

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA APLICACIÓN DEL
SISTEMA FARA Y SU IMPACTO EN EL COSTO OPERATIVO
EN LA U.M. CERRO LINDO**

Tesis para optar el Título de INGENIERO DE MINAS, que presentan los bachilleres:

**Carpio Salvá, Johan Martín
Soto Buendía, Cayo Fernando**

ASESOR: Ing. Mario Fernando Cedrón Lassus

Lima, enero del 2018





**AGRADECEMOS A DIOS PADRE Y A TODOS
AQUELLOS QUE CONTRIBUYERON EN
NUESTRA FORMACIÓN**



**DEDICAMOS ESTE ESFUERZO A NUESTROS
PADRES POR EL APOYO EN TODA NUESTRA
VIDA Y A NUESTROS AMADOS HERMANOS**

RESUMEN

Equipos móviles como Smartphones y tablets son revolucionarios y hoy en día nos permiten rastrear personas y equipos iguales o mejor como cuando lo hacemos en la industria minera tradicional debido a su flexibilidad y accesibilidad. Con un case resistente, se convierten en poderosas computadoras a diez veces su costo. Entonces, esta investigación trata sobre la implementación del sistema FARA, aplicación móvil creada por MISOM Technologies, y la evaluación de su impacto en el costo operativo en la Unidad Minera Cerro Lindo, Ica-Perú.

Este estudio tiene como objetivo principal optimizar la gestión de equipos pesados y del personal. Para ello se utilizará la tecnología Bluetooth Low Energy (BLE) de baja energía y costo que nos permitirá programar triggers, condicionales para la detección automática de equipos, para obtener ciclos de producción y estados tanto del carguío como del transporte con lo que se podrá dar en semi tiempo real el seguimiento a la producción, rastreo de equipos y personal, retroalimentación del operador, entre otros atributos. Entonces, un iPad resistente, la aplicación FARA y Beacons será todo lo que se necesita para automatizar la recolección de datos.

En términos prácticos para poder realizar esta investigación se tuvo, por un lado, la recopilación manual de la data en la situación inicial - línea base de la U.M. Cerro Lindo para obtener un diagnóstico. Con esto se pudo afianzar el camino a seguir para llegar a los objetivos planteados. Hacia el tercer mes, ya más adentrados en la problemática del estudio, pudimos instalar los dispositivos y sincronizarlos con la aplicación FARA a la cual se dio soporte día y noche con la colaboración de personal americano: MISOM. En esta etapa también mostraremos el despliegue realizado para poder instalar y obtener data automatizada por sectores estratégicos en interior mina. Resulta interesante mencionar el compromiso de MISOM al contar con el CEO y su COO para la capacitación y control de la tecnología en la U.M. Cerro Lindo, para aquel tiempo. Como parte final de haber recolectado una data sólida se pudo estabilizar el manejo de la tecnología in situ y en puntos estratégicos. Todo lo manifestado además de los análisis en cada situación serán expuestos en el presente proyecto investigativo.

ABSTRACT

Mobile devices such as Smartphones and tablets are revolutionary and nowadays allow us to track people and equipment equally or better than when we do it in the traditional mining industry due to its flexibility and accessibility. With a rugged case, they become powerful computers at ten times their cost. So, this research is about the implementation of the FARA system, a mobile application created by MISOM Technologies, and the evaluation of its impact on the operating cost of the Cerro Lindo Mine Unit, Ica-Peru.

The main objective of this study is to optimize the management of heavy equipment and personnel. For this, Bluetooth Low Energy (BLE) technology with low energy and cost will be used, which will allow us to program triggers, conditional for the automatic detection of equipment, to obtain cycles production and states, both burden and transport, which can be given in real time monitoring production, tracking equipment and personnel, operator feedback, among other attributes. Then, a rugged iPad, the FARA and Beacons application will be all that is needed to automate data collection.

In practical terms, in order to carry out this research, we had- on one hand- the manual collection of the data in the initial situation - base line of U.M Cerro Lindo to obtain a diagnosis. With this, the path to follow to reach the objectives set could be strengthened. By the third month, and deeper into the problem of the study, we were able to install the devices and synchronize them with the FARA application, which was supported day and night with the collaboration of american personnel: MISOM. In this stage we will also show the deployment carried out in order to install and obtain automated data for strategic sectors in the interior of the mine. It is interesting to mention the commitment of MISOM to have the CEO and his COO for the training and control of technology in the U.M Cerro Lindo, for that time. As a final part allow us to collect solid data, it was possible to stabilize the technology management in the mine and in points of strategic convenience. Everything stated in addition to the analyzes in each situation will be exposed in this research project.

TEMA DE TESIS

PARA OPTAR : Título de Ingeniero de Minas

ALUMNO : Cayo Fernando Soto Buendia
CÓDIGO : 20084113

ALUMNO : Johan Martin Carpio Salva
CÓDIGO : 20101337

PROPUESTO POR : Dr. Adolfo Pillihuaman Zambrano

ASESOR : Ing. Mario Cedrón Lassus

TEMA : Evaluación del desempeño de la aplicación del sistema FARA y su impacto en el costo operativo en la U.M. Cerro Lindo

No. TEMA : # 140

FECHA : 06/04/16

OBJETIVOS :



OBJETIVO GENERAL:

- ✓ Aplicación del sistema FARA, a nivel piloto, para un estudio de gestión de personal y equipos con el objetivo de evaluar el desempeño y el impacto en el costo operativo

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ✓ Recopilar la información del estado de la mina y con esto elaborar una línea base que sirva de referencia para nuestro estudio
- ✓ Implementar Dispositivos Bluetooth de baja energía y bajo costo con la finalidad de optimizar la gestión de los activos mediante aplicaciones móviles (FARA)
- ✓ Analizar los resultados obtenidos y que estos lleven a una mejor toma de decisiones con lo que se reflejará en una reducción de costos operativos

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Av. Universitaria 1801, San Miguel
Lima 32 - Perú
T: 626 2000 anexos 5000, 5001
F: 626 2852

www.pucp.edu.pe/secc/minas

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO:

Este estudio de aplicación del sistema FARA se desarrollará para evaluar el desempeño de la gestión de activos y del personal. Se manejarán estaciones de monitoreo en un sector específico en interior mina y se obtendrán resultados que serán comparados con una línea base y se propondrán mejoras que influyan en la reducción del costo operativo de la mina.

PLAN DE TRABAJO:


El estudio se desarrollará siguiendo una secuencia de tareas que parte de considerar una línea base del estado actual de la operación, de esta manera se podrá implementar el sistema FARA para las pruebas piloto de evaluación del desempeño. Una vez conseguida los pasos anteriores se podrá medir el rendimiento y analizar los resultados. Utilizaremos las siguientes herramientas:

- ✓ Dispositivos BLE (Bluetooth Low-Energy) y tablets para rastrear a las personas y equipos en interior mina.
- ✓ Gamification para motivar a los mineros para ser más productivos y comprometidos con la seguridad.
- ✓ Algoritmos de despacho que se desarrollaran dentro del sistema.

Máximo 100 páginas.



Dr. Adolfo Pillihuaman Zambrano
Coordinador
Especialidad de Ingeniería de Minas



Ing. Mario Cedrón Lassus
Asesor

Pontificia Universidad
Católica del Perú
Sección Ingeniería de Minas

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Av. Universitaria 1801, San Miguel
Lima 32 - Perú
T: 626 2000 anexos 5000, 5001
F: 626 2852

www.pucp.edu.pe/secc/minas

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2.1 Problema.....	1
1.2.2 Hipótesis de la investigación	1
1.3 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.4 JUSTIFICACIÓN	2
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. MARCO TEÓRICO	4
3.1 INTERNET OF THINGS (IOT).....	4
3.2 SISTEMA FARA	6
3.3 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD	18
3.4 GEOLOGÍA.....	19
3.5 MINERALIZACIÓN	29
3.6 GEOMECAÁNICA	32
3.7 MÉTODO DE MINADO.....	36
3.8 OPERACIONES UNITARIAS.....	38
3.7.1 Perforación.....	38
3.7.2 Voladura	42
3.7.3 Carguío	46
3.7.3.1 Distribución de cargadores de bajo perfil.....	46
3.7.3.2 Rendimiento de cargadores de bajo perfil	46
3.7.3.3 Disponibilidad Mecánica y Utilización Efectiva.....	48
3.7.4 Transporte.....	49
3.7.4.1. Factor de Acoplamiento	49

3.7.4.2. Rendimiento de Flota (RF)	49
3.7.4.3 Distribución – Volquetes.....	50
3.7.4.4 Distancias – Material Transportado.....	50
4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	52
4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS	52
4.1 Calibración.....	52
4.2 Recolección de Datos in-situ	58
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	60
5.1 Resultados de tiempos de Carguío vs Distancia	63
5.2 Análisis de tiempos de ciclo de Transporte vs Distancia.....	64
5.3 Análisis de productividad	65
5.3.1 Productividad.....	65
5.3.2 Análisis operativo	66
5.3.3 Análisis económico.....	70
6. CONCLUSIONES.....	76
7. RECOMENDACIONES.....	77
BIBLIOGRAFIA	

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Modelo: Ipad mini 2 (7.87 x 5.3 x 0.28 pulgadas).	6
Figura 02 - Andreas Technologies Military case, montaje Ram, placa de metal de 3'' x 3'', pernos y tuercas.	6
Figura 03 - Esquema de triggers en un tajeo para un ciclo de cargador de bajo perfil y un camión.	7
Figura 04 - De izquierda a derecha se aprecia las Herramientas de Gestión, Formatos y Firmas Digitales	8
Figura 05 - Sensores IOT de rastreo y emisión con sus respectivas características	9
Figura 06 - Tablas de Productividad o Dashboards.	10
Figura 07 - Tiempo de Operación.	11
Figura 08 - Conteo de Ciclo de Camiones	12
Figura 09 - Tiempo de Estados de la máquina	13
Figura 10 - % Utilización de la Máquina	14
Figura 11 - Promedio del Tiempo en Colas en el Botadero (Min).	15
Figura 12 - Tiempo en Estados por Guardia (Horas)	16
Figura 13 - Mapa de ubicación geográfica.	18
Figura 14 - Quebrada Topará.	19
Figura 15 - Campanario.	20
Figura 16 - Patahuasi	21
Figura 17 - Esquema Estratigráfico.	23
Figura 18 - Esquema Estructural.	24
Figura 19 - Esquema del Potencial Geológico	26
Figura 20 - Limite del Domo Volcánico.	26
Figura 21 - Esquema del Sistema Volcánico donde los cuerpos mineralizados Ore Body están controlados por la riolita.	28
Figura 22 - Se observa el cerro Paltarumi la cual representa el posible domo volcánico.	28
Figura 23 - Representación esquemática mostrando los tipos de alteración	31
Figura 24 - Alteraciones vistas en campo. Fuente Geología UM Cerro Lindo.	31
Figura 25 - Modelamiento Geomecánico para los 3 tipos de roca en UM CL.....	34
Figura 26 - Esquema del método de minado. Fuente Perforación y Voladura de la UM CL.....	36
Figura 27 - Esquema de la división de un tajo. Fuente Perforación y Voladura UM CL.....	37
Figura 28 - Chimenea slot. Fuente Perforación y Voladura UM CL	38
Figura 29 - Malla de perforación de Taladros Largos.....	39

Figura 30 - SIMBA H1254	40
Figura 31 - SIMBA ITH.....	40
Figura 32 - Rendimiento ITH por Flota.	41
Figura 33 - Rendimiento H1254 por Flota.	41
Figura 34 - rendimiento simba ITH.	42
Figura 35 - RENDIMIENTO SIMBA H125.	42
Figura 36 - Esquema de Chimenea SLOT.....	42
Figura 37 - Ampliación de Chimenea Slot.	43
Figura 38 - SLOT con abertura finalizada.	43
Figura 39 - Esquema de voladura de mallas de producción.	44
Figura 40 - Distribución de los Cuerpos Mineralizados (OB) en la UM CL	45
Figura 41 - Rendimiento de extracción de mina para una flota.	46
Figura 42 - Rendimiento de la Flota Ton/Hora.	47
Figura 43 - Rendimiento del Cargador de Bajo de perfil N°24 CAT R 2900G.	47
Figura 44 - Rendimiento del Cargador de Bajo de perfil N°25 CAT R 3000H.	47
Figura 45 - Rendimiento del Cargador de Bajo de perfil N°28 SANDVIK LH621.	48
Figura 46 - Disponibilidad Mecánica de la Flota de Cargadores de bajo Perfil.	48
Figura 47 - Utilización de la Flota de Cargadores de bajo Perfil.	49
Figura 48 - Distribución Tiempo de ciclo de Transporte vs Distancia.	51
Figura 49 - Producción por Hora del Tajo 023 NV 1680.	61
Figura 50 - Producción por Hora del Tajo 008 NV 1680.	62
Figura 51 - Tiempo de ciclo carguío vs Distancia.	63
Figura 52 - Tiempo de ciclo transporte vs Distancia en KM	64
Figura 53 - Factor de Acoplamiento del Tajo 023 Nivel 1680 (110 m).	66
Figura 54 - Factor de Acoplamiento del Tajo 008 Nivel 1650 (60 m).	67
Figura 55 - Distribución de Utilización Durante la Guardia del Tajo 023.	68
Figura 56 - Distribución de Utilización Durante la Guardia del Tajo 008.	69
Figura 57 - Costo operativo por Máquina.	72
Figura 58 - Rendimiento del carguío vs la distancia y el costo.	73
Figura 59 - Rendimiento del transporte vs la distancia y el costo.	74

LISTA DE TABLAS

Tabla 01 - Tiempo de operación de los camiones	11
Tabla 02 - Número de Ciclos de los camiones.	12
Tabla 03 - Tiempos de los Estados de la Máquina.	13
Tabla 04 - % Utilización de la Máquina.	14
Tabla 05 - Diagrama de Secuencias.	15
Tabla 06 - Tiempo en Estados por Guardia (Horas).	16
Tabla 07 - Cuadro comparativo entre las tecnologías existentes, métodos convencionales y el sistema FARA.	17
Tabla 08 - Capacidad de masa rocosa CSIR del testigo de perforación.	33
Tabla 09 - Valores de RMR para UM CL.	33
Tabla 10 - Típica clasificación de parámetros NGI para volcánicos y sulfuros.	35
Tabla 11 - Características S-H1254.	40
Tabla 12 - Características S-ITH.	40
Tabla 13 - Carga Operante Kg/Taladro de la UM Cerro Lindo	45
Tabla 14 - Distribución de Unidades por Empresa Especializada en Transporte.	50
Tabla 15 - Secuencias de Carguío.	52
Tabla 16 - Estados de Carguío-Horas de Operación.	53
Tabla 17 - . Estados de Carguío -Horas de Parada No Planificada.	53
Tabla 18 - Estados de Carguío -Horas de Parada Planificada.	53
Tabla 19 - Estados de Carguío -Horas de Preparación.	54
Tabla 20 - Estados de Carguío –Horas Perdidas.	54
Tabla 21 - Secuencias de Transporte.	55
Tabla 22 - . Estados de Transporte-Horas de Operación.	55
Tabla 23 - Estados de Transporte-Horas de Parada Planificada.	55
Tabla 24 - Estados de Transporte-Horas Pérdidas.	56
Tabla 25 - Estados de Transporte- Horas de Mantenimiento.	57
Tabla 26 - Distribución de Beacons en Interior Mina.	58
Tabla 27 - Cálculo de la carga efectiva.	60
Tabla 28 - Producción Promedio de Tonelaje de Mineral por hora efectiva de operación en el Tajo 023.	60
Tabla 29 - Producción Promedio de Tonelaje de Mineral por hora efectiva de operación en el Tajo 008.	61

Tabla 30 - Cálculo de los Valores de FA para cada número de camiones del tajo 023.	66
Tabla 31 - Cálculo de los Valores de FA para cada número de camiones del tajo 008.	67
Tabla 32 - % Factor de Utilización Operativo Real del Tajo 023	68
Tabla 33 - % Factor de Utilización Operativo Real. Del Tajo 008.	68
Tabla 34 - Parámetros económicos.	70
Tabla 35 - Cálculo del Costo de Posesión.	71
Tabla 36 - Parámetros económicos para el Cálculo del Costo Operativo.	71
Tabla 37 - Costo Total.	72



1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La minería viene experimentando un desarrollo constante en los últimos años en los aspectos operativos de explotación y de beneficio. Es así que para laboreos subterráneos la extracción y traslado de material in situ aplicando el manejo de sistemas de despacho interior mina, para la actualidad, resulta útil e interesante ser una opción que permita optimizar los procesos del ciclo de minado en comparación con métodos tradicionales.

El objeto de investigación del presente estudio tiene como finalidad la evaluación del desempeño del sistema FARA en una mina subterránea del Perú. La implementación del sistema presenta tres fases las cuales varían según el periodo de obtención de datos ya sea al final del turno, en semi-tiempo real o tiempo real. El sistema estaba siendo implementado en la fase uno en la mina Cerro Lindo, por primera vez en Sudamérica, y al mismo tiempo se realizaban estudios de primera fase en la mina Chirano de la empresa Kinross en Ghana, África.

La necesidad de la aplicación del sistema responde a la problemática que existe con las operaciones de carguío y acarreo, dado que al crecer la operación, ya sea longitudinalmente, al mismo nivel o diferente cota, el costo del transporte se verá impactado así como también la variación en el tráfico para cubrir el movimiento de material programado. En el tiempo que se realizaba el proyecto la medición de datos era manual con reporte de equipos a final de turno, el cual no era digitalizado.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 El problema

El problema se centra en el aumento de los costos operativos en el transporte a lo largo del tiempo debido al incremento de las distancias para llegar a su destino, esto va de la mano con el aumento del tiempo de su ciclo de trabajo y para poder cubrir esta necesidad se tiene que aumentar la cantidad de equipos u optimizar los procesos en el ciclo de minado.

1.2.2 Hipótesis de la investigación

La aplicación del sistema FARA en el área de operaciones mina es de utilidad para la automatización de recolección de datos en tiempo real lo que soluciona la problemática de la gestión de flotas y del personal, además de la optimización del proceso. El análisis de estos resultados tendrá un impacto positivo en la reducción de costos operativos en carguío y transporte.

1.3 Delimitación de la investigación

El presente estudio se realizó en el área de operaciones mina de la Zona Baja en la Unidad Minera Cerro Lindo de la compañía minera MILPO. En esta investigación se tuvo la participación de los operadores vinculados al carguío, transporte y la supervisión. Así mismo, el levantamiento de la información duró seis meses. Cabe mencionar que la toma de data fue realizada en diferentes sectores según la distribución de la mina y el plan de minado.

1.4 Justificación

Día a día en una operación minera la preocupación es hacer más rentable su negocio. En ese sentido, la posibilidad de poder aplicar tecnologías para la gestión de flotas y estas puedan tener un impacto positivo con relación al costo de operación es argumento suficiente para dedicar tiempo a este trabajo.



2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Aplicación del sistema FARA, a nivel piloto, para un estudio de gestión de personal y equipos para poder evaluar el desempeño y el impacto en el costo operativo.

2.2 Objetivos Específicos

- Recopilar la información del estado de la mina y con esto elaborar una línea base que sirva de referencia para nuestro estudio.
- Implementar dispositivos Bluetooth de baja energía y costo con la finalidad de optimizar la gestión de activos mediante aplicaciones móviles FARA.
- Analizar los resultados obtenidos y que estos lleven a una mejor toma de decisiones.



3. MARCO TEÓRICO

3.1 INTERNET OF THINGS (IOT)

A medida que la población continúa creciendo, hay una mayor presión sobre la industria minera. En la actualidad, 1400 toneladas de minerales, metales y combustible son requeridos por cada persona en su vida. La expectativa para la próxima década es que la Internet de las Cosas (IoT) se utilice en todo el comercio. La idea es que los sensores generen una gran cantidad de datos que se analizan en tiempo real y se traducen en acciones recomendables para los operadores de equipos en la industria. Hay dos razones principales para esto: mejorar el rendimiento y aumentar la productividad, eliminando costos innecesarios y desperdicios, y poder anticipar fallas de maquinaria. Conocido como el Internet Industrial de Cosas (IIoT), las fábricas y las plantas alrededor del mundo vienen cubriendo su maquinaria con sensores más inteligentes, más baratos y más pequeños conectados a Internet. Hasta el momento, la minería ha reconocido una serie de beneficios importantes que se han producido como resultado. Un ejemplo de ello, es la aplicación FARA que utiliza sensores conectados entre sí para la toma de datos en minería.

(www.ibm.com/blogs/internetofthings/miningindustrybenefits, consultado 25/06/2017)

1. Ahorro de tiempo

Cuando se trata del desarrollo y mantenimiento de una mina, IoT ayuda drásticamente. Los datos recogidos antes de la excavación inicial son accesibles e importantes, ya que garantiza que el proceso se gestione correctamente y con un riesgo reducido. Algunas empresas mineras ya están utilizando vehículos sin conductor y experimentando con sistemas autónomos que pueden operar sin intervención humana. Funcionando las 24 horas del día, esto permite que los productos sean extraídos y procesados en plazos más cortos. Podemos mencionar al vecino país de Chile con la mina El Teniente.

(www.ibm.com/blogs/internetofthings/miningindustrybenefits, consultado 25/06/2017)

2. Avances de automatización para la minería

Al tener productos independientes, vehículos y equipos funcionando juntos, se recopilan más datos, lo que puede mejorar las tasas de exactitud. IoT también permite a las empresas mineras encontrar las últimas innovaciones, tecnología y tendencias de desarrollo para mantenerse en la cima del mercado. Combinados, estos crean una experiencia perfecta, facilitando el trabajo en diversos procesos en plazos más cortos. Podemos mencionar al país de México con la mina Fresnillo.

(www.ibm.com/blogs/internetofthings/miningindustrybenefits, consultado 25/06/2017)

3. Mantenimiento predictivo

Con una red completamente integrada, el monitoreo de todos los aspectos de una operación se hace mucho más fácil, y sólo conduce a una mayor productividad y seguridad. Esto incluye la detección de desgaste en piezas vitales del equipo, así como la proyección cuando se requiere reparaciones o mantenimiento. Podemos mencionar al vecino país de Chile con la mina El Teniente.

(www.ibm.com/blogs/internetofthings/miningindustrybenefits, consultado 25/06/2017)

4. Beneficios de energía y costos

La inversión en IOT reduce el gasto energético y el costo de mantenimiento para las empresas mineras. Al tener un sistema transparente, donde todas las partes son monitoreadas, permite un proceso mucho más eficiente. A medida que esto continúa creciendo, el costo gastado en los trabajadores se reducirá gradualmente, permitiendo que la industria se vuelva más rentable. Podemos mencionar al vecino país de Chile con la mina El Teniente.

(www.ibm.com/blogs/internetofthings/miningindustrybenefits, consultado 25/06/2017)

5. IoT mejora la seguridad

Todavía hay peligros prominentes en la industria minera, aunque hasta este momento, la tecnología ha logrado eliminar algunos de ellos. IoT puede ayudar a prevenir el colapso de piques inestables, como por ejemplo. En este caso los sensores recogen datos en tiempo real y predicen si el equipo está defectuoso, dónde pueden ocurrir problemas y permite realizar ajustes antes de que algo salga mal. Podemos mencionar al país de México con la mina Fresnillo.

(www.ibm.com/blogs/internetofthings/miningindustrybenefits, consultado 25/06/2017)

3.2 SISTEMA FARA (Field Analysis and Reporting Application)

Es una aplicación móvil única para Smartphones o tabletas desarrollado en iOS, diseñado especialmente para minas, canteras y obras civiles, que puede operar aún si es desconectado de la web y no necesita un servidor sofisticado. Las principales ventajas son que es un sistema de gestión de flotas y personal de bajo costo, de simple implementación y uso que permite automatizar el seguimiento de la producción, ubicación, trazado de caminos y despacho de equipos en tiempo real; permite reemplazar formatos y reportes manuales por digitales; trabaja en conjunto con dispositivos GPS, cámaras, acelerómetros, audio y Bluetooth beacons; aplica la Gamificación para mejorar el performance de los operadores a través de un conjunto completo de feedback adictivo en tiempo real, informes, cuadros de productividad y análisis. Presentando las siguientes características. *Fuente MISOM TECHNOLOGIES, Dr. Dessureault, 2016.*

A) Gestión de Flotas y Personal

Utilizando la mejor tableta del mercado (Dispositivo IOS), una nube o servidor local y Wi-Fi para comunicaciones en tiempo real, la aplicación móvil es capaz de capturar los retrasos, ciclos de trabajo y otros eventos a necesidad del usuario. Además, rastrea el movimiento, ya sea al personal desmontado o en una máquina, almacenando la información en una base de datos que a través de JSON (JavaScript Object Notation) se intercambia datos con el navegador Web, permitiendo configurar, supervisar y generar informes de manera simple. *Fuente MISOM TECHNOLOGIES, Dr. Dessureault, 2016.*

B) Hardware

Las figuras 1 y 2 muestran la tableta con sus respectivos protectores.



Figura 1. Modelo: Ipad mini 2 (7.87 x 5.3 x 0.28 pulgadas). (Fuente del autor.)



Figura 2. Andreas Technologies Military case, montaje Ram, placa de metal de 3" x 3", pernos y tuercas. (Fuente del autor.)

C) Transmisión de Información

Dada la necesidad de conectarse entre máquinas, la aplicación FARA puede transmitir estatus, estados u otros datos del usuario como por ejemplo el tipo de material que está acarreando a un cargador de bajo perfil transmitiendo a las unidades de transporte cuando las está cargando. Todo esto a través de Bluetooth. *Fuente MISOM TECHNOLOGIES, Dr. Dessureault, 2016.*

D) Secuencias de Ciclos Automatizados (Triggers)

Esta característica nos permite establecer condicionales configurados desde el navegador Web. Utilizando Beacons para la detección automática de equipos podemos cambiar de secuencia para completar ciclos lo que nos permitirá contarlos. Dependiendo la actividad que se esté realizando se pueden establecer triggers por ejemplo en el carguío o transporte. *Fuente MISOM TECHNOLOGIES, Dr. Dessureault, 2016.* Como lo mostrado en la **figura 3**.



Figura 3. Esquema de triggers en un tajeo para un ciclo de cargador de bajo perfil y un camión. Fuente del autor.

E) Formatos Digitales Inteligentes para reemplazar el papel

Una de las aplicaciones más interesantes es la implementación de formatos digitales como checklist pre-operacionales o formatos de seguridad que están acompañados con firmas digitales y fotos. Esto nos ayuda a controlar las herramientas de gestión de seguridad, productividad, etc. Fuente MISOM TECHNOLOGIES, Dr. Dessureault, 2016. La **figura 4** muestra las herramientas de gestión, formatos y una firma digital.

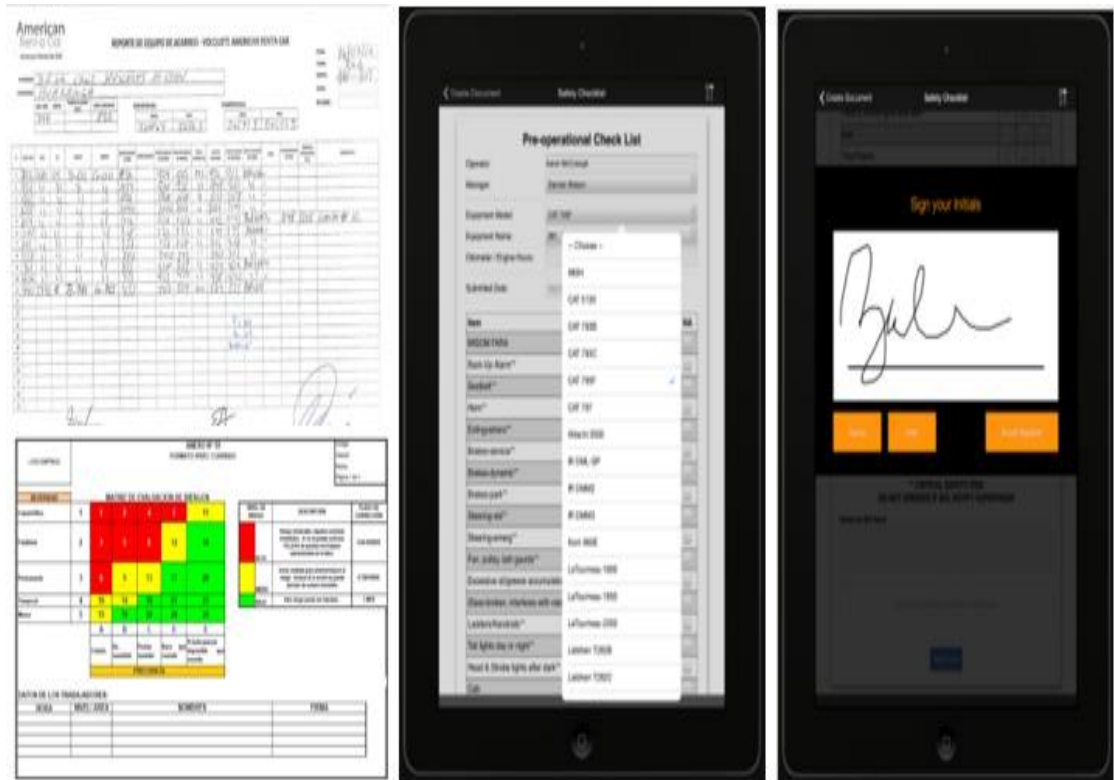
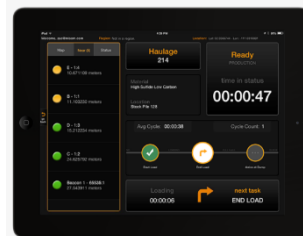


Figura 4. De izquierda a derecha se aprecia las Herramientas de Gestión, Formatos y Firmas Digitales. Fuente MISOM TECHNOLOGIES, Dr. Dessureault, 2016.

F) Sensores IOT

Los Bluetooth Low Energy (BLE) Beacons nos ayudan a poder rastrear equipos y personal mediante señales de onda que se dispersan por el entorno de influencia y que son captadas por los dispositivos IPAD. Esto será de gran ayuda para la aplicación de triggers. La **figura 5** muestra los accesorios y la tablet así como la posible ubicación de los mismos.



A) BLE Beacons
20-60 metros rango
35 US\$
Batería: 12-18 meses
Puntos de referencia
(Cámara, Tajeo, Parrilla, BM)

B) Los Dispositivos también funcionan como Beacons y receptores

C) En Mina Subterránea triangula la distancia a un bajo costo y más flexible que RFIDs. Se detectan entre beacons y dispositivos mediante proximidad

Figura 5. Sensores IOT de rastreo y emisión con sus respectivas características. Fuente MISOM TECHNOLOGIES, Dr. Dessureault, 2016.

G) Business Intelligence

La poderosa base de datos, que alberga la información de los trabajos realizados, puede ser resumida en reportes en formato PDF o vía Web enviado por correo electrónico o pueden ser visualizados en Tablas de Productividad (Dashboards) desde un IPAD hacia una computadora o una sala de control. Además, se tiene una retroalimentación en tiempo real a los operadores a través de una plataforma similar a la de un videojuego lo que lo hace adictivo y mejora el rendimiento. Toda la base de datos está disponible mediante MS Excel lo que nos permite

utilizar herramientas analíticas para resolver problemas y automatizar reportes. **Figura 6** muestra reportes de productividad.



Figura 6. Tablas de Productividad o Dashboards. Fuente del autor.

H) Modelo de Reportes

Las Tablas más importantes que se producen son de las siguientes variables, como el tiempo de operación, el ciclo de camiones, entre otros. Como por ejemplo en la operación de una mina de carbón donde el sistema está implementado en su flota de camiones de transporte. *Fuente MISOM TECHNOLOGIES, Dr. Dessureault, 2016.*

A continuación se da los resultados más relevantes:

A) Máquinas

La **figura 7** y **tabla 1** muestran los tiempos de operación. La **figura 8** y **tabla 2** muestran los conteos de ciclos de los camiones. Mientras que la **figura 9** y la **tabla 3** muestran el estado de la máquina.

Tiempos de operación

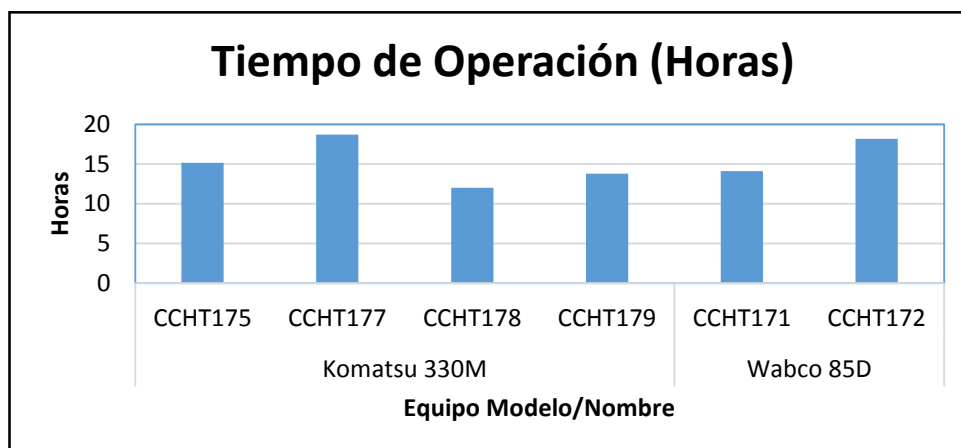


Figura 7. Tiempo de Operación. Fuente MISOM TECHNOLOGIES, Dr. Dessureault, 2016.

Tabla 1. Tiempo de operación de los camiones. Fuente MISOM TECHNOLOGIES, Dr. Dessureault, 2016

Máquina	Evento en Horas
Komatsu 330M	59.70111111
CCHT175	15.17416667
CCHT177	18.71722222
CCHT178	12.025
CCHT179	13.78472222
Wabco 85D	32.32416667
CCHT171	14.1125
CCHT172	18.21166667
Grand Total	92.02527778

Conteo de ciclo de camiones

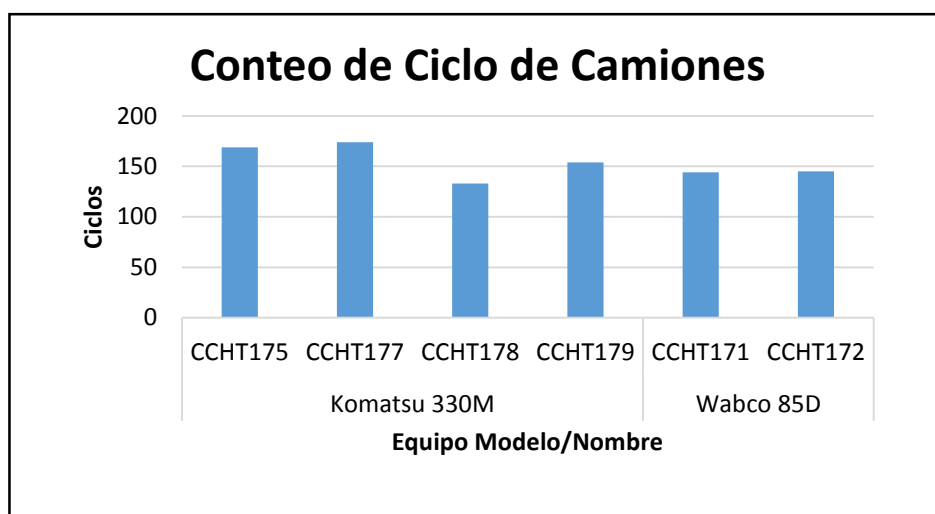


Figura 8. Conteo de Ciclo de Camiones. Fuente MISOM TECHNOLOGIES, Dr. Dessureault, 2016.

Tabla 2. Número de Ciclos de los camiones. *Fuente MISOM TECHNOLOGIES, Dr. Dessureault, 2016*

Máquina	Haulage Cycles
Komatsu 330M	630
CCHT175	169
CCHT177	174
CCHT178	133
CCHT179	154
Wabco 85D	289
CCHT171	144
CCHT172	145
Grand Total	919

Estado de la Máquina

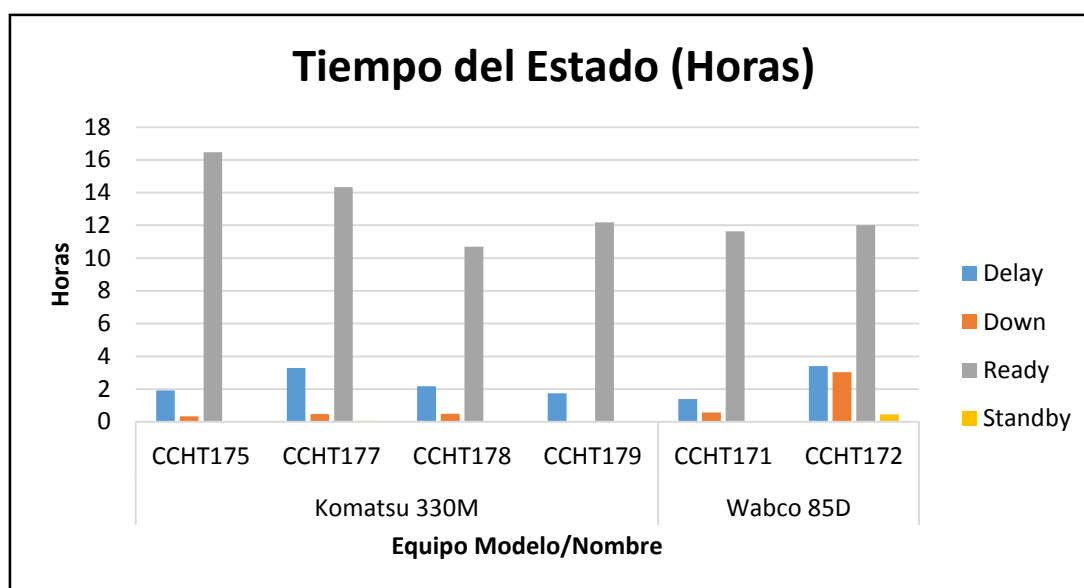


Figura 9. Tiempo de Estados de la máquina. Fuente MISOM TECHNOLOGIES, Dr. Dessureault, 2016.

Tabla 3. Tiempos de los Estados de la Máquina. Fuente MISOM TECHNOLOGIES, Dr. Dessureault, 2016.

Máquina	Retrasos (Delay)	Fuera de Servicio (Down)	Operativo (Ready)	En Espera (Standby)	Grand Total
Komatsu					
330M	9.138888889	1.294444444	53.688333333	0.06	64.181666667
CCHT175	1.919722222	0.329166667	16.46388889		18.71277778
CCHT177	3.285833333	0.481944444	14.34222222	0.06	18.17
CCHT178	2.180555556	0.483333333	10.70527778		13.36916667
CCHT179	1.752777778		12.17694444		13.92972222
Wabco 85D	4.806666667	3.611666667	23.64722222	0.449722222	32.51527778
CCHT171	1.401388889	0.567777778	11.63555556		13.60472222
CCHT172	3.405277778	3.043888889	12.01166667	0.449722222	18.91055556
Grand Total	13.94555556	4.906111111	77.33555556	0.509722222	96.69694444

Porcentaje de utilización de Máquina

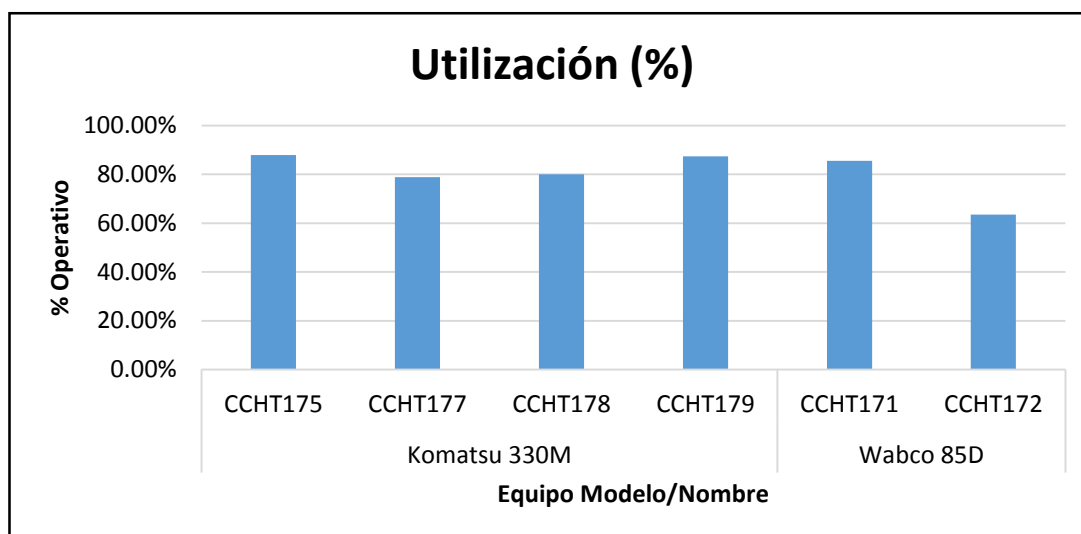


Figura 10. % Utilización de la Máquina. Fuente MISOM TECHNOLOGIES, Dr. Dessureault, 2016.

Tabla 4. % Utilización de la Máquina. Fuente MISOM TECHNOLOGIES, Dr. Dessureault, 2016.

Máquina	Operativo (%)
Komatsu 330M	83.65%
CCHT175	87.98%
CCHT177	78.93%
CCHT178	80.07%
CCHT179	87.42%
Wabco 85D	72.73%
CCHT171	85.53%
CCHT172	63.52%
Grand Total	79.98%

B) Personal

Diagrama de Secuencias

La **figura 11** y **tabla 5** muestran los tiempos de colas o esperas.

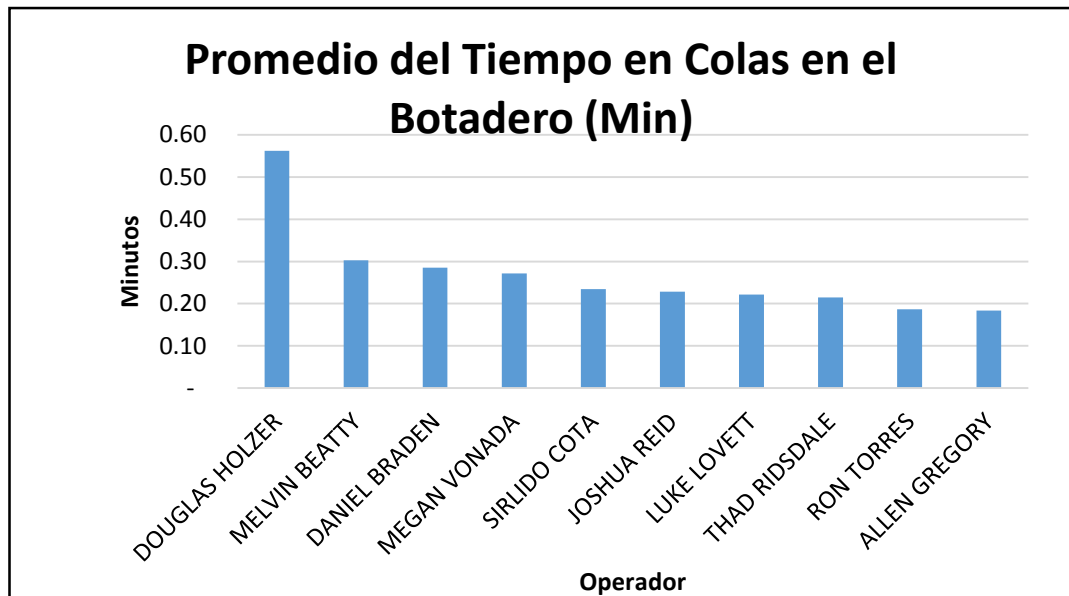


Figura 11. Promedio del Tiempo en Colas en el Botadero (Min). Fuente MISOM TECHNOLOGIES, Dr. Dessureault, 2016.

Tabla 5. Diagrama de Secuencias. Fuente MISOM TECHNOLOGIES, Dr. Dessureault, 2016.

Nombre del Sitio	Coal Creek Mine
Fecha	08-05-16
Nombre de la Secuencia	En Cola
Nombre del Operador	Minutos/Evento
DOUGLAS HOLZER	0.56
MELVIN BEATTY	0.30
DANIEL BRADEN	0.29
MEGAN VONADA	0.27
SIRLIDO COTA	0.23
JOSHUA REID	0.23
LUKE LOVETT	0.22
THAD RIDSDALE	0.21
RON TORRES	0.19
ALLEN GREGORY	0.18
Grand Total	0.25

B) Guardias

La figura 12 y tabla 6 muestran los tiempos por estado de guardia.

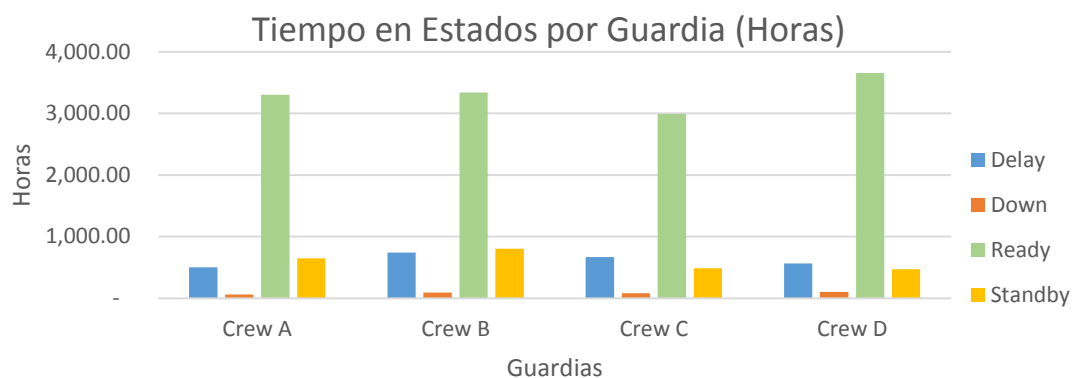


Figura 12 Tiempo en Estados por Guardia (Horas). Fuente MISOM TECHNOLOGIES, Dr. Dessureault, 2016.

Tabla 6. Tiempo en Estados por Guardia (Horas). Fuente MISOM TECHNOLOGIES, Dr. Dessureault, 2016.

Nombre del Sitio	Coal Creek				
Guardias	Retrasos (Delay)	Fuera de servicio (Down)	Operativo (Ready)	En espera (Standby)	Grand Total
Crew A	500.88	60.52	3,304.60	648.59	4,514.59
Crew B	740.02	91.40	3,341.36	806.08	4,978.86
Crew C	671.73	83.24	2,990.74	484.83	4,230.54
Crew D	565.32	104.15	3,654.66	471.71	4,795.84
Grand Total	2,477.95	339.32	13,291.35	2,411.21	18,519.83





I) Gamificación.

La gamificación es un medio de interacción entre el personal y las máquinas bajo el principio de videojuegos. Entre los elementos de videojuego que lo hacen adictivo están los logros frecuentes que el operador alcanza como por ejemplo el cumplimiento de una determinada cantidad de ciclos; la facilidad de interacción y aceptación social entre los miembros de una misma guardia; las insignias, progresos, tablas de liderazgo y puntajes; entre otros atributos.

J) Cuadro Comparativo de Tecnología

Se presenta un cuadro comparativo entre sistemas convencionales de gestión de flotas basados en papel, SISTEMAS ACTUALES y el SISTEMA PROPUESTO en esta investigación presentando las principales características. Las barras de color azul representan que el sistema incluye completo, opcional, parcial y nulo los ítems nombrados como se muestra en la **Tabla 7**. Por ejemplo el específico de actualizaciones automáticas gratuitas con el FARA es costo cero con relación a otras tecnologías.

Tabla 7. Cuadro comparativo entre las tecnologías existentes, métodos convencionales y el sistema FARA. Fuente del autor.

	Sistema convencional basado en papel	Actuales Sistemas de Gestión de Flotas	FARA & Formularios
Seguimiento de ciclos	████████	████████	████████
Seguimiento de ciclo automatizado	□□□□□□	████████	████████
Seguimiento de eventos y estados de los equipos	□□□□□□	████████	████████
Cámara, entrada de audio	□□□□□□	□□□□□□	████████
Captura de firma	████████	□□□□□□	████████
Especificación militar del case	□□□□□□	□□□□□□	████████
Seguridad de datos de clase militar	□□□□□□	████████	████████
GPS	□□□□□□	████████	████████
Formularios personalizables	████████	□□□□□□	████████
Monitoreo de proximidad (dispositivo a dispositivo)	□□□□□□	□□□□□□	████████
Seguimiento de ubicación subterránea (Bluetooth)	□□□□□□	□□□□□□	████████
Actualizaciones automáticas gratuitas	□□□□□□	□□□□□□	████████
Configuración simple en la web	□□□□□□	□□□□□□	████████
Rastreo de supervisor-ruta	□□□□□□	████████	████████
Base de datos abierta	□□□□□□	□□□□□□	████████
Alojamiento en bases de datos en la nube	□□□□□□	□□□□□□	████████
Comunicaciones inalámbricas LTE	□□□□□□	□□□□□□	████████
Comunicaciones inalámbricas Wi-Fi	□□□□□□	████████	████████
Informes automatizados	□□□□□□	□□□□□□	████████
Tablas de Productividad (tableta a la sala de control)	□□□□□□	□□□□□□	████████
Manejo de Tablas dinámica basada en cubos OLAP en MS Excel	□□□□□□	□□□□□□	████████
Rastreo de personal y materiales mediante BLE Beacons	□□□□□□	□□□□□□	████████
Bajo costo de implementación y operación	████████	□□□□□□	████████
Crea tu propio algoritmo de despacho y triggers	□□□□□□	□□□□□□	████████
Mejora del rendimiento de los operadores aplicando gamificación	□□□□□□	□□□□□□	████████
Hardware se desmonta fácilmente	□□□□□□	□□□□□□	████████
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>incluido</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>opcional</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>parcial</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>no existente</p>  </div> </div>			

DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD MINERA

3.3 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

La Unidad Minera Cerro Lindo está ubicada a 174.5 Km. al sur de Lima, Perú. Exactamente, en el Departamento de Ica, Provincia de Chincha, Distrito de Chavín. Está a una altura de 1825 m.s.n.m. Se accede por la panamericana Sur hasta Jahuay y después tomar la carretera hacia la mina como se muestra en la **figura 13**. (Fuente Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo, M. Lavado, 2015).

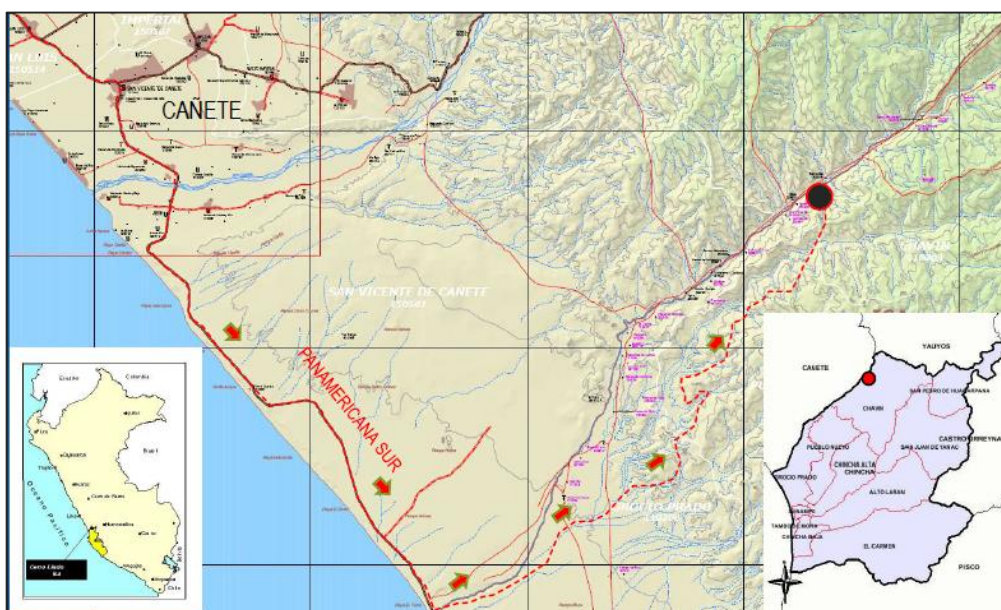


Figura 13. Mapa de ubicación geográfica. (Fuente Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo, M. Lavado, 2015).

3.4 GEOLOGÍA

Características Generales

3.4.1 Afloramientos

En la mina Cerro Lindo existen varios afloramientos los más importantes son:

1. Quebrada Topará

El afloramiento más representativo de la zona es el cuerpo OB-2B donde se presentan los tres tipos de alteración supergena con baritina masiva y sub-horizontal, además de óxidos con remanentes de sulfuros como se muestra en la **figura 14**. La ocurrencia de la baritina es de importancia en este tipo de yacimientos generalmente se encuentran en la parte superior (tope) del sistema.



Figura 14. Quebrada Topará.. Fuente Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo, M. Lavado, 2015.

2. Campanario

Es una extensa zona donde ocurre generalmente la oxidación. En forma puntual ocurren afloramientos. La roca está compuesta mayormente por riolita silicificada, sericitizada y argilizada como lo mostrado en la **figura 15**.

En la superficie la alteración generalmente presenta óxidos de Fe, en formas de parches, con hematita, pirita diseminada, textura tipo boxwork con $OxFe$ con cuarzo en venillas con leve oxidación de Cu.



Figura 15. Campanario. (Fuente Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo, M. Lavado, 2015).

3. Patahuasi

Tiene forma de un corazón, presenta una débil a moderada alteración fílica, la litología principal es la riolita silicificada, sericitizada con piritita y vetillas con óxidos de Fe con hematita, jarosita como lo mostrado en la **figura 16**. Dentro de la zona silicificada las alteraciones presentan vetillas y fracturamiento rellenas con hematita, jarosita y limonita, en partes representan una coloración rojiza. Patahuasi representaría un tipo de alteración que está alto en el sistema, por eso predomina la silicificación y existe la posibilidad que la mineralización favorable estaría a cientos de metros debajo.



Figura 16. Patahuasi. (Fuente Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo, M. Lavado, 2015).

3.4.2 Litología

La secuencia volcánica de la Formación Huaranguillo en la zona tiene una edad de Cretáceo Medio a superior, las rocas que afloran en la zona son:

- a) **Riolita:** La roca que se encuentra en Cerro Lindo es la riolita potásica donde uno de los principales constituyentes es la biotita de color marrón oscuro y la hornblenda marrón y verde con el feldespato tipo ortoclasa. Simultáneamente se presenta la riolita sódica compuesta por anfíboles en ambas biotitas ocurre el cuarzo, también se presenta ópalo y calcedonia estos minerales están relleno las amígdalas. Presenta textura afanítica, la roca generalmente es de color gris claro a blanquecino generalmente se le conoce como volcánico félsico.
- b) **Roca volcánica Andesita Moteada:** Ocurre en contacto con la riolita y la andesita, es una roca muy peculiar por la presencia de pequeños nódulos silicificados y algunas veces contiene chert y calcedonia; estos nódulos son de diferentes tamaños donde predominan los pequeños que varían de 0.5cm a 1 cm, estos nódulos son los que componen la roca volcánica andesítica moteada. (Fuente Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo, M. Lavado, 2015).
- c) **Volcánico Andesítico:** Color gris oscuro a gris verdoso con fenocristales de plagioclasa y biotita con una matriz afanítica con débil cloritización y propilitización. (Fuente Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo, M. Lavado, 2015).
- d) **Diques:** Tienen diferentes direcciones con predominio de rumbo N-S sus características están bien descritas en informes previos. En esta oportunidad mencionaríamos la importancia de ellos con el fallamiento y la posible mineralización. Originalmente debió existir una fractura y/o falla que facilitaron el emplazamiento posterior del mismo, pero esta fractura inicialmente sirvió probablemente de conducto para la circulación de soluciones mineralizantes (paleo-feeders) los que posteriormente fueron rellenos por algunos diques que se conocen actualmente. (Fuente Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo, M. Lavado, 2015).

Los diques que están aflorando son:

- a) **Dique Andesita Porfírica:** Presenta color gris verdoso con textura porfírica con fenocristales de plagioclasa y hornblenda. Estos diques se ven en el campo que también están atravesando al Batolito de la Costa el ancho varía desde 1m

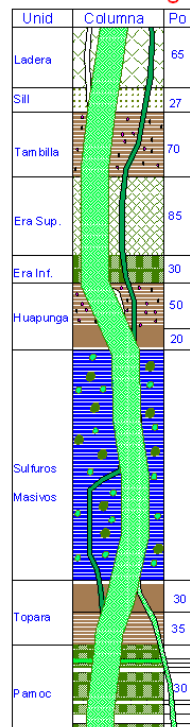
hasta 10m. en algunos casos el ancho sobre pasa los 20 metros. (Fuente Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo, M. Lavado, 2015).

b) Dique Andesita Magnética: Presentan textura afanítica, tiene color gris oscuro a verdoso con cierto grado de magnetismo el ancho promedio no pasan de 5m. (Fuente Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo, M. Lavado, 2015).

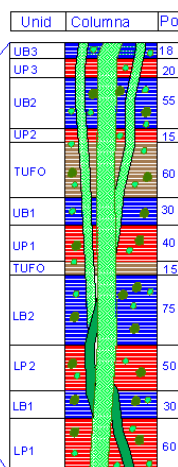
e) Metavolcánico andesítico: Presenta una coloración gris oscura a verdosa, a unos 30m del contacto esta roca muestra una foliación (laminar) con estratos pequeños de 5cm a 10cm, es muy característico en la zona presentan láminas angostas. (Fuente Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo, M. Lavado, 2015).

f) Granodiorita: Forma parte del Batolito de la costa, son de edad Cretáceo Superior a Terciario Inferior, es la responsable del metamorfismo, fracturamiento y plegamiento de la Formación Huaranguillo. En la zona la granodiorita está compuesta de fenocristales de cuarzo plagioclasa, ortosa, biotita, hornblenda y piroxenos, en el campo se observa el contacto concordante con la roca metavolcánico andesítico. La roca presenta una textura granular gruesa. El intrusivo Patahuasi presenta una textura granular media. (Fuente Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo, M. Lavado, 2015). La figura 17 muestra el esquema estratigráfico.

Unidades Estratigraficas



Sulfuros Masivos



Leyenda

Unidades Litologicas	
	Flujos riolíticos (brechados)
	Flujos riolíticos (brechados) Porfidos feldespáticos
	Lapilli monomictico
	Lapilli polimictico
	Ceniza felsico
	Riolita masiva
	Sill porfirítico
Diques	
	Dique mafico masivo
	Dique mafico porfirítico
	Dique andesítico porfirítico
Sulfuros Masivos	
	Sulfuros Primarios de barita
	Sulfuros primarios de pirita
	Sulfuros semimasivos
	Enclaves.

Figura 17. Esquema Estratigráfico. Fuente Geología UM Cerro Lindo. (Fuente Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo, M. Lavado, 2015).

3.4.3 Marco Estructural

Durante el tectonismo Andino y el Inca se formaron el marco estructural actual con fallas de rumbo Andino noroeste-sureste, fallas norte-sur y las fallas noreste-suroeste, las fallas noroeste-sureste los cuales controlan a los cuerpos (OB) mineralizados. En Cerro Lindo se presenta un fallamiento en bloques, donde el bloque del sector NE es el superior (arriba) y del sector SO es el inferior (abajo).

El fallamiento post-mineral afectó la posición y desplazamiento de los cuerpos, estos fueron cortados y divididos en bloques que se movieron un respecto al otro en forma descendente de noreste a sureste.

El modelo del desplazamiento en bloques de los cuerpos está expuesto en varias secciones transversales donde se ve claramente que los cuerpos mineralizados OB 6A respecto al OB 6B está más alto; igualmente el OB 6B respecto al OB 5 tiene un desplazamiento, también se observa en los planos que la posible falla fue rellenada por un dique que se ha reconocido en la mina y en la superficie con el mapeo.

Los diques en muchos casos se observa y ocurren como relleno de previas fallas ahora son coincidentes con las fallas, este aspecto ayuda mucho a entender y/o sustentar el desplazamiento en bloques de los cuerpos. (Fuente Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo, M. Lavado, 2015). La figura 18 muestra el esquema estructural.

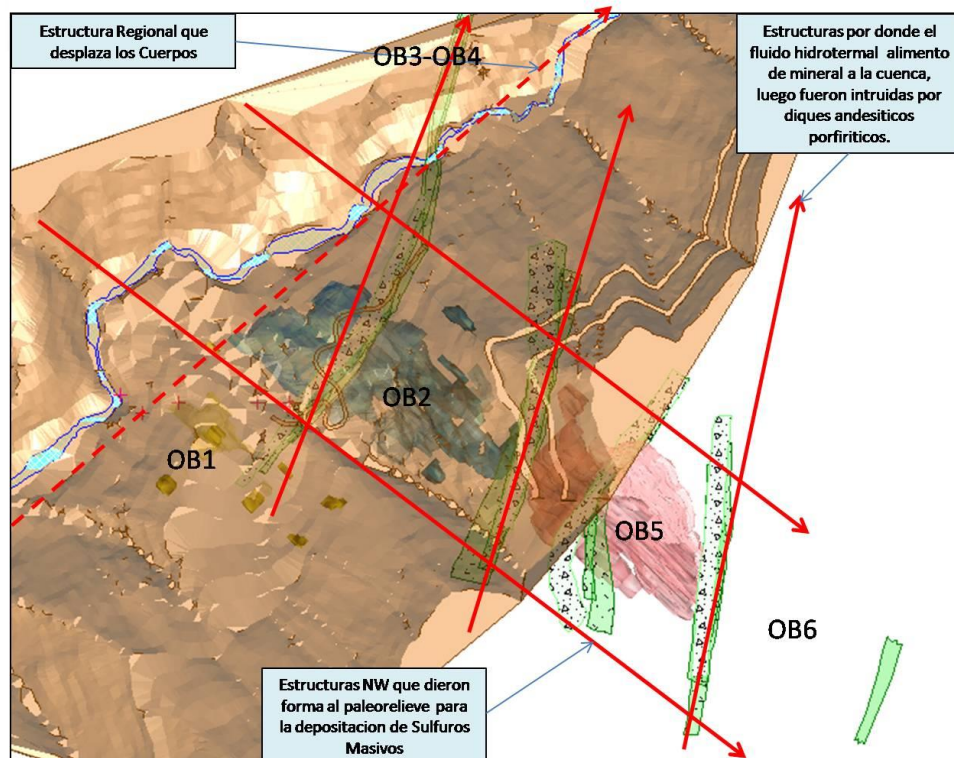


Figura 18. Esquema Estructural. (Fuente Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo, M. Lavado, 2015).

3.4.4 Potencial Geológico del Yacimiento Lateral y en Profundidad

Para fines prácticos fue subdividido la cuenca volcánica en tres corredores: este; central y oeste. La explotación minera está actualmente concentrada en el corredor central. El ancho de la Formación Huaranguillo la zona de la mina a la altura de la quebrada Topara varía de 1200m y se va ensanchando hacia el sur a más de 1500m, considerando como límites los intrusivos actuales. Ellos controlan el ancho de la cuenca en la zona de mina. El ancho de toda la zona mineralizada de los cuerpos conocidos es de 750m en el extremo norte cerca a la quebrada Topará y 450m en el lado sur. Considerando estas dimensiones y comparando con el ancho de la Formación Huaranguillo antes mencionado todavía queda un espacio en ella para explorar donde pueden ocurrir otros cuerpos mineralizados irregulares como se muestra en la **figura 19**. Adicionalmente puede haber otros cuerpos mineralizados en la profundidad por debajo de los cuerpos actualmente conocidos.

El corredor central es el más conocido, y en actual trabajo de explotación, en él se puede estimar la profundidad de la cuenca rellena con rocas volcánicas y posibles cuerpos mineralizados en 350 metros antes que los intrusivos Patahuasi y el Batolito de la costa se junten en profundidad.

Al sur-este de la quebrada Topará están los cuerpos ya conocidos, uno de los cuales el OB 7 se extiende hasta 1200 metros al sur-este desde el río Topará. En la superficie hacia el sector sur-este a la altura de las coordenadas (N 8553200, E 393600) se observan afloramientos de brecha, asociadas a diques estas ocurrencias pueden representar algún cuerpo en profundidad, estos afloramientos podría ayudar a inferir que la mineralización puede llegar hasta este sector en dirección sur-este. (Fuente Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo, M. Lavado, 2015).

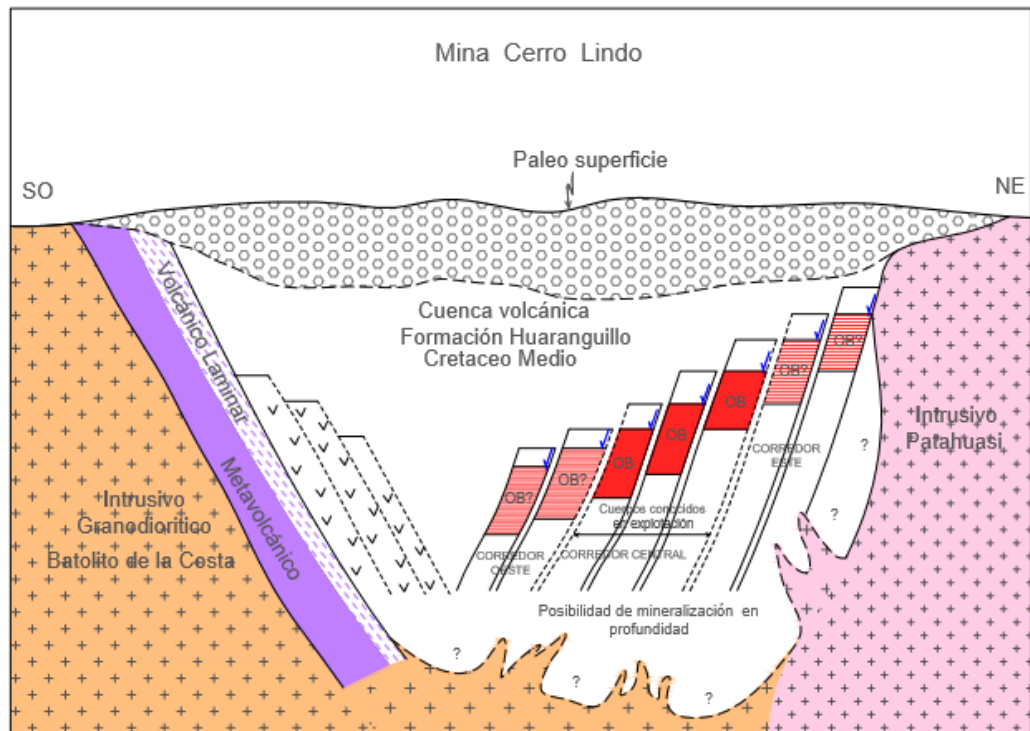


Figura 19. Esquema del Potencial Geológico. Fuente Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo, M. Lavado, 2015

Los cuerpos hacia el norte de la quebrada Topará estarían limitados por su cercanía al cuello del domo volcánico como se muestra en la **figura 20**.



Figura 20. Limite del Domo Volcánico. Fuente Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo, M. Lavado, 2015

3.4.5 Modelo Conceptual del Yacimiento

Tiene que existir un centro volcánico en Cerro Lindo el cual puede corresponder al cerro Paltarumi. Tiene que haber depresiones submarinas o paleo canales generalmente cercanos al centro volcánico, serían los espacios rellenos por los actuales cuerpos por donde fluyen las soluciones mineralizantes por cambios químicos, de presión y temperatura precipitan estas soluciones formándose los sulfuros masivos. Las soluciones hidrotermales ascendieron por fracturas formando un sistema hidrotermal de buenas dimensiones. Este conjunto de fracturas podrían estar rellenas posteriormente por diques; este modelo puede repetirse en las cercanías a la quebrada Pucasalla formando el efecto espejo como se muestra en las **figuras 22 y 21**.

(Fuente Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo, M. Lavado, 2015)

Zonas de Interés

- A) Lateral: En Cerro Lindo existen zonas de interés para ser exploradas, como los sectores Este y Oeste. La zona norte de la quebrada Topará quedaría pendiente de un análisis más cuidadoso. De todas maneras al lado norte si usamos la alteración supergena como guía se observa al menos unos 250m alterados, donde se podría intentar explorar esta zona con perforación más profunda. Parece que la mineralización en cuerpos estaría más abajo. Se ha preparado los planos geológicos donde se señalan en forma general y específica las zonas favorables para perforar.(Fuente Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo, M. Lavado, 2015)
- C) Profundidad: Con la posibilidad de encontrar mineral con un poco de riesgo estaría el potencial mineral que podría haber en profundidad debajo de los cuerpos actuales, dentro de la pila volcánica puede haber otros cuerpos mineralizados ocultos formando un segundo horizonte en los 350m antes que la cuenca sea cortado por los intrusivos. Una campaña de perforación en la búsqueda de cuerpos ciegos (ocultos) en profundidad, en esta oportunidad es recomendable considerar el uso del método Down Hole Survey (DHEM, Geofísica) la cual nos va a dar mucha más información complementaria de las anomalías cercanas dentro de un radio de 50 metros.(Fuente Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo, M. Lavado, 2015).

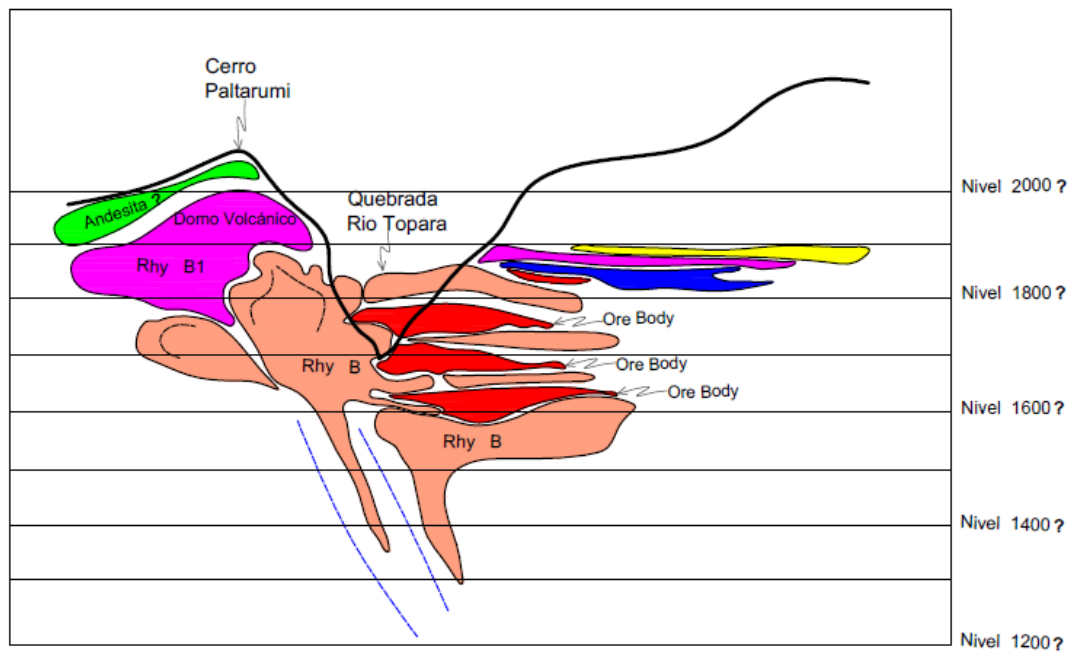


Figura 21. Esquema del Sistema Volcánico donde los cuerpos mineralizados Ore Body están controlados por la riolita tipo B. Fuente Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo, M. Lavado, 2015



Figura 22. Se observa el cerro Paltarumi la cual representa el posible domo volcánico. Fuente Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo, M. Lavado, 2015.

3.5 MINERALIZACIÓN

3.5.1 Tipos de mineralización

Los tipos de mineralización en la UM Cerro Lindo son: sulfuros masivos baríticos bandeados ricos en Zinc (SPB), sulfuros masivos baríticos ricos en Cu (SPB), pirita masiva homogénea (SPP) y sulfuros semi-masivos (SSM). Fuente Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo, M. Lavado, 2015.

3.5.2 Mineralogía

El yacimiento de la UM Cerro Lindo se compone por cuerpos lenticulares y apilados de sulfuros masivos primarios de pirita (55-95%), esfalerita marrón, calcopirita, galena secundaria. Existe gran porcentaje de baritina (15-60%). El cobre se concentra en contacto con los sulfuros masivos baríticos.

Una serie de observaciones macroscópicas y microscópicas evidencian que hubo un importante metasomatismo de los sulfuros baríticos con zinc por los sulfuros piritosos cupríferos durante la formación del yacimiento Cerro Lindo, también se tiene enclaves métricos de sulfuros baríticos con zinc “flotando” en los sulfuros piritosos, los contactos son difusos.

En el Ore Body 2ª, en interior mina, encontramos una zona típica de Mineralización que degrada desde la superficie hacia el final del cuerpo producto de la alteración supergena. Fuente Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo, M. Lavado, 2015.

3.5.3 Alteraciones

En la zona de Cerro Lindo lo más resaltante es la alteración supergena que aflora y está directamente relacionada con los cuerpos en profundidad, ella se manifiestan en varios niveles o intensidades de la oxidación. Para fines prácticos se ha diferenciado tres tipos de alteraciones Tipo (A) en la base cercano al cuerpo; Tipo (B) intermedia y Tipo (C) en la parte superior, sobreyaciendo a ellas se tiene los halos de silicificación y blanqueamiento, principalmente de la riolita. Fuente Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo, M. Lavado, 2015.

Alteración Tipo A: Sería la alteración más cercana a los cuerpos mineralizados y/o es parte del cuerpo oxidado. Su característica principal es la fuerte oxidación, con presencia de baritina⁺⁺ y grandes cavidades en las zonas oxidadas, producto de la lixiviación de los óxidos (Ox Fe⁺⁺⁺), presentan coloración rojiza y amarillenta debido a la oxidación de la galena. Las cavidades se han generado debido a que la oxidación de sulfuros masivos originó espacios vacíos. En algunos casos con colores marrón, rojizo y amarillento. Se observan pocos óxidos de cobre y sulfuros secundarios como covelita, calcosina y bornita en menos cantidad. En las

partes superiores y periféricas en contacto con los cuerpos la presencia del OxFe^{+++} es más intensa. Existen evidencias prácticas para inferir de la posible cercanía a los cuerpos principalmente por la ocurrencia de la oxidación tipo A, y el incremento de pirita con baritina y puntos de sulfuros de Zn, Pb. Fuente Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo, M. Lavado, 2015.

Alteración Tipo B: Presenta óxidos sueltos, terrosos con varios colores. En algunas zonas esta caolinizado y contiene algo de baritina y Ox Fe^{++} moderado, hematita, roca craquelado, blanqueada. En algunos casos se incrementa el fracturamiento y se rellena con hematita, gohetita; un caso típico de un buen ejemplo es el afloramiento en una de las quebradas en la zona de Campanario. En el campo también se observa que el afloramiento tipo B está sobreyaciendo al tipo A la cual generalmente contiene baritina. Fuente Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo, M. Lavado, 2015.

Alteración Tipo C: Generalmente presenta coloración rojiza de la roca, fracturamiento relleno con óxidos de varios colores principalmente rojizo y marrón en las fracturas están rellenas con gohetita, hematita y presenta silicificación, además de blanqueamiento de la roca, la presencia de Ox Fe^{+} es débil. Fuente Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo, M. Lavado, 2015.

Se ha preparado una sección vertical representativa que muestra los tipos de alteraciones respecto a la ocurrencia de un cuerpo mineralizado en profundidad. Igualmente se puede ver la ubicación de las alteraciones como se muestran en las **figuras 23 y 24**.

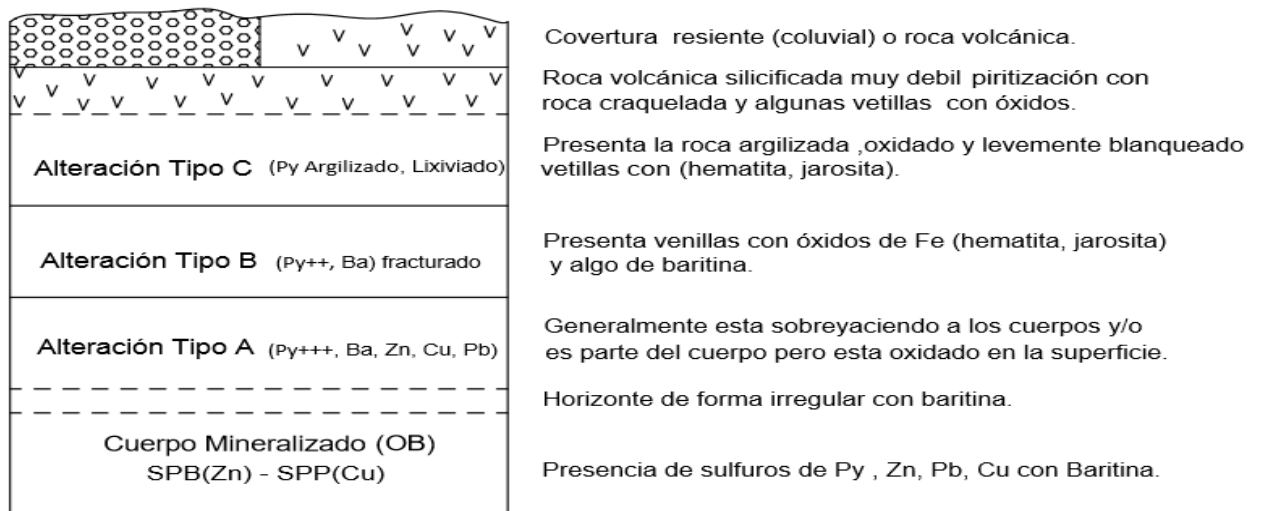


Figura 23. Representación esquemática mostrando los tipos de alteración. Fuente Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo, M. Lavado, 2015.

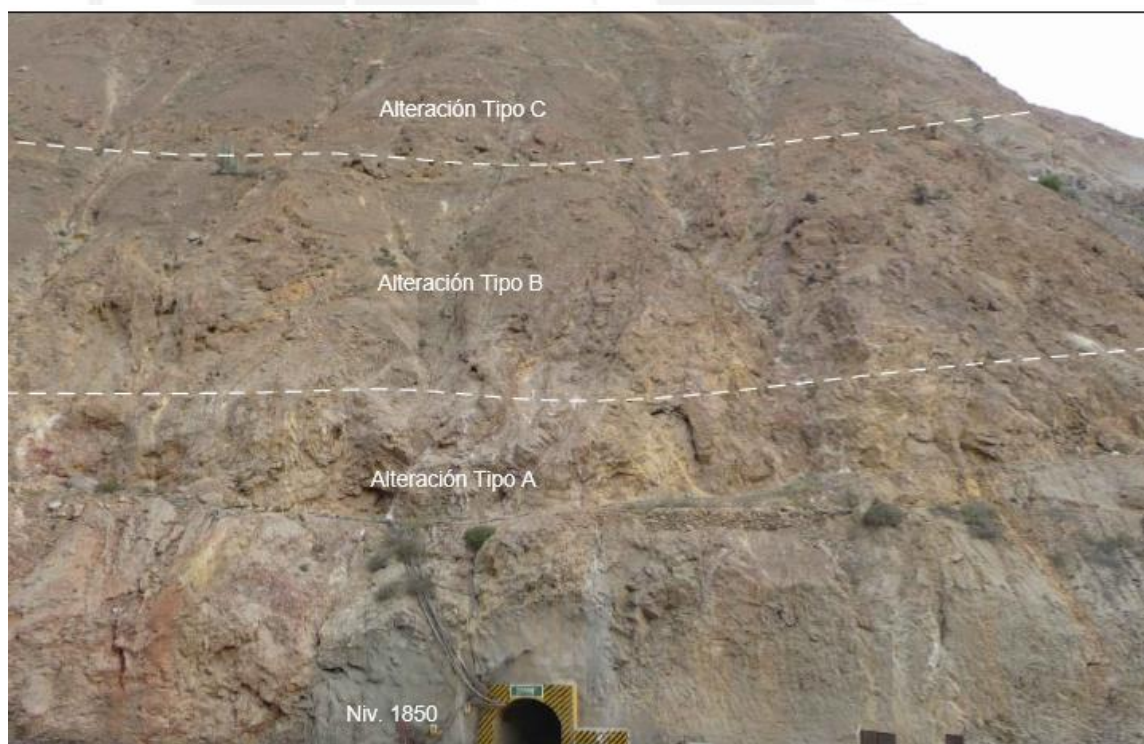


Figura 24. Alteraciones vistas en campo. Fuente Geología UM Cerro Lindo. Fuente Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo, M. Lavado, 2015.

3.6 GEOMECAÁNICA

3.6.1 Clasificación de la masa rocosa

Es una herramienta útil para describir y categorizar diferentes tipos de rocas con el propósito de evaluar requerimientos de estabilidad y soporte en excavaciones subterráneas. Un número de procedimientos de diseño empírico han sido establecidos para predecir, por ejemplo: Tramos de excavaciones estables, requerimientos de soporte para cable bolt y niveles de dilución basados en la clasificación de la masa rocosa.

Los dos sistemas de clasificaciones más comunes para aplicaciones en minería son la capacidad geomecánica RMR y el índice de tunelización (Q) del instituto geotécnico noruego (NGI).

Varias directrices empíricas sirven para proporcionar estimaciones de requerimiento de soporte, tiempos de parada y parámetros de diseño relacionados y estas han estado basadas en los dos diferentes sistemas de clasificación.

3.6.2 Capacidad de la masa rocosa

La clasificación geomecánica, desarrollada por Bieniawski (1973), calcula la capacidad de la masa rocosa (RMR), basada en 5 parámetros como sigue.

- Resistencia de roca intacta.
- Designación de calidad de roca (RQD).
- Espaciamiento de juntas.
- Condición de Juntas.
- Condición de napa freática.

La clasificación esta aplicada a cada parámetro y basado a las condiciones de mapeo y en la experiencia del ingeniero. Una clasificación general está basada añadiendo las capacidades individuales para cada uno de los 5 parámetros. La clasificación general es luego ajustada para representar la orientación de juntas con respecto a la excavación.

La capacidad de la masa rocosa está estimada desde el testigo de perforación y son proporcionados en la tabla 8.

Tabla 8. Capacidad de masa rocosa CSIR del testigo de perforación. Fuente Informe Área Geomecánica, I. Cáceres, 2015.

°	SULFUROS		VOLCANICOS	
	PARAMETRO	DESCRIPCION	CAPACIDAD	DESCRIPCION
Resistencia de roca intacta	25-50 Mpa	4	100-200 Mp	12
RQD	75%	15	50-75 %	13
Espaciamiento de juntas	≈ 0.3 m	15	≈ 0.3 m	15
Condición de Juntas	Ondulante, lisa, hermética, rellenado < 1mm, manchas superficiales no interperizada.	20	Ondulante, lisa, hermética, rellenado < 1mm, manchas superficiales no interperizada.	20
Napa freática	Seca	10	Seca	10
RMR	Buena	64	Buena	70

Los resultados de las capacidades de masas de roca derivadas de los testigos de perforación y de las mediciones directas están razonablemente cercanos para las rocas volcánicas y sulfuros. Los datos de los testigos de perforación son consideradas las más representativas como se muestra en la **Tabla 9**.

Tabla 9. Valores de RMR para UM CL. Fuente Informe Área Geomecánica, Ivan Cáceres, 2015.

Litología	RMR		Tipo	Calidad Masa Rocosa
	Rango	Promedio		
Sulfuro Masivo	50 – 60	55	IIIA	Regular A
Volcánico Riodacítico Caja Piso	50 – 60	55	IIIA	Regular A
Volcánico Riodacítico Cajá Techo	38 - 42	40	IVA	Mala A

En la UM Cerro Lindo podemos distinguir 3 tipos de roca como se muestra en la **figura 25**:

1. Los sulfuros donde está el mineral.
2. Los volcánicos que son las rocas encajonantes.
3. Los diques que cortan transversalmente a los sulfuros y volcánicos.

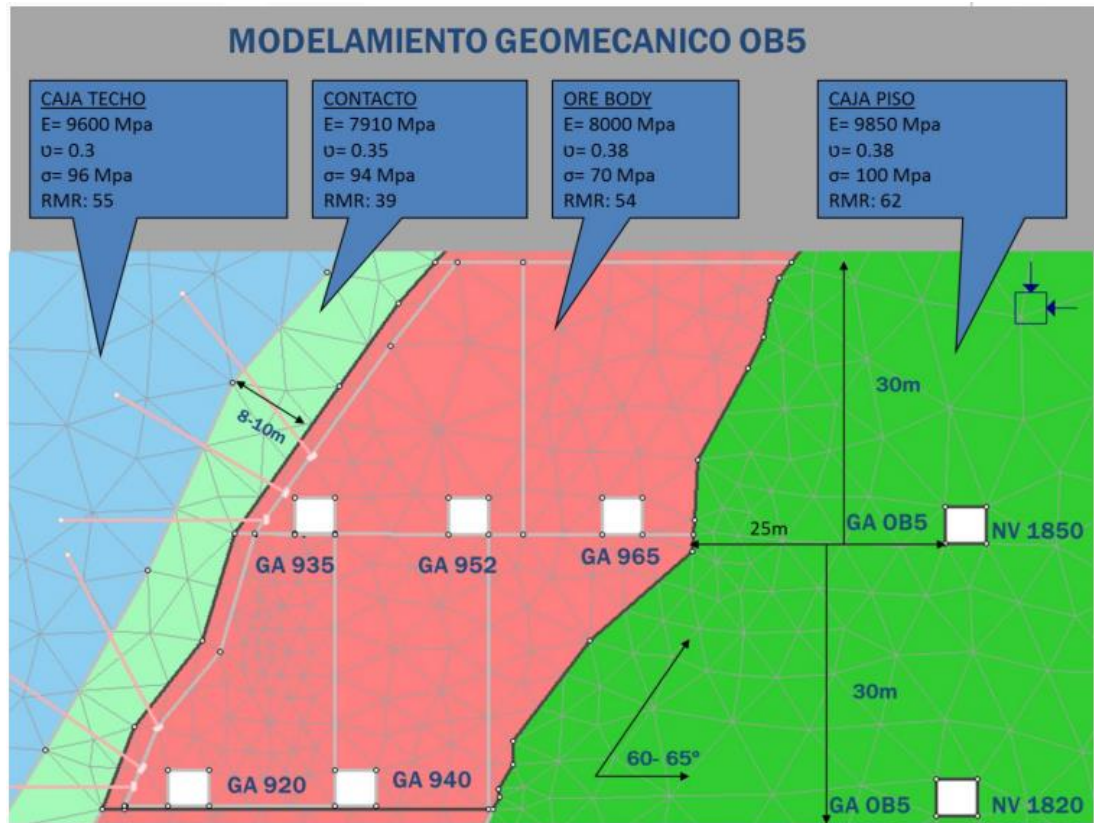


Figura 25 Modelamiento Geomecánico para los 3 tipos de roca en UM CL. Fuente Informe Área Geomecánica, Ivan Cáceres, 2015.

Índice de tunelización

El sistema de clasificación de masa de roca NGI (Barton, 1974), calcula un índice de calidad de tunelización de roca (Q) desde 6 parámetros basados en:

- Designación de calidad de roca (RQD)
- Número de Juntas J_n
- Número de aspereza de juntas J_r
- Número de alteración de junta J_a
- Factor de reducción de agua de junta J_w
- Factor de reducción de esfuerzo (SRF)

Los parámetros son combinados para obtener Q como sigue:

$$(RQD/Jn)(Jr/Ja)(Jw/SRF)$$

Valores de Q han sido calculados para roca volcánica y mineral, basados en los datos de perforación y estos están reportados en la **tabla 10**.

Tabla 10. Típica clasificación de parámetros NGI para volcánicos y sulfuros. Fuente Informe Área Geomecánica, Ivan Cáceres, 2015.

ejemplo para caso específico	CUERPO MINERAL 2		CUERPO MINERAL 5	
	VOLCANICO	MINERAL	VOLCANICO	MINERAL
RQD	70.00	75.00	70.00	75.00
Jn	4.00	3.00	4.00	4.00
Jr	2.00	2.00	2.00	2.00
Ja	2.00	2.00	2.00	2.00
Q! calculado	17.50	25.00	17.50	19.00
Q calculado (asuma JW=1, SRF=1)	17.50	25.00	17.50	19.00
Clasificación Q	Buena	Buena	Buena	Buena

3.7 MÉTODO DE MINADO

El macizo rocoso en sus cajas es competente, también se tiene el yacimiento mineralizado a una cota próxima a superficie, se tiene cuerpos regulares de gran potencia, además de otras características particulares; por ello, El método de minado aplicado en la UM Cerro Lindo es el tajeo por subniveles con la aplicación de taladros largos en la perforación. Para ello se cuenta con subniveles cada 30 metros con un ancho de minado de 20 metros y una profundidad de 35 metros como se muestra en la **figura 26**. Fuente Área Perforación y Voladura, M. Rojas, 2015.

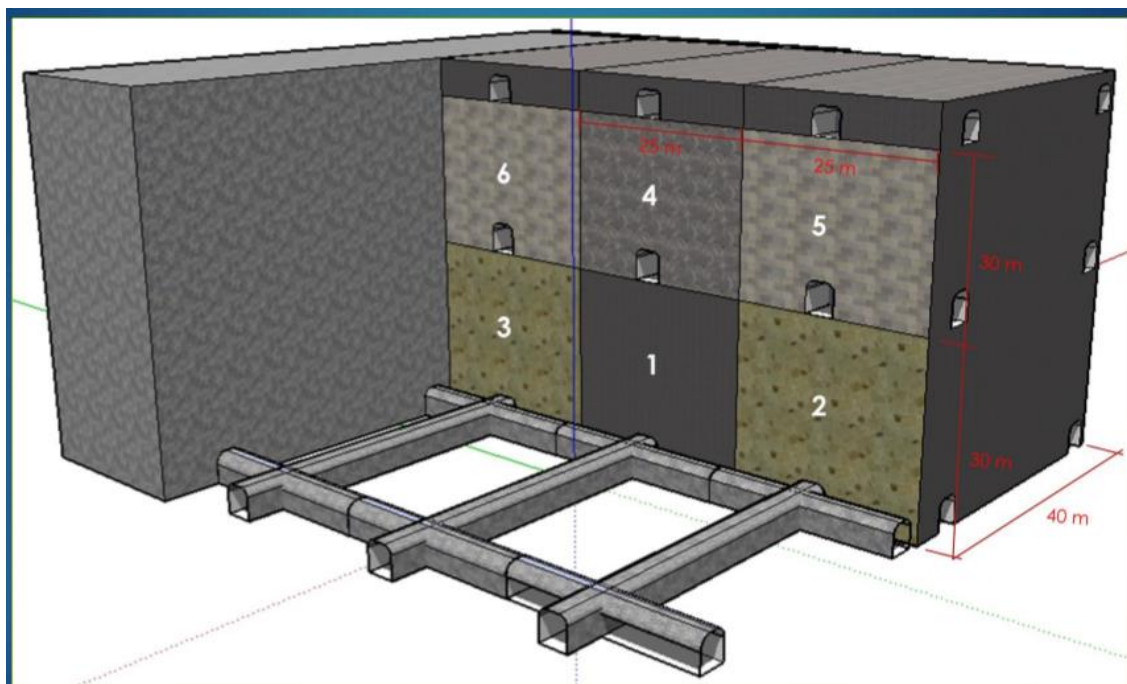


Figura 26. Esquema del método de minado. Fuente Perforación y Voladura de la UM CL. Fuente Área Perforación y Voladura, M. Rojas, 2015.

3.7.1 Secuencia de minado

La secuencia de minado está determinada por una zona primaria y otra secundaria adyacente los cuales son explotados de acuerdo al planeamiento mina. Se debe entender que primero se extraerá mineral de la zona primaria por estar en roca intacta, luego se extraerá las zonas secundarias que se encuentran en materiales rellenos. De la figura 26 podemos ver el orden de extracción de la zona mineralizada.

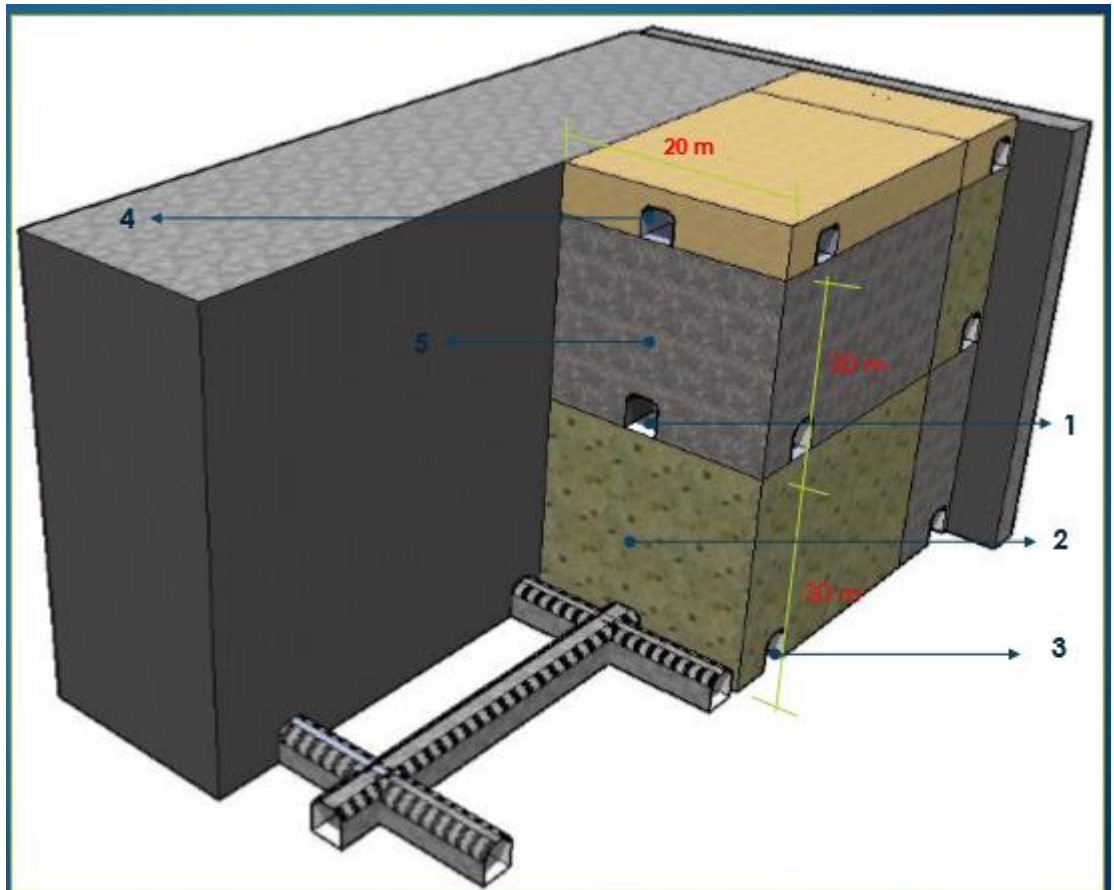


Figura 27. Esquema de la división de un tajo. Fuente Perforación y Voladura UM CL. Fuente Área Perforación y Voladura, M. Rojas, 2015.

División de un tajo

Como se observa en la **figura 27** podemos ver que la labor indicada por el número 1 viene a ser la galería principal del tajo y a la vez la primera ventana de extracción, luego la numeración 2 viene a ser el tajo base o inferior, seguido a ello la galería slot con la numeración 3, luego en la numeración 4 se aprecia la galería superior del tajo intermedio e inferior del tajo superior, finalmente, el tajo intermedio asignado por el número 5.

3.8 OPERACIONES UNITARIAS

Las operaciones unitarias son las primeras actividades del ciclo de minado y para nuestro caso mencionaremos a la perforación, voladura, carguío y transporte.

3.8.1 Perforación

La perforación en la UM Cerro Lindo dentro de las diversas actividades es aplicada para las labores de exploración, desarrollo y explotación. Para las labores de explotación donde se realizó el experimento se tiene la siguiente descripción:

3.8.1.1 Chimenea slot Raise Borer (RB), chimenea slot

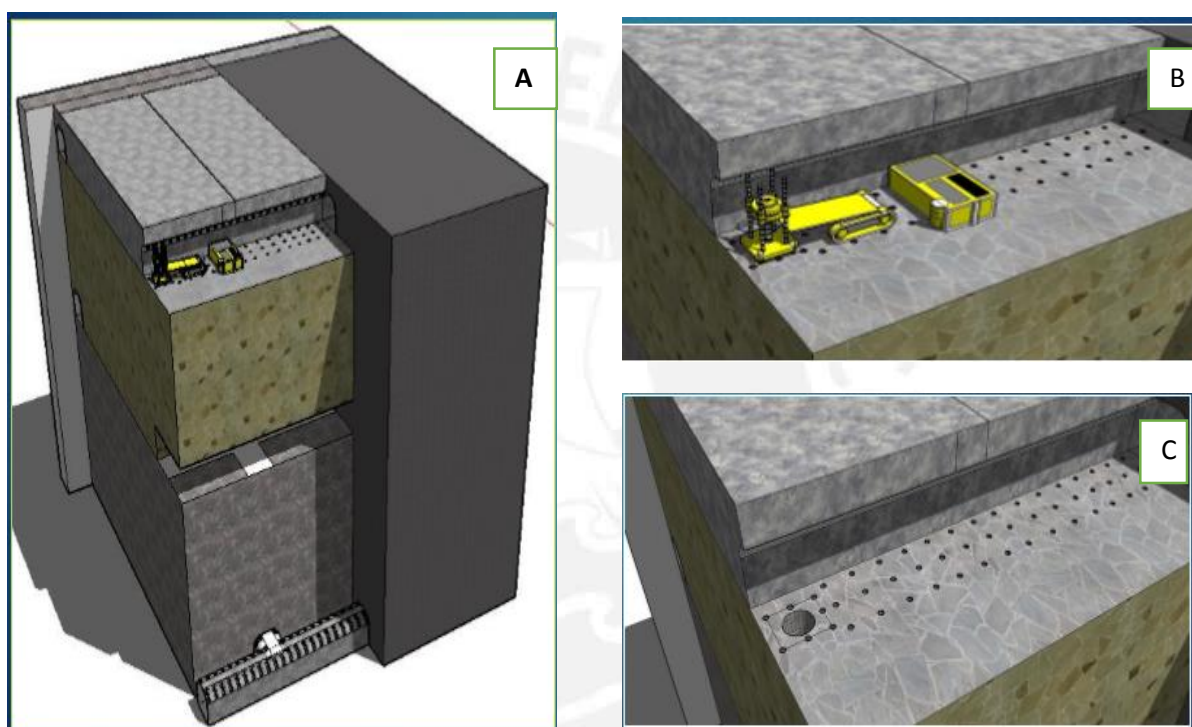


Figura 28. Chimenea slot. Fuente Perforación y Voladura UM CL. Fuente Área Perforación y Voladura, M. Roias, 2015.

La chimenea slot RB viene a ser la primera cara libre de toda la sección del slot. Luego del slot RB De la figura 28 en A y B se aprecian la ubicación y posicionamiento del equipo Raise Borer La chimenea slot RB viene a ser la primera cara libre de toda la sección del slot. Luego de la chimea slot RB se perforan los taladros de ayuda para el slot o primera cara del tajeo como se aprecia en la **figura 28.C**. Estos taladros verticales pueden ser pasantes, positivos o negativos.

3.8.1.2 Malla de producción

Las mallas de producción pueden ser perforadas en negativo (12m), en positivo (18m) o pasantes (30m). En cada caso dependerá si nos encontramos en un tajo primario o secundario. Entonces para un tajo primario será aplicado perforación en negativo y positivo y para tajeos secundarios serán taladros pasantes por temas de seguridad. Para fines prácticos se hará la descripción para un tajeo secundario con taladros pasantes.

De la **figura 29** se aprecia en primer lugar el simba ITH (también podría ser la perforadora H1254) realizando la perforación de las mallas radiales pasantes. Seguidamente la numeración 2 muestra el burden entre mallas radiales, luego en la ubicación 3 se aprecia los taladros radiales con una altura de banco de 30 metros. La numeración 4 hace referencia a la galería slot del nivel inferior del tajo de perforación. La numeración 5 viene a ser la galería slot del tajo. La 6 viene a ser la galería slot del tajo adyacente y ventana de limpieza para el tajo en perforación. Por último el punto 7 viene a ser el tajo ya rellenado.

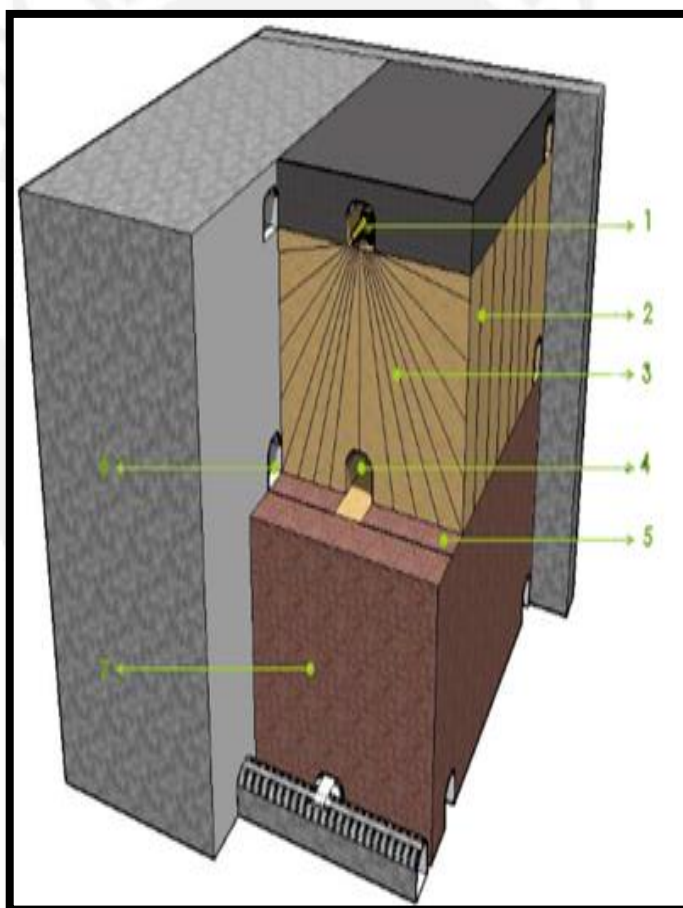


Figura 29. Malla de perforación de Taladros Largos. Fuente Perforación y Voladura UM CL. Fuente Área Perforación y Voladura, M. Rojas, 2015.

3.8.1.3 Equipos de perforación utilizados en las zonas de producción

Los equipos de perforación para los tajeos de producción son las perforadoras H2154 (**Figura 30**) e ITH (**figura 31**). Estos equipos son capaces de perforar 30 m o más de manera vertical o inclinada como sea el caso de la necesidad operativa de la UM Cerro Lindo, en las **Tablas 11 y 12** se muestran las principales características de los equipos de perforación. Fuente Reporte de Productividad Mina, H.Bernaola, 2015.



Figura 30. SIMBA H1254. Fuente Reporte de Productividad Mina, H.Bernaola, 2015.



Figura 31. SIMBA ITH. Fuente Reporte de Productividad Mina, H.Bernaola, 2015.

Tabla 11. Características S-H1254. Fuente Reporte de Productividad Mina, H. Bernaola, 2015.

CARACTERÍSTICAS S-H1254	
Tipo de perforación	de barrenos largos
movilidad	sobre ruedas
sistema de perforación	DTH
otras características	hidráulica

Tabla 12. Características S-ITH. Fuente Reporte de Productividad Mina, H. Bernaola, 2015.

CARACTERÍSTICAS S-ITH	
Tipo de perforación	de barrenos largos
movilidad	sobre ruedas
sistema de perforación	de martillo en cabeza
otras características	hidráulica

MCMXVII

3.8.1.4 Rendimientos por velocidad de penetración

Sabemos que el parámetro más importante en la perforación es la velocidad de penetración del acero en el macizo rocoso. Este parámetro guarda especial importancia para cumplir el ciclo de minado y como tal en la UM Cerro Lindo se tiene las siguientes consideraciones como ejemplos específicos para flotas de perforadoras Simba ITH Y H1254. Fuente Reporte de Productividad Mina, H. Bernaola, 2015. Como se muestra en las **figuras 32 y 33**.

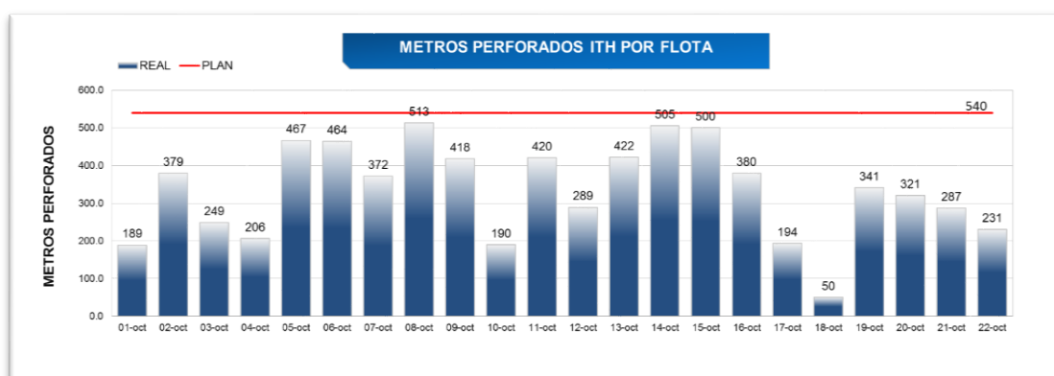


Figura 32. Rendimiento ITH por Flota. Fuente Reporte de Productividad Mina, H.Bernaola, 2015.

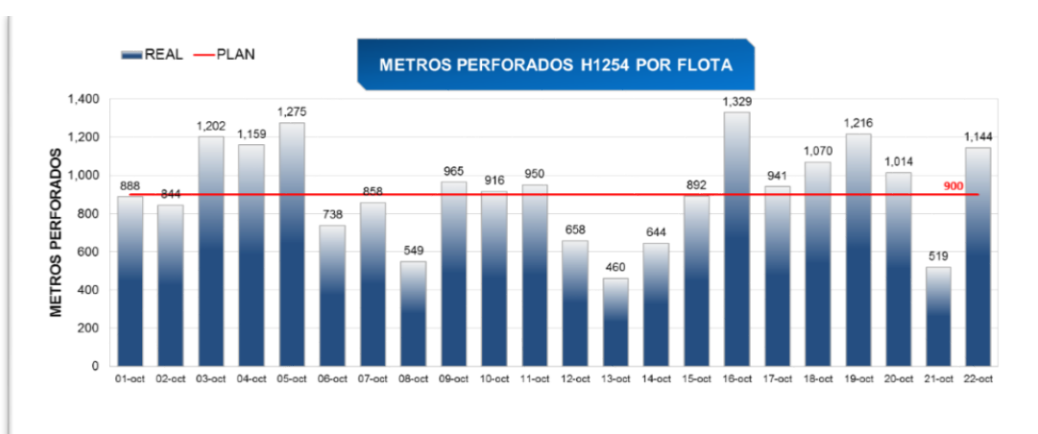


Figura 33. Rendimiento H1254 por Flota. Fuente Reporte de Productividad Mina, H.Bernaola, 2015.

Así mismo podemos apreciar el rendimiento promedio por hora de cada tipo de equipo de perforación como es en primer lugar el rendimiento del SIMBA ITH y seguido el SIMBA H1254 con un rendimiento promedio por hora superior al programado como nos muestra en las **figuras 34 y 35**. Fuente Reporte de Productividad Mina, H. Bernaola, 2015.

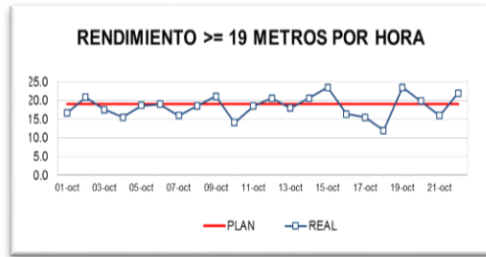


Figura 34. RENDIMIENTO SIMBA ITH.
. Fuente Reporte de Productividad Mina, H.Bernaola, 2015.

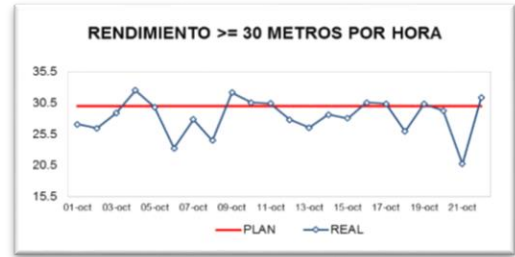


Figura 35. RENDIMIENTO SIMBA H125.
Fuente Reporte de Productividad Mina, H.Bernaola, 2015.

3.8.2. Voladura

En UM Cerro Lindo las voladuras se realizan tanto para labores de avance como para labores de producción. Para nuestro interés mencionaremos acerca de las voladuras en los sectores de producción. Fuente Informe de Perforación y Voladura, M. Rojas, 2015.

3.8.2.1 Voladura de la chimenea Slot para la primera cara libre.

Chimenea Slot volada, la cual vendrá a ser la cara libre para el Slot. La perforación de este sector es vertical y pasante como se muestra en la **Figura 36**.

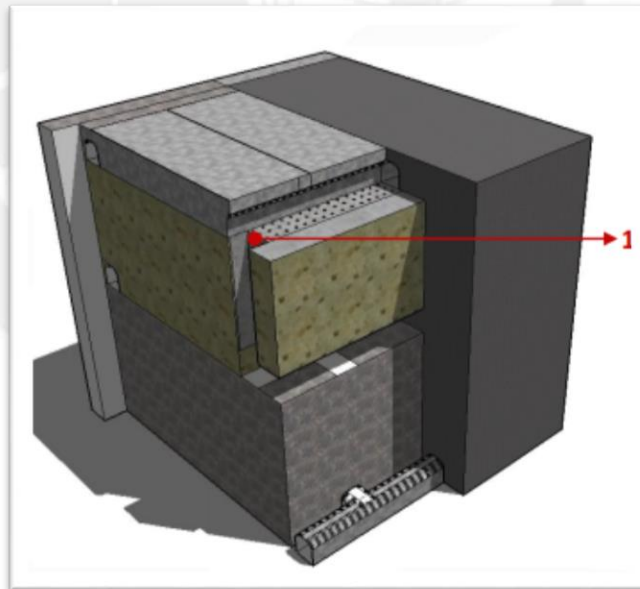


Figura 36. Esquema de Chimenea SLOT. Fuente Informe de Perforación y Voladura, M. Rojas, 2015.

Se aprecia las filas generadas formando una zanja. Aquí todavía se sigue con los disparos de taladros verticales como se muestra en la **figura 37**.

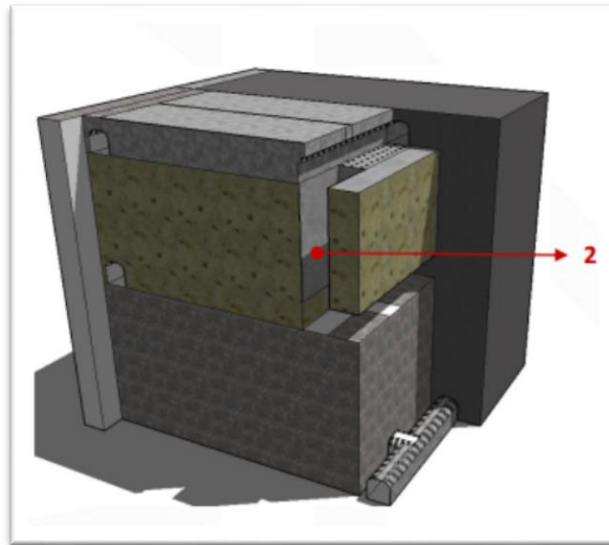


Figura 37. Ampliación de Chimenea Slot.
Fuente Informe de Perforación y Voladura, M. Rojas, 2015.

En la **figura 38** se observa el Slot completamente abierto y listo para proceder a la voladura de los taladros de producción.

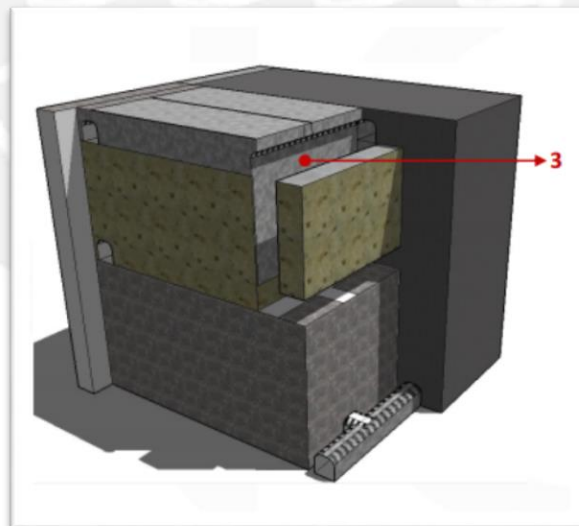


Figura 38. SLOT con abertura finalizada.
Fuente Informe de Perforación y Voladura, M. Rojas, 2015.

3.8.2.2 Voladura de las mallas de producción

En las mallas de producción tenemos la siguiente secuencia: En primer lugar hombros de las mallas pasantes que serán disparadas con el tajo superior, segundo mallas radiales pasante disparadas, tercero galería inferior principal de limpieza, cuarto tajo inferior relleno, quinto galería principal superior de la voladura y por último la galería Slot del tajo adyacente y ventana de limpieza para el tajo de perforación como se muestra en la **figura 39**. Fuente Informe de Perforación y Voladura, M. Rojas, 2015.

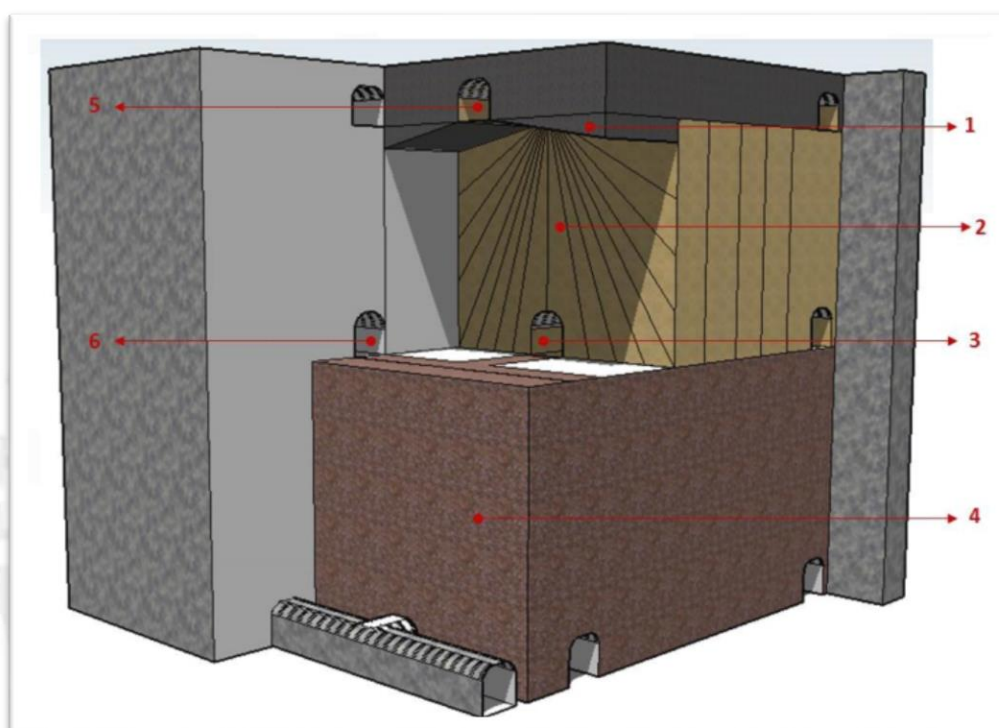


Figura 39. Esquema de voladura de mallas de producción. Fuente Informe de Perforación y Voladura, M. Rojas, 2015.

3.8.2.3 Carga operante por cuerpos mineralizados

Para cada sector y/o cuerpos mineralizados, como se muestran en la **figura 40**, tenemos los siguientes valores de carga operante para los tajeos de producción como se muestra en la **Tabla 13**.

Tabla 13. Carga Operante Kg/Taladro de la UM Cerro Lindo. Fuente Informe de Perforación y Voladura, M. Rojas, 2015.

	Kg/Taladro
OB1	92
OB2	88
OB3	92
OB4	92
OB5	65
OB6	75
OB7	70

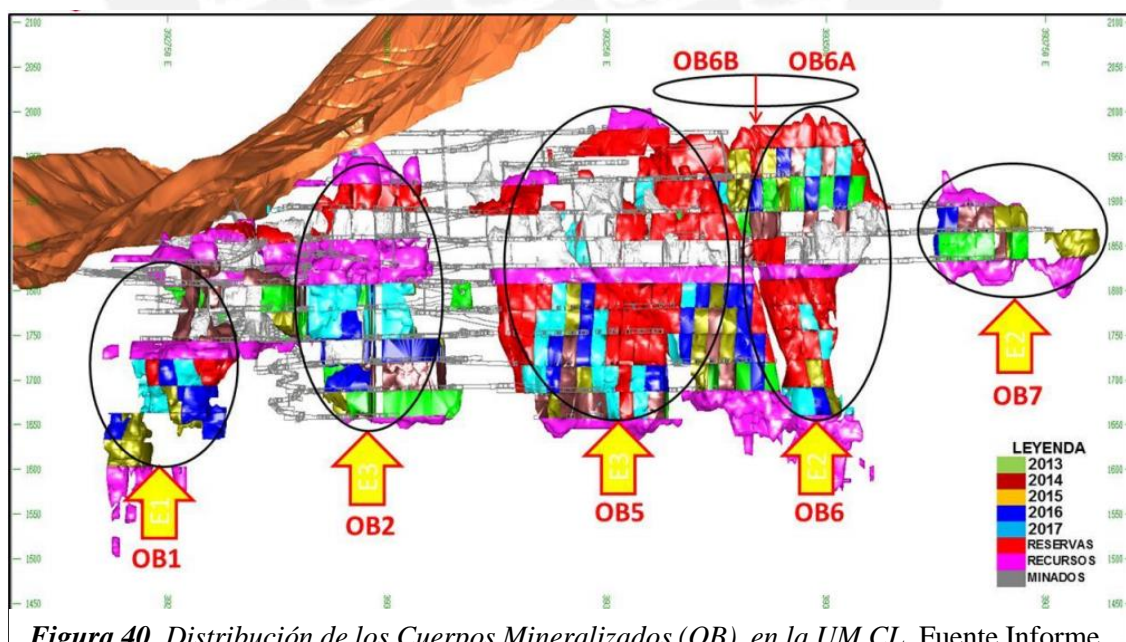


Figura 40. Distribución de los Cuerpos Mineralizados (OB) en la UM CL. Fuente Informe de Perforación y Voladura, M. Rojas, 2015.

3.8.3. Carguío

El carguío como operación unitaria viene a ser la actividad por la cual se extrae el material de la zona de voladura tanto de labores de frentes como tajeos de producción para el posterior acarreo. Para ello en la UM Cerro Lindo se utilizan cargadores de bajo perfil tanto de 9yd³ como 11yd³. Fuente *Reporte de Productividad, H. Bernaola, 2015.*

3.8.3.1 Distribución de cargadores de bajo perfil.

Los equipos de bajo perfil están distribuidos para actividades de carguío en los tajos de explotación y también para limpieza de frentes. Para ello se cuenta con 8 scoops en zonas de explotación y 5 en zonas de avances. De la flota total en UM Cerro Lindo se tiene 3 Scoops de 11 YD³ dos son de la marca Sandvik y uno de Caterpillar. El resto de equipos además de ser de 9 YD³ son de la marca CAT. Importante mencionar que 2 de los scoops de avances son de la contrata especializada Aesa para las zonas de profundización.

3.8.3.2 Rendimiento de cargadores de bajo perfil.

Como en anteriores ítems solo haremos mención de lo concerniente a las labores de explotación donde se desarrolló el proyecto. Para ello se tiene las siguientes tablas para fechas específicas como se muestra en la **figura 41**.



Figura 41. Rendimiento de extracción de mina para una flota. Fuente Reporte de Productividad, H. Bernaola, 2015.

Como se aprecia la flota tiene un rendimiento superior promedio a lo planeado que son 230 Ton/Hora. Como se muestra en la **figura 42**.

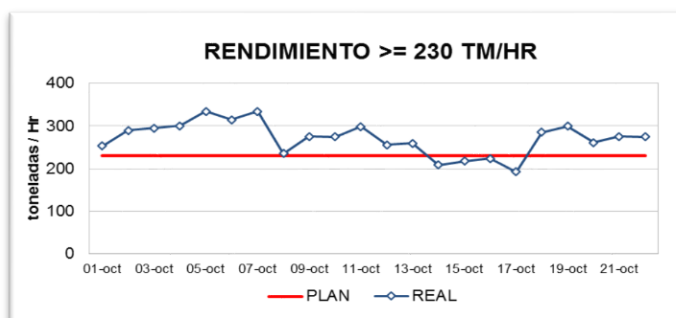


Figura 42. Rendimiento de la Flota Ton/Hora. Fuente Reporte de Productividad, H. Bernaola, 2015.

A continuación presentamos los rendimientos de los scoops asignados como 24 (9yd³/CAT), 25 (11yd³/CAT) y 28 (11yd³/Sandvik). Hacemos mención de estos 3 equipos pues en ellos se realizaron las pruebas con la aplicación FARA. Como lo mostrado en **las figuras 43, 44 y 45**.

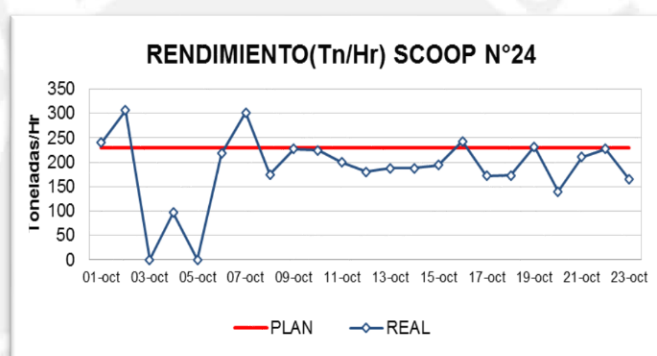


Figura 43. Rendimiento del Cargador de Bajo de perfil N°24 CAT R 2900G. Fuente Reporte de Productividad, H. Bernaola, 2015.

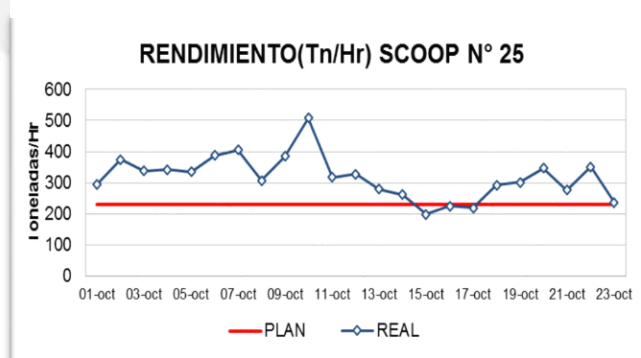


Figura 44. Rendimiento del Cargador de Bajo de perfil N°25 CAT R 3000H. Fuente Reporte de Productividad, H. Bernaola, 2015.

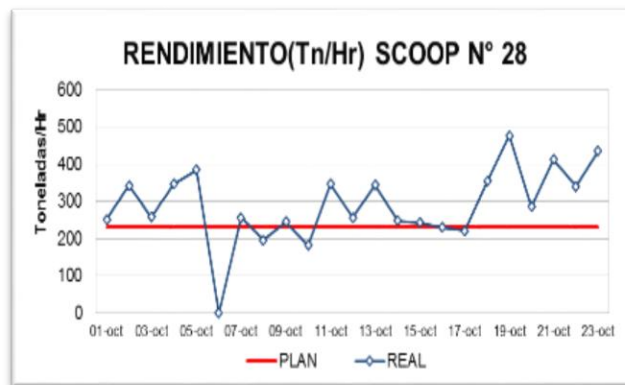


Figura 45. Rendimiento del Cargador de Bajo de perfil N°28 SANDVIK LH621. Fuente Reporte de Productividad, H. Bernaola, 2015.

3.8.3.3 Disponibilidad mecánica y utilización efectiva

Se tiene un análisis aleatorio para un determinado mes en el que los equipos como flota de extracción trabajaron todos. Se tiene los siguientes resultados presentados en las **figuras 46 y 47**.

La disponibilidad mecánica (DM) planeada y deseada debería de ser más de 90% del trabajo estimado pero se tiene una DM de 77%. Esta estimación es con criterios netamente mecánicos de los cuales el equipo es considerado en un jornal de 24 Hrs/día con un trabajo de 10hrs/guardia. Fuente Reporte de Productividad, H. Bernaola, 2015.

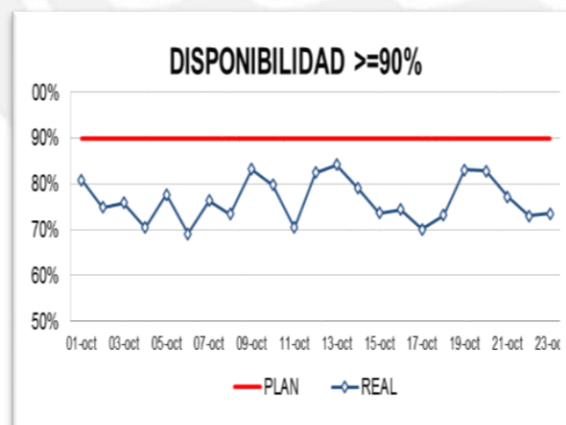


Figura 46. Disponibilidad Mecánica de la Flota de Cargadores de bajo Perfil. Fuente Reporte de Productividad, H. Bernaola, 2015.

En esta gráfica apreciamos la utilización efectiva de los equipos de la flota para una muestra aleatoria poblacional. En cifras se tiene una utilización del 69%

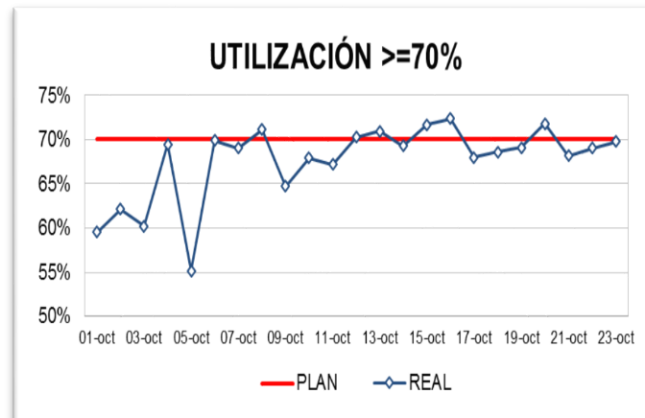


Figura 47. Utilización de la Flota de Cargadores de bajo Perfil. Fuente Reporte de Productividad, H. Bernaola, 2015.

3.8.4. Transporte

3.8.4.1 Factor de Acoplamiento:

Es el número de camiones requeridos asignados a un cargador de bajo perfil que asegura obtener una producción más óptima.

$$FA = \frac{\# \text{ Volquetes} \times \text{Ciclo_carguío} \times 100\%}{\text{Ciclo_transporte}}$$

* Ciclo_carguío = f(distancia, scoop)
* Ciclo_transporte = f(distancia)

3.8.4.2. Rendimiento de Flota:

Es el tonelaje medido en una hora de la flota para una determinada unidad de carguío.

$$RF = \frac{\# \text{ Volquetes} \times \text{Capacidad_volquete}}{\text{Ciclo_transporte}}$$

3.8.4.3. Distribución de volquetes

En la UM Cerro Lindo existen 3 empresas especializadas para el transporte de material tanto mineralizado como ganga. Entonces, por un lado, se tiene a la empresa América con 15 camiones de la marca Mercedes Benz los cuales están asignados para la extracción de mineral de la zona baja. Por otra parte, se tiene 15 volquetes de la empresa Dinet con la marca Volvo los cuales están asignados para la zona alta. Finalmente se tienen 15 camiones de la empresa Etranserge con la marca Mercedes Benz asignados para transportar desmorte de las diversas labores interior mina como se muestra en la **Tabla 14**.

Tabla 14. Distribución de Unidades por Empresa Especializada en Transporte. Fuente Reporte de Productividad, H. Bernaola, 2015.

Empresa	unidades	material	ubicación
América	15	mineral	zona baja
Dinet	15	mineral	zona alta
Etranserge	15	desmorte	zona baja/alta

3.8.4.4. Distancias de material transportado

Las distancias de trayecto de los volquetes varían según el material transportado y según las labores interior mina. Por un lado si hablamos de mineral con valor económico será transportado el 60% hacia el cúmulo de partida de las fajas transportadoras en el NV 1800 cerca a boca mina, el otro 40% será transportado a las canchas de mineral a cota superior. Pero si hablamos de material desmorte, este será llevado a la cancha de acumulación.

Entonces en función de cada caso las distancias serán diferentes. Esto traerá como consecuencia diferentes intervalos de tiempo en el transporte y diferentes cantidades de material transportado en volumen.

A continuación se presenta la **figura 48** del ciclo del tiempo de transporte vs la distancia.

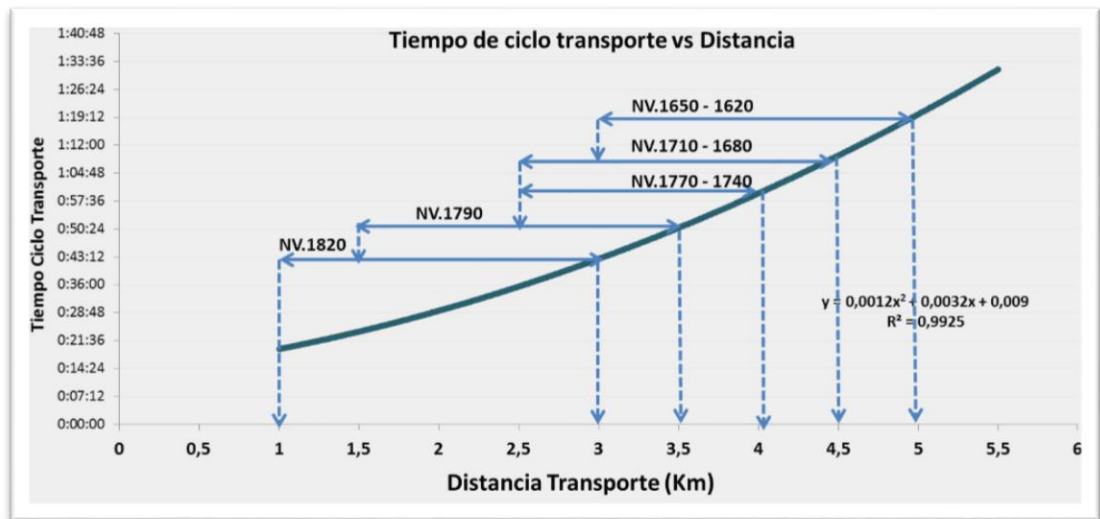


Figura 48. Distribución Tiempo de ciclo de Transporte vs Distancia. Fuente del autor.



4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

4.1.1 CALIBRACIÓN

Para realizar la medición primero se inició con la calibración del sistema. Esto quiere decir que se estableció una configuración propia de la operación. Comenzando por automatizar la secuencia de ciclos mediante **triggers**, secuencias de ciclos automatizados como se muestra en la **figura 39**, seguido de la configuración de la aplicación. Esta última está compuesta por Tipos de Trabajo, Estados y Secuencias. Para este caso se tienen dos tipos de trabajo Carguío y Transporte. Para el tipo de trabajo Carguío tenemos las siguientes secuencias y estados:

4.1.1.1 Secuencias de Carguío

En la **Tabla 15** se muestran los estados de la secuencia de carguío.

Tabla 15. Secuencias de Carguío. Fuente del Autor.

Código	Secuencias de Carguío
1	Cuchareo
2	Traslado Cargado
3	Zona de Carguío (Camiones)
4	Traslado Vacío

4.1.1.1.1 Estados de Carguío

a) Horas de Operación

La **Tabla 16** muestra los estados de las Horas de Operación.

Tabla 16. Estados de Carguío-Horas de Operación. Fuente del Autor.

Código	Horas de Operación (Carguío)
101	Limpieza de Desmante (Frentes)
102	Limpieza de Mineral (Frentes)
103	Limpieza Mineral- Chimenea (Preparación Vertical)
104	Limpieza Desmante-Chimenea (Preparación Vertical)
105	Limpieza Mineral-Tajo (Explotación)
106	Limpieza Mineral-Tajo (Explotación con Telemando)

107	Limpieza de Mineral Acumulado
108	Limpieza de Desmante Acumulado
109	Construcción de Diques
110	Relleno Detrítico
111	Mantenimiento de vías
112	Traslado de máquina de perforación DDH (Raise borer)
113	Preparación de Plataforma
114	Zarandear Parrilla (Mineral-Desmante)
115	Raspado de Frentes

b) **Horas de Parada No Planificada**

La **tabla 17** muestra los estados de carguío y horas de parada no planificada

Tabla 17. Estados de Carguío -Horas de Parada No Planificada. Fuente del Autor.

Código	Horas de Parada No Planificada
201	Espera Reparación Mecánica
202	Reparación Mecánica
203	Espera Reparación Eléctrica
204	Reparación Eléctrica
205	Cambio de Llantas

c) **Horas de Parada Planificada**

La **tabla 18** muestra los estados de las horas de parada planificada

Tabla 18. Estados de Carguío -Horas de Parada Planificada. Fuente del Autor.

Código	Horas de Parada Planificada
301	Charla/Reparto de Guardia/ Transporte de Personal
302	Chequeo de Equipo
303	Traslado de Equipo
304	Chequeo de Labor
305	Refrigerio
306	Mantenimiento Programado
307	Inspección Rutinaria de Equipo

d) Horas de Preparación

La tabla 19 muestra las horas de preparación

Tabla 19. Estados de Carguío -Horas de Preparación. Fuente del Autor.

Código	Horas de Preparación
401	Lavado de Equipo
402	Abastecimiento de combustible del Equipo

e) Horas Perdidas

La tabla 20 muestra las horas perdidas

Tabla 20. Estados de Carguío –Horas Perdidas. Fuente del Autor.

Código	Horas Perdidas
501	Apoyo en el carguío de taladros
502	Desate
503	Espera de traslado de Personal
504	Falta de operador
505	Falta de iluminación
506	Incidente-Accidente
507	Obstrucción de vías con Material o Equipos
508	Tiro cortado
509	Ventilación
510	Voladura
511	Falta de Combustible
512	Apoyo de Servicios Auxiliares
513	Apoyo en el remolque de Equipo
514	Espera de Volquete

Para el caso de Tipo de Trabajo Transporte tenemos las siguientes secuencias y estados:

4.1.1.2 Secuencias de Transporte

Como se muestran en la **Tabla 21** las secuencias del ciclo de Transporte de un camión desde una cámara de carguío hacia un punto de descarga que puede variar según el tipo de material.

Tabla 21.Secuencias de Transporte. Fuente del Autor.

Código	Secuencias de Transporte
1	Cargando
2	Viaje Cargado
3	Descargando
4	Viaje Vacío

4.1.1.2.1 Estados de Transporte

a) Horas de Operación

La tabla 2 muestra los estados de las horas de operación.

Tabla 22. Estados de Transporte-Horas de Operación. Fuente del Autor.

Código	Horas de Operación
101	Transporte Mineral
102	Transporte Desmonte
103	Transporte de Relaves
104	Carguío Material
105	Descarga de Material
106	Traslado a Labor
107	Traslado a Taller

b) Horas de Parada Planificada

La tabla 23 muestra los estados de horas de parada no planificada.

Tabla 23. Estados de Transporte-Horas de Parada Planificada. Fuente del Autor.

Código	Horas de Parada Planificada
--------	-----------------------------

201	Chequeo de Equipo / Check List
202	Charla / Reparto de Guardia
203	Registro/ Revisión en Bocamina
204	Chequeo de Labor
205	Liberación de Labor
206	Refrigerio
207	Lavado de Equipo
208	Abastecimiento de combustible

c) Horas Perdidas

La tabla 24 muestra los estados de horas perdidas

Tabla 24. Estados de Transporte-Horas Pérdidas. Fuente del Autor.

Código	Horas Perdidas
301	Atascamiento del Equipo
302	Desate de labor
303	Instalación y/o orden de tuberías
304	Falta de scoop
305	Instalación y/o falta de iluminación
306	Incidente/accidente
307	Obstrucción de vías con agua o equipos/ Tráfico en la vía
308	Ventilación deficiente
309	Espera en parrilla
310	Espera zona de descarga: planta, cancha
311	Espera Operador
312	Parada por condiciones climáticas
313	Falta de combustible
314	Espera para inicio de carguio
315	Traslado en vacio
316	Despeje de voladura
317	Parqueo
318	Falta de carga
319	Volquete en stand bye
320	Tiempo de demora en ubicar al supervisor

d) Horas de Mantenimiento

La tabla 25 muestra los estados de las horas en mantenimiento.

Tabla 25. Estados de Transporte- Horas de Mantenimiento. Fuente del Autor.

Código	Horas de Mantenimiento
401	Mantenimiento programado
402	Mantenimiento correctivo
403	Mantenimiento Taller Soldadura
404	mantenimiento de Llantas
405	Equipo en Taller
406	Equipo Inoperativo
407	reparación mecánica
408	Reparación Eléctrica
409	Cambio de Llantas
410	Reparación de Llantas
411	Traslado por Falla Mecánica-Eléctrica-Neumáticos
412	Tiempo de llegada del mecánico
413	Tiempo de demora en ubicar al supervisor

4.1.2 Recolección de datos in situ

La recolección de datos duró ocho semanas y se basó en la labor de la guardia B que fue seleccionada debido a su gran disposición y eficiencia en la operación. El proyecto se llevó a cabo en la zona baja de la mina desde el nivel 1820 hasta el 1650 donde estaban los tajeos elegidos, Tajeo 023 y 008.

Se destinó a tres operadores de la compañía minera a trabajar exclusivamente en estas áreas en diferentes días gracias a la coordinación de Diego Gonzales-Otoya, Jefe de Zona. Cada operador con sus respectivos cargadores de bajo perfil: Jaime Sarca, con el equipo CAT R3000H de 10.9 yd³ de capacidad nominal de cuchara; Luis Ramos, con el CAT R2900G de 9.4 yd³; y Dominico Flores, con el LH621 SANDVIK de 10.5 yd³.

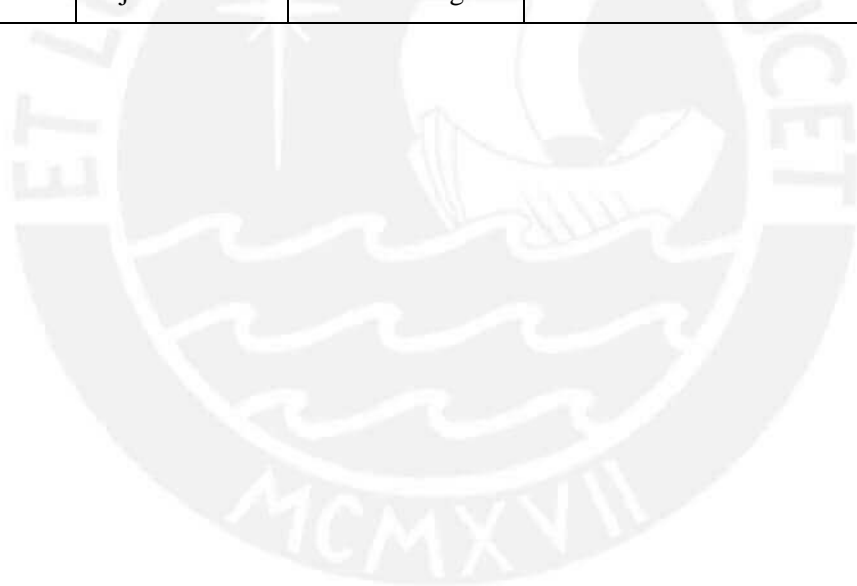
Por otro lado, los camiones de transporte de producción eran de las empresas especializadas DINET y AMERICAN, con los modelos VOLVO FMX y MERCEDES BENZ de 35 toneladas de capacidad. De los camiones asignados a operar en nuestra área de estudio, solo se escogió uno por tajeo en el cual se les montó el equipo de medición para poder realizar el seguimiento de los ciclos de transporte.

Los Beacons, sensores de proximidad mostrados en la **figura 41**, fueron ubicados estratégicamente en diversos puntos para la emisión de sus señales. La emisión de intensidad de señal de onda (alto, medio, bajo) se configuró en función a su ubicación. Por ejemplo, no sería igual tener una intensidad en la cancha +100 en superficie que en la Cámara 1. Además, fueron designados por función, se establecieron dos tipos tanto estáticos como dinámicos para que con ayuda de los triggers se automatice la toma de datos y posteriormente obtener los ciclos descritos en la **tabla 26**.

Tabla 26. Distribución de Beacons en Interior Mina. Fuente del Autor.

Beacon	Zona	Función	Ubicación	Estado
1	Parrilla 1	Zona de Descarga Mineral	Interior Mina. Chancadora Primaria	Estático
2	Parrilla 2	Zona de Descarga Mineral	Interior Mina. Chancadora Primaria	Estático
3	Cancha +100	Zona de Descarga Mineral	Superficie. 1.5 km de BM 1820	Estático

4	Faja 4	Zona de Descarga Mineral	Superficie. 2.5 km de BM 1820	Estático
5	Botadero -100	Zona de Descarga Desmante	Superficie. 2 km de BM 1820	Estático
6	Bocamina Entrada	Punto de Entrada de Camiones	Nivel 1820	Estático
7	Bocamina Salida	Punto de Salida de Camiones	Nivel 1830	Estático
8	Cámara 1	Zona de Carguío de Camiones	110 metros del Tajeo 023	Estático
9	Cámara 2	Zona de Carguío de Camiones	50 metros del Tajeo 008	Estático
10	Tajeo 023	Punto de carga	Nivel 1680	Dinámico
11	Tajeo 008	Punto de carga	Nivel 1650	Dinámico



5. RESULTADOS Y ANÁLISIS.

A continuación se presentan los resultados obtenidos durante las mediciones en promedio para los dos diferentes tajeos en estudio Tajeo 023 y 008. Para ello se definen las cargas efectivas estándares para cada cargador de bajo perfil como se muestra en la **tabla 27**. Los valores en la tabla 27 como son capacidad de cuchara, eficiencia del operador, densidad del material y esponjamiento son valores con los que trabajan interior mina brindados por el área de operaciones obtenidos mediante el pasaje de una balanza de la marca Loadrite.

Tabla 27. Cálculo de la carga efectiva. Fuente del Autor.

	Capacidad Cuchara (yd ³)	Eficiencia Operador	Densidad del Mineral (ton/m ³)	Esponjamiento (%)	Carga Efectiva (Ton)	Carga Máxima (Ton)
LH621	10.5	0.85	3.9	40	19.204	21
R3000H	10.9	0.85	3.9	40	19.935	20
R2900G	9.4	0.85	3.9	40	17.192	17.2

Para el Tajeo 023 se obtuvieron los siguientes resultados de producción de tonelaje de mineral por hora, este resultado se obtiene de multiplicar los ciclos contabilizados por el sistema y las capacidades efectivas para cada cargador de bajo perfil como lo mostrado en la **tabla 28**

Tabla 28. Producción Promedio de Tonelaje de Mineral por hora efectiva de operación en el Taio 023. Fuente del Autor.

Hora/Equipo	SANDVIK LH621 10.5yd ³	CAT R3000H 10.9yd ³	CAT R2900G 9.4yd ³
8:00 a. m.	193	140	103
9:00 a. m.	308	287	224
10:00 a. m.	250	260	259
11:00 a. m.	231	213	216
12:00 p. m.	0	0	0
1:00 p. m.	289	230	198
2:00 p. m.	328	270	259
3:00 p. m.	250	300	198
4:00 p. m.	212	260	190

Tajo 023 NV.1680 - Cámara de Carguío (110m)

Para el Tajeo 008 se obtuvieron los siguientes resultados según las gráficas de rendimiento de la **figura 49** y **tabla 29** para cada equipo de bajo perfil en determinadas horas de su guardia de trabajo.

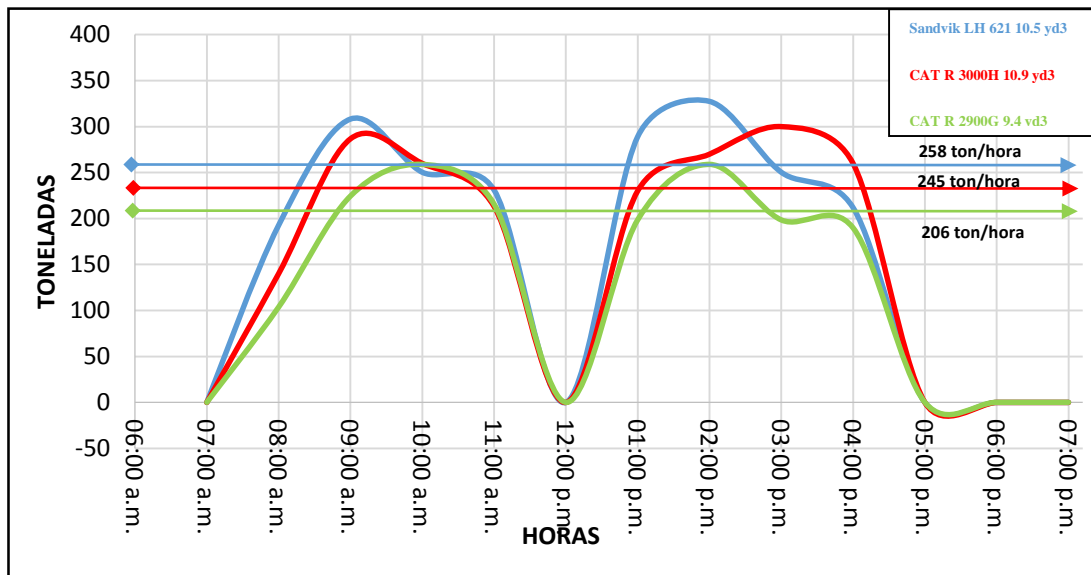


Figura 49. Producción por Hora del Tajo 023 NV 1680. Fuente del autor.

Tabla 29. Producción Promedio de Tonelaje de Mineral por hora efectiva de operación en el Tajo 008. Fuente del Autor.

Hora/Equipo	SANDVIK 10.5	CAT 10.9	CAT 9.4
8:00:00 a. m.	116	170	137.6
9:00:00 a. m.	385	300	223.6
10:00:00 a. m.	366	300	275.2
11:00:00 a. m.	328	320	275.2
12:00:00 p. m.	0	0	0
1:00:00 p. m.	231	240	223.6
2:00:00 p. m.	270	380	292.4
3:00:00 p. m.	328	360	275.2
4:00:00 p. m.	193	300	206.4

Tajeo 008 NV.1650 - Cámara de Carguío (60 m)

La **figura 50** muestra el rendimiento de los equipos de bajo perfil para diferentes horas de la guardia. En la leyenda se detalla cada uno.

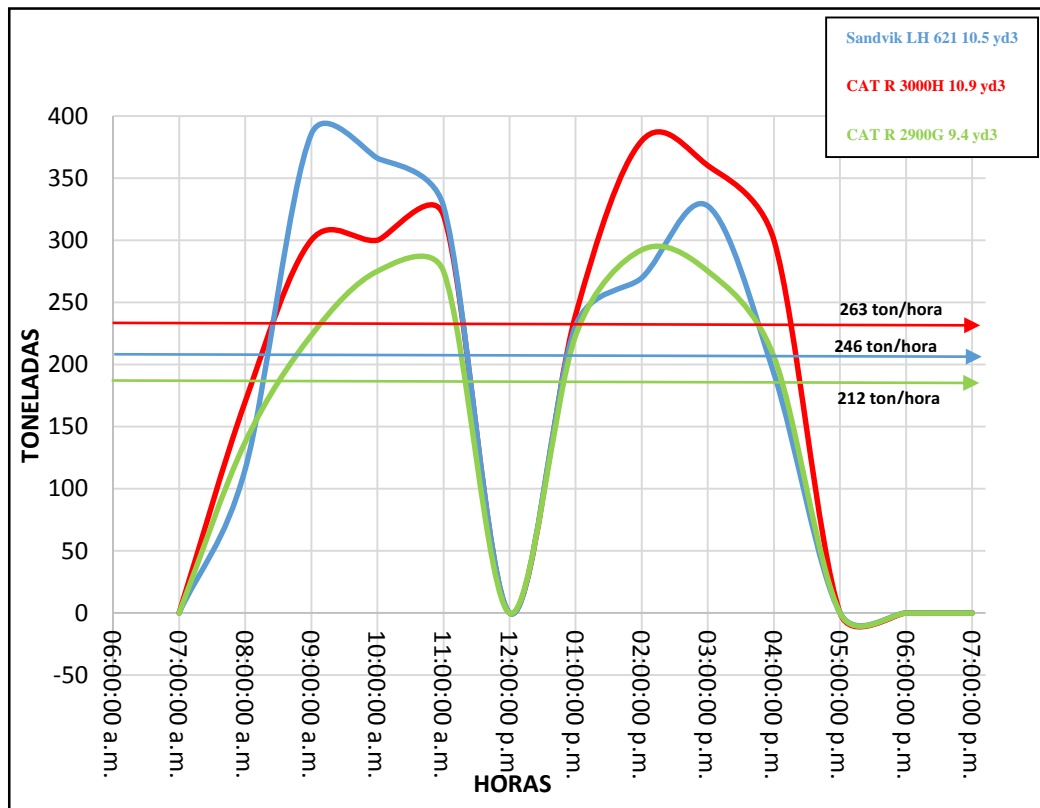


Figura 50. Producción por Hora del Tajo 008 NV 1680. Fuente del autor.



5.1 Resultados de Tiempos de Ciclo de Carguío vs Distancia

Para cada ciclo contabilizado por el sistema en las tablas dinámicas mediante cubos OLAP también se obtiene el tiempo de cada ciclo por lo que podemos construir una gráfica de tiempo vs distancias y proyectarla. Se observa en la **figura 51** que las rectas se intersectan en 90 metros, sin embargo en distancias menores los equipos CAT realizan un ciclo en menor tiempo y al equipo Sandvik le toma mayor tiempo en cumplir un ciclo. Por otro lado en distancias mayores pasa lo contrario. Este fenómeno se explicará más adelante.

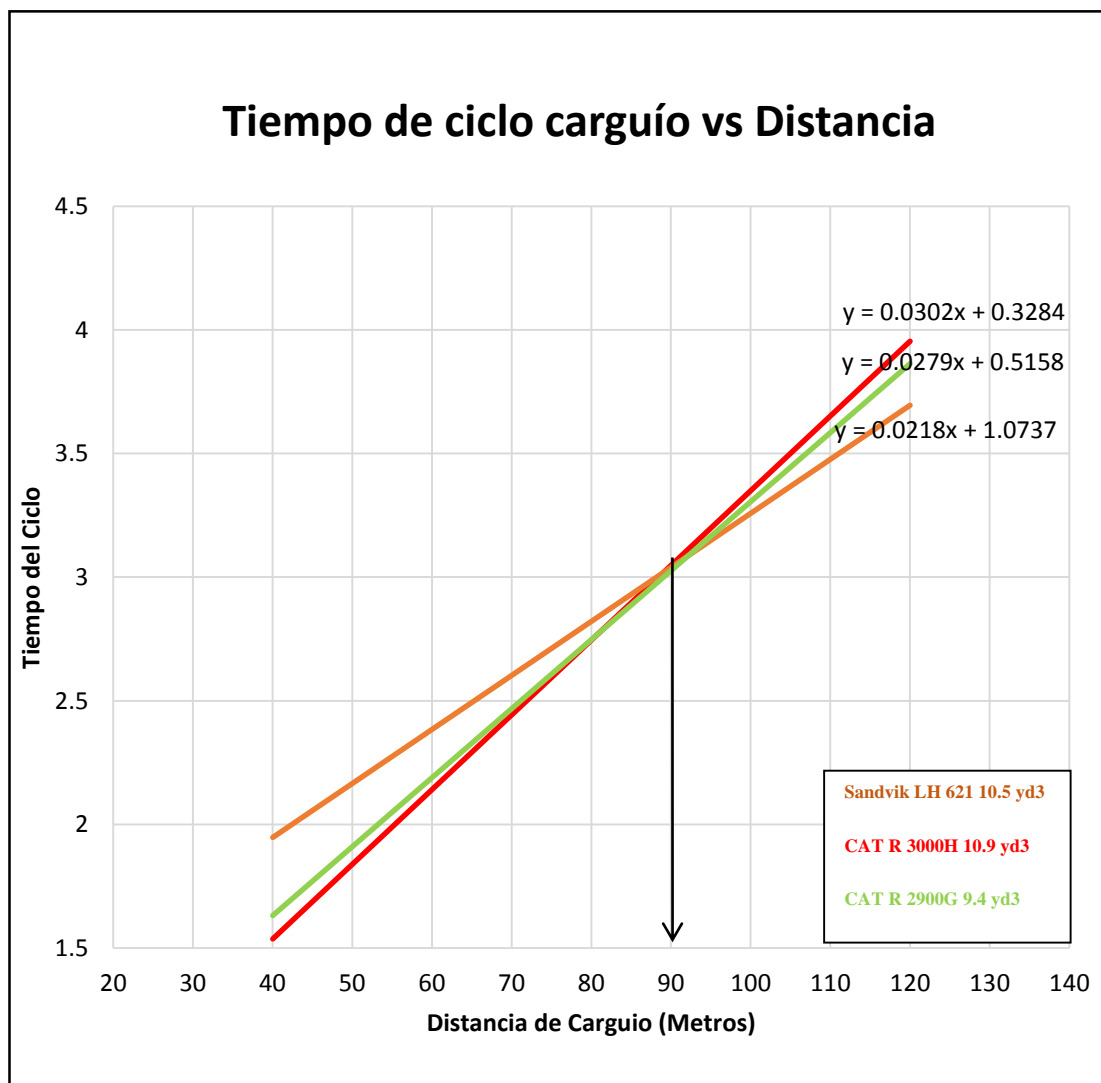


Figura 51. Tiempo de ciclo carguío vs Distancia. Fuente del autor.

5.2 Análisis de Tiempos de Ciclo de Transporte vs Distancia

Para el caso del análisis de tiempos de transporte se tomó como referencia los reportes físicos diarios de las empresas especializadas en la guardia B, elaborando una tabla práctica donde se estableció los tiempos promedio para cada nivel de la mina y además se realizó un control en campo con los dispositivos. Los resultados que se obtuvieron del sistema para el transporte fueron los tiempos de un solo camión por tajeo lo que no es referencial, sin embargo para nuestro estudio sirvió para poder probar los triggers, **figura 39**, poder rastrear a los camiones tanto interior mina como en superficie con la ayuda de los beacons, **figura 41**, y además identificar los cuellos de botella en los retrasos. La figura 52 muestra el tiempo de ciclo de transporte y la distancia en KM.

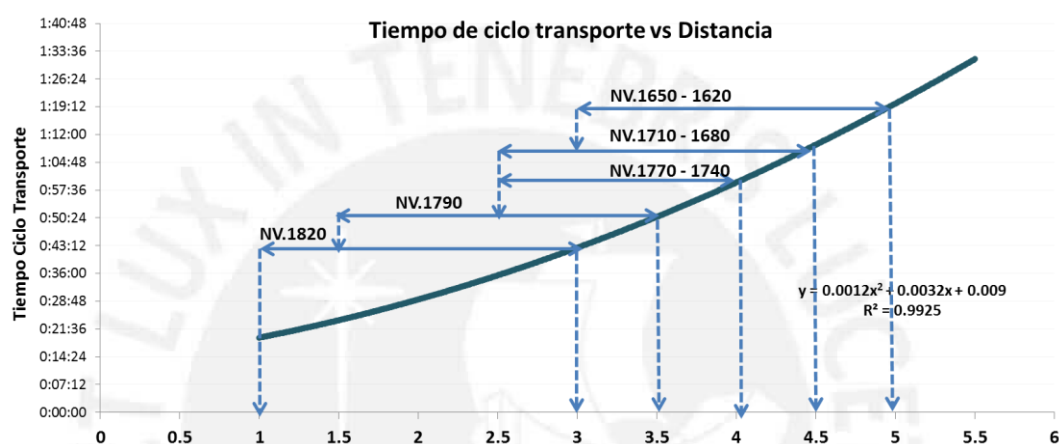


Figura 52. Tiempo de ciclo transporte vs Distancia en KM. Fuente del autor.

5.3 ANÁLISIS DE PRODUCTIVIDAD

5.3.1 PRODUCTIVIDAD

La productividad es el concepto donde se optimizan los recursos para obtener un mayor beneficio por lo que en nuestro caso se aplica en la reducción de costos por tonelada de material mejorando la gestión de los equipos mediante una mejor planificación y control de los activos reduciendo retrasos, optimizando diseños de labores, entre otras alternativa.

$$\frac{\$}{Tn} = \frac{\$/Hr}{Tn/Hr} = \frac{\text{Costo Horario}}{\text{Productividad}} = \frac{\text{Costo Horario}}{\text{Productividad}}$$

- Espera Scoop (Combustible)
- Vías (Neumático)
- Componentes (ejes, transmisión, motores, bombas, etc.)

- Espera Scoop (Rendimiento tn/hr)
- Diseño de cámaras (tiempo maniobra)
- Señalización de las cámaras de carguío
- Refrigerios prolongados

Los principales factores que influyen en la productividad son:

- ✓ El capital de inversión de una operación determina el nivel de tecnología que se utilizará y es directamente proporcional con la productividad de la mina.
- ✓ Las propiedades físicas y químicas del material a extraer, como por ejemplo el peso específico y dureza, son características muy importantes debido a que afecta en la operación tanto de minera como de planta.
- ✓ Las condiciones laborales que puedan afectar al medio ambiente, a la salud y a la seguridad del personal pueden tener gran repercusión en la productividad en una operación minera.
- ✓ Las distancias de transporte de mineral es otro factor principal, a mayor distancia se reduce la productividad de la flota de camiones.

5.3.2 ANALISIS OPERATIVO

Para reducir el costo por unidad de tonelaje se requiere aumentar la producción por unidad de tiempo o disminuir el costo horario. En este análisis operativo hallaremos el factor de acoplamiento y rendimiento de flota.

Factor de Acoplamiento Tajeo 023 Nivel 1680 (110 metros)

Para nuestro caso, tenemos para el tajeo 023 el FA es **78%** por lo que se tiene espera de cargadores de bajo perfil a los volquetes como se muestra en la **figura 53** y **Tabla 30**.

FA < 1 cuando hay exceso de cargador la eficiencia del acarreo es 100%

FA > 1 cuando hay exceso de camiones; la eficiencia del transporte es 100%

FA = 1 cuando el acoplamiento es ideal.

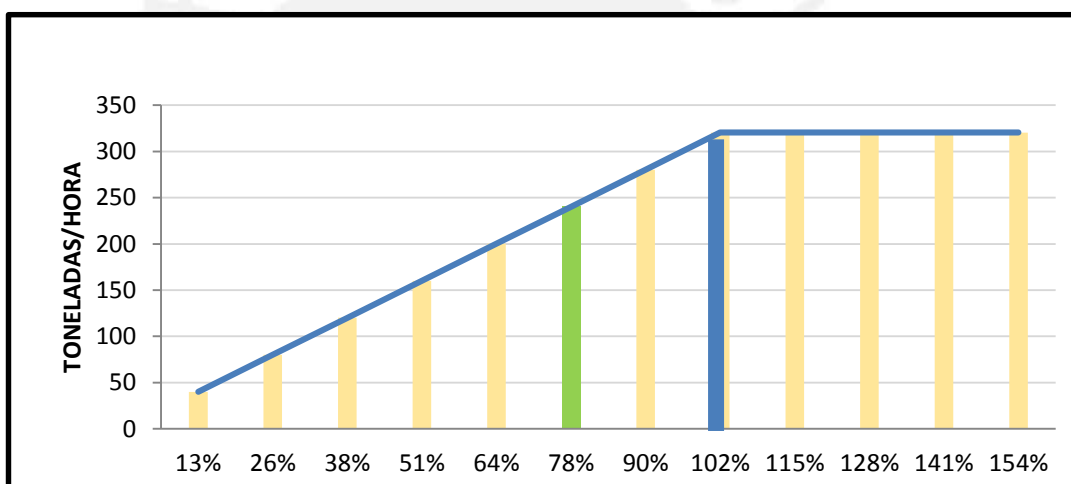


Figura 53. Factor de Acoplamiento del Tajeo 023 Nivel 1680 (110 m). Fuente del autor.

Tabla 30. Cálculo de los Valores de FA para cada número de camiones del tajeo 023. Fuente del autor.

56,21	56,21	56,21	56,21	56,21	56,21	56,21	56,21	56,21	56,21	56,21	56,21	T ciclo camión
3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	3,60	T ciclo carguío
1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	# Camiones
13%	26%	38%	51%	64%	78%	90%	102%	115%	128%	141%	154%	Eficiencia
40,05	80,10	120,15	160,20	200,25	240,30	280,35	320,40	320,40	320,40	320,40	320,40	Ton/hora

Factor de Acoplamiento Tajeo 008 Nivel 1650 (60 metros)

Para nuestro caso, tenemos para el tajeo 008 el FA es **55%** por lo que se tiene espera de cargadores de bajo perfil a los volquetes como se muestra en la **figura 54** y **Tabla 31**.

FA < 1 cuando hay exceso de cargador; la eficiencia del acarreo es 100%

FA > 1 cuando hay exceso de camiones; la eficiencia del transporte es 100%

FA = 1 cuando el acoplamiento es ideal.

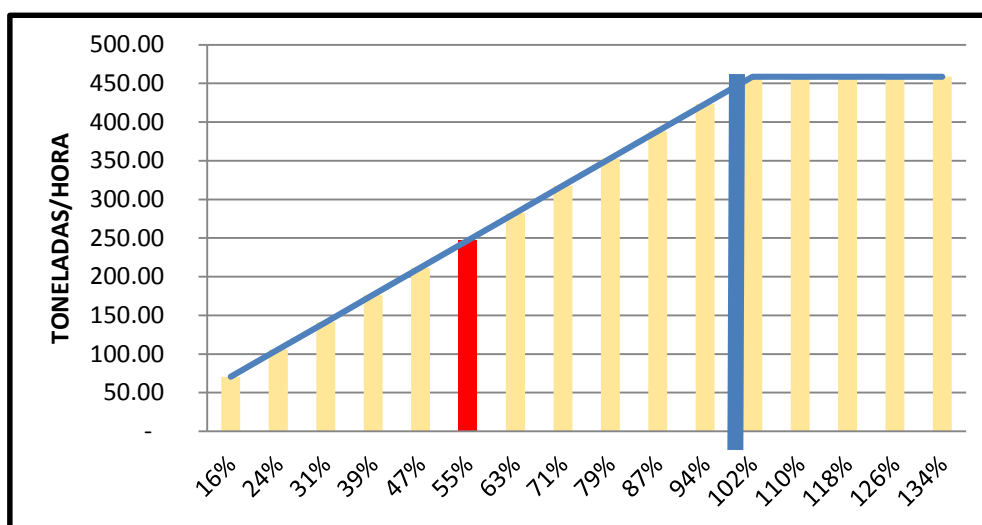


Figura 54. Factor de Acoplamiento del Tajeo 008 Nivel 1650 (60 m). Fuente del autor.

Tabla 31. Cálculo de los Valores de FA para cada número de camiones del tajeo 008.

60.21	60.21	60.21	60.21	60.21	60.21	60.21	60.21	60.21	60.21	60.21	60.21	T ciclo camión
2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	T ciclo carguío
2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	Nº Camiones
16%	24%	31%	39%	47%	55%	63%	71%	79%	87%	94%	102%	Eficiencia
70.59	105.89	141.18	176.48	211.77	247.07	282.36	317.66	352.95	388.25	423.55	458.84	Ton/hora

5.3.2.1 Factor de Utilización Operativo Real (%)

Con la aplicación de este sistema se introdujo un nuevo concepto que es el factor de utilización real del equipo, como se muestra en las **figuras 55 y 56 y Tablas 32 y 33**, que consiste en identificar las horas perdidas de manera automatizada, sin embargo no es posible obtenerlas al detalle sin un ingreso manual del operador de la información pero es de gran utilidad.

Sabemos que existen otros trabajos que realiza el cargador que pueden ser considerados como horas operativas, para esta definición solo vamos a tomar en cuenta la explotación de material de tajeos en camiones. Para este ejemplo se considera la operación del CAT R3000H.

Se tiene para el tajeo 023 del nivel 1680 con las siguientes condiciones operativas durante una guardia para el CAT R3000H.

Tabla 32. % Factor de Utilización Operativo Real del Tajo 023. Fuente del autor.

Tiempo de Carguío	3:16 minutos
Distancia de carguío	110 metros
Tiempo de Transporte	0:56:10 horas
# Volquetes	6
Producción	240 ton/h
F.A	78%
% Utilizacion Operativa Real	74%

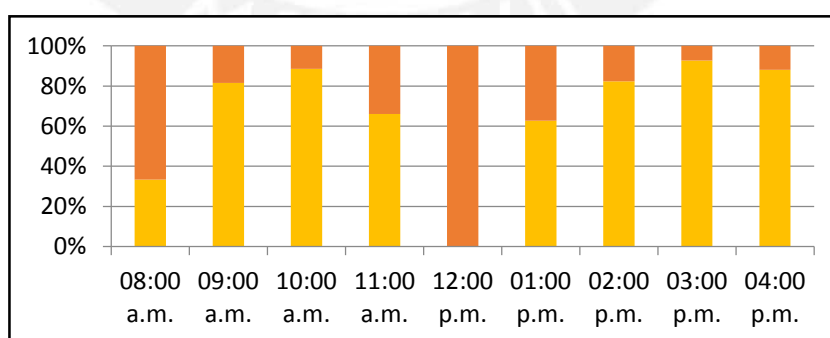


Figura 55. Distribución de Utilización Durante la Guardia del Tajo 023. Fuente del autor.

Se tiene para el tajeo 008 del nivel 1650 con las siguientes características operativas durante toda una guardia para el CAT R3000H:

Tabla 33. % Factor de Utilización Operativo Real. Del Tajo 008 Fuente del autor.

Tiempo de Carguío	2:37 minutos
Distancia de carguío	60 metros
Tiempo de Transporte	1:00:12 horas
# Volquetes	7
Producción	250 ton/h
F.A	55%
% Utilizacion Operativa Real	50%

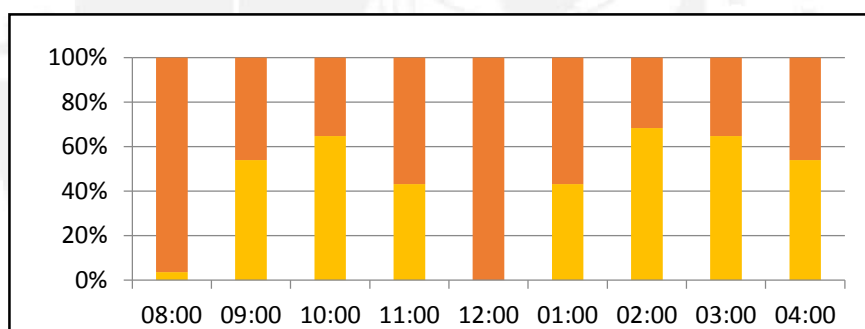


Figura 56. Distribución de Utilización Durante la Guardia del Tajo 008. Fuente del autor.

5.3.3 ANÁLISIS ECONÓMICO

5.3.3.1 Cálculo del Costo horario:

Parámetros para el cálculo del costo impuestos por políticas de la Empresa y por contrato con los proveedores. La tabla 34 muestra los parámetros económicos

Tabla 34. Parámetros económicos. Fuente del autor.

	LH621	R3000H	R2900G
Vida económica (años)	3.00	3.00	3.00
Horas de operación por año (horas/año)	5 000.00	5 000.00	5 000.00
Vida económica (horas)	15 000.00	15 000.00	15 000.00

Precio de Adquisición y Valor Residual.

Valor Total (\$)	1,140 000	1,300 000	1,255 000
Precio de Neumaticos x Juego (\$)	46 000	46 000	46 000
Valor menos Neumaticos (\$)	1, 094 000	1, 254 000	1, 209 000
Valor Residual 15% (\$)	164 100	188 100	181 350
Valor Neto de Trabajo (\$)	975 900	1, 111 900	1, 073 650

Parámetros para el cálculo:

N= Vida económica (años)

Tasa de Interés Anual (i)= 10%

$$\text{Depreciación} = \frac{\text{Valor adquisición} - \text{Valor de rescate}}{\text{Vida económica en años} \times \frac{(N+1)}{2N}}$$

Factor K =

$$\text{Costo Financiero} = K * \text{Valor Total} * i$$

$$\text{Costo Seguros o Impuestos} = K * \text{Valor Total} * \text{Tasa de Seguros o Impuestos}$$

La tabla 35 muestra el cálculo del costo de posesión.

Tabla 35. Cálculo del Costo de Posesión. Fuente del autor.

	LH621	R3000H	R2900G
Depreciacion (\$/h)	65.06	74.13	71.58
Costo Financiero (\$/h)	15.20	17.33	16.73
Costo del Seguro (\$/h)	1.52	1.73	1.67
Costo de Impuestos (\$/h)	1.52	1.73	1.67
Costo de Posesion (\$/h)	83.30	94.93	91.66

5.3.3.2 Cálculo del Costo Operativo

Precio Galon (\$/gal)= 2.42

Gal/hora

R2900G= 8.48

R3000H= 7.72

LH621= 8.21

Precio Llantas x Juego (\$) 46000

Vida económica (horas) 3500

La tabla 36 muestra los parámetros económicos para calcular el costo operativo

Tabla 36. Parámetros económicos para el Cálculo del Costo Operativo. Fuente del autor.

	LH621				
	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
Costo Horario de Mantenimiento & Reparación	\$ 26.27	\$ 18.82	\$ 46.52	\$ 39.68	\$ 20.74
Costo de Llantas & Combustible	\$ 33.01	\$ 33.01	\$ 33.01	\$ 33.01	\$ 33.01
Costo Operativo	\$ 59.28	\$ 51.83	\$ 79.53	\$ 72.69	\$ 53.75
	R3000H				
	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
Costo Horario de Mantenimiento & Reparación	\$ 27.97	\$ 28.07	\$ 32.78	\$ 27.98	\$ 31.38
Costo de Llantas & Combustible	\$ 31.82	\$ 31.82	\$ 31.82	\$ 31.82	\$ 31.82
Costo Operativo	\$ 59.79	\$ 59.89	\$ 64.60	\$ 59.80	\$ 63.20
	R2900G				
	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
Costo Horario de Mantenimiento & Reparación	\$ 34.75	\$ 31.89	\$ 32.79	\$ 30.79	\$ 39.23
Costo de Llantas & Combustible	\$ 33.66	\$ 33.66	\$ 33.66	\$ 33.66	\$ 33.66
Costo Operativo	\$ 68.41	\$ 65.55	\$ 66.45	\$ 64.45	\$ 72.89

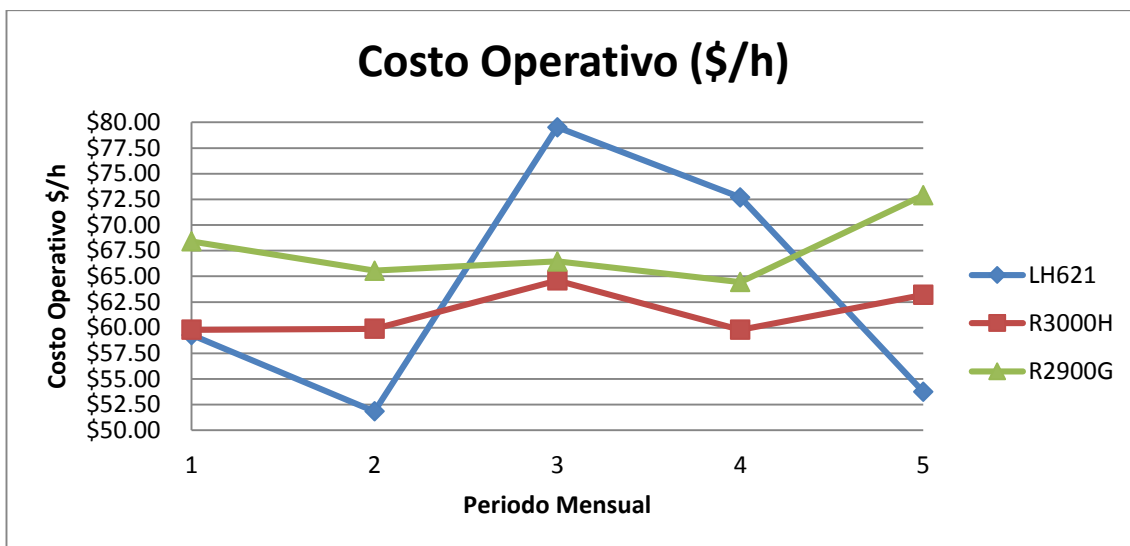


Figura 57. Costo operativo por Máquina. Fuente del autor.

Tabla 37. Costo Total. Fuente del autor.

	LH621	R3000H	R2900G
Costo de Combustible (\$/h)	19.86	18.68	20.52
Costo de Llantas (\$/h)	13.14	13.14	13.14
Costo de Mantenimiento (\$/h)	30.41	29.64	33.89
Costo Operativo (\$/h)	63.41	61.46	67.55
Costo Total (\$/h)	146.71	156.38	159.21

La figura 57 muestra el resultado de los costos operativos para cada equipo de bajo perfil. En las tablas 36 y 37 se muestra el detalle de los resultados de los costos operativos.

5.3.3.3 Rendimiento carguío (ton/hora) vs Distancia (KM) de carguío vs Costo (\$/t)

De acuerdo a los costos totales de los cargadores de bajo perfil sobre el rendimiento obtenemos el costo por tonelada, en la siguiente representación gráfica intersectamos la gráfica de rendimiento vs distancia con la de costo vs Distancia donde se ve reflejado la mejor productividad de los equipos los cuales son comparados entre sí. Como se muestra en la **figura 58**.

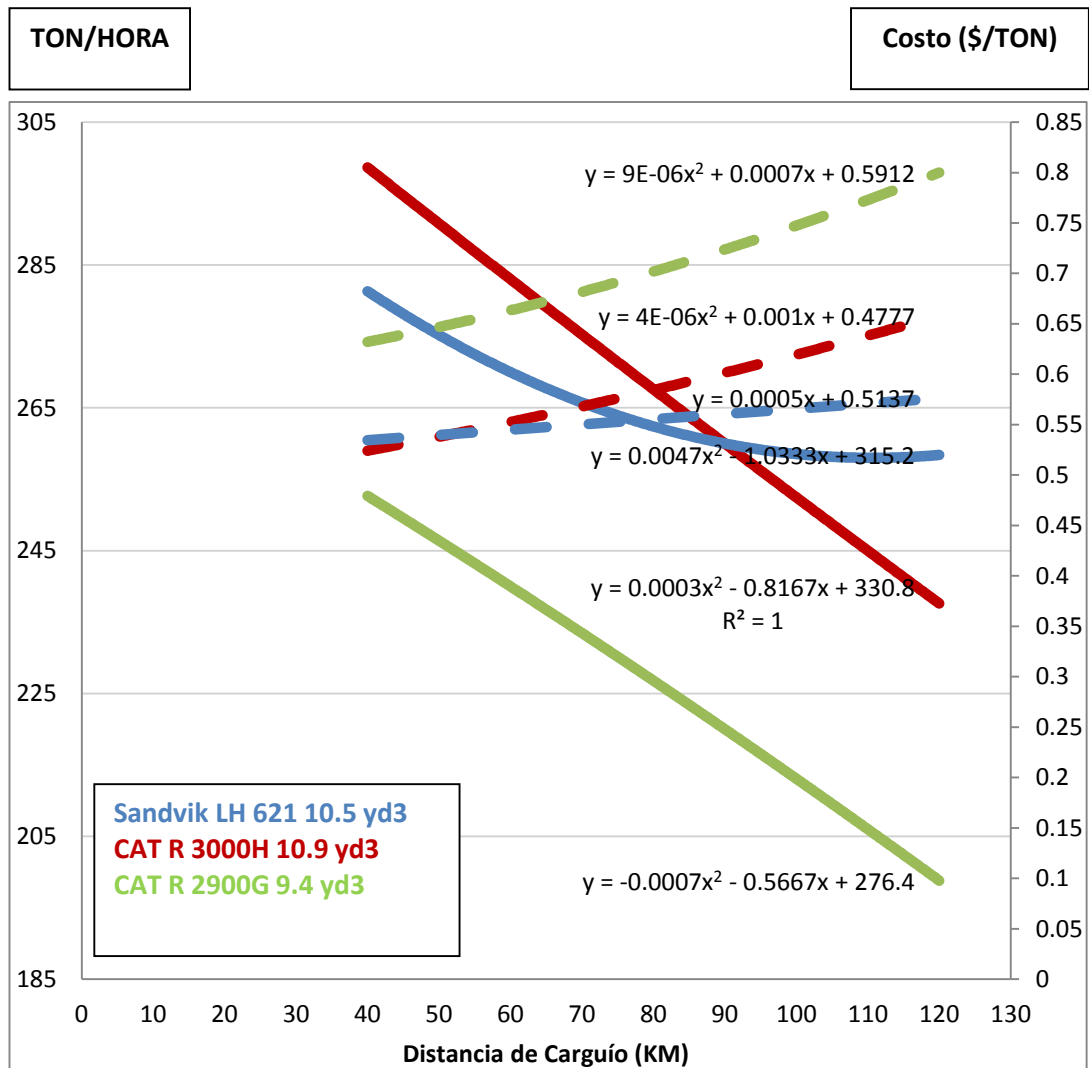


Figura 58. Rendimiento del carguío vs la distancia y el costo. Fuente del autor.

4.4.3.3 Rendimiento transporte (ton/hora) vs Distancia (KM) vs Costo (\$/t)

Adicionalmente se realizó el estudio de rendimiento de la flota de transporte de mineral para las capacidades de 35 y 50 toneladas, durante la elaboración de esta investigación se realizaron paralelamente pruebas, observando que a partir de 2 km el costo por tonelada extraída es menor. Como se muestra en la **figura 59**.

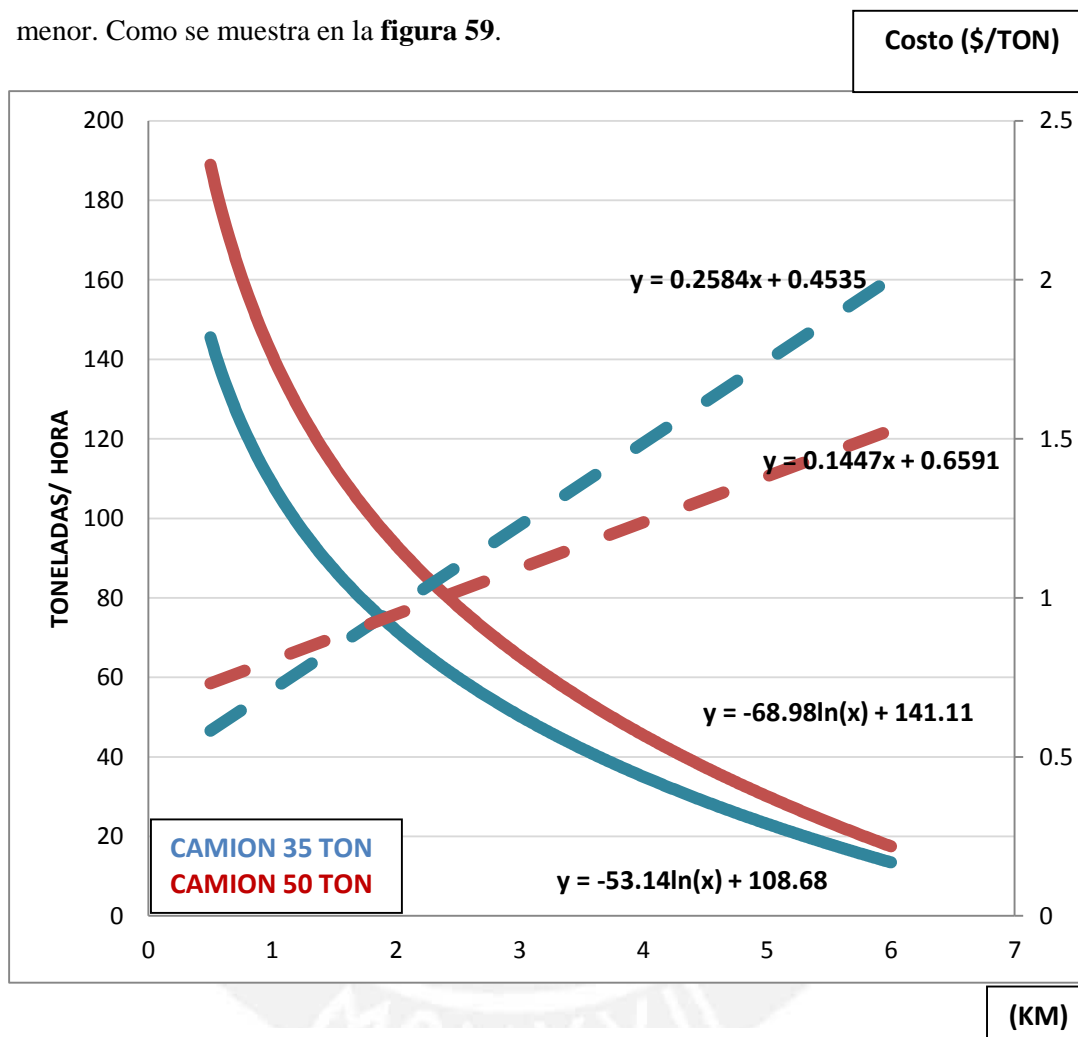


Figura 59. Rendimiento del transporte vs la distancia y el costo. Fuente del autor.

ACOTACIONES

- Una vez evaluado el sistema para en su primera fase, resulta de eficiente en para la recolección de datos y posterior análisis
- Como toda tecnología este sistema presenta sus limitaciones en cuanto a antecedente por ser un primer intento en Sudamérica.
- Es importante recordar que solo se evaluó en tres equipos por lo cual el estudio tiene limitaciones en cuanto a una base de datos sólida.

- El resultado de las curvas de la figura 59 fue de arduo trabajo al ordenar y digitalizar miles de datos que se tenían solamente en documentos físicos lo que nos permite tener un acercamiento real y de valía para la unidad minera Cerro Lindo.
- La aplicación FARA y toda la empresa MISOM, en la actualidad (12/2017) fue adquirida por la multinacional Mine Site, Technologies (MST) lo que nos permite deducir la eficiencia, eficacia e innovación de todo este sistema.
- Este primer intento en Perú deja huella para futuras generaciones que guarden interés en realizar proyectos de la mano con la operación mina, soporte extranjero y la academia.

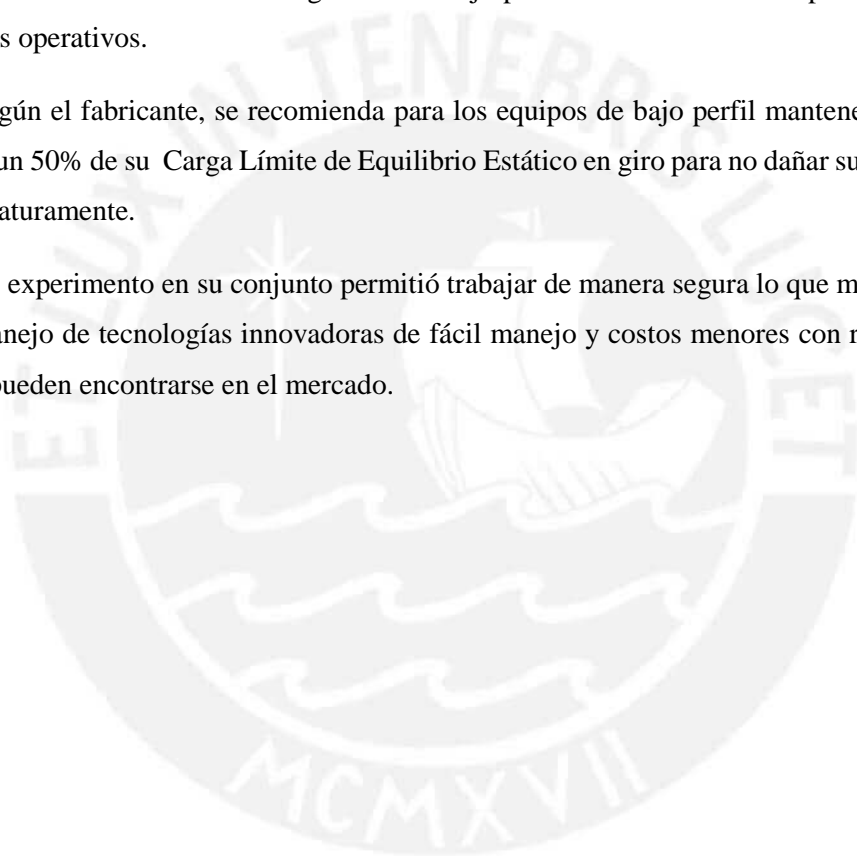


CONCLUSIONES

1. El sistema FARA ha sido de gran utilidad para la automatización de la toma de datos, rastreo de equipos y manejo de personal donde se provee información para su gestión en semi tiempo real.
2. Al saber la situación de la mina se pudo establecer una línea base, como se muestra en la **figura 20 y 21**, la cual permitió conocer los valores cuantitativos de la operación para así llevar un control en cada etapa a lo largo del proyecto, además de poder dar un alcance para realizar las pruebas piloto de una manera efectiva.
3. El uso de los equipos de carguío 11yd³ para producción, en relación a sus costos y capacidad, son más rentables comparados con los de 9.4yd³ en las mismas condiciones debido a su costo operativo, sin embargo aún se debe monitorear los costos a lo largo de su vida útil para poder dar una conclusión más real. Se recomienda utilizar los modelos CAT para tareas que impliquen distancias cortas y Sandvik para distancias mayores por su mejor desempeño y costo.
4. Se realizó un estudio entre los tiempos vs los costos de volquetes de 35 y 50 ton, debido a una prueba de estos durante la etapa de recolección de datos, obteniendo mayor productividad a partir de 2 km para los camiones de 50 ton, por lo que en promedio en la mina un camión se desplaza aproximadamente 4 km, lo que sería realmente ventajoso.
5. Teniendo en cuenta la adecuada distribución de equipos de carguío, la reducción de tiempos improductivos en la operación y la implementación de circuitos en el transporte, podremos tener un impacto positivo en la reducción del costo operativo.
7. La experiencia de este trabajo de tesis a nivel piloto fase 1 fue enriquecedora debido a las habilidades adquiridas y ha de servir como un aporte para futuros trabajos de ingeniería, innovación y tecnología.

RECOMENDACIONES

1. Para tener resultados en tiempo real es recomendable continuar con la fase 2, que consta de establecer puntos de red WiFi en interior mina para aumentar la transferencia de datos hacia la nube en tiempo real.
2. Con las curvas de tendencia de tiempos, para diversos escenarios, se mejorará el factor de acoplamiento de la operación en conjunto, calculando el número óptimo de camiones considerando los recursos disponibles. En base a nuestro análisis tanto operativo como económico obtuvimos que a mayor distancia se tiene mayor costo dando 90 metros como distancia máxima para el carguío, debido al aumento casi exponencial del costo, para con ello aumentar la vida útil de los cargadores de bajo perfil. De esta manera se podrá controlar los costos operativos.
3. Según el fabricante, se recomienda para los equipos de bajo perfil mantener su operación bajo un 50% de su Carga Límite de Equilibrio Estático en giro para no dañar sus componentes prematuramente.
4. El experimento en su conjunto permitió trabajar de manera segura lo que motiva el alentar el manejo de tecnologías innovadoras de fácil manejo y costos menores con relación a otros que pueden encontrarse en el mercado.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. www.ibm.com/blogs/internetofthings/miningindustrybenefits, consultado 25/06/2017
2. M. Lavado(2015). Informe Geológico Proyecto Cerro Lindo.
3. I. Cáceres (2015). *Informe Área Geomecánica UM Cerro Lindo*.
4. M. Rojas (2015). Área Perforación y Voladura.
5. H.Bernaola (2015). Reporte de Productividad Mina.
6. S. Dessureault (2016). *MISOM TECHNOLOGIES*
7. Bieniawski (1979). *Clasificación del macizo rocoso*.
8. Barton (1974). *Clasificación del macizo rocoso para el diseño en tunelería*
9. Caterpillar, (2000), Caterpillar Performance Handbook Edition 30 Publication by Caterpillar Inc. Illinois USA.30 -17p
10. Delgado Vega José, (2008), Planificación de minas Subterránea y de superficie, Universidad de Antofagasta- Chile.
11. Roberto Hernández Sampieri, 2001 Metodología de Investigación. Quinta edición Nava A., José Domingo.
12. Vidal Loli Manuel A. (2010), Estudio del cálculo de flota de camiones para una operación minera a cielo abierto, Tesis PUCP.
13. B. Zoila L. (2011). Gestión del transporte y acarreo para el incremento de la productividad. Tesis PUCP.
14. SME (2011) .Mining Engineering Handbook .3rd Edition. Society for Mining, Metallurgy and Exploration