeniería Industrial y la Ingeniería de métodos se desarrollaron como una consecuencia de la ingeniería mecánica, con la participación de la American Society of Mechanical Engineers (ASME)” (CAMILO JANANIA ABRAHAM, 2008).

La ingeniería de métodos es una rama de la ingeniería industrial, esta rama a su vez se divide en: Diseño de métodos y Medición del trabajo.

“El análisis de métodos consiste en el registro y análisis crítico y sistemático de los modos existentes de llevar a cabo una tarea, como medio para idear y aplicar métodos más sencillos y baratos. Con el objetivo de producir más, mejor y con menor esfuerzo. Siempre hay un método mejor” (JOSÉ AGUSTÍN CRUELLES, 2013).

El primero en incursionar en la Ingeniería de Métodos fue Frederick Winslow Taylor, que establece normas de tiempo para el rendimiento de trabajo. El analizó y dirigió miles de pruebas para identificar las variables relativas a la producción. En junio de 1903 presentó el artículo “Shop Magnament”, el cual expuso varios conceptos importantes, pero los dos de importancia mayor en este caso, fueron: Estudio de tiempos y Estudio de métodos.

“Otros estudios importantes que se realizaron posteriormente, de la Ingeniería de métodos, son: Carl G. Barth que ideó una regla de cálculo para producción y realizó estudios sobre fatiga, Henry Laurence Gantt que desarrolló representaciones gráficas para mostrar visualmente el trabajo real programado por anticipado, y W. A. Shewart de la Bell Telephone dio la primera descripción de una gráfica de control” (CAMILO JANANIA ABRAHAM, 2008).

Pero para llevar a cabo un diseño de mejora se requiere de la medición del trabajo, que se lleva a cabo con un estudio de tiempos.

“El estudio de tiempos consiste en determinar el tiempo para realizar un trabajo especificado por una persona calificada, a una marcha normal... Se trata de medir con cronómetro el tiempo empleado en la operación que un trabajador ejecuta, durante un cierto número de repeticiones consecutivas...” (LUIS CARLOS PALACIO ACEERO, 2009).

Este estudio requiere de un muestreo adecuado, aleatorio y representativo.

Hasta principios de la década de 1930 que se realizó en forma el estudio de tiempos con Tippett que hacía reportes de muestreo de trabajos en fábricas de textiles de Inglaterra y Morrow lo hacía en Estados Unidos.

Para poder llevar a cabo el muestreo es necesario:

- 1) Definir el trabajo
- 2) Observar y registrar si la persona está trabajando o no.
- 3) Determinar la proporción de tiempo en la que se realiza a cabo el trabajo.
- 4) Estimar el tiempo estándar de la operación (CAMILO JANANIA ABRAHAM, 2008).

Según los fundamentos establecidos en la ingeniería industrial, el estudio del trabajo está basado en varias etapas básicas, en el siguiente orden (Figura 11), son importantes para los fines requeridos, ya que las posteriores etapas se refieren a la aplicación de mejoras y esto, ya no logra ser el alcance del presente trabajo, por que dependerá de la aceptación de la empresa.

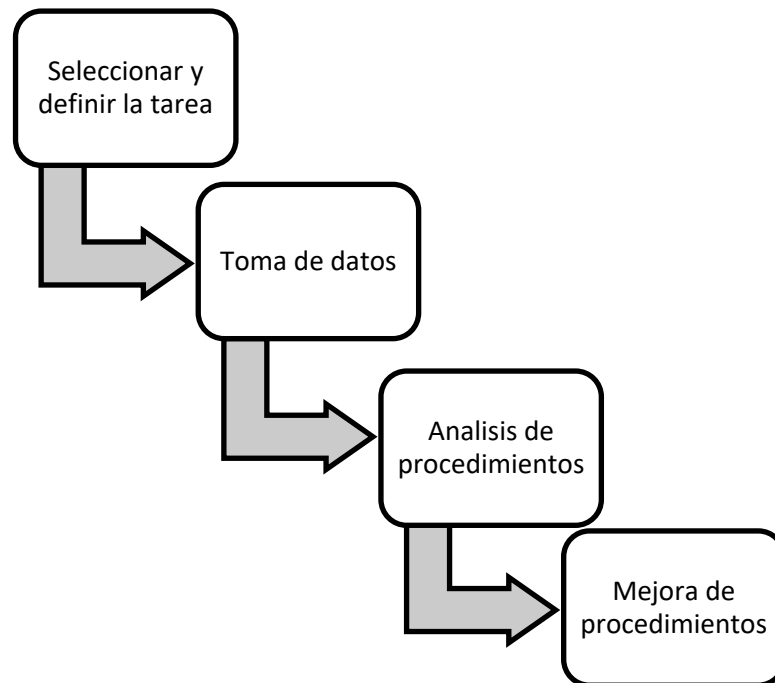


Figura 11. Etapas básicas del estudio de tiempos y movimientos. (Fuente: José Agustín Cruelles, 2013).

### 3.1 Seleccionar y definir el trabajo

Ya se ha notado que el proceso de acarreo es muy extenso, por lo que se delimitarán los alcances del presente trabajo:

- Lo más importante es que toda esta compilación se enfoca en el acarreo del material, solo en mina subterránea y en el traslado en camiones de bajo perfil, que solo son utilizados en interior mina para descargar en superficie o en el tiro. El tiro, el acarreo en superficie y todo proceso adicional, no es el alcance de dicho trabajo.
- Se han medido algunos tiempos y movimientos en el recorrido del lugar de rezagado, sea mineral o tepetate, hacia el tiro o la superficie.
- El cálculo de equipos necesarios para cubrir “n” [ton] de producción diaria, se toma en cuenta el acarreo en camiones de bajo perfil de la mina subterránea para cumplir la producción requerida.

### 3.2 Toma de datos

“Consiste en recolectar todos los datos relevantes acerca de la tarea o proceso” (GEORGE KANAWATI, 1996).

Se ha llevado a cabo la recolecta de los datos de acuerdo a:

- a. Hojas de procedimiento trabajadas por la empresa previamente, que fueron proporcionadas por la misma entidad (Tabla 4).
- b. Hojas de registro complementarias (Tabla 5) que se han propuesto como aportación personal, que servirán para la realización de estudios posteriores.


Los formatos propuestos por la empresa son:

Tabla 4.. Formatos de medición de tiempos, (Fuente: Agnico Eagle, 2016).

**Formato 1**

AGNICO EAGLE MEXICO		Reporte de Monitoreo Acarreo				
Nombre del Operador: _____		Turno _____	Materiales de Acarreo: _____			
Acarreo de Camión #: _____		Fecha _____	Cantidad de Material: _____			
Datos Generales	Descripción de Actividad	hora inicia	hora Final	Tiempo Total	Causas de Demoras	
<b>Tiempo Auxiliar de turno</b>	Llegar pueblo y recibir Instrucciones y tarjeta formula Sup.					
	Traslado de oficinas de pueblo a bocamina					
	Platica de 5 minutos					
	Recoger lampara					
	Apertura de mina (Ventilacion)					
	Traslado de area de platica a lugar de trabajo					
	Tomar alimentos					
	1er Visita de supervisor					
	2 da Visita de supervisor					
	Otros:					
<b>Tiempo Auxiliar de Ciclo</b>	Inspeccion del mecánico y operador al equipo					
	Pruebas de funcionamiento					
	Inspeccion de area de trabajo					
	Revisión de Niveles y Cargado Diesel					
	Hora de paro despues de finalizar turno		06:20:00 p.m			
Otros:						
<b>Tiempo de Ciclo Operativo</b>	Traslado de estacionamiento al area de cargado					
	Llegada de scoop					
	Tiempo de cargado (Duracion de cargar cucharones)					
	Tiempo Total de traslado al area de "Tiro"					
	Tiempo Total de traslado al area de "Patio"					
Otros:						
<b>Tiempo No Operativo</b>	Falla de equipo por mangueras					
	Falla por neumatico dañado					
	Reposicion de niveles Aceite o Diesel					
	Electrico (luz, tablero)					
	Falla mecanica (falla Motor-Transmision)					
Otros:						

## Formato 2

REPORTE PRACTICO PARA TIEMPOS DE ACARREO																				
	CAMION # _____																FECHA: _____			
<b>Santo Niño</b>	<b># Viajes Acarreados</b>																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Nivel 19																				
Nivel 20																				
Nivel 21																				
Nivel 22																				
Nivel 23																				
Nivel 24																				
Nivel 25																				
Nivel 26																				
Nivel 27																				
Nivel 28																				
Nivel 29																				
<i>Tiempo a Tiro</i>																				
<i>Tiempo a Superficie</i>																				
<i>Tiempo a Relleno</i>																				

## Formato 3

	# Viajes Acarreados																			
<b>Cerro Colorado</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Nivel 19																				
Nivel 20																				
Nivel 21																				
Nivel 22																				
Nivel 23																				
Nivel 24																				
Nivel 25																				
Nivel 26																				
Nivel 27																				
Nivel 28																				
Nivel 29																				
<i>Tiempo a Tiro</i>																				
<i>Tiempo a Superficie</i>																				
<i>Tiempo a Relleno</i>																				
	DESARROLLO: _____																			

Todos estos formatos permiten realizar un seguimiento adecuado de la operación, pero falta un detalle muy importante a describir en el acarreo que es el tiempo de los ciclos operativos, con los cuales se pueden determinar las fallas sucedidas directamente en el ciclo de acarreo (que no contemplan los formatos 2 y 3, pero el formato 1 contempla solo para un ciclo, siendo que por turno se realizan de 8 a 20 ciclos). Sin contar que sería muy incómodo cargar con un mayor número de hojas.

Por lo que se propuso otro formato:

El siguiente formato (Tabla 5) es solo para uso de quien estudie tiempos y movimientos, ya que los formatos proporcionados por la gerencia son muy útiles pero podrían adicionarse los siguientes criterios.

Tabla 5.Formato propuesto adicional, para registro de tiempos y movimientos.

Formato Propuesto para Camión (solo para estudio de tiempos en el ciclo)					
Viaje	Lugar de carga	Hora de Cargado	Hora de descarga	Descarga en	Tiempo del ciclo
1				T	
2				S	
3					

El propósito de los datos recabados en estos formatos es poder calcular con mayor facilidad el tiempo que tarda cada ciclo, así como la eficiencia que cumplen cada uno de acuerdo a los tiempos teóricos propuestos con anterioridad.

### 3.3 Análisis de procedimientos

Se refiere a trabajar y examinar los resultados obtenidos en los registros, con espíritu crítico.

#### 3.3.1 Tiempos completos del ciclo registrados (Tiempos reales)

Para este apartado se realizaron un total de 5 muestras, que consisten en realizar seguimiento de todas las actividades que lleva a cabo un operador distinto, durante un turno, dicha selección de los operadores se hizo aleatoriamente.

Para lo cual se creó un formato diferente al solicitado, con el fin de precisar más los tiempos del ciclo de acarreo, el cual se muestra a continuación (Tabla 6).

A manera de ejemplo sobre el registro de datos, en la Tabla 6 se presentan los datos de tiempos medidos en el camión 1 durante el primer turno. En la tabla se observa el tiempo que consume el operador desde el inicio del pueblo hasta la llegada al rebaje. Una vez en el rebaje se inicia su ciclo operativo y se miden los tiempos de cargado, maniobra del LHD, traslado y regreso al rebaje, completando así el ciclo. Cada renglón corresponde a un ciclo nuevo.



**Tabla 6. Datos tomados por día (Ejemplo del turno 1; en el camión 1 ruta 1).**

Viaje	Inicio pueblo	Termina pueblo	Traslado a bocamina	Apertura bocamina	Llegada a rebaje	Llegada Cargador tipo LHD	Maniobra	Carga	Salio a descarga	Llego al area de descarga	Sale a Rebaje para ser cargado
1	6:45:00	7:19:00	7:20:00	7:35:00	8:15:00	10:00:00	10:10:00	10:11:00	10:25:00	10:37:00	10:40:00
2					10:55:00	11:14:00	11:14:00	11:19:00	11:37:00	11:37:00	11:38:00
3					11:57:00	11:57:00	11:57:00	11:58:00	12:03:00	12:32:00	12:33:00

Con esa información se obtiene el tiempo efectivo de cada actividad y así se determina el tiempo en el que se lleva a cabo (Tabla 7). Donde se indica la muestra 1, equivalente al seguimiento de un operador. El primer cuadro indica el tiempo de duración de las actividades del ciclo productivo del camión y el segundo cuadro muestra los tiempos que invierte el camión, adicionales al ciclo productivo (tiempos auxiliares).

**Tabla 7. Tiempos medidos para cada actividad en la muestra 1. En total el camión realizó 8 viajes en el turno.**

TIEMPOS POR CICLO PRODUCTIVO (VIAJE)							
Viaje o ciclo	Recorrido a rebaje	Espera de Cargador	Espera de cargado	Maniobra	Carga	Recorrido a Descarga	Descarga
1	0:40:00		0:10:00	0:01:00	0:14:00	0:12:00	0:03:00
2	0:15:00	0:19:00		0:05:00	0:18:00	0:15:00	0:01:00
3	0:19:00			0:01:00	0:05:00	0:29:00	0:01:00
4	0:14:00		0:01:00	0:01:00	0:06:00	0:23:00	0:01:00
5	0:15:00	0:03:00		0:02:00	0:05:00	0:16:00	0:01:00
6	0:15:00			0:01:00	0:06:00	0:15:00	0:01:00
7	0:13:00		0:01:00	0:01:00	0:08:00	0:14:00	0:01:00
8	0:11:00	0:04:00		0:01:00	0:04:00	0:07:00	0:01:00

TIEMPOS AJENOS AJENOS A LOS CICLOS PRODUCTIVOS					
Tiempo mantenimiento	Espera Cargador tipo LHD Inicio Turno	Pueblo	Muerto I (Buscar traslado)	Tiempo regreso a superficie	Apertura Bocamina
	1:45:00	0:34:00	0:01:00	1:19:00	0:15:00



Figura 12. Camiones AD45 CAT, mina Pinos Altos.

Una muestra tiene como duración un turno, en el cual se hace seguimiento de un solo operador. Con cada operador se midió el tiempo que tardaba cada actividad en cada ciclo, como en el ejemplo anterior (Tabla 7). Un promedio de sus ciclos llevado a cabo en una muestra, por actividad, se establece en la Tabla 8.

Mientras que la suma de tiempos auxiliares llevados a cabo en cada muestra (Tabla 9) se tratan posteriormente.

El tiempo de recorrido a rebaje en el primer viaje o ciclo, contempla el tiempo desde que se realiza apertura de bocamina y el camión comienza a descender por el socavón, hasta llegar al primer sitio donde será cargado. En los ciclos o viajes posteriores contempla el tiempo desde que sale del sitio de descarga, hasta llegar al siguiente sitio de cargado.

La espera de cargadores tipo LHD contempla el tiempo en el que el camión espera la llegada del cargador al sitio de cargado, dado que el camión de acarreo ya está disponible para ser cargado.

El tiempo de espera de cargado, hace referencia al tiempo en el cual el cargador hace fila o espera a que el cargador LHD realice otras actividades y comience a cargar al camión.

El tiempo de maniobra es lo que tarda el camión en realizar maniobras para poder acomodarse y ser cargado eficientemente. Este tiempo se presenta por las condiciones del sitio de cargado, habilidad del operador del camión, habilidad del operador del cargador LHD, entre otras circunstancias.

El tiempo de carga es aquel en el que se llena el camión, solo contempla el llenado del cucharón del cargador, recorrido hasta la caja del camión, maniobras para llevar el cucharón por encima de la caja del camión, vaciado y recorrido en el rebaje hasta donde llenara el cucharón.

El tiempo de descarga solo es aquel en el que el camión realiza maniobras para acomodarse en la tolva y descargar.

El tiempo de mantenimiento es aquel en el que el equipo permanece en mantenimiento correctivo, la espera de cargador LHD es en el que el camión de acarreo espera en el rebaje a cargar, la llegada del cargador LHD proveniente del taller o de la superficie, el tiempo del pueblo es en el que se realiza la organización y asignación de tareas que se llevaran a cabo durante el turno de trabajo.

Tiempo Muerto I se refiere a la búsqueda de transporte para llegar a la bocamina donde se encuentran estacionados los camiones de acarreo,

Tiempo Muerto II es la tardanza requerida para acceder por bocamina: por que es el tiempo en el que se da la ventilación de la voladura y la revisión de equipos.

Tiempo Muerto III comprende el tiempo transcurrido desde el término de la última actividad laboral hasta llegar a las oficinas (lugar del pueblo del siguiente turno).

Tabla 8. Camiones AD45 CAT, mina Pinos Altos

Muestra	1	2	3	4	5
<b>TIEMPOS DEL CICLO PRODUCTIVO</b>	<b>OPERADOR</b>				
Promedio de recorrido a rebaje	0:17:45	0:17:54	0:13:30	0:02:23	0:11:33
Promedio de Espera de cargadores tipo LHD	0:08:40	0:10:30	0:04:30	0:19:10	0:00:00
Promedio de espera de cargado	0:04:00	0:06:20	0:01:45	0:02:35	0:04:30
Promedio de maniobra	0:01:38	0:02:03	0:02:12	0:00:15	0:01:11
Promedio de promedio de carga	0:08:15	0:05:03	0:04:54	0:01:51	0:03:05
Promedio de recorrido a descarga	0:16:23	0:12:12	0:18:06	0:02:12	0:16:27
Promedio de descarga	0:08:45	0:01:48	0:01:12	0:00:48	0:03:55
<b>Promedio de tiempo que tarda en realizarse un ciclo productivo (o viaje) por operador.</b>	<b>1:05:25</b>	<b>0:55:50</b>	<b>0:46:09</b>	<b>0:30:35</b>	<b>0:40:41</b>

Tabla 9. Tiempos auxiliares promedios de un turno, equivalente a promedio de un operador.

Muestra	1	2	3	4	5
<b>TIEMPOS AUXILIARES</b>	<b>OPERADOR</b>				
Tiempo mantenimiento	0:00:00	0:00:00	0:00:00	0:00:08	0:00:00
Espera cargadores tipo LHD al inicio Turno	1:45:00	0:00:00	0:25:00	0:48:00	0:00:00
Pueblo	0:34:00	0:38:00	0:25:00	0:25:00	0:15:00
Muerto I (Buscar traslado)	0:01:00	0:22:00	0:07:00	0:05:00	0:24:00
Muerto III (Tiempo regreso a superficie)	1:19:00	1:14:00	1:29:00	1:22:00	1:00:00
Muerto II (Apertura Bocamina)	0:15:00	0:25:00	1:43:00	1:05:00	0:56:00
<b>Tiempo efectivo para ciclos productivos; por turno (Σ12 horas del turno – Tiempos auxiliares)</b>	<b>8:06:00</b>	<b>9:21:00</b>	<b>7:51:00</b>	<b>8:14:52</b>	<b>9:25:00</b>

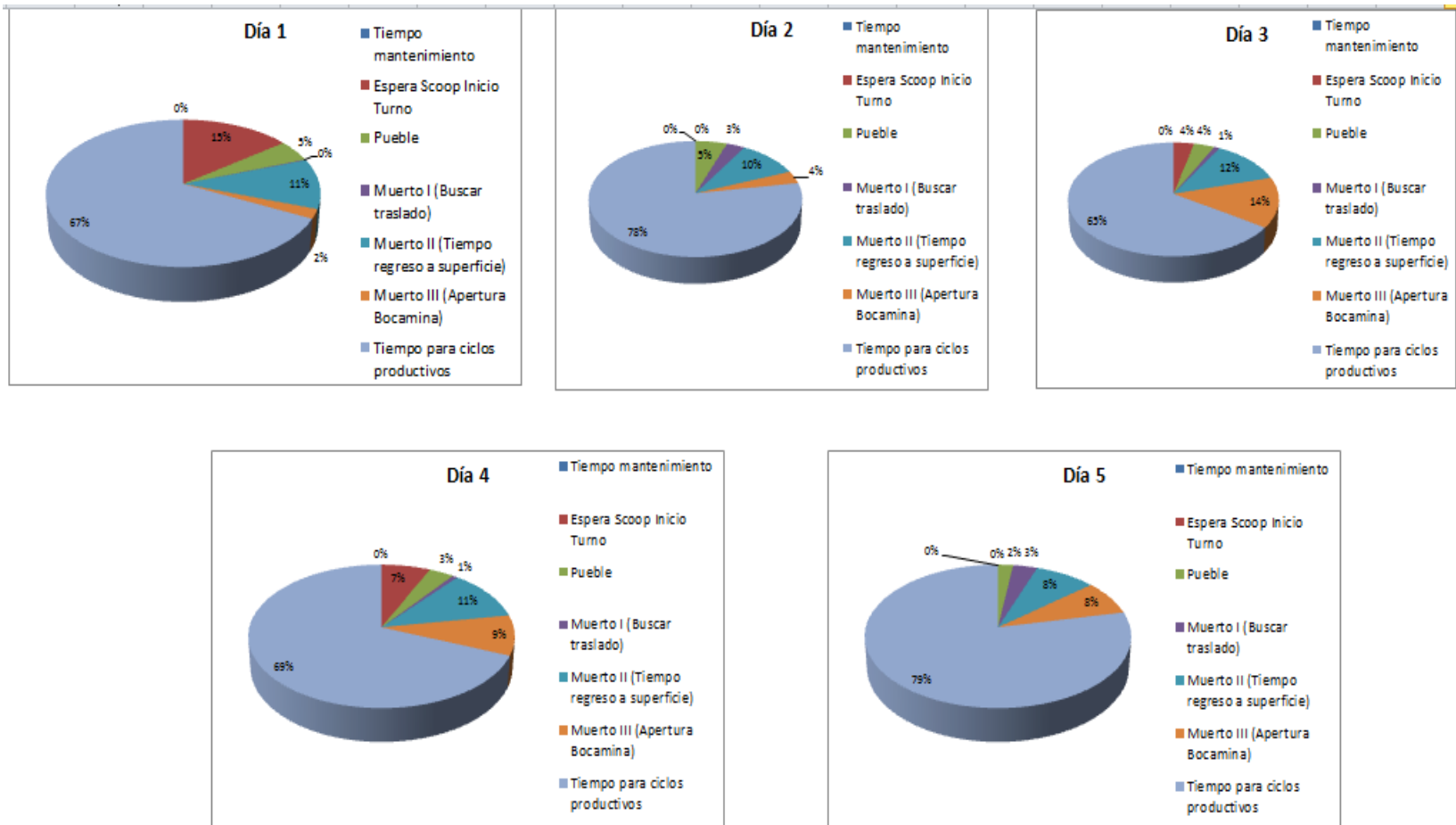


Figura 13. Gráficos circulares que representan los tiempos efectuados por muestra.

Los resultados promedios en las 5 muestras realizadas se muestran a continuación. Para los tiempos de ciclo productivo (Tabla 10), y con tiempos auxiliares (Tabla 11).

**Tabla 10. Tiempos promedios por viaje. En el ciclo productivo.**

Tiempos promedios por ciclo efectivo	
Por viaje (por ciclo)	
Recorrido a rebaje	0:14:21
Espera de cargador tipo LHD	0:04:21
Espera de cargado	0:01:29
Maniobra	0:01:57
Carga	0:04:52
Recorrido a Descarga	0:12:56
Descarga	0:03:01
<b>Total</b>	<b>0:42:56</b>

**Tabla 11. Tiempos auxiliares promedios en un turno.**

Tiempos promedios Auxiliares, ajenos al ciclo productivo	
Tiempo mantenimiento	0:51:12
Espera de cargador tipo LHD al Inicio de Turno	0:14:36
Pueblo	0:27:24
Muerto I (Buscar traslado)	0:11:48
Muerto II (Apertura Bocamina)	0:52:48
Muerto III (Tiempo regreso a superficie)	1:10:00
<b>Total</b>	<b>3:47:48</b>

El resultado es una suma de promedios de los tiempos auxiliares al ciclo productivo y fue de **3:47:48 [Horas:Min:Seg]**. Estos tiempos como ya se visualizó en la tabla anterior contemplan lo que tarda el pueblo, buscar el traslado a bocamina, la apertura de bocamina, el mantenimiento y el regreso a las oficinas. Los cuales no son productivos y por ende no generan ganancias económicas.

Por otra parte, el promedio de las actividades del ciclo productivo (las 5 muestras realizadas) dio como resultado **0:42:56 [horas:minutos:segundos]** y el:

Tiempo productivo efectivo por turno = **8:12:12**

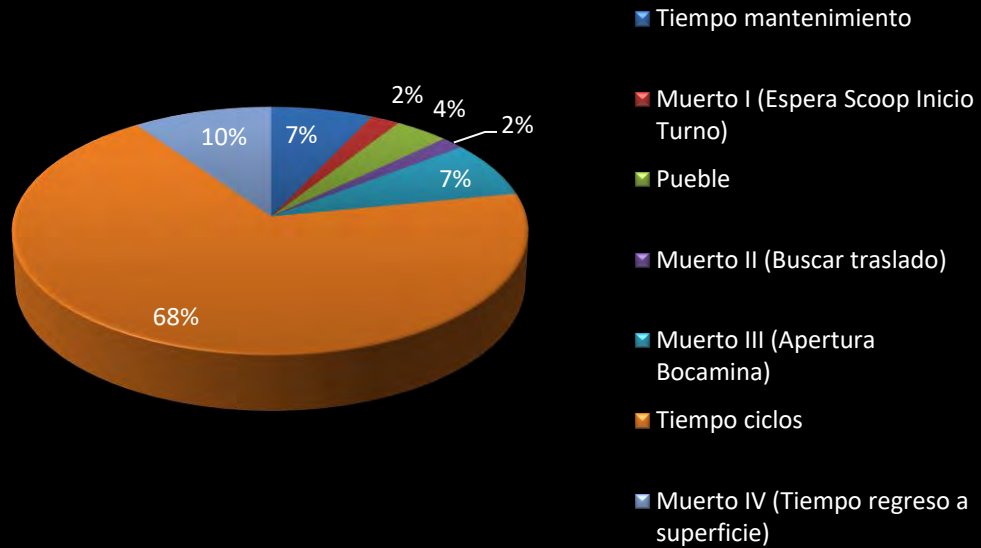
Se destaca que estos datos son obtenidos de las muestras aleatorias que se realizaron en campo.

En las Tablas 10 y 11 se observó que se podrían dar 11 ciclos durante el turno, con un 100% de aprovechamiento, considerando las condiciones actuales, pero en la realidad ninguna actividad es 100% eficiente, de acuerdo a la disponibilidad actual de los equipos, tomando en cuenta la disponibilidad mecánica y la restante de los tiempos muertos. Esto se obtuvo con los registros realizados durante la estancia.

<b>Horas/turno efectivas (por disponibilidad)</b>	
<b>[Reales]</b>	<b>8:12:12</b>
<b>Duración de un ciclo</b>	<b>0:42:56</b>
<b>Ciclos posibles por turno</b>	<b>11</b>

A continuación, se muestran gráficos que representan el promedio de tiempo en todas las actividades registradas (Figura 14 y Figura 15).

## Tiempos promedios por día



Día	
Tiempo mantenimiento	0:51:12
Espera cargadores tipo LHD al Inicio de Turno	0:14:36
Pueblo	0:27:24
Muerto I (Buscar traslado)	0:11:48
Muerto II (Apertura Bocamina)	0:52:48
Tiempo ciclos productivos	8:12:12
Muerto III (Tiempo regreso a superficie)	1:10:00
Total	12:00:00

Figura 14. Distribución promedio de tiempos en el acarreo por turno.



Tiempos en cada ciclo (Figura 15).



Por viaje (por ciclo)	
Recorrido a rebaje	0:14:21
Espera de cargadores tipo LHD	0:04:21
Espera de cargado	0:01:29
Maniobra	0:01:57
Carga	0:04:52
Recorrido a Descarga	0:12:56
Descarga	0:03:01
<b>Total</b>	<b>0:42:56</b>

Figura 15. Distribución promedio de tiempos por ciclo.

### 3.3.2 Tiempos teóricos calculados

Los tiempos de carga, descarga y maniobra, se calcularon en base a los datos proporcionados por las tablas del proveedor de cada equipo, mostrados anteriormente. Mientras que el tiempo de espera se estima sumando un factor de seguridad del 20% de los tiempos anteriores.

Los tiempos de distancia de recorrido se divide en recorrido a rebaje (sea rebaje o sitio de carga) y recorrido a descarga. Esto porque teóricamente un camión no hará el mismo tiempo, al estar cargado o vacío, aunque la distancia sea igual. Para esto se utilizó la tabla previa del equipo, donde se detallan las velocidades óptimas según el avance y se consideró, por datos de los operadores, los cambios de marcha y las velocidades según el siguiente avance (MANUAL RENDIMIENTO CAT, 3ERA EDICIÓN):

- Un camión vacío de bajada, maneja máximo en 4ta.
- Un camión cargado de subida, maneja máximo en 2da.
- Un camión vacío de subida, maneja máximo en 3era.
- Un camión cargado de bajada, maneja máximo en 3era.

Tabla 12. Velocidades de recorrido para un camión.

Avance	Velocidades de desplazamiento [km/h]	Factor de eficiencia (%)	Velocidad Calculada [km/h]
2 <sup>a</sup>	10,6	0,85	9,01
3 <sup>a</sup>	14,5	0,85	12,33
4 <sup>a</sup>	19,3	0,85	15,00

**Tabla 13. Tiempos promedio del ciclo, cálculo teórico.**

b) Tiempos TEÓRICOS (promedio)				
Tiempo de Descarga a Rebaje [hra]	Tiempo de Rebaje a Descarga [hra]	Tiempo cargado	Tiempo Teórico Recorrido (maniobra, cargado y espera)	Tiempo teórico total
0:11:07	0:13:14	0:03:24	0:04:20	<b>0:32:05</b>

Se admitió la velocidad de tablas (obtenido del manual CAT Caterpillar AD45 y AD30, indicado en las dos primeras dos columnas de la Tabla 12), siempre que respetara el límite de velocidad de 15 km/hora. Posteriormente se multiplicó por el factor de eficiencia al 85%, dando como resultado la velocidad teórica o calculada (tercera y cuarta columna Tabla 12).

Posteriormente se multiplicó la velocidad por la distancia y así se obtuvo el tiempo de recorrido (a descarga y a rebaje). Los tiempos promedios teóricos se calcularon con los tiempos marcados en las tablas de especificaciones de los equipos y las velocidades anteriores, de la siguiente manera (Tabla 13).

Pero hay que destacar que, si las condiciones cambian y llegasen a no ser favorables o el operador tuviese problemas, el tiempo de recorrido y el total aumentarían.

Aquí se puede notar que el tiempo teórico (32:05) y el real (42:56) presentan una diferencia de 0:10:51 [hrs:min:seg]. Debido a las condiciones de los caminos, que no se toma en cuenta, los primeros ciclos de cada día (ya que estos son mayores y salen del promedio, debido a que el tiempo de recorrido de la superficie al rebaje, es mayor por diversos factores como la espera de la apertura de la mina) y factores diversos que afectan a los operarios.

En conclusión, los tiempos que disminuyen la eficiencia en el acarreo son:

- espera del cargador tipo LHD,
- buscar traslado,
- apertura de bocamina, y
- regreso a superficie.

## 4. Mejora al proceso

Aquí se propone una solución a la problemática identificada con el estudio de tiempos y movimientos, que es el cálculo de número de camiones (actualmente la mina cuenta con 12 camiones de acarreo) al incrementar la producción a 4000 y 6000 [ton]/día, puesto que la mina piensa hacerlo próximamente en un tiempo menor a cinco años.

### 4.1 Estimación del número de equipos requeridos

Con los cálculos anteriores, primero se comprobó teóricamente que el número de camiones en la empresa, cumpla con la producción actual de 3700 [ton], en base a los datos actuales.

El tonelaje que se tomó en cuenta es el mostrado en la Tabla 14:

Tabla 14. Tonelaje a extraer en condiciones actuales 3700, y para los incrementos a 4000 y a 6000 [ton] mineral.

Material	Actuales Ton/Día	Incremento 4000 Ton/Día	Incremento 6000 Ton /Día
Tepetate	1527	1651	2476
Mineral	3700	4000	6000
TOTAL	5227	5651	8476

Las condiciones que se tomaron en cuenta son las siguientes.

Datos calculados, según las condiciones actuales de la mina para obtener, por modelo de equipo (Tabla 15):

- Carga real del camión al multiplicar por un factor de llenado.
- Y número de camiones disponibles al aplicar disponibilidad mecánica, eficiencia del operador al número de camiones actuales de la mina.

Datos calculados, según las condiciones actuales de la mina para obtener, por modelo de equipo (Tabla 16):

- Número de ciclos posibles, que se obtiene al dividir el tiempo para ciclos productivos (que solo en este caso se han restado del tiempo de mantenimiento correctivo) entre el tiempo promedio (Real) de cada ciclo o viaje.
- Y el número de camiones disponibles, calculado en base a las columnas de disponibilidad mecánica por modelo de equipo, al aplicarse al número de camiones existentes en la mina.

**Tabla 15. Carga real y número de camiones disponibles, ordenados por modelo de camión. Bajo las condiciones actuales de la mina.**

Equipo	CARGA			DISPONIBILIDAD		
	Carga [ton]	Factor de llenado de camiones (%)	Carga Real camión [ton]	Disponibilidad Mecánica (%)	Número de Camiones	Número de Camiones disponibles
TRK-#; CAMIÓN ARTICULADO AD30 CAT	27	95	26	<b>45,76</b>	2	1
TRK-#; CAMIÓN ARTICULADO AD45 CAT	32	95	30	<b>62,50</b>	8	5
TRK-# ; CAMION SANDVIK TH-550	32	95	30	<b>62,50</b>	2	1

**Tabla 16. Datos necesarios para cálculo de [Ton] movidas por día/modelo de camión. Bajo las condiciones actuales de la mina.**

Equipo	TIEMPO			Toneladas		
	Tiempo para ciclos productivos (sin contar mantenimiento)	Tiempo por ciclo	# de Ciclos posibles	[Ton] movidas por Modelo camión/turno	Número de turnos/Día	[Ton] movidas por Modelo camión/día
CAMIÓN AD30 CAT	9:03:24	0:42:56	13	282,26	2	564,52
CAMIÓN AD45 CAT	9:03:24	0:42:56	13	1827,65	2	3655,29
CAMION SANDVIK TH-550	9:03:24	0:42:56	13	456,91	2	913,82
Suma				2566,82		5133,64

Con los datos anteriores se corroboró el número de camiones necesarios para poder cumplir con la producción actual y se llegó a que se requieren 12 camiones, que es la flotilla con la que se cuenta en la mina (Tabla 17).

**Tabla 17. Número de equipos necesarios por modelo de equipo para la producción actual.**

Equipo	# equipos (Disponibles) Tepetate	# equipos (Disponibles) Mineral	# equipos en operación (Disponibles) Total	Número de equipos Necesarios
TRK-#; CAMIÓN ARTICULADO AD30 CAT	1	0	1	2
TRK-#; CAMIÓN ARTICULADO AD45 CAT	1	4	5	8
TRK-# ; CAMION SANDVIK TH-550	0	1	1	2
Total			7	<b>12</b>

La Tabla 17 muestra en cada celda el número de equipos que satisfacen a la columna correspondiente. El número de equipos (disponibles) Tepetate, se refiere a la cantidad de camiones que podrán ser asignados al tepetate, por lo que solo se considera los que están disponibles. De la misma manera el número de equipos (disponibles) Mineral, se refiere a los que podrían ser asignados a la explotación de mineral. Se debe notar que todos los equipos AD30 serán utilizados en su totalidad para el acarreo de Tepetate, lo TH550 para traslado de mineral y los AD45 para cumplir con la demanda restante (ya sea en mineral o tepetate). El número de equipos en operación (Disponibles) es la suma de las dos columnas anteriores. El número de equipos necesarios se obtiene al aplicar el factor de disponibilidad a la columna anterior, este resultado es el total de camiones que será requerido en la mina.

A continuación, se muestra un ejemplo parecido a la Tabla 17, pero calculando el requerimiento de flotilla para satisfacer una ampliación en la producción a 4000 [ton] (Tabla 18) y 6000 [ton] (Tabla 19) de mineral.

**Tabla 18. Número de camiones para satisfacer una producción de 4000 [ton].**

Equipo	# equipos (Disponibles) Tepetate	# equipos (Disponibles) Mineral	# equipos (Disponibles) Total	Número de equipos Necesarios
TRK-#; CAMIÓN ARTICULADO AD30 CAT	1	0	1	2
TRK-#; CAMIÓN ARTICULADO AD45 CAT	1	5	6	10
TRK-# ; CAMION SANDVIK TH-550	0	1	1	2
Total			8	14

**Tabla 19. Número de camiones para satisfacer una producción de 6000 [ton].**

Equipo	# equipos (Disponibles) Tepetate	# equipos (Disponibles) Mineral	# equipos (Disponibles) Total	Número de equipos Necesarios
TRK-#; CAMIÓN ARTICULADO AD30 CAT	1	0	1	2
TRK-#; CAMIÓN ARTICULADO AD45 CAT	2	7	9	15
TRK-# ; CAMION SANDVIK TH-550	0	1	1	2
Total			11	19

También se debe destacar que los camiones AD30 en este ejercicio se destinaron al acarreo de tepetate, que los camiones TH-550 serán en su totalidad a la movilización de mineral. Por lo que se propone solo incrementar el número de camiones AD45, los cuales se utilizarán para el transporte total de mineral, también completará la demanda de camiones necesarios para acarrear el tepetate.

Si se varía alguno de los factores siguientes; la capacidad de carga de los camiones, la disponibilidad mecánica, el tiempo para llevar a cabo ciclos productivos en un turno o el tiempo requerido para llevar a cabo un ciclo. Se podría disminuir o aumentar el número de camiones requeridos.

## 4.2 Medidas para mejorar el proceso actual

### 4.2.1 Tiempos de ciclo

#### *Disponibilidad*

Para mejorar la disponibilidad se recomienda mantener la maquinaria en perfecto estado de conservación para evitar averías, esto se puede llevar a cabo al mejorar el mantenimiento preventivo, con un cambio en el programa de mantenimiento que deberá diseñar y aplicar la empresa.

Realizando algunos cambios, se afectaría de manera positiva al disminuir el mantenimiento correctivo, disminuir el requerimiento de equipos para cumplir con la producción y por ende aumentaría el tiempo apto para realizar ciclos efectivos de trabajo.

Varios equipos entran a mantenimiento correctivo frecuentemente y por falta de piezas, se quedan en ciertas ocasiones, por un largo periodo. Por lo que el objetivo principal es reducir este valor.

Las medidas recomendadas son:

- Mejoras en el programa de mantenimiento preventivo.
- Mayor disponibilidad de piezas difíciles de conseguir.
- Mejorar tiempos de respuesta del área de mantenimiento, esto se puede conseguir al incrementar el número de elementos (empleados mecánicos) y brindándoles mejoras en la movilidad como vehículos suficientes para transportarse.

Se recomendó a manera de ejemplo, aumentar la disponibilidad mecánica en los camiones AD30 a un 50%, en los camiones AD45 Y TH-550 a un 70%, los cambios más significativos se muestran en la Tabla 20.



Tabla 20. Mejoras al aumentar la disponibilidad mecánica de los equipos.

		Aplicando el tiempo recuperado		
		12 camiones	Para 6000 [ton]	
Equipo	Disponibilidad Mecánica (%) Propuesta	Productividad con 12 camiones	Ton/día	Número de equipos necesarios
TRK-#; CAMIÓN ARTICULADO AD30 CAT	50	617	649	2
TRK-#; CAMIÓN ARTICULADO AD45 CAT	70	4094	7057	13
TRK-# ; CAMION SANDVIK TH-550	70	1023	770	2
Total		5734	8476	17

De la tabla se puede notar que, con los 12 camiones actuales, al aumentar la disponibilidad mecánica, se cumple con la producción actual y se cubriría el incremento de la producción a 4000[ton]. Esto es muy interesante, puesto que sin el incremento no sería suficiente los 12 camiones y se tendría que comprar otros 2 camiones.

El incremento en la disponibilidad mecánica también beneficiará la aumentar la producción a 6000 [ton] de mineral, ya que el número de camiones necesarios se reduce de 19 a 17.

### ***Espera de cargador tipo LHD***

Los cargadores tipo LHD se deben ubicar en el nivel designado para ellos, dentro de la mina subterránea, cerca de las áreas de acarreo para no tener que trasladarlos al inicio del turno. Por lo que se propone que se verifique esta acción continuamente.

También se propone la revisión de los cargadores al término de cada turno. Para evitar las demoras en su uso al inicio del siguiente turno. Este punto también debe verificarse con mayor esmero. Por lo que se propone adicionalmente que para fomentar que los cargadores estén disponibles y listos para laborar en el siguiente turno, el operario del ciclo anterior sea responsable de dejar en óptimas condiciones el vehículo, de no suceder esto se podría aplicar una sanción al operario responsable.

Otra medida de aplicación a la hora de cargar los camiones, es mejorar las condiciones de la mina, como tablas y pisos, ya que el tiempo de maniobra, se reduciría, y todo vehículo se podría transportar más fácilmente.

Si se aplican estas medidas, entonces se estaría reduciendo el tiempo de espera de cargador LHD, como ejemplo se podría reducir un 50 % entonces el tiempo de espera será (Tabla 21):

**Tabla 21. Mejoras al reducir en un 50 % el tiempo de espera del cargador LHD.**

Tiempos promedios Auxiliares		%	Tiempo Recuperado
Espera de cargador tipo LHD	0:14:36	50	0:07:18

Equipo	Productividad actual. Sin Incremento [Ton] movidas por Modelo camión/día	Aplicando el tiempo recuperado		
		12 camiones Productividad con 12 camiones	Para 6000 [ton] Ton/día	Número de equipos necesarios
TRK-#; CAMIÓN ARTICULADO AD30 CAT	564,52	572,11	658,02	2
TRK-#; CAMIÓN ARTICULADO AD45 CAT	3655,29	3704,40	7038,11	15
TRK-# ; CAMION SANDVIK TH-550	913,82	926,10	779,87	2
<b>Total</b>	<b>5133,64</b>	<b>5202,60</b>	<b>8476,00</b>	<b>19</b>

Con este cambio se podrán mover **68.96 [ton]** más en cada día.

## Controles

Otro problema es la programación de los equipos, ya que generan esperas innecesarias. Esto se podría combatir con una mejor planificación, que se mejorara con el diseño de Diagramas de Gantt (Tabla 22).

**Tabla 22. Formato propuesto para coordinar los camiones al principio de turno.**

Equipo	CICLO																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
TRK-01	CAMIÓN ARTICULADO AD30 CAT	O23-18	O23-18	O23-18	O23-18	O23-18	O23-18	O23-18	O23-18	O23-18										
TRK-02	CAMIÓN ARTICULADO AD30 CAT	O23-18	O23-18	O23-18	O23-18	O23-18	O23-18	O23-18	O23-18	O23-18										
TRK-03	CAMIÓN ARTICULADO AD45 CAT	O24-6	O24-6	O24-6	O24-6	O24-6	O24-6	O24-6	O24-6	O24-6										
TRK-04	CAMIÓN ARTICULADO AD45 CAT	O24-6	O24-6	O24-6	O24-6	O24-6	O24-6	O24-6	O24-6	O24-6										
TRK-05	CAMIÓN ARTICULADO AD45 CAT	O25-9	O25-9	O25-9	O25-9	O25-9	O25-9	O25-9	O25-9	O25-9										
TRK-06	CAMIÓN ARTICULADO AD45 CAT	O25-9	O25-9	O25-9	O25-9	O25-9	O25-9	O25-9	O25-9	O25-9										
TRK-07	CAMIÓN ARTICULADO AD45 CAT	S23-18	S23-18	S23-18	S23-18	S23-18	S23-18	S23-18	S23-18	S23-18										
TRK-08	CAMIÓN ARTICULADO AD45 CAT	S23-18	S23-18	S23-18	S23-18	S23-18	S23-18	S23-18	S23-18	S23-18										
TRK-09	CAMIÓN SANDVIK TH-550	S24-6	S24-6	S24-6	S24-6	S24-6	S24-6	S24-6	S24-6	S24-6										
TRK-10	CAMIÓN SANDVIK TH-550	S24-6	S24-6	S24-6	S24-6	S24-6	S24-6	S24-6	S24-6	S24-6										
TRK RENTA 11	CAMIÓN ARTICULADO AD45 CAT	S25-9	S25-9	S25-9	S25-9	S25-9	S25-9	S25-9	S25-9	S25-9										
TRK RENTA 12	CAMIÓN ARTICULADO AD45 CAT	S25-9	S25-9	S25-9	S25-9	S25-9	S25-9	S25-9	S25-9	S25-9										
TRK RENTA 13	CAMIÓN ARTICULADO AD30 CAT	S20-13	S20-13	S20-13	S20-13	S20-13	S20-13	S20-13	S20-13	S20-13										
TRK RENTA 14	CAMIÓN ARTICULADO AD45 CAT	S20-13	S20-13	S20-13	S20-13	S20-13	S20-13	S20-13	S20-13	S20-13										

Se pretende que este formato sea llenado antes de cada turno. También se propone que solo se asignen en promedio dos camiones por frente y de ser posible por nivel, para evitar las esperas. Los recuadros solo se llenarán con el siguiente formato “Cuerpo mineralizado + Nivel + Crucero”, En el caso del cuerpo mineralizado del que se trata, se identificarán con S = Santo niño, O = Oberon de Weber, C = Cerro colorado y E = San Elegio, ejemplo: “S23-13” que significa que el lugar de trabajo fue Cuerpo Santo Niño, Nivel 23, Crucero 13.

Una problemática muy interesante es relacionar el tonelaje acarreado por los camiones a la hora de contabilizar el avance en la planeación.

Por lo cual se propone que se mejoren los registros en el acarreo en la llegada al tiro y en el cargado por vehículos tipo LHD (por acción de los operadores del equipo correspondiente). Esto además de mejorar el control de las toneladas, también corroborará que el control propuesto en los gráficos de Gantt, que se llenaron al inicio del turno, y se verifique que sea llevado a cabo e identifique las fallas más fácilmente, por las cuales no pudo cumplirse plenamente.

Todos estos formatos se encuentran listos para solo ser llenados y arrojarán resultados inmediatos. Dichos formatos están disponibles en los formularios de Excel correspondientes a estos formatos que se resguardan como ejemplo, con copia para la empresa.

Se le pueden dar los formatos al operador para que los llene a mano y posteriormente se pasarían a la computadora.

El formato propuesto (Tabla 23) en la siguiente sección, corresponde al que debe ser llenado por el operador del cargador tipo LHD, es un formato sencillo, que requiere de pocos datos. Lo más importante es el llenado del número del camión y el lugar de descarga, la hora se podría utilizar para llevar un control de datos estadísticos.

**Tabla 23. . Formato propuesto para operador de cargador tipo LHD.**

Formato Propuesto para operadores de Cargadores tipo LHD			
Llegada	Hora	# Camión	Descarga en
1			
2			
3			
4			
5			

En esta columna se contesta con T si se refiere a Tiro, o S si es en superficie

Si se ingresan los datos correctamente en los formularios de Excel correspondientes, éste arrojará al lado derecho la cuenta de los viajes que ha hecho cada camión, así como la cuenta de los que se han hecho al tiro. Se ha enfocado en el tiro, puesto que es asunto importante de este trabajo porque es uno de los destinos al que se manda el material.

Un ejemplo de los datos que arrojarán, será con el siguiente formato (Tabla 24):

**Tabla 24. Resultados obtenidos del formato propuesto para el operador de cargador tipo LHD.**

Camión	Número de viajes
1	1
2	3

Camión	Número de viajes a tiro
1	0
2	3
3	2

Mientras que el formato propuesto para que sea llenado por el operador de martillo en las parillas del Tiro (Tabla 25).

**Tabla 25. Formato propuesto para operador de Martillo en el Tiro.**

Formato Propuesto para operadores de Martillo en el Tiro		
Llegada	Hora	# Camión
Tolva 1		
1		
2		
3		
4		

En esta parte, es de suma importancia que el operador del martillo pueda identificar rápidamente el camión al que hace referencia, por lo que se propone que se marque a los camiones en la parte trasera de ellos, en lugares que sea más visible para el operador del martillo.

Así mismo este formato arrojará por sí solo el número de descargas por camión en el tiro (Tabla 26).

**Tabla 26. Resultados obtenidos del formato propuesto para el operador de cargador tipo LHD.**

Camión	Número de viajes a Tiro
1	
2	
3	
4	
5	

Y con los demás datos llenados en las tablas anteriores se podrá validar la información obtenida, para conocer si concuerda la información que presenta el operador del martillo y la que presenta el operador del cargador tipo LHD, de ser cierto marcará en otra tabla el número de viajes por camión, de lo contrario, mostrara la leyenda de REVISAR, como se muestra en el ejemplo siguiente (Figura 16), con lo cual el supervisor deberá constatar la veracidad de la información proporcionada y encontrar el error.

Camión		Número de viajes a Tiro
1		0
2		REVISAR
3		2
4		1
5		2
6		0

Fecha: \_\_\_\_\_

Automáticamente el documento mostrará una gráfica:

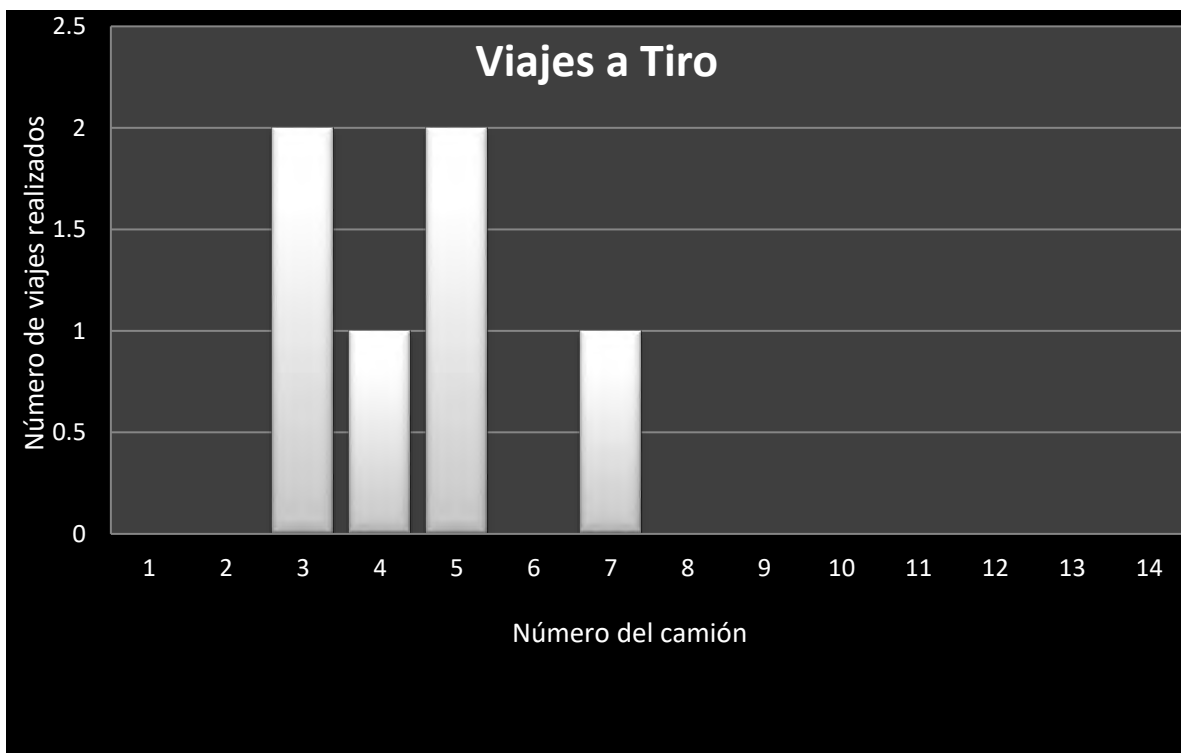


Figura 16. Resultados obtenidos al comparar los resultados de operadores de martillo y de cargador tipo LHD.

## 4.2.2 Tiempos auxiliares

### *Tiempos muertos*

Ya que se han identificado los tiempos muertos y su duración, se pretende mejorar este aspecto, analizando cada tiempo muerto:

**Tiempo muerto I (Buscar traslado).  
Tiempo muerto II (Apertura Bocamina).  
Tiempo muerto III (Tiempo regreso a  
superficie).**

- Por el tiempo muerto I, no debería de existir, ya que se cuenta con un camión especial para llevar al personal a interior mina, pero debido a que el pueblo se extiende más tiempo del programado, los empleados no siempre lo alcanzan a tomar. Por lo que **se propone que un segundo camión diera una tolerancia máxima de 10 minutos más**, y se obligara a tener mayor orden en el pueblo (con la organización de los empleados y seguimiento de controles), para evitar retrasos. **Estos tiempos se pueden reducir en un 90 %.**
- Para combatir el tiempo muerto II, se recomienda **agilizar el proceso de verificación en la ventilación**, ya sea con apoyo de más personal o con mayor control en esta actividad. **Este tiempo también se puede reducir en un 50 %.**
- El tiempo muerto III, es el que requiere de mayor cuidado puesto que los operadores desaprovechan más este tiempo, pero con el apoyo de los formatos anteriores propuestos se pretende identificar el horario de salida y **reforzar los estímulos para que los operadores no desaprovechen estos últimos minutos del turno**. Ya que este tiempo comienza al terminar el último viaje o ciclo productivo, e incluye el desplazamiento a superficie, el cargado de diésel, llevar a cabo el check list final, entregar la lámpara en la lampistería, esperar y abordar el transporte de regreso a oficinas. **Este tiempo se puede reducir en un 40 %.**

Si estos tiempos muertos se redujeran en el porcentaje propuesto con base en las mediciones realizadas, se obtendrían los beneficios mencionados en la Tabla 27.

Tabla 27. Mejoras al reducir los tiempos muertos en los tiempos auxiliares.

Tiempos promedios Auxiliares		% Reducción	Tiempo Recuperado	Tiempo muerto resultante
Muerto I (Buscar traslado)	0:11:48	90	<b>0:10:37</b>	0:01:11
Muerto II (Apertura Bocamina)	0:52:48	50	<b>0:26:24</b>	0:26:24
Muerto III (Tiempo regreso a superficie)	1:10:00	40	<b>0:28:00</b>	0:42:00

Equipo	Tiempo para ciclos productivos (sin contar mantenimiento)	Productividad actual Sin Incremento [Ton] movidas por Modelo camión/día	Aplicando el tiempo recuperado		
			12 camiones	Para 6000 [ton]	Número de Equipos
TRK-#; CAMIÓN ARTICULADO AD30 CAT	10:08:25	564,52	Productividad con 12 camiones 632	Ton/día 727	2
TRK-#; CAMIÓN ARTICULADO AD45 CAT	10:08:25	3655,29	4093	6887	13
TRK-# ; CAMION SANDVIK TH-550	10:08:25	913,82	1023	862	2
Total		5133,64	5748	8476	17

De la tabla se puede notar que los 12 camiones actuales, al aplicar el tiempo recuperado en el ciclo productivo se lograría cumplir con la producción de 4000[ton]. Esto es muy interesante, puesto que sin ese tiempo recuperado no serían suficientes los 12 camiones.

Al mismo tiempo, el tiempo que se recupera de los tiempos muertos, beneficiaría la incremento en la producción de 6000 [ton] de mineral, ya que **se reduce de 19 a 17 camiones necesarios**.



### 4.3 Productividad esperada con las mejoras propuestas

Si se llevasen a cabo las medidas antes propuestas (controles), y se obtuvieran mejoras con los porcentajes ya mencionados en cada rubro (Tabla 28), se obtendrían los siguientes resultados.

Tabla 28. Resultados al aplicar todas las mejoras propuestas en los ejemplos.

Tiempos promedios de ciclo		%	Tiempo Recuperado
Espera de cargador tipo LHD	0:14:36	50	<b>0:07:18</b>

Equipo	Disponibilidad Mecánica (%)
TRK-#; CAMIÓN ARTICULADO AD30 CAT	<b>50</b>
TRK-#; CAMIÓN ARTICULADO AD45 CAT	<b>70</b>
TRK-# ; CAMION SANDVIK TH-550	<b>70</b>

Tiempos promedios Auxiliares		%	Tiempo Recuperado	Tiempo muerto resultante
Pueblo	0:27:24	10	<b>10</b>	0:02:44
Muerto I (Buscar traslado)	0:11:48	90	<b>90</b>	0:10:37
Muerto II (Apertura Bocamina)	0:52:48	50	<b>50</b>	0:26:24
Muerto III (Tiempo regreso a superficie)	1:10:00	40	<b>40</b>	0:28:00

			Aplicando el tiempo recuperado		
		Sin Incremento	12 camiones	Para 6000 [ton]	
Equipo	Tiempo para ciclos productivos (sin contar mantenimiento)	[Ton] movidas por Modelo camión/día	Productividad con 12 camiones	Ton/día	Número de Equipos
TRK-#; CAMIÓN ARTICULADO AD30 CAT	10:18:28	564,52	702	739	2
TRK-#; CAMIÓN ARTICULADO AD45 CAT	10:18:28	3655,29	4659	6861	12
TRK-# ; CAMION SANDVIK TH-550	10:18:28	913,82	1165	876	2
Total		5133,64	6526	8476	15

De las propuestas hechas en este trabajo, a continuación se resumen los beneficios esperados:

- **Se incrementó el tiempo para ciclos productivos** (Sin contar el mantenimiento correctivo, ya que este forma parte de la disponibilidad) **1:15:04 horas** (de 9:03:24 a 10:18:28),
- **Con el mismo número de equipos** que se cuenta actualmente, **se puede sobrepasar fácilmente el tonelaje para cumplir con una producción de 4000 [ton]** de mineral, y
- **Solo se requerirían 15 camiones en vez de 19 para cumplir con una producción de 6000 [ton]** de mineral.

## 5. Conclusiones

En el ciclo productivo los aspectos a considerar son:

- Identificar que la disponibilidad mecánica de los camiones es baja,
- La importancia del mantenimiento preventivo es demasiada, puesto que al mejorarla, se reducirá el mantenimiento preventivo, y
- El tiempo de espera innecesario de los cargadores tipo LHD

Se puede observar que los tiempos auxiliares al ciclo consumen el 30% del horario laboral.

Varios factores representan un área de oportunidad, así como los tiempos de recorrido, que se deben en gran parte a:

1. La organización y el registro de actividades, que si se mejoran ayudará a disminuir los tiempos auxiliares.
2. Que se encuentran tiempos auxiliares y tiempos muertos que retrasan el proceso, los cuales se han analizado por individual y se han propuesto ciertas medidas, haciendo hincapié en la supervisión, organización o aumento en la cantidad de personal.

En los datos obtenidos se visualiza que la productividad se encuentra por arriba del 50% en casi todos los casos, pero también podría ser mayor al mejorar las condiciones de mantenimiento preventivo, de los caminos y reducir tiempos auxiliares, entre otras cosas.

También se estimó que el número de equipos necesarios para cumplir con la producción actual es de 12 camiones, pero se identificó que las condiciones actuales manejan baja disponibilidad en equipos, entre otras fallas. Por lo que se estimó para 6000 [ton], es necesario contar con 19 camiones para cumplir con la producción, al tener las condiciones actuales de la mina.

Este trabajo podría ser la base para identificar otras áreas de oportunidad específicamente en el acarreo, así como en otras operaciones de la mina.

## Referencias

**Agnico Eagle**, Datos proporcionados por la unidad Pinos Altos Diciembre 2016- Enero 2017

**AGNICO EAGLE, WEB,** <https://www.agnicoeagle.com/English/operations-and-development-projects/operations/pinos-altos/default.aspx>

**Cruelles, José Agustín.**, Mejora de métodos y tiempos de fabricación, Editorial Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V. Primera edición, 2013.

**Janania Abraham, Camilo.**, Manual de tiempos y movimientos, Ingeniera de métodos: Editorial Limusa, México D.F., 2008

**Kanawati, George.**, Introducción al estudio del trabajo: Oficina Internacional de Ginebra, Cuarta edición, 1996.

**MANUAL DE RENDIMIENTO**, Manual de rendimiento de la página CATERPILLAR Edición 3, CAT.

**Mastache Calzada, José Adrian.**, Diseño, preparación y explotación de un bloque minable con barrenación larga, en los rebajes de tumbe por subniveles transversales y relleno posterior con pasta, en la unidad minera Pinos Altos de Agnico Eagle, MUNICIPIO DE OCAMPO, CHIHUAHUA, México, 2016

**MIA Pinos Altos**, Manifestación de Impacto Ambiental del Proyecto Pinos Altos, Modalidad particular, chihuahua 2007

**Palacio Aceero, Luis Carlos.**, Ingeniería de métodos movimientos y tiempos: Editorial ECOE Ediciones, Colombia, 2009.

## Anexos

### Anexo 1. Datos muestreados y cálculos

Día	TIEMPOS POR CICLO (VIAJE)								
	Muestra	Recorrido a rebaje	Espera de cargadores tipo LHD	Espera de cargado	Maniobra	Carga	Recorrido a Descarga	Descarga	SUMA Tiempo en ciclos no contabilizado
1	1	0:40:00		0:10:00	0:01:00	0:14:00	0:12:00	0:03:00	2:11:00
	2	0:15:00	0:19:00		0:05:00	0:18:00	0:15:00	0:01:00	
	3	0:19:00			0:01:00	0:05:00	0:29:00	0:01:00	
	4	0:14:00		0:01:00	0:01:00	0:06:00	0:23:00	0:01:00	
	5	0:15:00	0:03:00		0:02:00	0:05:00	0:16:00	0:01:00	
	6	0:15:00			0:01:00	0:06:00	0:15:00	0:01:00	
	7	0:13:00		0:01:00	0:01:00	0:08:00	0:14:00	0:01:00	
	8	0:11:00	0:04:00		0:01:00	0:04:00	0:07:00	0:01:00	
		2:22:00	0:26:00	0:12:00	0:13:00	1:06:00	2:11:00	0:10:00	
2	9	0:38:00			0:02:00	0:04:00	0:07:00	0:03:00	0:05:00
	10	0:10:00		0:07:00	0:02:00	0:05:00	0:06:00	0:01:00	
	11	0:09:00		0:16:00	0:03:00	0:05:00	0:08:00	0:03:00	
	12	0:25:00	0:17:00	0:01:00	0:02:00	0:06:00	0:07:00	0:01:00	
	13	0:06:00		0:12:00	0:03:00	0:05:00	0:14:00	0:01:00	
	14	0:13:00		0:01:00	0:02:00	0:04:00	0:13:00	0:05:00	

	15	0:22:00		0:01:00	0:03:00	0:10:00	0:07:00	0:01:00	
	16	0:20:00	0:04:00		0:00:30	0:05:30	0:15:00	0:01:00	
	17	0:15:00			0:02:00	0:03:00	0:14:00	0:01:00	
	18	0:21:00			0:01:00	0:03:00	0:31:00	0:01:00	
	2:59:00		0:21:00	0:38:00	0:20:30	0:50:30	2:02:00	0:18:00	0:05:00

3	19	0:09:00		0:01:00	0:02:00	0:04:00	0:10:00	0:01:00	2:25:00
	20	0:08:00	0:07:00		0:01:00	0:06:00	0:07:00	0:02:00	
	21	0:07:00			0:04:00	0:07:00	0:16:00	0:01:00	
	22	0:32:00	0:02:00	0:03:00	0:03:00	0:06:00	0:16:00	0:01:00	
	23	0:19:00		0:01:00	0:05:00	0:03:00	0:23:00	0:01:00	
	24	0:00:00			0:01:00	0:04:00	0:15:00	0:01:00	
	25	0:15:00		0:02:00	0:03:00	0:05:00	0:15:00	0:01:00	
	26	0:15:00			0:01:00	0:03:00	0:14:00	0:01:00	
	27	0:13:00			0:01:00	0:04:00	0:35:00	0:02:00	
	28	0:17:00			0:01:00	0:07:00	0:30:00	0:01:00	
2:15:00		0:09:00	0:07:00	0:22:00	0:49:00	3:01:00	0:12:00	2:25:00	

4	29	0:25:00			0:01:00	0:07:00	0:29:00	0:01:00	1:04:00
	30	0:55:00			0:01:00	0:04:00	0:04:00	0:02:00	
	31	0:11:00		0:01:00	0:01:00	0:05:00	0:04:00	0:01:00	
	32	0:10:00	0:01:00	0:03:00	0:01:00	0:03:00	0:06:00	0:01:00	
	33	0:07:00		0:01:00	0:01:00	0:04:00	0:06:00	0:01:00	
	34	0:06:00			0:01:00	0:04:00	0:06:00	0:01:00	
	35	0:07:00			0:01:00	0:02:00	0:05:00	0:01:00	
	36	0:13:00			0:01:00	0:03:00	0:07:00	0:01:00	
	37	0:06:00			0:02:00	0:02:00	0:08:00	0:01:00	

	38	0:08:00			0:21:00	0:04:00	0:08:00	0:05:00	
	39	0:08:00		0:00:00	0:01:00	0:03:00	0:07:00	0:01:00	
	40	0:10:00			0:01:00	0:05:00	0:05:00	0:01:00	
	41	0:07:00			0:01:00	0:04:00	0:05:00	0:01:00	
	42	0:08:00			0:01:00	0:08:00	0:04:00	0:01:00	
	43	0:11:00			0:02:00	0:05:00	0:09:00	0:01:00	
		3:12:00	0:01:00	0:05:00	0:37:00	1:03:00	1:53:00	0:20:00	1:04:00

**TIEMPOS AJENOS AJENOS A LOS CICLOS PRODUCTIVOS**

	Muestra	Total Muestra (Viaje)	Suma de Tiempos contabilizados	Tiempo mantenimiento	Espera cargadores tipo LHD Inicio Turno	Pueblo	Muerto I (Buscar traslado)	Tiempo regreso a superficie	Apertura Bocamina
1	1	1:20:00	9:49:00		1:45:00	0:34:00	0:01:00	1:19:00	0:15:00
	2	1:13:00							
	3	0:55:00							
	4	1:46:00							
	5	0:42:00							
	6	0:38:00							

	7	0:38:00							
	8	0:28:00							
		6:45:00	9:49:00	0:00:00		0:34:00	0:01:00	1:19:00	0:15:00
	Promedio	0:57:30							
2	9	0:54:00	11:55:00			0:38:00	0:22:00	1:14:00	0:25:00
	10	0:31:00							
	11	0:44:00							
	12	0:59:00							
	13	0:41:00							
	14	0:38:00							
	15	0:44:00							
	16	0:46:00							
	17	0:35:00		1:47					
	18	0:57:00							
		7:29:00	11:55:00	1:47:00	0:00:00	0:38:00	0:22:00	1:14:00	0:25:00
	Promedio	0:44:54							



3	19	0:27:00	9:35:00		0:25:00	0:25:00	0:07:00	1:29:00	1:43:00
	20	0:31:00							
	21	0:35:00							
	22	1:03:00							
	23	0:52:00							
	24	0:21:00							
	25	0:41:00							
	26	0:34:00							
	27	0:55:00							
	28	0:56:00							
		6:55:00	9:35:00	0:00:00	0:25:00	0:25:00	0:07:00		1:43:00
	Promedio	0:41:30							
4	29	1:03:00	10:56:00		0:48:00	0:25:00	0:05:00	1:22:00	1:05:00
	30	1:06:00							
	31	0:23:00							
	32	0:25:00							

33	0:20:00							
34	0:18:00							
35	0:16:00							
36	0:25:00							
37	0:19:00							
38	0:46:00							
39	0:20:00							
40	0:22:00							
41	0:18:00							
42	0:22:00							
43	0:28:00							
	7:11:00	10:56:00	0:00:00	0:48:00	0:25:00	0:05:00	1:22:00	1:05:00

Tiempos tomados REALES

Día	# Muestra	Sitio de Carga	Sitio de Descarga	Tiempo de Recorrido a Descarga	Tiempo de Recorrido a Rebaje
1	1	19-49 CC	S	0:40:00	0:12:00
	2	19-49 CC	S	0:15:00	0:15:00
	3	19-49 CC	S	0:19:00	0:29:00
	4	19-49 CC	S	0:14:00	0:23:00
	5	19-49 CC	S	0:15:00	0:16:00
	6	19-49 CC	S	0:15:00	0:15:00
	7	19-34 CC	S	0:13:00	0:14:00
	8	19-34 CC	S	0:11:00	0:07:00
2	9	26-63SN	T1	0:38:00	0:07:00
	10	26-35SN	T1	0:10:00	0:06:00
	11	26-35SN	T1	0:09:00	0:08:00
	12	27-63SN	T1	0:25:00	0:07:00
	13	27-63SN	T1	0:06:00	0:14:00
	14	27-63SN	T1	0:13:00	0:13:00
	15	27-63SN	T1	0:22:00	0:07:00
	16	19-49CC	S	0:20:00	0:15:00
	17	19-49CC	S	0:15:00	0:14:00
	18	19-49CC	S	0:21:00	0:31:00
3	19	19-52CC	S	0:09:00	0:10:00
	20	19-52CC	S	0:08:00	0:07:00
	21	19-52CC	S	0:07:00	0:16:00
	22	19-52CC	T1	0:32:00	0:16:00
	23	19-52CC	S	0:19:00	0:23:00
	24	19-52CC	S	0:15:00	0:00:00
	25	19-52CC	S	0:15:00	0:15:00
	26	19-52CC	S	0:15:00	0:14:00
	27	19-52CC	S	0:13:00	0:35:00
	28	19-52CC	S	0:17:00	0:30:00
4	29	26-35SN	S	0:25:00	0:29:00

30	26-35SN	S	0:55:00	0:04:00
31	26-35SN	T1	0:11:00	0:04:00
32	26-35SN	T1	0:10:00	0:06:00
33	26-35SN	T1	0:07:00	0:06:00
34	26-35SN	T1	0:06:00	0:06:00
35	26-35SN	T1	0:07:00	0:05:00
36	26-35SN	T1	0:13:00	0:07:00
37	26-35SN	T1	0:06:00	0:08:00
38	26-35SN	T1	0:08:00	0:08:00
39	26-35SN	T1	0:08:00	0:07:00
40	26-35SN	T1	0:10:00	0:05:00
41	26-35SN	T1	0:07:00	0:05:00
42	26-35SN	T1	0:08:00	0:04:00
43	26-35SN	T1	0:11:00	0:09:00

## Anexo 2. Formularios propuestos

### Formato Propuesto para operadores de Martillo en el Tiro

Llegada	Hora	# Camión
Tolva 1		
1		3
2		5
3		7
4		5
5		3
6		4
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
Tolva 2		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		

Camión	Número de viajes a Tiro
1	0
2	0
3	2
4	1
5	2
6	0
7	1
8	0
9	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0

Fecha: \_\_\_\_\_

Formato Propuesto para operadores de cargador tipo LHD

Llegada	Hora	# Camión	Descarga en
1		2	T
2		3	T
3		4	T
4		8	S
5		7	T
6		2	T
7		1	S
8		2	T
9		5	T
10		5	T
11		3	T
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			

Camión	Número de viajes
1	1
2	3
3	2
4	1
5	2
6	0
7	1
8	1
9	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0

Camión	Número de viajes a tiro
1	0
2	3
3	2
4	1
5	2
6	0
7	1
8	0
9	0
10	0
11	0
12	0
13	0
14	0

Fecha: \_\_\_\_\_

**Formato Propuesto para Camión (solo para estudio de tiempos en el ciclo)**

Viaje	Lugar de carga	Hora de Cargado	Hora de descarga	Descarga en	Tiempo del ciclo
1		12:23			1:10
2		13:33			
3					0:00
4					0:00
5					0:00
6					0:00
7					0:00
8					0:00
9					0:00
10					0:00
11					0:00
12					0:00
13					0:00
14					0:00
15					0:00
16					0:00
17					0:00
18					0:00
19					0:00
20					0:00
21					0:00
22					0:00
23					0:00
24					0:00
25					0:00
26					0:00
27					0:00
28					0:00
29					0:00
30					0:00

N= 2

Fecha: \_\_\_\_\_

Validación número de viajes

Camión		Número de viajes a Tiro
TRK-1		0
TRK-2		REVISAR
TRK-3		2
TRK-4		1
TRK-5		2
TRK-6		0
TRK-7		1
TRK-8		0
TRK-9		0
TRK-10		0
TRK-11		0
TRK-12		0
TRK-13		0
TRK-14		0

Fecha: \_\_\_\_\_

