

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA



**ANALISIS DE LA IMPLEMENTACION DE LA TRANSICION DE EQUIPOS DE
TRANSPORTE “DUMPER A VOLQUETE” EN UNA MINA SUBTERRANEA**

Trabajo de investigación para la obtención del grado académico de BACHILLER EN
CIENCIAS CON MENCION EN INGENIERIA DE MINAS

AUTOR

Enzo Fabrizio, Leon Flores

ASESOR

Luis Mendieta Britto

Noviembre,2019

RESUMEN

Las empresas mineras buscan crear valor para los accionistas de la empresa a través de la mejora continua al implementar proyectos, realizar exploraciones y reduciendo sus costos para situarse en una ventaja competitiva frente a otras empresas. Dentro de las acciones a realizar para poder generar valor en la empresa se encuentra la optimización de los procesos operativos, implementación de tecnología y la gestión de los recursos.

Los procesos operativos en común de las operaciones de tajo abierto y operaciones subterráneas son las de perforación, voladura, carguío y acarreo. En específico, los costos de carguío y acarreo representan el porcentaje mayor en los costos operativos anuales de las unidades mineras y esto se debe a la cantidad de mineral que se extrae anualmente y al rendimiento del sistema de transporte de cada mina. Los sistemas de transporte de mineral cumplen un rol importante desde el punto de vista operativo pues es el encargado de que el mineral explotado sea llevado hasta la planta procesadora y que se cumpla el tonelaje diario transportado de mineral; además, desde el punto de vista económico el hecho de reducir los costos en el transporte de mineral representara una utilidad mayor anual que se reflejara en el flujo de caja de la empresa. Comparar y elegir qué tipo de sistema de transporte seria el adecuado para cada empresa dependerá de las características propias de la mina debido a las condiciones distintas que se tengan y a las restricciones específicas.

Esta tesis compara dos sistemas de transporte de mineral dumper y volquete en una mina subterránea bajo las mismas condiciones para tres rutas de transporte distintas. Asimismo, se compara los costos y rendimiento de cada uno de los sistemas de extracción considerando los factores operativos que influyen en el rendimiento.

INDICE

| | | |
|----------|--|----|
| 1. | INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1. | JUSTIFICACIÓN DEL TEMA..... | 1 |
| 1.2. | ANTECEDENTES..... | 2 |
| 1.3. | ALCANCES..... | 8 |
| 1.4. | OBJETIVOS..... | 8 |
| 1.5. | HIPÓTESIS..... | 9 |
| 1.6. | PLAN DE TRABAJO..... | 9 |
| 2. | MARCO TEÓRICO..... | 10 |
| 2.1. | TIPOS DE TRANSPORTE..... | 10 |
| 2.1.1. | TRANSPORTE EN MINERÍA SUBTERRÁNEA..... | 10 |
| 2.1.1.1. | TRANSPORTE EN LOCOMOTORAS..... | 10 |
| 2.1.1.2. | TRANSPORTE EN CAMIONES MINEROS SUBTERRÁNEOS..... | 12 |
| 2.1.1.3. | TRANSPORTE CON VOLQUETES..... | 13 |
| 2.1.1.4. | TRANSPORTE CON PIQUES..... | 13 |
| 2.1.2. | TRANSPORTE EN MINERÍA SUPERFICIAL..... | 13 |
| 2.2. | CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS DE TRANSPORTE SUBTERRÁNEO..... | 14 |
| 2.2.1. | CAMIONES MINEROS SUBTERRÁNEOS..... | 14 |
| 2.2.2. | VOLQUETE..... | 17 |
| 2.2.2.1. | VOLQUETE FMX 6x4 VOLVO..... | 17 |
| 3. | DESARROLLO DE LA TESIS..... | 19 |
| 3.1. | DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD MINERA..... | 19 |
| 3.1.1. | UBICACIÓN GEOGRÁFICA..... | 19 |
| 3.1.2. | GEOGRAFÍA..... | 19 |
| 3.1.3. | ACCESOS..... | 19 |
| 3.1.4. | DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO..... | 20 |
| 4. | PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL..... | 20 |
| 4.1. | ESTUDIO INICIAL DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE LA MINA SUBTERRÁNEA..... | |

| | | |
|------|--|----|
| 4.2. | RECOPILACIÓN DE LA INFORMACIÓN | 22 |
| 4.3. | VARIABLES DE ANÁLISIS EN LA RECOLECCION DE LA INFORMACIÓN..... | 25 |
| 4.4. | PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN | 28 |
| 4.5. | ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS..... | 34 |
| 4.6. | DISEÑO DE UNA PROPUESTA DE GESTIÓN DE VOLQUETES DENTRO DE LA MINA 40 | |
| 5. | CONCLUSIONES | 49 |
| 6. | RECOMENDACIONES | 50 |
| 7. | BIBLIOGRAFÍA..... | 51 |



LISTA DE TABLAS

Tabla 2.2.2.1.1: Comparativo de características de equipos de transporte Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.2.2.1.2: Especificaciones de carga del volquete. Fuente. Elaboración propia

Tabla 4.2.1: Formato detallado donde se han registrado los tiempos de los equipos de transporte en mineral. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2.2: Formato detallado donde se han registrado los tiempos de los equipos de transporte en desmote. Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.2.3: Formato final para el procesamiento de datos de los equipos de transporte de desmote. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2.4: Formato final para el procesamiento de datos de los equipos de transporte de mineral. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.3.1: Formato de ingreso de datos. Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.3.2: Formato de ingreso de datos. Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.3.3: Formato de ingreso de datos. Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.4.1: En la siguiente tabla se resumen los rendimientos de los equipos de transporte durante toda la guardia de operación. Asimismo, se muestran los rendimientos de cada equipo según labor de extracción en cada día. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.4.2: Rendimiento promedio de los equipos de transporte

Tabla 4.5.1: Comparación económica para dumper y volquete. Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.5.2: Costos de capital para la implementación de volquete. Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.6.1: Cronograma de cada guardia considerado en el simulador. Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.6.2: Caso 1 considerado en el simulador. Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.6.3: Caso 2 considerado en el simulador. Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.6.4: Caso 3 considerado en el simulador. Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.6.5: Caso 4 considerado en el simulador. Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.6.6: Caso 5 considerado en el simulador. Fuente: Elaboración propia

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1.1.1: Componentes del sistema de transporte por locomotora

Figura 2.1.1.2 : Representación del carguío en el sistema de locomotora. Fuente: Elaboración propia

Figura 2.1.1.3 : Sistema de chute en vagones. Fuente: Elaboración propia

Figura 2.2.1.1: Cabina del camión minero subterráneo MT2010. Fuente: Epiroc 2019

Figura 2.2.1.2: Radio de curvatura del modelo MT2010. Fuente: Atlas Copco

Figura 2.2.1.3 : Dimensiones del modelo MT2010. Fuente: Atlas Copco

Figura 2.2.1.4 : Radio de curvatura del modelo TH315. Fuente: Sandvik

Figura 2.2.2.1.1: Volquete Volvo modelo FMX 6X4. Fuente: Volvo

Figura 4.4.1: Rendimientos en cada labor de extracción.

Figura 4.4.2: Rendimiento de los equipos de transporte durante el día de operación. Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4.3 : Variación del rendimiento por cada labor. Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.4.4: Rendimiento de volquete en distintos días. Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.4.5: Variables operativas en los equipos dumper y volquete. Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.4.6: Variables operativas de Volquetes. Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.4.7: Variables operativas de Dumper. Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.5.1: Costos anuales de dumper . Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.5.2: Costos anuales del volquete. Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.5.3: Comparación por la metodología del valor presente neto. Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6.1.: Topografía desde el punto de descarga hasta las labores de extracción. Vista planta. Fuente: Proporcionado por la empresa minera

Figura 4.6.2.: Topografía en Haulsim desde el punto de descarga hasta las labores de extracción. Vista planta. Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6.3.: Topografía en Haulsim desde el punto de descarga hasta las labores de extracción. Vista perfil. Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6.3: Estructura de tiempos en porcentaje para el volquete V8H 762. Fuente: Software Haulsim

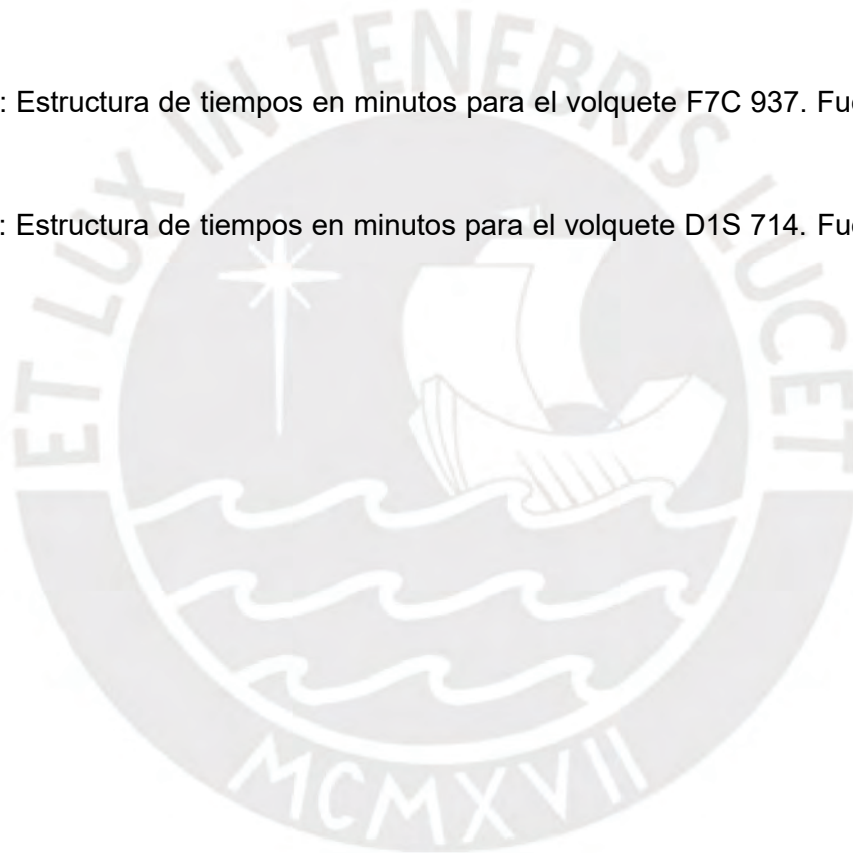
Figura 4.6.4: Estructura de tiempos en porcentaje para el volquete F7C 937. Fuente: Software Haulsim

Figura 4.6.5: Estructura de tiempos en porcentaje para el volquete D1S 714. Fuente: Software Haulsim

Figura 4.6.6: Estructura de tiempos en minutos para el volquete V8H 762. Fuente: Software Haulsim

Figura 4.6.7: Estructura de tiempos en minutos para el volquete F7C 937. Fuente: Software Haulsim

Figura 4.6.7: Estructura de tiempos en minutos para el volquete D1S 714. Fuente: Software Haulsim



1. INTRODUCCIÓN

1.1. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

Las empresas mineras por lo general buscan la mejora continua en los procesos operativos como perforación, voladura, sostenimiento, servicios auxiliares, carguío y acarreo en la unidad minera. Sin embargo, esto se realiza muy pocas veces durante el año pues muchas veces las empresas asumen que los procesos operativos no pueden agregar más valor porque ya fueron optimizados e incluso que ya no es necesario un control de costos y rendimiento de los procesos porque que al implementar dichas mejoras implicaría una inversión. Conocer los costos y rendimientos de las actividades operativas durante la vida de la mina no garantiza que se hayan optimizado estos procesos; en ese sentido, es necesario realizar un control y una implementación de mejora sobre todo en las actividades que representan mayores costos como es el caso del carguío y acarreo en las operaciones mineras subterráneas.

Esta investigación tuvo principalmente dos motivos por la que se eligió. El primer motivo fue por los altos costos de operación en el transporte de mineral y el bajo rendimiento del sistema de transporte de la unidad minera. El segundo motivo fue conocer que factores operativos influyen en el rendimiento de estos equipos de transporte y como se podría mitigar estos factores.

1.2. ANTECEDENTES

Para esta tesis se ha revisado literatura referente a los sistemas de transportes en diferentes minas del Perú, publicaciones científicas y libros.

Por un lado, la gestión de tiempo es importante para poder analizar en qué aspectos los equipos de transporte o de carguío no están trabajando adecuadamente. Por eso se propone una estructura de gestión de tiempos en la mina Chipmo Orcopamapa:

Tiempo total programado (TTP):

Se define como el Tiempo Total al tiempo de horas en el período, es decir 12 horas por guardia y 24 horas por día.

→Tiempo Disponible (TD):

Es el total de horas en que el equipo está disponible para ser usado.

Tiempo de Operaciones (TO) :Es el total de horas en que el equipo tiene un operador asignado y estar operando productivamente o no; se considera el funcionamiento del motor (Horómetro inicial y Horómetro final).

Tiempo Neto de Operación (TNO) Es el total de horas en que el equipo está operando productivamente.

Demora en operación (DO) Es el total de horas en que el equipo tiene un operador asignado, pero no está operando productivamente.

Tiempo en Espera de Operación (TEO) Es el total de horas en que el equipo está disponible para ser usado, pero no está siendo usado.

→Tiempo de Mantenimiento (TM):

Es el total de horas en el que el equipo No está disponible para ser usado; por averías o por paradas programadas.

Mantenimiento Programado (MP) Es el total de horas en que el equipo no está disponible debido a tiempos improductivos programados para su mantenimiento, (Mantenimiento Preventivo).

Mantenimiento No Programado (MNP) Es el total de horas en que el equipo ha sido programado para ser usado, pero no está disponible debido a una avería. (Mantenimiento Correctivo)

EL lugar de estudio cuenta con 11 equipos de acarreo por la contrata G&R (2 scooptram de 0,8 yd³ , 4 scooptram eléctrico de 1 yd³, 3 scooptram eléctrico 3,5yd³ y 2 scooptram eléctrico de 2,2 yd³) además la cuenta con 7 scooptram diesel con capacidad de 4,2 yd³. Además, se cuenta con 4 camiones de bajo perfil (Minetruck) dumper MT2010 y los rendimientos fueron de 30,30 TN/HR con costos de 162,86 S/hr. (Cuti, 2019, pp 18-19)

Por otro lado, existe una aplicación mediante ordenador del factor de acoplamiento en equipos de carga y transporte en la que se determina un factor óptimo para los equipos de transporte y de carga.

Existen dos factores: deben de ser compatibles los equipos de carga y de acarreo de modo que no existan aumentos excesivos ni averías en el tiempo de ciclo y elección de la cantidad de equipos de transporte después de tener conocido el material y el recorrido a realizar por las unidades de transporte. Dicho número de equipos se va a determinar con el Match Factor. Este factor determina el número de equipos para un determinado equipo de carga. La siguiente expresión representa la relación entre los equipos de transporte y equipos de carga.

$$\text{Match Factor} = \frac{\text{Produccion equipo Transporte}}{\text{Produccion equipo carga}}$$

(Ballester y Peral ,1988, pp. 857-869)

Asimismo, Baldeon realizo un análisis situacional de las operaciones en la mina subterránea Condestable.

En la mina Condestable se desarrolló método convencional como mecanizado. El transporte de mineral es realizado por 23 unidades de marca VOLVO de 30 TM de capacidad, rendimiento de 380.4 TM/día (aproximadamente 23.77 TM/hr) y es realizado por una contrata. El rendimiento de la flota acarreo-transporte es de 70 TM/hr en el 2009 y 63 TM/hr en el 2008.

A. Factor de Acoplamiento: la cantidad de volquetes necesarios que deben ser asignados por cada unidad de carguío

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

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

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

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

FA = 1 cuando el acoplamiento es perfecto.

B. Rendimiento de Flota (RF): Es el tonelaje de los volquetes medidos en una hora.

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

(Baldeon, 2011, pp. 33-38)

Los factores ya sean positivos o negativos influyen en el rendimiento de las operaciones y es por eso que en la unidad minera Arcata se detalla cómo estos factores influyen en la productividad.

La presente tesis se desarrolló en la mina de Arcata de la minera Hoschild

Los factores positivos que influyen en el rendimiento del carguío como:

- Personal capacitado
- Innovación de las técnicas de operación.
- Adecuado mantenimiento de los equipos.
- Diseño adecuado de vías y zonas de trabajo para los equipos.
- Comunicación fluida entre conductores y la supervisión.
- Control detallado de la eficiencia de los equipos.

Los factores negativos que influyen en el rendimiento de los equipos son:

- Estado de las vías (resistencia a la rodadura).

- Inadecuada fragmentación del material a transportar.
- Administración y logística ineficiente.
- Falta de recurso humano.
- Problemas de tránsito.

Asimismo, se realiza una descripción del tipo de tiempo:

Tiempo total de operación

Es el tiempo real en el que el volquete realiza un trabajo directamente relacionado con la producción. Se define como la suma de los diferentes tiempos del ciclo de transporte (tiempo de giro y posicionamiento, tiempo de carguío, tiempo de transporte, tiempo de descarga y tiempo de regreso).

Tiempo de giro y posicionamiento en el punto de carguío

Es el tiempo que demora el volquete en posicionarse en el punto de carguío. Este tiempo depende del tipo de equipo de transporte y de las condiciones de trabajo. El posicionamiento descuidado en el punto de carguío es una práctica que puede causar grandes pérdidas en tiempo de operación. Un buen posicionamiento de los volquetes permite reducir el tiempo de giro del scoop y aumentar su productividad. Se entrega el Cuadro 2.1 con valores referenciales. Finalmente, los rendimientos que se obtuvo para un equipo de acarreo fue de 12,73TN/HR; 11,23 TN/HR; 14,95 TN/HR para las Zona I-A (3,7 Km), Zona I-B (5,4 Km) y Zona II (5,5 Km). (Riveros ,2016, pp. 23-37)

Del mismo modo, los factores operacionales influyen en la productividad en los volvos FMX 8x4 en una operación subterránea. Estos factores son identificados en la operación para ser luego mejorados y mitigados.

Se realizó la evaluación en tres zonas de extracción A, C y M con equipos de acarreo FMX 8X4 con capacidad nominal entre 26 y 32 TN. El rendimiento promedio que se obtuvo fue de 24 TM/hr.

Tabla 1: Recorrido de los equipos de extracción desde la zona origen hasta la zona de descarga.

| Zona de extracción (Origen) | | Zona de descarga (Destino) | Distancia promedio al punto de descarga (KM) |
|--------------------------------|----------|-------------------------------|--|
| A | Mineral | Planta | 10.10 |
| | Desmante | Botadero G | 4.00 |
| C | Mineral | Planta | 8.76 |
| | Desmante | Botadero N | 10.75 |
| M | Mineral | Planta | 3.60 |
| | Desmante | Botadero 74 | 2.82 |

Fuente: Tesis "Influencia de factores operacionales en la productividad de volquetes volvo FMX 8x4 en el proceso de extracción de mineral y desmante en una operación subterránea" de Robles,L.

El análisis de causas de la tesis fue realizando el método de Ishikawa que permite identificar las causas, entre ellas:

- Operador: Se han identificado operadores con falta de capacitación, poco conocimiento de la zona de trabajo, actitudes inadecuadas en el trabajo y poca concentración por factores ajenos al trabajo.
- Recursos: No se cuenta con una flota de volquetes moderna dado que presentan una antigüedad mayor a dos años en promedio, así mismo hay deficiencia de repuestos.
- Empresa: Existen deficiencias en el área logística, dado que el stocks de repuestos se encuentra agotado y hay demoras en la atención.
- Método: El análisis y cálculo realizado para estimar la producción planeada no se realiza de forma eficiente, no se consideran magnitudes de los factores operacionales.
- Condiciones de Operación: Se ha registrado constantes problemas con respecto a las condiciones de terreno y presencia de tráfico en las principales vías de acceso. Así mismo se observa mala asignación en la distribución de los equipos generando demoras. (Robles, 2015, pp.58-63)

Finalmente, la optimización del rendimiento de los equipos de carguío LHD se puede llevar a cabo de diferentes maneras tal como se detalla a continuación:

En los cinco artículos se explica cuáles son los retos que presenta el LHD en minería subterránea, el uso de DES para mejorar las operaciones de LHD, como afecta el uso de los equipos de carguío eléctrico en las operaciones mineras y como se puede automatizar el ciclo de minado con equipos de carguío. Dicho de otro modo, primero, los retos que presenta la minería subterránea es la profundización que enfrenta ya que aparte de los problemas geomecánicos también existen los problemas de ventilación que significa mayores costos en energía por lo que es importante apuntar por la automatización de equipos como también pasar de equipos Diesel a eléctricos. Segundo, con el software DES se puede estudiar varios escenarios de operación LHD y en base a los resultados se puede detectar cuáles son las variables operativas que perjudican las operaciones e implementar mejoras para una óptima producción. Tercero, con DES es posible analizar los costos de ventilación después de haber escogido la flota y como esto se llevará a cabo en el futuro. Cuarto, usando DES puede ser integrado con un calendario para la generación de datos y realizar una programación global de equipos. Asimismo, los problemas dentro de la operación minera relacionados al LHD son los esfuerzos sobre roca, soporte de roca, la energía consumida, los límites de ventilación, fragmentación, logística, operaciones de carguío, temperatura y longitudes de carguío mayores. La relación de producción calculada resulta: $\text{Producción} = \text{Ratio de Producción} \times \text{factor de eficiencia}$. Otros factores que deben de ser considerados son las condiciones de trabajo, las paradas mecánicas, los tiempos perdidos, cantidad de tiempos perdidos. (Shawina, 2019, pp. 80-140)

1.3. ALCANCES

El alcance es a partir del sistema actual de extracción en la unidad minera conocer los rendimientos y las variables operativas que influyen en el rendimiento de los equipos de transporte para el mineral. De este modo, proponer soluciones para cada variable operativa y realizar un dimensionamiento de flota para las labores actuales en extracción; es decir, se determinará el número de equipos volquete y camiones mineros subterráneos para el transporte de mineral. Finalmente, la propuesta será simulada en el software “HaulSim 2.0” para obtener los rendimientos de cada equipo de transporte considerando las variables operativas.

1.4. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL: Implementar el cambio del sistema de transporte de dumper a volquete en una mina subterránea.

OBJETIVO ESPECIFICO 1: Estudiar los antecedentes de los dos sistemas de transporte: dumper y volquete.

OBJETIVO ESPECIFICO 2: Analizar el método de transición propuesto durante la implementación en una mina subterránea.

OBJETIVO ESPECIFICO 3: Identificar las variables operativas que influyen en el rendimiento de los equipos de transporte y desarrollar propuestas de mejora.

1.5. HIPÓTESIS

HIPOTESIS 1: El volquete como sistema de transporte en el interior de la mina subterránea será más eficiente al transportar mineral en comparación con los equipos de transporte dumper.

HIPOTESIS 2: Una de las variables que influye directamente en el rendimiento de los equipos de transporte es el tráfico en las rampas principales.

1.6. PLAN DE TRABAJO

La metodología a emplear para la investigación se detalla a continuación:

- Estudio inicial del sistema de transporte de la mina subterránea.
- Recopilación de la información.
- Variables de análisis en la recolección de la información.
- Procesamiento de la información.
- Análisis de los resultados.
- Diseñar una propuesta de gestión de volquetes dentro de la mina.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. TIPOS DE TRANSPORTE

2.1.1. TRANSPORTE EN MINERÍA SUBTERRÁNEA

2.1.1.1. TRANSPORTE EN LOCOMOTORAS

Este sistema de transporte consta de una locomotora y vagones; por lo general, el peso de la locomotora debe de ser mayor al peso de cada vagón porque este será el que empuje a todos los vagones cargados de mineral. Además, la cantidad de los vagones dependerá del tipo y potencia de la locomotora.

La energía que se transmite a la locomotora es a través de la línea trolley la cual es paralela a los rieles. En la figura 2.1.1.1, se muestran los componentes que son necesarios para la construcción de los rieles. Asimismo, estos componentes se detallan a continuación:

- Balastro: Está compuesto de roca triturada o grava de tal manera que pueda resistir el peso de la locomotora con los vagones para que permanezcan estables. Cabe decir que el balastro debe ser drenado para evitar la subsidencia.
- Durmiente: Es de material de concreto o de madera y por lo general tiene un ancho igual al doble de la distancia de la trocha
- Rieles: Son de acero y el peso del riel por metro estará en función del peso de la locomotora.
- Trocha: La distancia interior entre rieles oscilan entre los 40 y 50 cm.
- Tirafones : Son clavos que anclan los rieles a los durmientes.
- Eclisas: Son placas que están unidas a los fierros de los rieles.
- Santiago: Instrumento que se usa para doblar los rieles

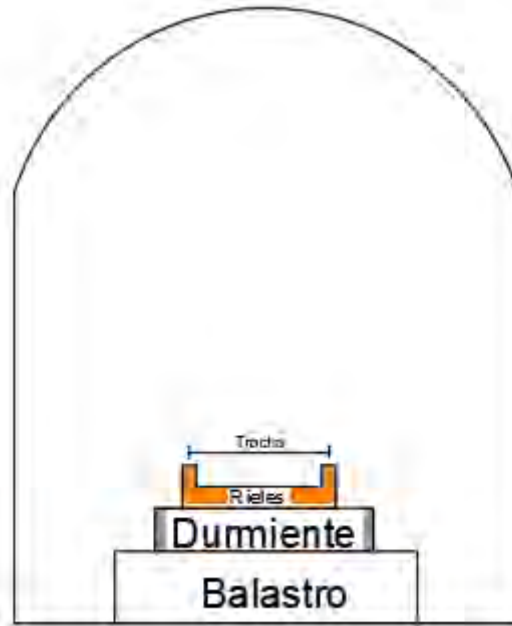


Figura 2.1.1.1: Componentes del sistema de transporte por locomotora

La forma de cargar a los vagones es a través de chutes que se encuentran en la parte superior del nivel de carga. Por lo general estos chutes están contruidos de acero y tienen una estructura de codo pues el mineral que cae de la descarga del mineral al echadero es amortiguado en la roca además de evitar que se atraque con las demás rocas para finalmente estar suspendido en una tolva que se abre para cargar vagones. En las figuras 2.1.1.2 y 2.1.1.3 se muestran las vistas de perfil e isométrica de los chutes con los vagones respectivamente.

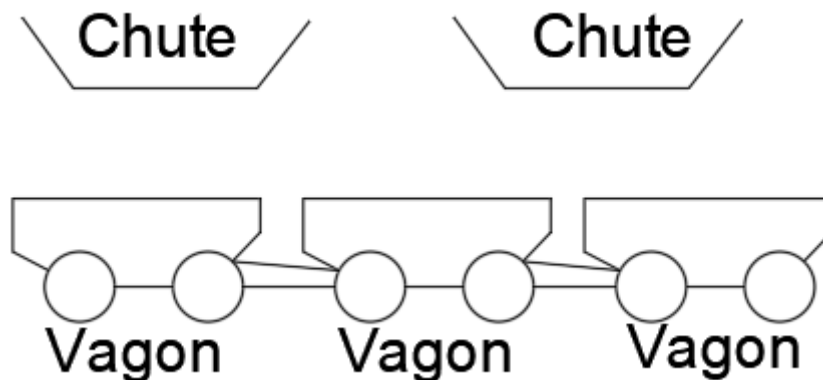


Figura 2.1.1.2: Representación del carguío en el sistema de locomotora. Fuente: Elaboración propia

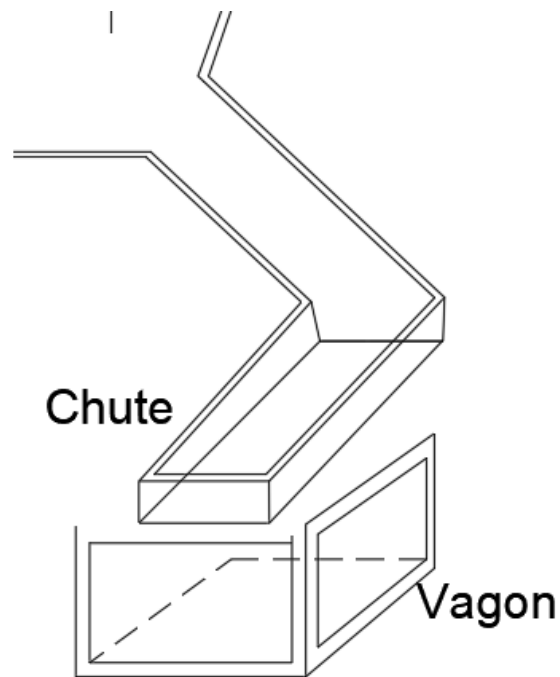


Figura 2.1.1.3: Sistema de chute en vagones. Fuente: Elaboración propia

2.1.1.2. TRANSPORTE EN CAMIONES MINEROS SUBTERRANEOS

Tiene como función principal el transporte de mineral y desmonte dentro de interior mina. El mineral es transportado desde las labores de extracción de mineral hasta los echaderos u "ore pass" . Este sistema de transporte se acopla con los equipos de carga LHD (Load Haul Dump) ya que ellos serán los que carguen a los camiones mineros subterráneos. Estos camiones son utilizados en minas mecanizadas que realizan el método de explotación corte y relleno ascendente, corte y relleno descendente, sublevel stopping, cámaras y pilares, block caving, panel caving, bench and fill.

2.1.1.3. TRANSPORTE CON VOLQUETES

El sistema de transporte a través de volquetes se ha venido implementando en varias minas peruanas para la minería subterránea debido a que presentan menores costos de acarreo y mayor capacidad en el que influye la velocidad del equipo. Por lo general, estos equipos son modificados para la operación minera pues este equipo también es utilizado en la industria de la construcción y por lo tanto cuenta con tolvas de mayor altura lo cual le permite transportar mayor material. Sin embargo, en algunas minas las secciones para poder acceder alguna labor no son tan grandes y es por eso que se reduce la tolva para evitar que resquebraje el shotcrete o sostenimiento de la corona y hastiales de la sección.

2.1.1.4. TRANSPORTE CON PIQUES

Este tipo de transporte es vertical y se realiza a través de skips de extracción. Este skip puede ser solo de extracción o también un doble de extracción y transporte de personal. Existen varios modelos de pique como es el Koepe y Tambor.

Asimismo, la geometría del pique suele ser rectangular o circular ya que dependerán de la geomecánica de la zona como de las presiones in situ en relación a la profundidad. Dentro de estas secciones del pique es posible tener compartimientos como escaleras, tuberías de agua y mangas de ventilación, entre otros.

2.1.2. TRANSPORTE EN MINERIA SUPERFICIAL

En minería superficial el transporte del material es a través de camiones rígidos de hasta 400 TN que son cargadas a través de excavadoras, palas hidráulicas o palas de cables. El equipo de carguío realiza una carga optima ya que el camión no debe ser sobrecargado ni sub cargado pues debe transportar exactamente lo que carga cuando se compró el camión. De esta manera, no habrá derrames y será posible que se logre el mejor centro de gravedad cuando se descargue el material.

Uno de los criterios para elegir el tamaño del equipo es considerar una estimación de la producción de roca mineral y desmonte que se va a transportar. Otro criterio son los componentes del camión como el motor es necesario considerar su rendimiento pues varía de acuerdo a la altura, además, del tipo de transmisión, estructura del revestimiento, diseño del chasis, frenos, cabina y neumático.

2.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS DE TRANSPORTE SUBTERRANEO

2.2.1. CAMIONES MINEROS SUBTERRANEOS

El motor que tienen los camiones mineros subterráneos tiene una mayor fuerza ya que están hechos para poder escalar altas pendientes, por lo general mayor a 12%. Asimismo, los fabricantes de estos camiones también han considerado las malas condiciones en la que se encontrara la vía de transporte principal y de extracción en interior mina debido a la propia geología de la zona. Es decir, las vías no serán del todo uniformes ya que tendrán aberturas en la vía o presencia de agua y material duro como son las rocas que componen el yacimiento. Esta robusta característica de los camiones mineros subterráneos influirá en el tiempo de vida pues oscila entre las 25000 a 30000 horas de operación.

Por otro lado, estos camiones mineros subterráneos tienen una tolva resistente a la corrosión ya que el material que es transportado daña directamente esta estructura debido a la carga y descarga. Además, los subniveles de extracción no cuentan con un amplio radio de curvatura y por lo tanto el camión minero subterráneo puede realizar el ingreso en una sola maniobra debido a la articulación en el chasis mientras que los volquetes deben de realizar de dos a tres maniobras para poder ingresar a subniveles con un radio de curvatura menor. Asimismo, la compatibilidad que existe entre los equipos LHD y los camiones mineros subterráneos permite ser cargado en tres o cuatro pases. Otra variable importante para el rendimiento es la eficiencia del operador y la calidad de mantenimiento del equipo.

Finalmente, las dimensiones que tienen estos camiones mineros son las adecuadas para poder calzar en una labor minera ya que por lo general las labores mineras no son grandes pues el cuerpo mineralizado puede ser angosto y no sería adecuado realizar una sección más grande que la potencia de la veta o sin considerar los parámetros geo mecánicos para la abertura de la sección pues se diluiría la ley del mineral.

Cabe resaltar que cada fabricante de camión minero subterráneo tiene características específicas como se detalla a continuación el cual depende del modelo y capacidad de cada equipo.

MINETRUCK MT2010-ATLAS COPCO

Especificaciones técnicas

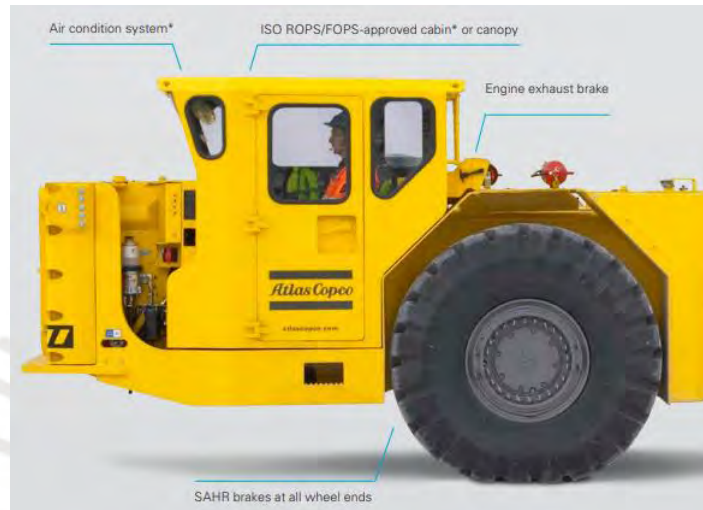


Figura 2.2.1.1: Cabina del camión minero subterráneo MT2010. Fuente: Epiroc 2019

Características

- ❖ Tiene una capacidad de 20 toneladas métricas
- ❖ El equipo cuenta con cabinas del tipo ISO ROPS/FOPS donde protege al operador contra las volcaduras y caída de rocas al ingresar a una labor.
- ❖ Los frenos SAHR brindan una mayor seguridad al equipo no solo porque sean durables o resistentes a la corrosión. Estos frenos actúan cuando el equipo se apaga intencional o no para evitar que el equipo pueda avanzar o retroceder y poder provocar un choque. En ese sentido, los resortes ejercen presión para que el equipo no pueda moverse incluso estando estacionado.
- ❖ La cámara trasera situada en la parte posterior de la tolva del equipo ayuda a que el operador no se baje para ver hasta dónde puede ingresar el equipo pues habría una pérdida de tiempo. Esta cámara también ayuda en la seguridad ya que el operador puede montar el dique de seguridad y caerse con todo el equipo al momento de descargar en el echadero.

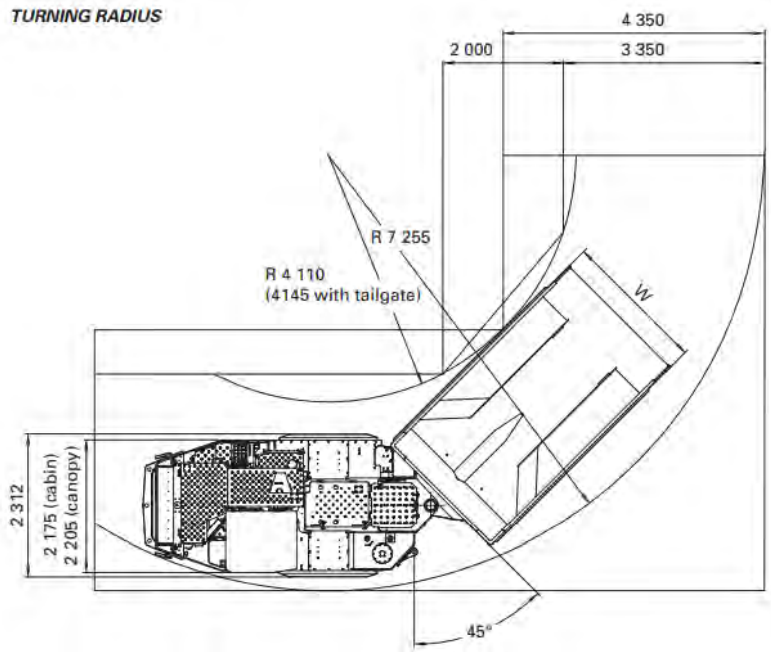


Figura 2.2.1.2: Radio de curvatura del modelo MT2010. Fuente: Atlas Copco

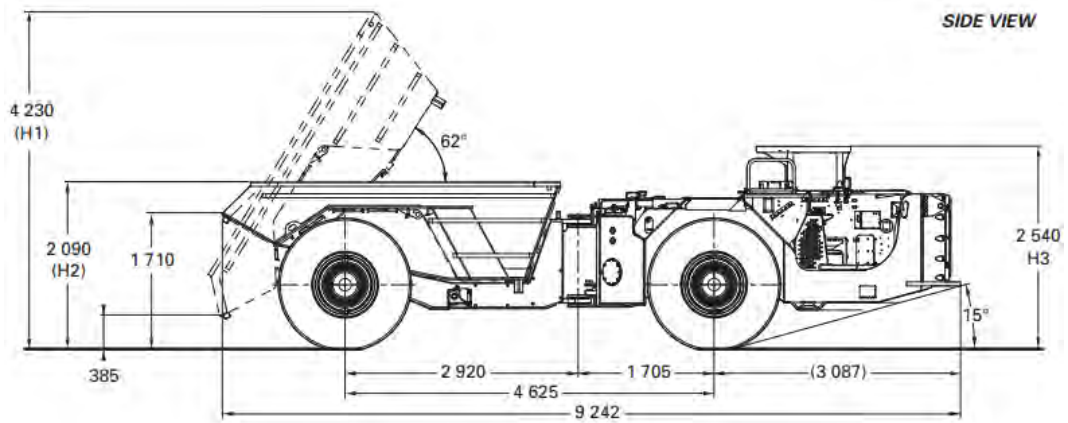


Figura 2.2.1.3 : Dimensiones del modelo MT2010. Fuente: Atlas Copco

MINETRUCK TH315-SANDVIK



Figura 2.2.1.4 : Radio de curvatura del modelo TH315. Fuente: Sandvik

Características

- ❖ Tiene una capacidad de 15 toneladas métricas
- ❖ Solo cuenta con protección ROPS/FOBS.
- ❖ Entra a secciones mucho más pequeñas debido a sus dimensiones

2.2.2. VOLQUETE

2.2.2.1. VOLQUETE FMX 6X4 VOLVO



Figura 2.2.2.1.1: Volquete Volvo modelo FMX 6X4. Fuente: Volvo

Características

- ❖ EL volvo FMX cuenta con frenos EBS controlados electrónicamente: el volquete se moverá en rampas con alta pendiente cuando el motor haya generado la suficiente fuerza para moverse de esta forma se evitará que el equipo retroceda o dañe al equipo que se encuentra atrás.
- ❖ Tiene un sistema de testigo que alerta sobre el desgaste de la pastilla de freno ya que esta es fundamental para la seguridad del equipo dentro de mina. Esta pastilla tiene la función de generar fricción con el disco de freno y así poder frenar oportunamente. Si estas pastillas se encuentran desgastadas entonces el frenado se realizará en más tiempo y tendrá un sonido chirriante.

Tabla 2.2.2.1.1: Comparativo de características de equipos de transporte

| | Minetruck MT2010 | TH315 | FMX 6x4 |
|---------------------------------------|-----------------------------|----------------|----------------|
| Marca | Atlas Copco | Sandvik | Volvo |
| Capacidad (TM) | 20 | 15 | 22 |
| Radio de curvatura externo(mm) | 7255 | 6041 | 11590 |
| Radio de curvatura interno(mm) | 4110 | 3126 | 9100 |
| Ancho (mm) | 2205 | 2207 | 2490 |
| Alto en descarga(mm) | 4230 | 4096 | 5592 |
| Alto en transporte(mm) | 2540 | 2395 | 3046 |
| Largo (mm) | 9242 | 7710 | 10015 |
| Capacidad (m3) | 10 | 7.5 | 15 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.2.2.1.2: Especificaciones de carga del volquete.

| | |
|------------------|-------|
| Tara(kg) | 13780 |
| Util(kg) | 11220 |
| Bruto(kg) | 25000 |

Fuente. Elaboración propia

3. DESARROLLO DE LA TESIS

3.1. DESCRIPCION DE LA UNIDAD MINERA

3.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La mina subterránea se ubica en la vertiente occidental de los Andes, correspondiendo al distrito y provincia de Oyón del Departamento de Lima. Además, esta mina esta entre los 4,300 y 5,200 m.s.n.m.

3.1.2. GEOGRAFÍA

La geografía de la mina muestra en la parte central del distrito minero de Uchucchacua la divisoria continental de los Andes, angosta y abrupta que llega hasta 5,200 m.s.n.m. Hacia el oeste de este lineamiento se suceden quebradas en “V” y “U” flanqueadas por altos picos y al Este una porción de la planicie altiplánica interceptada por numerosas quebradas y picos sobre los 4,800 m.s.n.m.

3.1.3. ACCESOS

Para el acceso a la unidad existen dos formas:

- ✓ La primera forma o la vía principal es a través del tramo asfaltado desde Lima hasta Huacho con una longitud de 152 km. Desde Huacho hasta Sayán existe una longitud de 45 Km. Al seguir con el trayecto se encuentra un tramo afirmado desde Sayán hasta Churin de con una distancia de 62 Km. y Churin de 63 Km. En total será 322 km.
- ✓ La otra forma es a través de un acceso que une Lima - La Oroya - Cerro de Pasco que tiene una distancia de 320 Km. asfaltada y desde Cerro de Pasco hasta la unidad minera de 70 Km. Afirmado. En total es 390 Km.

3.1.4. DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DE ESTUDIO

La mina subterránea polimetálica que realiza el método de explotación por Bench and Fill se encuentra a 4500 m.s.n.m actualmente cuenta con dos sistemas de extracción por locomotoras y Dumper (MT2010) de 12 y 8 TN efectivas. Asimismo, la empresa cuenta con Scoop eléctricos y Diesel (R1300G Y R1600G) de 4,4 y 6,3 yardas cubicas respectivamente. Las secciones mineras de las labores son de 4 x 3.5 m y estas secciones cuentan con una manga de ventilación, servicios de aire comprimido, agua y servicio eléctrico.

EL análisis del transporte en minería subterránea se va desarrollar en una zona dentro de la mina ya que esta cuenta con tres diferentes zonas. Por dicho motivo es necesario conocer donde se encuentra el echadero y sus labores de donde se extraerá el mineral y desmonte.

El volquete comenzó a realizar el acarreo el 15 de Febrero del 2019 ; del mismo modo, se sumaron dos volquetes para el 1 de Marzo del 2019 ya que se había proyectado un posible incremento de extracción de mineral a partir de Marzo. Cabe resaltar que el volquete durante todo este tiempo solo transporto mineral mas no desmonte mientras que los Dumper si llegaron a extraer tanto mineral como desmonte.

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

4.1. ESTUDIO INICIAL DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE LA MINA SUBTERRANEA

Sistemas de extracción dentro de Mina

Extracción por locomotora:

- ✓ El primer sistema de extracción por locomotora comienza en el nivel 2774 El mineral es colocado en cada vagón de 15 TN a través del chute en el que se almacenaba todo el mineral que se vaciaba en el echadero y en total son 9 vagones que empuja la locomotora. Esta locomotora empujaba a los vagones hasta otro echadero a 1km de distancia del lugar inicial
- ✓ El segundo sistema de extracción por locomotora también se realizaba a través de un chute que colocaba en cada vagón el mineral. Este mineral era izado a partir de lo que vaciaba en el circuito anterior. Es decir, una vez izado el mineral se colocaba

en los vagones para que salgan hasta superficie y lleven hasta la planta concentradora.

Extracción por Dumper:

- ✓ Para los equipos Dumper se tenían de dos distintas capacidades efectivas que fueron medidos por el equipo de operaciones mina de la unidad minera 12TN y 8TN. Estos equipos pertenecían a dos empresas distintas y eran los que transportaban mineral y desmonte en el interior mina debido a su fuerza y radio de curvatura para ingresar sin problemas a las labores de extracción.

Extracción por Volquete

- ✓ Los equipos volquetes son del modelo FMX 6X4 del año 2018 de la marca VOLVO. La carroza del equipo ha sido modificada para cargar 25 m³. Se ha realizado esa modificación ya que el tamaño del volquete era muy alto para poder ingresar a la labor minera y por lo tanto no podría ingresar a extraer mineral es por eso que se optó por reducir dicha tolva. Actualmente, estos volquetes solo pueden ingresar a tres labores: Nv3780 Tj662, Tj 6610-4 y Nv3660 Tj665.

Rutas de explotación de mineral:

- NV 3660 TJ 6652-2: Esta labor se encuentra a 2,3 km del echadero ubicado en el nivel 2704. Es decir, un equipo de transporte tendrá que realizar un recorrido de 4,6 km ya que considerara una ruta de ida y otra de vuelta.
- TJ 6610-4: Esta labor se encuentra a 2,15 km del echadero y deberá de realizar un recorrido de 4,3 km.
- NV 3780 Rp 662-2 Cámara carguío: Del mismo modo, esta labor se encuentra a 1,102 km del echadero y el equipo de transporte deberá de recorrer 2,204 km.
- VN 6713 NW :Se encuentra a 2,462 km del echadero y se deberá de recorrer 4,924 km para realizar un ciclo de carga.

La pendiente de rampa auxiliar por donde transcurren todos los equipos es de 8% en promedio con algunas variaciones de hasta 12% solo en pequeños tramos.

Para el caso de los dumper de 8 y 12 TN se han determinado dichas capacidades reales ya que en la empresa minera el área de operaciones mina realizó un análisis de cuanto realmente transportaban los dumper antes de ingresar al echadero. Esto se determinó

colocándolos en una balanza a cada equipo que pasaba y que iba a descargar mineral al echadero.

Es necesario resaltar que los horarios de trabajo de los operadores de los volquetes eran acorde a la demanda de mineral que se debía de extraer de una labor y también del tamaño de la sección del tajo donde se iba a extraer. Es decir, solo si en las labores donde entraba el volquete había mineral entonces los operadores de los volquetes iban a cargar en esa labor, pero si no había mineral entonces los volquetes quedaban sin trabajar, pues si bien dentro de la mina había muchas labores el inconveniente era el tamaño de dichas secciones.

4.2. RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para la metodología del análisis de la implementación del sistema de transporte Dumper a Volquete en una mina subterránea se empleó la toma de datos de 15 días dentro de las operaciones mineras desde las 8:00 a.m hasta las 6:00 p.m en una mina polimetálica subterránea. Dentro de la recopilación de los datos se consideró el tiempo que realiza un equipo de transporte ya sea dumper o volquete desde que comienza las operaciones mineras hasta que culmine el acarreo en diferentes subniveles dentro de mina.

Al tener un método de explotación de Bench and Fill , el equipo de transporte dumper solo lleva desmonte desde las labores de preparación hacia esos tajos puesto a que se debe de rellenar para evitar tener un espaciamiento que produzca caída de rocas. Por otro lado, todos los días en el reparto de guardia se coordinó las labores donde se ha realizado la voladura de mineral y ellos notifican en que labores se debe de realizar el transporte de mineral hacia el echadero que se encuentra ubicado en el NV 2704.

Para la toma de tiempos se registró con un cronometro, lapicero, planos, reportes de transporte de la empresa contratista. En la tabla 4.2.1 y 4.2.2 se muestra en la primera fila los datos que se consideraron para el registro de datos tanto para el desmonte como para el mineral.

Tabla 4.2.1: Formato detallado donde se han registrado los tiempos de los equipos de transporte en mineral. Fuente: Elaboración propia.

| EMPRESA | Fecha | Equipo | Carga | Cantidad de ciclos | Tipo de viaje | Hora inicio | Hora Final | CAP (TN) | Recorrido total (km) |
|---------|-----------|----------|---------|--------------------|---------------|-------------|------------|----------|----------------------|
| MCEISA | 2/25/2019 | DUMPER | MINERAL | 2 ciclo | Descarga | 09:42:00 | 09:45:22 | 12 | |
| MCEISA | 2/25/2019 | DUMPER | MINERAL | 2 ciclo | Ida y vuelta | 09:45:22 | 10:37:02 | 12 | 4.6 |
| MCEISA | 2/25/2019 | DUMPER | MINERAL | 3 ciclo | Descarga | 10:37:02 | 10:40:12 | 12 | |
| MCEISA | 2/25/2019 | DUMPER | MINERAL | 3 ciclo | Ida y vuelta | 10:40:12 | 11:32:00 | 12 | 4.6 |
| MCEISA | 2/25/2019 | DUMPER | MINERAL | 1 ciclo | Descarga | 09:55:15 | 09:59:00 | 12 | |
| MCEISA | 2/25/2019 | DUMPER | MINERAL | 1 ciclo | Ida y vuelta | 09:59:00 | 10:56:15 | 12 | 4.3 |
| MCEISA | 2/25/2019 | DUMPER | MINERAL | 2 ciclo | Descarga | 10:56:15 | 10:59:11 | 12 | |
| MCEISA | 2/25/2019 | DUMPER | MINERAL | 2 ciclo | Ida y vuelta | 10:59:11 | 11:49:00 | 12 | 4.3 |
| MESA | 2/27/2019 | Volquete | MINERAL | 1 ciclo | Carga | 10:52:30 | 10:58:03 | 22 | 0 |
| MESA | 2/27/2019 | Volquete | MINERAL | 1 ciclo | Ida y vuelta | 10:58:03 | 11:23:00 | 22 | 2.204 |
| MESA | 2/27/2019 | Volquete | MINERAL | 2 ciclo | Carga | 11:23:00 | 12:06:22 | 22 | 0 |
| MESA | 2/27/2019 | Volquete | MINERAL | 2 ciclo | Ida y vuelta | 12:06:22 | 12:31:33 | 22 | 2.204 |
| MESA | 2/27/2019 | Volquete | MINERAL | 3 ciclo | Carga | 15:13:00 | 15:19:20 | 22 | 0 |
| MESA | 2/27/2019 | Volquete | MINERAL | 3 ciclo | Ida y vuelta | 15:19:20 | 15:41:00 | 22 | 2.204 |
| MESA | 2/27/2019 | Volquete | MINERAL | 4 ciclo | Carga | 15:41:00 | 15:46:14 | 22 | 0 |
| MESA | 2/27/2019 | Volquete | MINERAL | 4 ciclo | Ida y vuelta | 15:46:14 | 16:07:00 | 22 | 2.204 |
| MESA | 3/2/2019 | Volquete | MINERAL | 1 ciclo | Carga | 14:24:40 | 14:29:00 | 22 | 0 |
| MESA | 3/2/2019 | Volquete | MINERAL | 1 ciclo | Ida y vuelta | 14:29:00 | 14:48:00 | 22 | 4.3 |
| MESA | 3/2/2019 | Volquete | MINERAL | 2 ciclo | Carga | 15:01:00 | 15:09:00 | 22 | 0 |
| MESA | 3/2/2019 | Volquete | MINERAL | 2 ciclo | Ida y vuelta | 15:09:00 | 15:52:00 | 22 | 4.3 |
| MESA | 3/2/2019 | Volquete | MINERAL | 3 ciclo | Carga | 15:52:05 | 16:05:00 | 22 | 0 |

Tabla 4.2.2: Formato detallado donde se han registrado los tiempos de los equipos de transporte en desmonte. Fuente: Elaboración Propia

| EMPRESA | Fecha | Equipo | Carga | Cantidad de ciclos | Tipo de viaje | Placa o numero de equipo | Hora inicio | Hora Final | Tiempo en realizar la actividad | TIEMPO (HR) | CAP (TN) |
|---------|-----------|--------|----------|--------------------|---------------|--------------------------|-------------|------------|---------------------------------|-------------|----------|
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | 1 ciclo | Ida y vuelta | 4 | 11:28:11 | 11:34:51 | 0:06:40 | 0.203 | 10.5 |
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | medio ciclo | Espera labor | 4 | 11:34:00 | 11:37:00 | 0:03:00 | | |
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | medio ciclo | Descarga | 4 | 11:37:00 | 11:39:33 | 0:02:33 | | |
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | 2 ciclo | Descarga | 4 | 13:44:00 | 13:49:06 | 0:05:06 | | 10.5 |
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | 2 ciclo | Ida y vuelta | 4 | 13:49:03 | 13:56:00 | 0:06:57 | 0.201 | 10.5 |
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | 3 ciclo | Descarga | 4 | 13:56:00 | 13:59:00 | 0:03:00 | | 10.5 |
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | 3 ciclo | Ida y vuelta | 4 | 13:59:00 | 14:04:11 | 0:05:11 | 0.136 | 10.5 |
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | 4 ciclo | Descarga | 4 | 14:04:00 | 14:09:00 | 0:05:00 | | 10.5 |
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | 4 ciclo | Ida y vuelta | 4 | 14:09:00 | 14:14:00 | 0:05:00 | 0.167 | 10.5 |
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | 5 ciclo | Descarga | 4 | 14:14:00 | 14:18:00 | 0:04:00 | | 10.5 |
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | 5 ciclo | Ida y vuelta | 4 | 14:18:00 | 14:24:00 | 0:06:00 | 0.167 | 10.5 |
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | 1 ciclo | Descarga | 18 | 13:52:00 | 14:02:00 | 0:10:00 | | 10.5 |
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | 1 ciclo | Ida y vuelta | 18 | 14:02:00 | 14:07:00 | 0:05:00 | 0.250 | 10.5 |
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | 2 ciclo | Descarga | 18 | 14:07:00 | 14:10:00 | 0:03:00 | | 10.5 |
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | 2 ciclo | Ida y vuelta | 18 | 14:10:00 | 14:17:00 | 0:07:00 | 0.167 | 10.5 |
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | 3 ciclo | Descarga | 18 | 14:17:00 | 14:22:00 | 0:05:00 | | 10.5 |
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | 3 ciclo | Ida y vuelta | 18 | 14:22:00 | 14:31:00 | 0:09:00 | 0.233 | 10.5 |

La data recopilada durante los doce días será procesada en el programa Excel en la que se hallara el rendimiento del volquete y dumpers; además, se hallaran las causas más comunes

que no garantizan el libre tránsito de los volquetes y las causas que más afectan el rendimiento de los volquetes y dumpers.

RECORRIDO DIARIO DE TOMA DE DATOS

Primero, se realizó la toma de datos verificando los tajos donde se iban a extraer el mineral para asegurarse que los datos registrados tengan confiabilidad.

Segundo, se verifico a qué hora los operadores de las empresas contratistas comenzaban a manejar el volquete que se ubicaba en el estacionamiento cerca al Nv1774. Es decir, se comenzaba a registrar desde que el volquete salía del estacionamiento.

Tercero, tanto el dumper como el volquete transitaban por la rampa auxiliar donde el dumper debido a sus características como mayor "Rimpull" (mayor fuerza en las llantas), mayor radio de curvatura, menor tamaño y mayor fuerza en el motor podía transitar sin ningún problema por la rampa auxiliar y también por todas las labores para extraer mineral y desmonte. Para el caso del volquete, las vías no tenían un adecuado mantenimiento, la sección de la rampa auxiliar no era del todo amplia ya que en los tramos 774 se observaba tuberías sin estandarizar; es decir, las tuberías o las mangas de ventilación no se encontraban correctamente colgadas por lo que el operador debía esquivar, bajar la velocidad para no dañarlos o en algunos casos esperar a que llegue el equipo auxiliar para que recoja y cuelgue la tubería.

Cuarto, no todas las labores tenían las mismas variables operativas (operador, capacidad del Scoop, calidad de ventilación, mantenimiento de vías, etc) es por eso que la persona que registraba los datos se colocaba en un refugio dentro de la labor para que registre dichos datos mientras el scoop cargaba a los volquetes. En ese sentido, también se realizó una toma de tiempo detallado del carguío. Por tanto, también se registraron las variables que afectaban el rendimiento de los dumper y volquete como el tráfico dentro del tajo de donde se extrae el mineral, tráfico en la rampa antes de ingresar al tajo, tamaño de la sección del tajo, etc.

Quinto, al final de cada guardia se recogió los reportes de los volquetes para contrastar con los tiempos registrados.

Finalmente, los datos obtenidos se actualizaron en la base de datos para luego ordenarlas y posteriormente procesarlas. En las tablas 4.2.3 y 4.2.4 se muestran como quedaron los datos después de realizar el ordenamiento de datos que inicialmente se mostraban en las tablas 4.2.1 y 4.2.2.

Tabla 4.2.3: Formato final para el procesamiento de datos de los equipos de transporte de desmorte.

| EMPRESA | Fecha | Equipo | Carga | Cantidad de ciclos | Tipo de viaje | Placa o numero de equipo | Hora inicio | Hora Final | Tiempo en realizar la actividad | TIEMPO (HR) | CAP (TN) | RENDIMIENTO (TN/HR) |
|---------|-----------|--------|----------|--------------------|---------------|--------------------------|-------------|------------|---------------------------------|-------------|----------|---------------------|
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | medio ciclo | Espera labor | 4 | 11:34:00 | 11:37:00 | 0:03:00 | | | |
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | medio ciclo | Descarga | 4 | 11:37:00 | 11:39:33 | 0:02:33 | | | |
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | 2 ciclo | Descarga | 4 | 13:44:00 | 13:49:06 | 0:05:06 | | 10.5 | |
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | 2 ciclo | Ida y vuelta | 4 | 13:49:03 | 13:56:00 | 0:06:57 | 0.201 | 10.5 | 52.282 |
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | 3 ciclo | Descarga | 4 | 13:56:00 | 13:59:00 | 0:03:00 | | 10.5 | |
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | 3 ciclo | Ida y vuelta | 4 | 13:59:00 | 14:04:11 | 0:05:11 | 0.136 | 10.5 | 76.986 |
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | 4 ciclo | Descarga | 4 | 14:04:00 | 14:09:00 | 0:05:00 | | 10.5 | |
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | 4 ciclo | Ida y vuelta | 4 | 14:09:00 | 14:14:00 | 0:05:00 | 0.167 | 10.5 | 63 |
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | 5 ciclo | Descarga | 4 | 14:14:00 | 14:18:00 | 0:04:00 | | 10.5 | |
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | 5 ciclo | Ida y vuelta | 4 | 14:18:00 | 14:24:00 | 0:06:00 | 0.167 | 10.5 | 63 |
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | 1 ciclo | Descarga | 18 | 13:52:00 | 14:02:00 | 0:10:00 | | 10.5 | |
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | 1 ciclo | Ida y vuelta | 18 | 14:02:00 | 14:07:00 | 0:05:00 | 0.250 | 10.5 | 42 |
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | 2 ciclo | Descarga | 18 | 14:07:00 | 14:10:00 | 0:03:00 | | 10.5 | |
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | 2 ciclo | Ida y vuelta | 18 | 14:10:00 | 14:17:00 | 0:07:00 | 0.167 | 10.5 | 63 |
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | 3 ciclo | Descarga | 18 | 14:17:00 | 14:22:00 | 0:05:00 | | 10.5 | |
| MCEISA | 2/28/2019 | DUMPER | DESMONTE | 3 ciclo | Ida y vuelta | 18 | 14:22:00 | 14:31:00 | 0:09:00 | 0.233 | 10.5 | 45 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2.4: Formato final para el procesamiento de datos de los equipos de transporte de mineral.

| EMPRESA | Fecha | Equipo | Carga | Cantidad de ciclos | Tipo de viaje | Hora inicio | Hora Final | Tiempo en realizar la actividad | TIEMPO (HR) | CAP (TN) | Rendimiento PARCIAL (TN/HR) | Recorrido total (km) |
|---------|-----------|----------|---------|--------------------|---------------|-------------|------------|---------------------------------|-------------|----------|-----------------------------|----------------------|
| MCEISA | 2/25/2019 | DUMPER | MINERAL | 2 ciclo | Descarga | 09:42:00 | 09:45:22 | 0:03:22 | | 12 | | |
| MCEISA | 2/25/2019 | DUMPER | MINERAL | 2 ciclo | Ida y vuelta | 09:45:22 | 10:37:02 | 0:51:40 | 0.92 | 12 | 13.08 | 4.6 |
| MCEISA | 2/25/2019 | DUMPER | MINERAL | 3 ciclo | Descarga | 10:37:02 | 10:40:12 | 0:03:10 | | 12 | | |
| MCEISA | 2/25/2019 | DUMPER | MINERAL | 3 ciclo | Ida y vuelta | 10:40:12 | 11:32:00 | 0:51:48 | 0.92 | 12 | 13.10 | 4.6 |
| MCEISA | 2/25/2019 | DUMPER | MINERAL | 1 ciclo | Descarga | 09:55:15 | 09:59:00 | 0:03:45 | | 12 | | |
| MCEISA | 2/25/2019 | DUMPER | MINERAL | 1 ciclo | Ida y vuelta | 09:59:00 | 10:56:15 | 0:57:15 | 1.02 | 12 | 11.80 | 4.3 |
| MCEISA | 2/25/2019 | DUMPER | MINERAL | 2 ciclo | Descarga | 10:56:15 | 10:59:11 | 0:02:56 | | 12 | | |
| MCEISA | 2/25/2019 | DUMPER | MINERAL | 2 ciclo | Ida y vuelta | 10:59:11 | 11:49:00 | 0:49:49 | 0.88 | 12 | 13.65 | 4.3 |
| MESA | 2/27/2019 | Volquete | MINERAL | 1 ciclo | Carga | 10:52:30 | 10:58:03 | 0:05:33 | | 22 | | 0 |
| MESA | 2/27/2019 | Volquete | MINERAL | 1 ciclo | Ida y vuelta | 10:58:03 | 11:23:00 | 0:24:57 | 0.51 | 22 | 43.28 | 2.204 |
| MESA | 2/27/2019 | Volquete | MINERAL | 2 ciclo | Carga | 11:23:00 | 12:06:22 | 0:43:22 | | 22 | | 0 |
| MESA | 2/27/2019 | Volquete | MINERAL | 2 ciclo | Ida y vuelta | 12:06:22 | 12:31:33 | 0:25:11 | 1.14 | 22 | 19.26 | 2.204 |
| MESA | 2/27/2019 | Volquete | MINERAL | 3 ciclo | Carga | 15:13:00 | 15:19:20 | 0:06:20 | | 22 | | 0 |
| MESA | 2/27/2019 | Volquete | MINERAL | 3 ciclo | Ida y vuelta | 15:19:20 | 15:41:00 | 0:21:40 | 0.47 | 22 | 47.14 | 2.204 |
| MESA | 2/27/2019 | Volquete | MINERAL | 4 ciclo | Carga | 15:41:00 | 15:46:14 | 0:05:14 | | 22 | | 0 |
| MESA | 2/27/2019 | Volquete | MINERAL | 4 ciclo | Ida y vuelta | 15:46:14 | 16:07:00 | 0:20:46 | 0.43 | 22 | 50.77 | 2.204 |
| MESA | 3/2/2019 | Volquete | MINERAL | 1 ciclo | Carga | 14:24:40 | 14:29:00 | 0:04:20 | | 22 | | 0 |
| MESA | 3/2/2019 | Volquete | MINERAL | 1 ciclo | Ida y vuelta | 14:29:00 | 14:48:00 | 0:19:00 | 0.39 | 22 | 56.57 | 4.3 |
| MESA | 3/2/2019 | Volquete | MINERAL | 2 ciclo | Carga | 15:01:00 | 15:09:00 | 0:08:00 | | 22 | | 0 |
| MESA | 3/2/2019 | Volquete | MINERAL | 2 ciclo | Ida y vuelta | 15:09:00 | 15:52:00 | 0:43:00 | 0.85 | 22 | 25.88 | 4.3 |
| MESA | 3/2/2019 | Volquete | MINERAL | 3 ciclo | Carga | 15:52:00 | 16:05:00 | 0:12:55 | | 22 | | 0 |

Fuente: Elaboración propia.

4.3. VARIABLES DE ANÁLISIS EN LA RECOLECCION DE LA INFORMACIÓN

Para identificar las variables que afecta al rendimiento de los volquetes y dumper se ha considerado la distancia recorrida, hora de recorrido y lugar de donde se ubicaba la labor de extracción. Estas variables han sido importantes ya que si bien la distancia recorrida seria la

que determinaría el tiempo que demoraría un equipo de transporte en completar un ciclo de carguío (mineral cargado por el scoop, recorrido de ida del volquete/dumper y recorrido de vuelta del volquete/dumper) sino también variables exógenas como el tráfico en la rampa, la demora por una falta de mantenimiento de vías entre otras variables que se estarán explicando a lo largo de esta tesis.

Tabla 4.3.1: Formato de ingreso de datos. Fuente: Elaboración propia

| EMPRESA | Fecha | Equipo | Carga | Cantidad de ciclos | Tipo de viaje | Hora inicio | Hora Final | Tiempo en realizar la actividad | TIEMPO (HR) | CAP (TN) | Rendimiento PARCIAL (TN/HR) | Recorrido total (km) |
|---------|-----------|--------|---------|--------------------|---------------|-------------|------------|---------------------------------|-------------|----------|-----------------------------|----------------------|
| COPSEM | 2/25/2019 | DUMPER | MINERAL | 1 ciclo | Descarga | 09:59:00 | 10:01:30 | | | 8 | | |
| COPSEM | 2/25/2019 | DUMPER | MINERAL | 2 ciclo | Ida y vuelta | 10:01:30 | 10:57:00 | 0:58:00 | 0.97 | 8 | 16.55 | 4.6 |

Tabla 4.3.2: Formato de ingreso de datos. Fuente: Elaboración propia

| Tajo | Nv | Tajo | Distancia entre lugar origen y destino (km) | Recorrido total (km) | ACTIVIDAD |
|--------|----|---------------|---|----------------------|--------------------------------------|
| 6652-2 | | Hechadero 704 | 2.3 | 4.6 | El dumper lleva mineral al hechadero |
| 6652-2 | | Hechadero 704 | 2.3 | 4.6 | El dumper lleva mineral al hechadero |

Tabla 4.3.3: Formato de ingreso de variables operativas. Fuente: Elaboración propia

| Trafico en el tajo con Dumper | Trafico en la Rampa | Esperar turno de descarga/carga | Espera del Scoop | Secciones no estandarizadas | Mantenimiento de Vias | El equipo realiza un viaje a otra labor | Parada por falla mecanica | Traslado al frente de trabajo | Posicionamiento |
|-------------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------|-----------------------------|-----------------------|---|---------------------------|-------------------------------|-----------------|
|-------------------------------|---------------------|---------------------------------|------------------|-----------------------------|-----------------------|---|---------------------------|-------------------------------|-----------------|

En la tabla 4.3.1, se han registrado los datos de izquierda a derecha con el nombre de la empresa contratista que alquila el equipo (dumper o volquete). En la columna de fecha, se colocó el día en el que se llevó a cabo dicha labor por el tipo de equipo que es detallado en la tercera columna. Es decir, este equipo va a transportar un tipo de material que puede ser mineral o desmonte para una misma labor durante los ciclos que sean necesarios para acarrear todo el material. Además, se ha colocado si el viaje realizado corresponde a carga o a ida y vuelta. Cada equipo es diferente por lo tanto se ha identificado la placa en el caso de los volquetes y el número de equipo en el caso de los dumper. Cada tipo de actividad va a ser realizada en un lapso de tiempo y por eso se ha tomado en cuenta la hora de inicio y la hora final de dicha actividad. En el caso de los ciclos de acarreo, se ha registrado también la distancia desde la labor hasta el echadero en el nivel 2704.

En la tabla 4.3.2, se han registrado los lugares iniciales y finales de cada actividad. Es decir, si un volquete estaba siendo cargado en la misma labor entonces el lugar inicial y final será el mismo subnivel mientras que si este equipo transporta la carga entonces el lugar de inicio será el subnivel mientras que el lugar destino será el echadero. En la casilla de actividad, se va a detallar algunas observaciones que han ocurrido al realizar la actividad.

En la tabla 4.3.3, se han identificado las variables operativas a lo largo del recojo de información y se ha clasificado de acuerdo con el tiempo que duro dicha variable operativa. Así, cada equipo tendrá distintos valores que influenciaron en el transcurso del viaje. Cada una de estas variables se detallarán a continuación:

- Tráfico en el tajo con dumper: Esta variable se refiere al tráfico que existía cuando un volquete o un dumper salía después de ser cargado por el scoop ya que había otros equipos que esperaban para también ser cargado pero el hecho de tener solo un carril había una demora en la salida. Los operadores que obstaculizaban el tráfico no habían considerado estacionarse en refugios o ceder el paso al equipo cargado.
- Tráfico en la rampa: Al ser una rampa principal para el transporte de los equipos esto no permitía que se lleve a cabo un tránsito fluido de los equipos de transporte. Si bien los operadores de la mina manejan un sistema en el que primero comienza una flota de ida y luego una flota de vuelta, pero esto no siempre se da debido a la cantidad de tajos que se tienen en extracción.
- Espera de turno de carga y descarga: El hecho que los equipos de transporte se ubiquen en el tajo significaba que debían de esperar a ser cargados por el scoop. En ese sentido, varios equipos hacían cola para poder ser cargado acorde al orden de llegada.
- Espera de scoop: En ciertas labores, los equipos de carga como los scoop venían de otras labores donde también cargaban o empujaban el desmonte que se quedaba acumulado para rellenar los tajos vacíos. Existía también otros casos donde el operador del scoop extraía del nivel de extracción y lo trasladaba hasta una cámara de carguío donde finalmente se acumulaba para ser cargado a los volquetes.
- Demoras por secciones no estandarizadas: Las secciones de la rampa principal y de los niveles de extracción deberían de estar estandarizados en cuanto a las tuberías de servicios auxiliares y las mangas de ventilación ya que los volquetes al tener un tamaño más grande que los dumper en el trayecto pueden jalar o romper las tuberías. En el caso de los niveles de extracción, era muy común el rompimiento de las mangas de ventilación y esto originaba una demora ya que la manga de ventilación debía ser cocida.
- Mantenimiento de vías: Un adecuado mantenimiento de vías garantiza un tránsito fluido de los equipos; sin embargo, en este caso existían tramos donde había cavidades que generaban reducciones de velocidad del equipo para evitar el daño de los ejes del equipo.
- El equipo realiza un viaje a otra labor: Cuando una labor de producción de mineral ya no tiene mineral disponible para seguir acarreado los equipos de acarreo deben de

dirigirse a una labor donde si este acumulado mineral para poder transportarlo hasta el echadero. Sin embargo, en algunos casos debido a una mala coordinación entre el supervisor de la empresa de volquete y el jefe de guardia. Es decir, se indica un lugar donde no hay mineral acumulado para ser cargado sino a una labor donde se está perforando o a otra labor de preparación mas no de producción.

- Parada por falla mecánica: Las fallas mecánicas son frecuentes en operaciones mineras debido a factores endógenos y exógenos. Los factores endógenos de las fallas mecánicas pueden ser controladas mediante los mantenimientos preventivos de las maquinas que dependen del número de horas de funcionamiento de estos. Por otro lado, las fallas por factores exógenos son propios del tipo de actividad pues dentro de las instalaciones mineras y debido a las condiciones el equipo puede fallar cuando esté realizando el carguío o el acarreo. Por ejemplo, en el caso del scoop se presentó un caso debido a la falla del alternador; no obstante, los volquetes no presentaban fallas mecánicas ya que eran equipos nuevos y contaban con un adecuado sistema de mantenimiento.
- Tiempo de demora al trasladarse al frente de trabajo: Esta variable considera el tiempo que demora al inicio de guardia cuando los conductores parten del lugar de estacionamiento de los equipos hasta el lugar de trabajo. Por lo general, el tiempo que demoraban era menor ya que al inicio de guardia no había tanto trafico dentro de la mina.
- Posicionamiento: El tiempo de posicionamiento es el considerado cuando el equipo de acarreo realiza el posicionamiento adecuado frente a la cámara de carguío para que el equipo de carguío pueda cargarlo minimizando pérdidas de tiempo. Este tiempo dependerá de la cantidad de posiciones realicen ambos.

Otro punto importante que se debe de mencionar en esta sección es que la información detallada como el tráfico en la rampa, parada del vehículo, parada del scoop, tráfico en el tajo fueron registrados por la persona encargada al estar adentro de la cabina del volquete junto al operador y es por eso que esa información se conoce.

4.4. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Se eliminó los datos anómalos ya que estos pueden alterar los resultados que se obtendrá a partir del análisis. Después, se hallará el rendimiento de cada equipo en cada ciclo de transporte a partir del tonelaje transportado y el tiempo que se demoró en realizar el ciclo. Esta información es importante ya que se va observar que el rendimiento de cada equipo no

será igual durante todo el día y que servirá de análisis porque se puede determinar las causas que bajan el rendimiento de los equipos en una determinada hora del día.

Después de tener los rendimientos de cada ciclo en cada día se podrá hallar los rendimientos totales por día de cada equipo. Este también es otro análisis importante porque se puede identificar como fue el rendimiento por equipo durante el día y como varía cada día el rendimiento. De este modo, también se podrá identificar las variables que afectan el rendimiento durante el recorrido.

Después de realizar el análisis de los rendimientos y costos de los equipos de transporte en interior mina se analizará cuál de los dos es el mejor después de analizar las variables estudiadas. Es decir, en este paso se utilizará la estadística de datos para descartar los datos erróneos de la base de datos recopilada; asimismo, se identificará cuáles son las variables exógenas identificadas que afectan el rendimiento de los equipos de transporte.

Tabla 4.4.1: En la siguiente tabla se resumen los rendimientos de los equipos de transporte durante toda la guardia de operación. Asimismo, se muestran los rendimientos de cada equipo según labor de extracción en cada día. Fuente: Elaboración propia.

| RENDIMIENTO DIARIO GENERAL | | | RENDIMIENTO DIARIO | LABOR EXTRACCION | | | |
|----------------------------|----------|----------------|--------------------|-------------------|-----------|------------------------------|------------|
| FECHA | EQUIPO | Placa o Numero | DIA (TN/HR) | Nv 3660 Tj 6652-2 | TJ 6610-4 | Nv 3780 Rp 662-2 Cam carguio | VN 6713 NW |
| 25/02/2019 | DUMPER | 6 | 16.55 | 16.55 | | | |
| 25/02/2019 | DUMPER | 8 | 14.29 | | 14.29 | | |
| 25/02/2019 | DUMPER | 13 | 11.34 | 11.34 | | | |
| 25/02/2019 | DUMPER | 14 | 14.21 | 14.21 | | | |
| 25/02/2019 | DUMPER | 18 | 15.22 | | 15.22 | | |
| 25/02/2019 | DUMPER | 20 | 14.88 | 14.88 | | | |
| 25/02/2019 | DUMPER | 21 | 12.73 | | 12.73 | | |
| 27/02/2019 | VOLQUETE | D1S-741 | 40.11 | | | 40.11 | |
| 02/03/2019 | VOLQUETE | F7C-937 | 35.08 | | 35.08 | | |
| 04/03/2019 | VOLQUETE | D1S-741 | 17.60 | 17.60 | | | |
| 04/03/2019 | VOLQUETE | F7C-937 | 30.02 | 30.02 | | | |
| 06/03/2019 | VOLQUETE | D1S-741 | 30.01 | 30.01 | | | |
| 06/03/2019 | VOLQUETE | V8H 762 | 31.54 | 31.54 | | | |
| 09/03/2019 | VOLQUETE | F7C-937 | 56.15 | | | 43.88 | 57.50 |
| 09/03/2019 | DUMPER | 20 | 26.81 | | | 26.81 | |
| 14/03/2019 | VOLQUETE | D1S 741 | 35.05 | | | 35.05 | |
| 14/03/2019 | VOLQUETE | F7C 937 | 31.87 | | | 31.87 | |
| 14/03/2019 | DUMPER | 6 | 12.38 | | | 12.38 | |
| 15/03/2019 | VOLQUETE | F7C-937 | 22.47 | | | 22.47 | |
| 15/03/2019 | VOLQUETE | D1S-741 | 19.89 | | | 19.89 | |
| 15/03/2019 | DUMPER | 6 | 12.32 | | | 12.32 | |
| PROM | | | | 21.37 | 19.33 | 27.20 | 57.50 |
| MAX | | | | 31.54 | 35.08 | 43.88 | 57.50 |
| MIN | | | | 11.34 | 12.73 | 12.32 | 57.50 |

Parte del procesamiento de toda la data recopilada se resume en la tabla 4.4.1 donde se muestran los rendimientos promedio, mínimos y máximos durante el día y lugar de extracción. Por otro lado, en la figura 4.4.1 se sintetizan los rendimientos en cada labor de acuerdo al equipo de transporte (dumper 12Ton,dumper 8Tn y volquete).En todos los casos el volquete tiene un rendimiento mayor que se encuentra entre 27 y 35 toneladas por hora. Asimismo, el volquete F7C – 937 fue el que obtuvo el mayor rendimiento en comparación con los otros volquetes. Los rendimientos de los dumper se encontraban desde las 12 a 18 toneladas por hora.

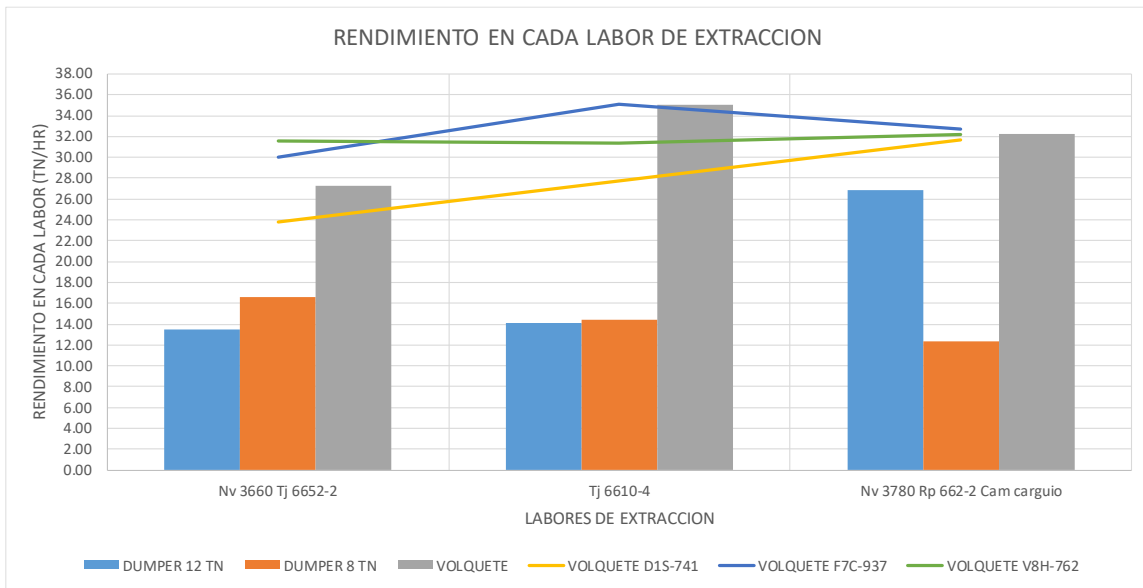


Figura 4.4.1: Rendimientos en cada labor de extracción.

Tabla 4.4.2: Rendimiento promedio de los equipos de transporte

| EQUIPO | PROMEDIO (TN/hr) |
|------------------|------------------|
| DUMPER 12TN | 15.64 |
| DUMPER 8TN | 13.75 |
| VOLQUETE D1S-741 | 28.53 |
| VOLQUETE F7C-937 | 35.12 |
| VOLQUETE V8H-762 | 31.54 |

En la tabla 4.4.2, se muestra como fue el rendimiento promedio según el tipo de equipo: Dumper 12TN, Dumper 8TN, Volquete D1S-741, Volquete F7C-937, Volquete V8H-762.

En la figura 4.4.2, se muestra como son los rendimientos durante el día y se puede ver que al inicio y final de la guarida se obtienen rendimientos mayores a los del promedio por cada equipo. Esto se debe a que en esos tiempos no hay tantos equipos que transitan por la rampa principal y es por eso tienen un acceso libre durante la ruta. Además, este rendimiento comienza a bajar durante el transcurso del día hasta permanecer casi constante. Esta información también se comprueba en la figura 4.4.3 donde para una misma labor se tienen diferentes rendimientos de los equipos.

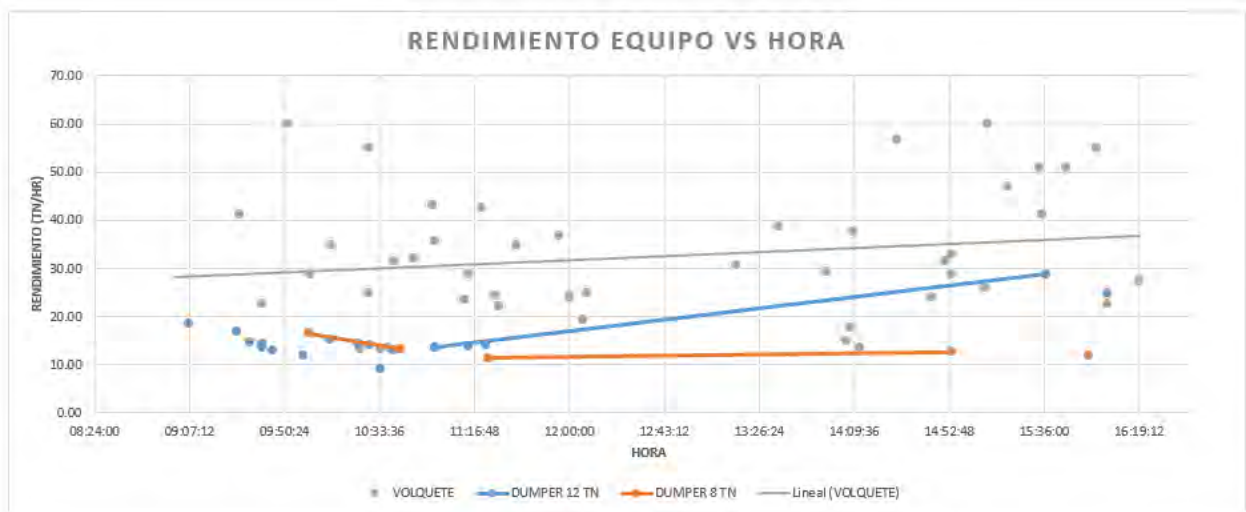


Figura 4.4.2: Rendimiento de los equipos de transporte durante el día de operación. Fuente: Elaboración propia

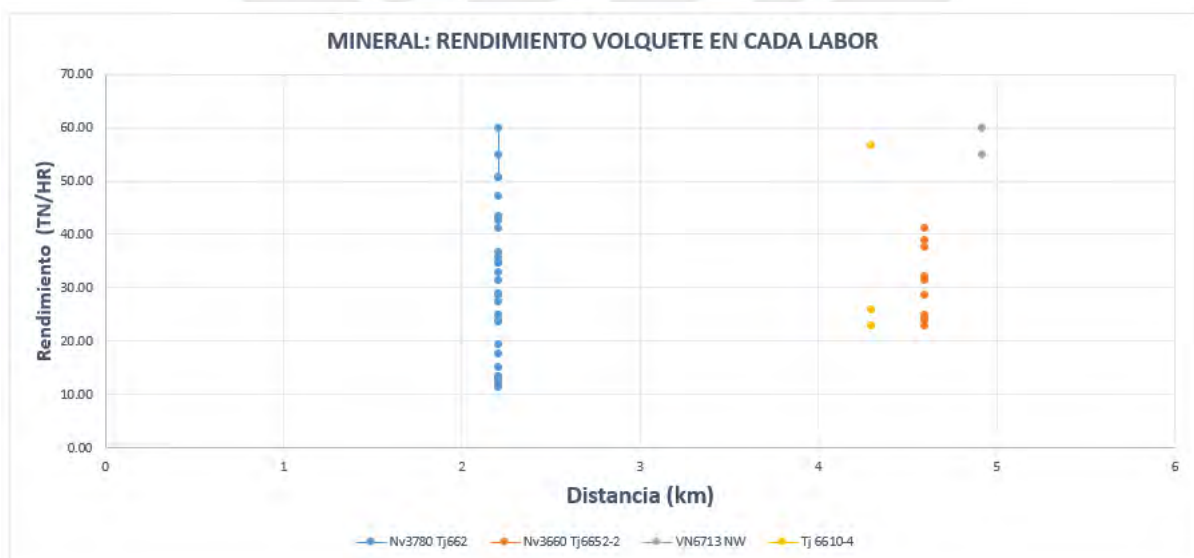


Figura 4.4.3 : Variación del rendimiento por cada labor. Fuente: Elaboración propia.

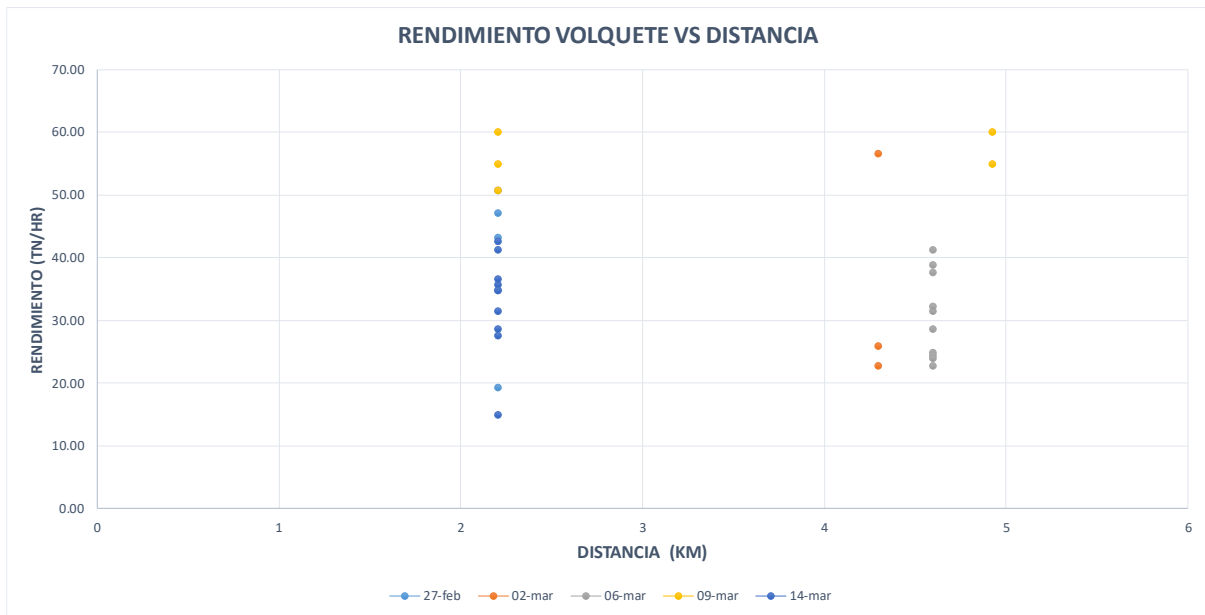


Figura 4.4.4: Rendimiento de volquete en distintos días. Fuente: Elaboración propia.

Los rendimientos del volquete empiezan a variar y son distintos para todos los días tal como se muestra en la figura 4.4.4. Esto se debe a que existen variables operativas exógenas que intervienen en su desempeño. Es normal que en las operaciones mineras ocurran eventos no esperados respecto a las variables operativas; sin embargo, estas variables fueron identificadas y medidas en la operación minera tal como se resumen en las figuras 4.4.5, figura 4.4.6 y figura 4.4.7.

En general, el tráfico en la rampa y el tráfico en el tajo con los equipos dumper, la espera de turno para la carga y descarga, espera del scoop, sección no estandarizadas y mantenimiento de vías son las variables que representan alrededor del 80% del tiempo perdido en la operación. En ese sentido, es posible presentar las soluciones para mitigar dichos factores.

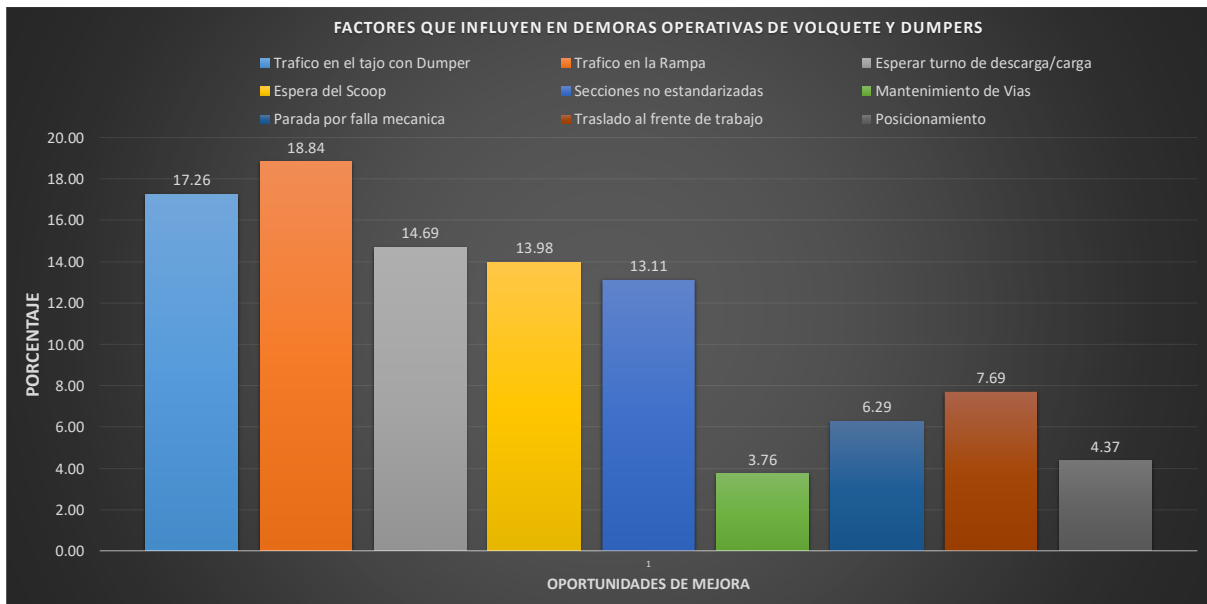


Figura 4.4.5: Variables operativas en los equipos dumper y volquete. Fuente: Elaboración propia.

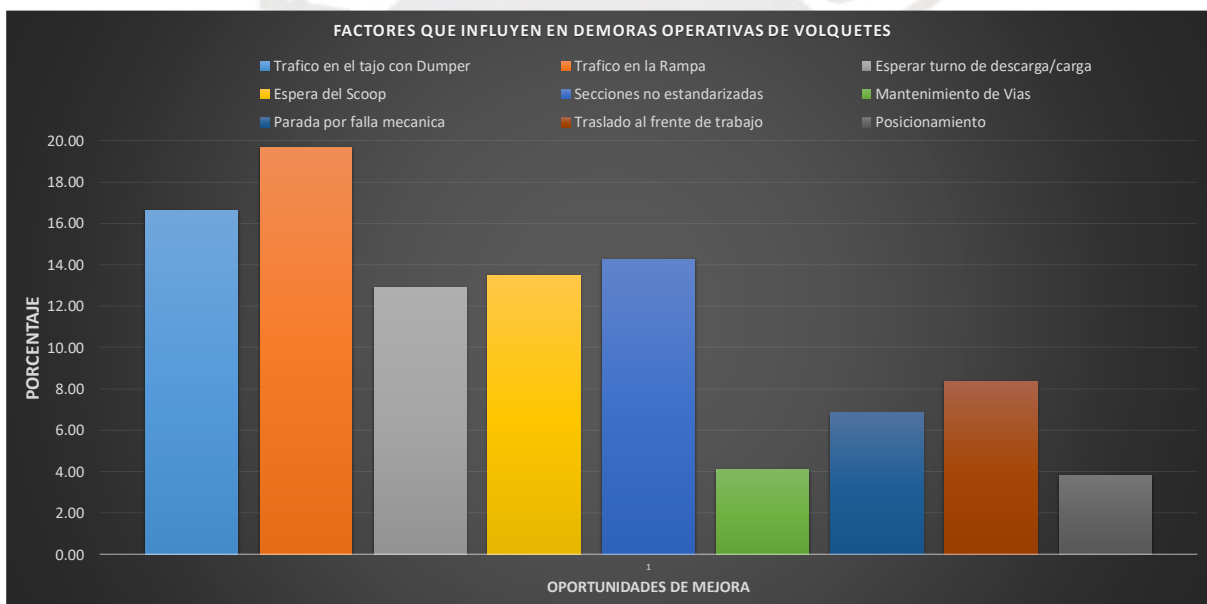


Figura 4.4.6: Variables operativas de Volquetes. Fuente: Elaboración propia.



Figura 4.4.7: Variables operativas de Dumper. Fuente: Elaboración propia.

El tráfico en la rampa principal se debe a que existen muchos equipos de acarreo que transportan mineral desde las labores de extracción hasta el echadero que es el destino final.

4.5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Se realizó una comparación económica entre el dumper y el volquete en base a los rendimientos y costos de transporte de acuerdo a los datos procesados. Además, se elaboró un listado de todas las causas que perjudican el óptimo transporte en interior mina y luego se realizara por el método de Pareto (el 20% del total de las causas representan el 80% del problema) la identificación de las causas más críticas.

Por un lado, para elaborar la comparación económica se ha considerado los precios unitarios de acarreo, los rendimientos, capacidad del dumper de 12 ton y volquete respectivamente. Asimismo, los tonelajes para cada labor fueron proporcionados por el área de planeamiento de mina acorde al plan de producción.

Tabla 4.5.1: Comparación económica para dumper y volquete. Fuente: Elaboración propia

| MARZO - FORECAST | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------|
| DIAS | 1 | 2 | 3 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | MES |
| Costo Unit Volquete(\$ /Km) | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | |
| Costo Unit Dumper (\$ /Km) | 2.64 | 2.64 | 2.64 | 2.64 | 2.64 | 2.64 | 2.64 | 2.64 | 2.64 | |
| Rendimiento Volquete(TN /hr) | 31.54 | 31.54 | 31.54 | 31.54 | 31.54 | 31.54 | 31.54 | 31.54 | 31.54 | |
| Rendimiento Dumper(TN /hr) | 15.64 | 15.64 | 15.64 | 15.64 | 15.64 | 15.64 | 15.64 | 15.64 | 15.64 | |
| Capacidad Volquete (TN) | 22.00 | 22.00 | 22.00 | 22.00 | 22.00 | 22.00 | 22.00 | 22.00 | 22.00 | |
| Capacidad Dumper (TN) | 12.00 | 12.00 | 12.00 | 12.00 | 12.00 | 12.00 | 12.00 | 12.00 | 12.00 | |
| Labor(TN) | 667 | 667 | 667 | 667 | 667 | 667 | 667 | 667 | 667 | Tn |
| Nv3780 Tj662 | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 | 5710 |
| Distancia (Km) | 2.20 | 2.20 | 2.20 | 2.20 | 2.20 | 2.20 | 2.20 | 2.20 | 2.20 | |
| Num de viajes Dumper | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | 17 | |
| Num de viajes Volquete | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | Tn |
| Tj6610-4 | 106 | 106 | 106 | 106 | 106 | 106 | 106 | 106 | 106 | 3184 |
| Distancia (Km) | 4.30 | 4.30 | 4.30 | 4.30 | 4.30 | 4.30 | 4.30 | 4.30 | 4.30 | |
| Num de viajes Dumper | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | |
| Num de viajes Volquete | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | Tn |
| Nv3660 Tj6652-2 | 371 | 371 | 371 | 371 | 371 | 371 | 371 | 371 | 371 | 11124 |
| Distancia (Km) | 4.60 | 4.60 | 4.60 | 4.60 | 4.60 | 4.60 | 4.60 | 4.60 | 4.60 | |
| Num de viajes Dumper | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | 33 | |
| Num de viajes Volquete | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | |
| DUMPER (12TN) | | | | | | | | | | |
| Numero Dumper | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | \$ |
| Costo Dumper (\$) | 598 | 598 | 598 | 598 | 598 | 598 | 598 | 598 | 598 | 17,935 |
| Numero de viajes | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 | 59 | |
| Toneladas | | | | | | | | | | |
| Factor desempeño | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | |
| Factor de variables operativas | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | |
| Factor de Carga | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | |
| TIPPER | | | | | | | | | | |
| Numero Volquete | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | \$ |
| Costo Volquete (\$) | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 953 |
| Numero de viajes | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | |
| Toneladas | | | | | | | | | | |
| Factor desempeño | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | |
| Factor de variables operativas | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | |
| Factor de Carga | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | |
| \$ | | | | | | | | | | |
| Ahorros | 566 | 566 | 566 | 566 | 566 | 566 | 566 | 566 | 566 | 16,982 |

En la tabla 4.5.1 se ha considerado una proyección para las labores Nv 3780 Tj662, Tj 6610-4 y Nv 3660 Tj 6652-2 con un plan de minado de 5710 ,3184 y 11124 toneladas respectivamente. Asimismo, para un costo unitario de 0.26 \$/Km para el volquete y 2.64 \$/Km para el dumper se realizó el siguiente análisis:

$$Tiempo\ Total\ acarreo(hr) = \frac{Toneladas\ (Tn)}{Rendimiento\ dumper\ \left(\frac{Tn}{hr}\right) * Desempeño\ (\%) * Factor\ var\ operativas(\%)}$$

$$Numero\ de\ viajes = \frac{Toneladas\ (Tn)}{Factor\ Carga(\%) * Capacidad\ Equipo\ (Tn)}$$

$$\text{Costo Dumper} = \text{Numero viajes} * \text{Distancia(km)} * \text{Costo Unitario dumper} \left(\frac{\$}{\text{Km}} \right)$$

$$\text{Costo Volquete} = \text{Numero viajes} * \text{Distancia(km)} * \text{Costo Unitario volquete} \left(\frac{\$}{\text{Km}} \right)$$

Finalmente, los costos mensuales del dumper ascienden a 17 935 US\$ y el costo de volquete mensual ascienden a 953 US\$. En la última fila de la tabla 4.5.1 se muestran los ahorros de utilizar volquete en contraste del dumper. Es decir, el ahorro mensual será de 16 982 US\$.

Por otro lado, el costo de capital que se consideraron fue el de contorno de la sección o desatado de roca, preparación de la sección que incluye el sostenimiento para una dimensión de 4x4 y el mantenimiento de vía.

En la tabla 4.5.2, se detalla el cálculo del costo del contorno de la sección pues las secciones inicialmente fueron preparadas para la entrada del scoop de 6 yardas cubicas y dumper de 12 Ton mas no para el volquete ya que este requiere de una sección de 4 metros de largo y 4 metros de alto. Asimismo, la preparación de la sección considera el costo de sostenimiento con la preparación del shotcrete, aplicación del shotcrete de 2 pulgadas, pernos helicoidales de 7 pies, malla electro soldada y finalmente la instalación de perno y malla. Este costo unitario asciende a 380,84 \$/metro. En el caso del mantenimiento de la vía se ha considerado un costo 30,47 \$/m el cual es un costo proporcionado por la unidad minera. En todos los casos se ha considerado un factor de avance de 1.4 ya que las labores no permanecerán estáticas, sino que estarán en constante desarrollo; sin embargo, para esta investigación se ha considerado la data recogida, es decir con los metrajes obtenidos e incrementándoles un 40% a la longitud obtenida para los próximos años es por eso la razón del factor de avance.

El cálculo de los costos fue realizada a través de la siguiente formula:

$$\text{Costo total (\$)} = \text{Costo Unitario} \left(\frac{\$}{\text{Unidad}} \right) * \text{Cantidad(unidad)} * \text{Factor Avanc}$$

Tabla 4.5.2: Costos de capital para la implementación de volquete. Fuente: Elaboración propia

| CAPEX | | 263,614 | \$ | | | | | |
|---|---------|-----------------|--------|----------|-----|-----|---------------|------------|
| | \$ | P.U (\$/unidad) | Unidad | Cantidad | | | Factor Avance | Total (\$) |
| Contorno de la seccion | 18,310 | 9.07 | m3 | 1441.584 | | | 1.4 | 18,310 |
| LONG. DE RAMPA PRINCIPAL A LA CAM. CARGUIO | | | | | | | | |
| Nv3780 Tj662 Tj6610-4 Nv3660 Tj6652-2 | | | | | | | | |
| | \$ | P.U (\$/unidad) | Unidad | Cantidad | | | Factor Avance | Total (\$) |
| Preparacion de la seccion | 227,133 | 380.84 | m | 96 | 200 | 130 | 1.4 | 227,133 |
| Mantenimiento de la via | 18,171 | 30.47 | m | 96 | 200 | 130 | 1.4 | 18,171 |

Los costos de capital total ascienden a 263,614 US\$ para poder implementar el sistema de volquete en la mina. Con este dato comparamos cómo será el costo para los próximos 10 años de la mina pues es la cantidad de años para lo que le queda a la mina si no realiza más exploraciones brownfield.

En el grafico 4.5.1, se muestran los costos del dumper para los próximos 10 años y en este caso no se considera la inversión de capital ya que es el sistema actual de extracción de la mina.

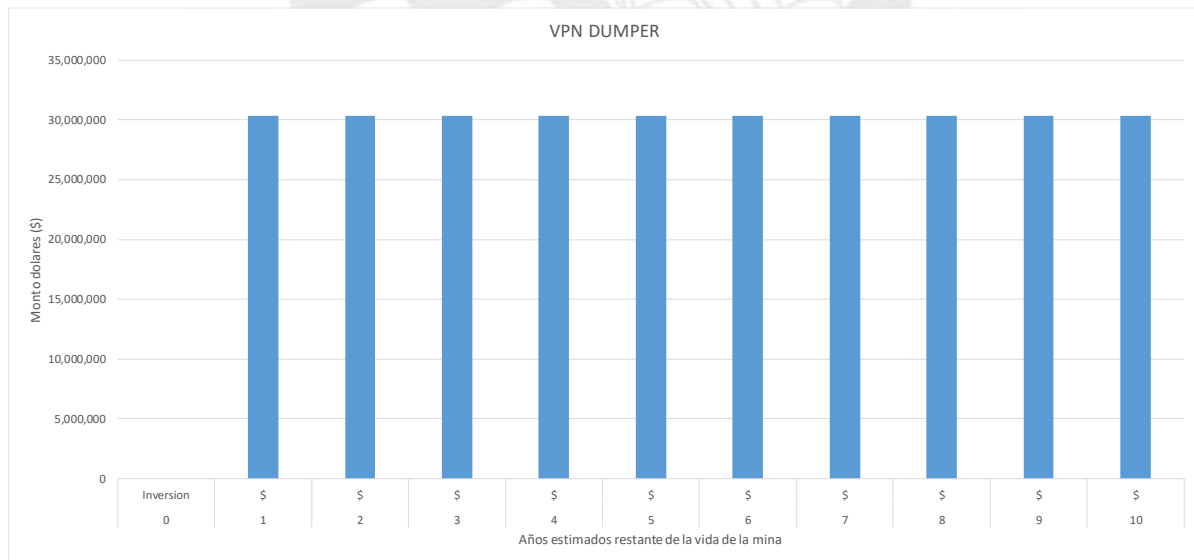


Figura 4.5.1: Costos anuales de dumper . Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4.5.2, se ha considerado el costo de capital para implementar los volquetes ya que es este sistema que interesa ser evaluado pero que necesitara de una inversión para llevarse a cabo.

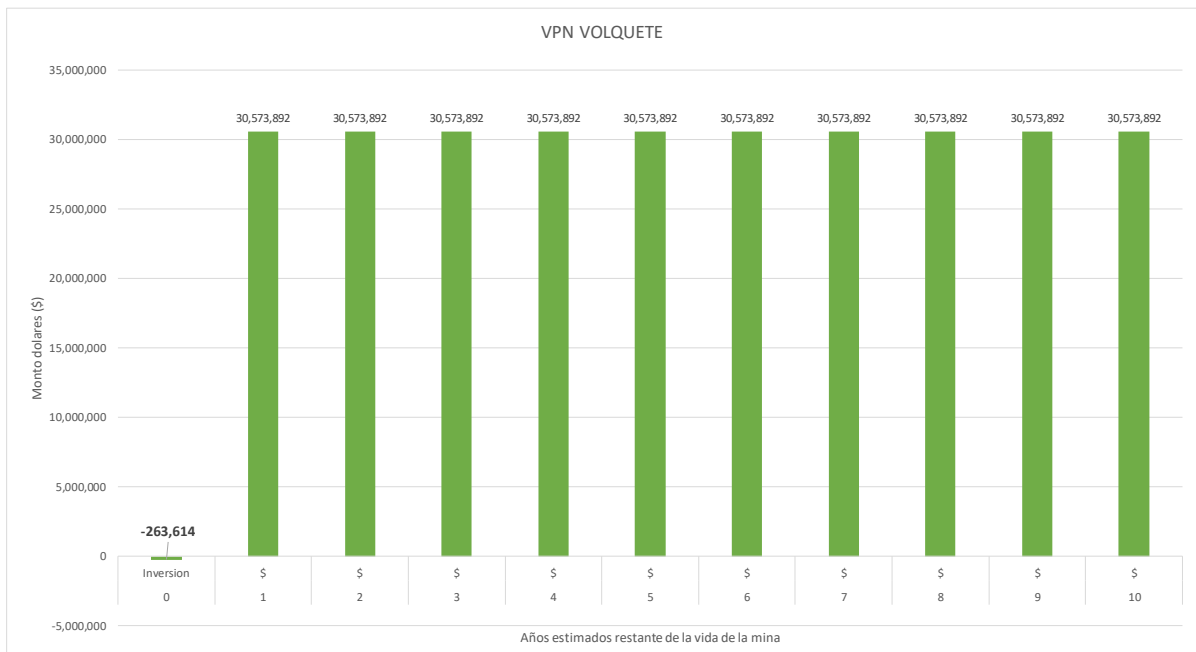


Figura 4.5.2: Costos anuales del volquete. Fuente: Elaboración propia.

La comparación entre estos dos sistemas se hará a través de la metodología del valor presente neto (VPN) utilizando una tasa de descuento de 12% como una tasa promedio y referencial para este proyecto de implementación.

De este modo podemos obtener los siguientes valores:

Tabla 4.5.3: Comparación por la metodología del valor presente neto. Fuente: Elaboración propia.

| TON ANUAL | | | | | | | | | | |
|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Nv3780 Tj662 | 68,522 | 68,522 | 68,522 | 68,522 | 68,522 | 68,522 | 68,522 | 68,522 | 68,522 | 68,522 |
| Tj6610-4 | 38,211 | 38,211 | 38,211 | 38,211 | 38,211 | 38,211 | 38,211 | 38,211 | 38,211 | 38,211 |
| Nv3660 Tj6652-2 | 133,485 | 133,485 | 133,485 | 133,485 | 133,485 | 133,485 | 133,485 | 133,485 | 133,485 | 133,485 |
| NSR (\$/TM) | | | | | | | | | | |
| Nv3780 Tj662 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 | 156 |
| Tj6610-4 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| Nv3660 Tj6652-2 | 165 | 165 | 165 | 165 | 165 | 165 | 165 | 165 | 165 | 165 |
| Ingresos (\$) | | | | | | | | | | |
| Nv3780 Tj662 | 10,661,938 | 10,661,938 | 10,661,938 | 10,661,938 | 10,661,938 | 10,661,938 | 10,661,938 | 10,661,938 | 10,661,938 | 10,661,938 |
| Tj6610-4 | 2,297,350 | 2,297,350 | 2,297,350 | 2,297,350 | 2,297,350 | 2,297,350 | 2,297,350 | 2,297,350 | 2,297,350 | 2,297,350 |
| Nv3660 Tj6652-2 | 22,034,009 | 22,034,009 | 22,034,009 | 22,034,009 | 22,034,009 | 22,034,009 | 22,034,009 | 22,034,009 | 22,034,009 | 22,034,009 |
| DUMPER | | | | | | | | | | |
| OPEX (\$/TM) | 19,266 | 19,266 | 19,266 | 19,266 | 19,266 | 19,266 | 19,266 | 19,266 | 19,266 | 19,266 |
| Costos Operativos Dumper | 220,747 | 220,747 | 220,747 | 220,747 | 220,747 | 220,747 | 220,747 | 220,747 | 220,747 | 220,747 |
| OPEX (US\$) | 4,628,059 | 4,628,059 | 4,628,059 | 4,628,059 | 4,628,059 | 4,628,059 | 4,628,059 | 4,628,059 | 4,628,059 | 4,628,059 |
| VOLQUETE | | | | | | | | | | |
| OPEX (\$/TM) | 18,397 | 18,397 | 18,397 | 18,397 | 18,397 | 18,397 | 18,397 | 18,397 | 18,397 | 18,397 |
| Costos Operativos Volquete | 12,093 | 12,093 | 12,093 | 12,093 | 12,093 | 12,093 | 12,093 | 12,093 | 12,093 | 12,093 |
| OPEX (US\$) | 4,419,405 | 4,419,405 | 4,419,405 | 4,419,405 | 4,419,405 | 4,419,405 | 4,419,405 | 4,419,405 | 4,419,405 | 4,419,405 |

TRADE OFF Dumper

| Año | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Inversion | \$ | \$ | \$ | \$ | \$ | \$ | \$ | \$ | \$ | \$ | \$ |
| Ingresos Totales (\$) | 34,993,297 | 34,993,297 | 34,993,297 | 34,993,297 | 34,993,297 | 34,993,297 | 34,993,297 | 34,993,297 | 34,993,297 | 34,993,297 | 34,993,297 |
| C. Oper Total (\$) | 0 | 4,628,059 | 4,628,059 | 4,628,059 | 4,628,059 | 4,628,059 | 4,628,059 | 4,628,059 | 4,628,059 | 4,628,059 | 4,628,059 |
| Flujo de Caja | 0 | 30,365,238 | 30,365,238 | 30,365,238 | 30,365,238 | 30,365,238 | 30,365,238 | 30,365,238 | 30,365,238 | 30,365,238 | 30,365,238 |

Valor Actual Neto \$171,570,366

TRADE OFF Volquete

| Año | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Inversion | \$ | \$ | \$ | \$ | \$ | \$ | \$ | \$ | \$ | \$ | \$ |
| Ingresos Totales (\$) | 34,993,297 | 34,993,297 | 34,993,297 | 34,993,297 | 34,993,297 | 34,993,297 | 34,993,297 | 34,993,297 | 34,993,297 | 34,993,297 | 34,993,297 |
| C. Oper Total (\$) | 4,419,405 | 4,419,405 | 4,419,405 | 4,419,405 | 4,419,405 | 4,419,405 | 4,419,405 | 4,419,405 | 4,419,405 | 4,419,405 | 4,419,405 |
| Flujo de Caja | -263,614 | 30,573,892 | 30,573,892 | 30,573,892 | 30,573,892 | 30,573,892 | 30,573,892 | 30,573,892 | 30,573,892 | 30,573,892 | 30,573,892 |

Valor Actual Neto \$172,485,697

Tabla 4.5.4: Valor económico que aporta la implementación del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

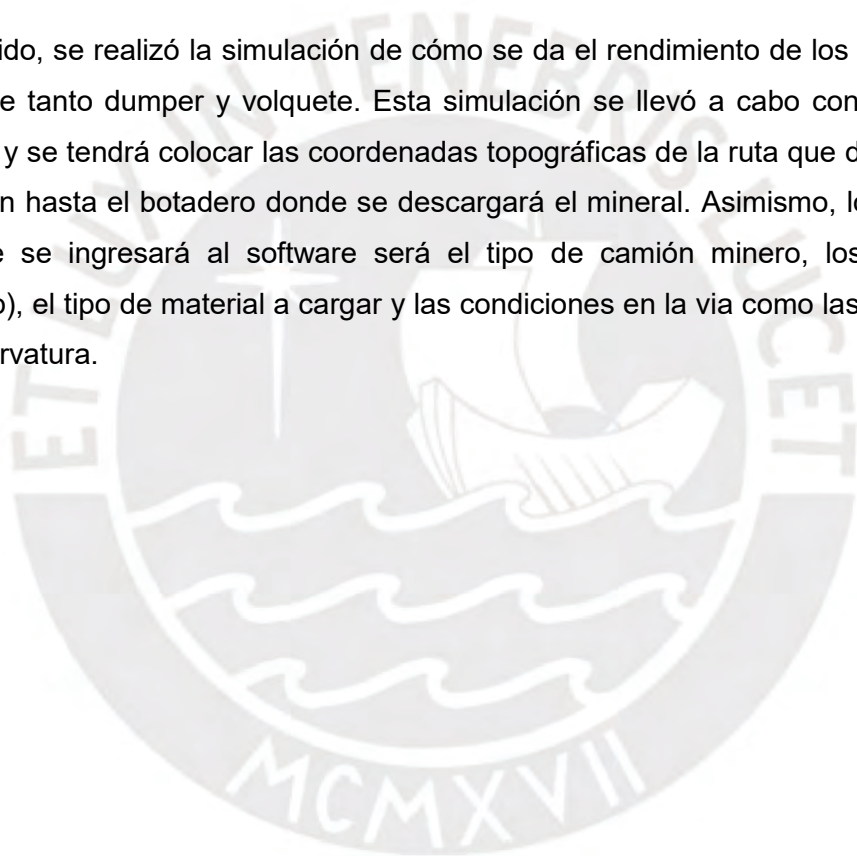
| | Inversion | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Flujo Dumper Actual (\$) | 0 | 30,365,238 | 30,365,238 | 30,365,238 | 30,365,238 | 30,365,238 | 30,365,238 | 30,365,238 | 30,365,238 | 30,365,238 | 30,365,238 |
| Flujo Volquete (\$) | -263,614 | 30,573,892 | 30,573,892 | 30,573,892 | 30,573,892 | 30,573,892 | 30,573,892 | 30,573,892 | 30,573,892 | 30,573,892 | 30,573,892 |
| Flujo Real proyecto | -263,614 | 208,655 | 208,655 | 208,655 | 208,655 | 208,655 | 208,655 | 208,655 | 208,655 | 208,655 | 208,655 |
| VAN | 915,331 | US\$ | | | | | | | | | |
| TIR | 79% | | | | | | | | | | |

En la tabla 4.5.3, se resume que el VAN del volquete (\$172,485,697) es mayor que el VAN del dumper (\$171,570,366). Estos valores presentes deben ser restados en la tabla 4.5.4 para poder hallar el valor real del proyecto que fue de 915,331 US\$ con una tasa de retorno de 79%.

4.6. DISEÑO DE UNA PROPUESTA DE GESTIÓN DE VOLQUETES DENTRO DE LA MINA

En base a las variables que afectan el rendimiento de los equipos de transporte se realizara una propuesta de mejora que permita no solo optimizar el rendimiento y costos de transporte de mineral sino también realizar el dimensionamiento necesario para saber cuántos volquetes son necesarios para cuatro labores mineras. Pues en esta etapa un factor determinante será el tráfico en la rampa principal y en las labores ya que realizar el cálculo del número de volquetes en una labor no significa que para dos labores será el doble ya que no se estaría aprovechando al máximo los volquetes que se tienen a disposición.

En ese sentido, se realizó la simulación de cómo se da el rendimiento de los dos sistemas de transporte tanto dumper y volquete. Esta simulación se llevó a cabo con el programa Haulsim 2.0 y se tendrá colocar las coordenadas topográficas de la ruta que desde la labor de extracción hasta el botadero donde se descargará el mineral. Asimismo, los valores de entrada que se ingresará al software será el tipo de camión minero, los equipos de carga(Scoop), el tipo de material a cargar y las condiciones en la vía como las gradientes o radios de curvatura.



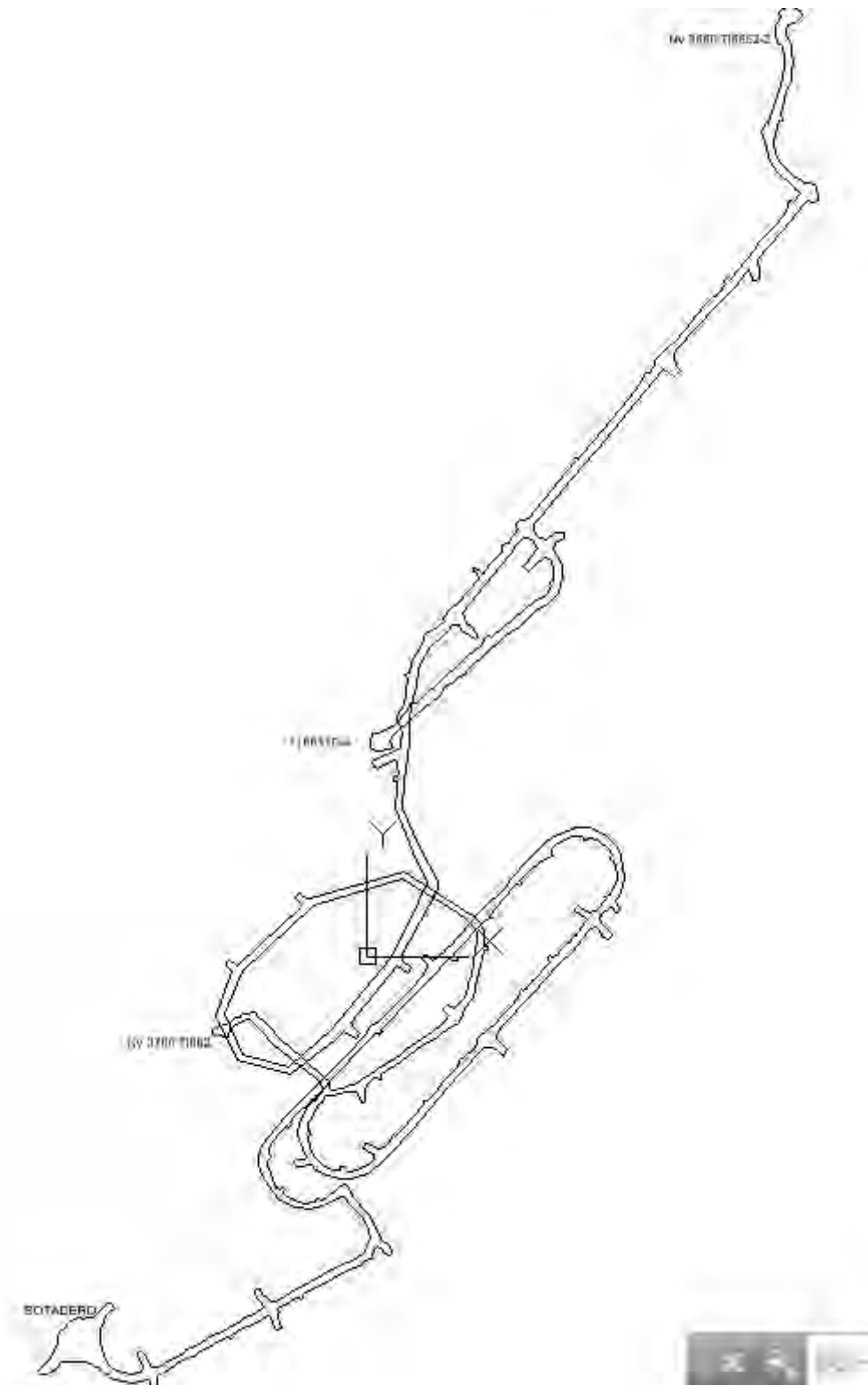


Figura 4.6.1.: Topografía desde el punto de descarga hasta las labores de extracción. Vista planta.

Fuente: Proporcionado por la empresa minera

Esta topografía será subida al simulador y se deberá configurar los datos de los equipos sobre su velocidad, capacidad de equipos de acarreo, capacidad de equipos de carguío y densidad del material.

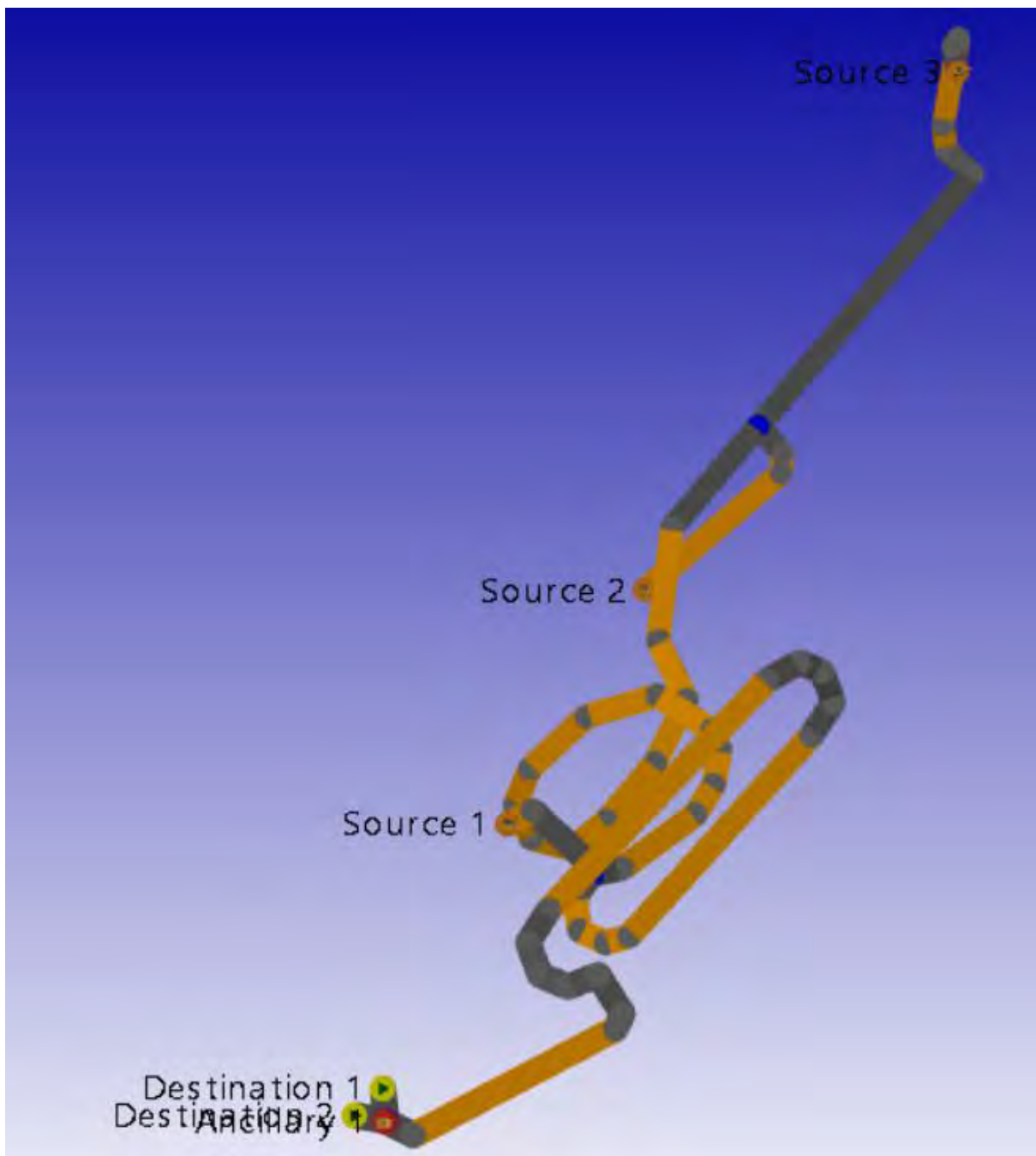


Figura 4.6.2.: Topografía en Haulsim desde el punto de descarga hasta las labores de extracción.
Vista planta. Fuente: Elaboración propia

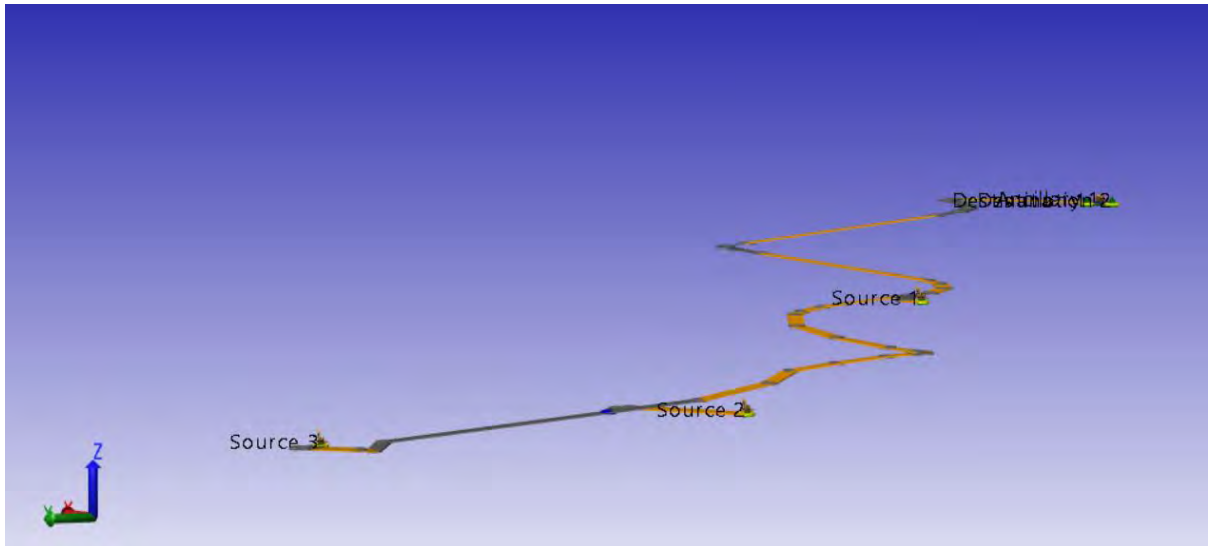


Figura 4.6.3.: Topografía en Haulsim desde el punto de descarga hasta las labores de extracción.
Vista perfil. Fuente: Elaboración propia

Antes de ejecutar el simulador se consideró las premisas respecto a las horas efectivas de trabajo en la unidad minera. Estas se detallan en la tabla 4.6.1 donde finalmente se considerarán 8 horas efectivas en cada guardia. Dicho de otro modo, la cantidad de horas efectivas por día que tienen los equipos de transporte para cumplir el tonelaje debe ser como máximo 16 horas.

Tabla 4.6.1: Cronograma de cada guardia considerado en el simulador. Fuente: Elaboración propia

Premisas

| | Inicio | Fin | Horas | Reparto guardia e ingreso a la mina (hr) | Hora de refrigerio (hr) | Salida de mina (hr) | Horas efectivas (hr) |
|-----------------|--------|-------|-------|--|-------------------------|---------------------|----------------------|
| Primera guardia | 6 a.m | 6 p.m | 12 | 2 | 1 | 1 | 8 |
| Segunda guardia | 6 p.m | 6 a.m | 12 | 2 | 1 | 1 | 8 |
| | | | | | | | 16 |

Del mismo modo, en el simulador se ejecutó 5 casos con variaciones de cantidad y tipo de equipos tal como se muestran en la tabla 4.6.2, tabla 4.6.3, tabla 4.6.4, tabla 4.6.5 y tabla 4.6.6 para comprobar si efectivamente se cumple los objetivos diario de acarreo con el simulador.

Tabla 4.6.2: Caso 1 considerado en el simulador. Fuente: Elaboración propia

| Condicion via | | EQUIPO | | | CANTIDAD | | | RESULTADO Cumple con las horas efectivas | | | | | |
|---------------|--|----------|--------------|-------------|----------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | Volquete | Dumper 12 TN | Dumper 8 TN | | | | | | | | | |
| | | 3 | 0 | 0 | | | | | | | | | |

| Orden de tarea | Labores | Plan de minado Marzo | Tonelaje diario (TN) | Hora inicio | Hora Fin | Tiempo total (hr) | Cantidad Viajes | EQUIPO | Rendimiento promedio (tn/hr) | Capacidad Carga (TN) | Tiempo Ciclo hh:mm:ss | Tiempo Ciclo (hr) |
|----------------|-----------------|----------------------|----------------------|-------------|----------|-------------------|-----------------|----------|------------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|
| 1 | Nv3780 Tj662 | 5710.19 | 190 | 8:15:00 | 10:20:00 | 2.08 | 11 | Volquete | 46.95 | 20.54 | 0:26:15 | 0.44 |
| 2 | Tj6610-4 | 3184.25 | 106 | 10:20:00 | 11:55:00 | 1.58 | 6 | Volquete | 26.82 | 20.54 | 0:45:57 | 0.77 |
| 3 | Nv3660 Tj6652-2 | 11123.72 | 371 | 11:55:00 | 23:24:00 | 7.48 | 21 | Volquete | 24.19 | 20.54 | 0:50:57 | 0.85 |
| | | | | | | 11.15 | | | | | | |

Tabla 4.6.3: Caso 2 considerado en el simulador. Fuente: Elaboración propia

| Condicion via | | EQUIPO | | | CANTIDAD | | | RESULTADO Cumple con las horas efectivas | | | | | |
|---------------|--|----------|--------------|-------------|----------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | Volquete | Dumper 12 TN | Dumper 8 TN | | | | | | | | | |
| | | 3 | 0 | 0 | | | | | | | | | |

| Orden de tarea | Labores | Plan de minado Marzo | Tonelaje diario (TN) | Hora inicio | Hora Fin | Tiempo total (hr) | Cantidad Viajes | EQUIPO | Rendimiento promedio (tn/hr) | Capacidad Carga (TN) | Tiempo Ciclo hh:mm:ss | Tiempo Ciclo (hr) |
|----------------|-----------------|----------------------|----------------------|-------------|----------|-------------------|-----------------|----------|------------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|
| 3 | Nv3780 Tj662 | 5710.19 | 190 | 20:30:00 | 22:55:00 | 2.42 | 11 | Volquete | 46.95 | 20.54 | 0:26:15 | 0.44 |
| 2 | Tj6610-4 | 3184.25 | 106 | 16:38:00 | 20:30:00 | 0.87 | 6 | Volquete | 26.82 | 20.54 | 0:45:57 | 0.77 |
| 1 | Nv3660 Tj6652-2 | 11123.72 | 371 | 8:25:00 | 16:38:00 | 7.22 | 21 | Volquete | 24.19 | 20.54 | 0:50:57 | 0.85 |
| | | | | | | 10.50 | | | | | | |

Tabla 4.6.4: Caso 3 considerado en el simulador. Fuente: Elaboración propia

| Condicion via | | EQUIPO | | | CANTIDAD | | | RESULTADO NO CUMPLE CON LAS HORAS EFECTIVAS TERMINO EN 18 HORAS EFECTIVAS | | | | | |
|---------------|--|----------|--------------|-------------|----------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | Volquete | Dumper 12 TN | Dumper 8 TN | | | | | | | | | |
| | | 0 | 3 | 3 | | | | | | | | | |

| Orden de tarea | Labores | Plan de minado Marzo | Tonelaje diario (TN) | Hora inicio | Hora Fin | Tiempo total (hr) | Cantidad Viajes | EQUIPO | Rendimiento promedio (tn/hr) | Capacidad Carga (TN) | Tiempo Ciclo hh:mm:ss | Tiempo Ciclo (hr) |
|----------------|-----------------|----------------------|----------------------|-------------|----------|-------------------|-----------------|--------------|------------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|
| 3 | Nv3780 Tj662 | 5710.19 | 190 | 7:30:00 | 13:55:00 | 2.42 | 28 | Dumper 12 TI | 22.52 | 12 | 0:31:58 | 0.53 |
| 2 | Tj6610-4 | 3184.25 | 106 | 20:38:00 | 7:30:00 | 8.00 | 17 | Dumper 12 TI | 12.40 | 12 | 0:58:03 | 0.97 |
| 1 | Nv3660 Tj6652-2 | 11123.72 | 371 | 8:25:00 | 20:38:00 | 8.22 | 58 | Dumper 12 TI | 11.09 | 12 | 1:04:57 | 1.08 |
| | | | | | | 18.63 | | | | | | |

Tabla 4.6.5: Caso 4 considerado en el simulador. Fuente: Elaboración propia

| Condicion via | | EQUIPO | | | CANTIDAD | | | RESULTADO CUMPLE CON LAS HORAS EFECTIVAS TERMINO EN UNA GUARDIA | | | | | |
|---------------|--|----------|--------------|-------------|----------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | Volquete | Dumper 12 TN | Dumper 8 TN | | | | | | | | | |
| | | 3 | 3 | 3 | | | | | | | | | |

| Orden de tarea | Labores | Plan de minado Marzo | Tonelaje diario (TN) | Hora inicio | Hora Fin | Tiempo total (hr) | Cantidad Viajes | Equipo | Rendimiento promedio (tn/hr) | Capacidad Carga (TN) | Tiempo Ciclo hh:mm:ss | Tiempo Ciclo (hr) |
|----------------|-----------------|----------------------|----------------------|-------------|----------|-------------------|-----------------|--------------|------------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|
| 3 | Nv3780 Tj662 | 5710.19 | 190 | 8:05:00 | 14:55:00 | 5.83 | 28 | Dumper 12 TI | 18.95 | 12 | 0:38:00 | 0.63 |
| 2 | Tj6610-4 | 3184.25 | 106 | 8:15:00 | 16:30:00 | 7.25 | 17 | Dumper 12 TI | 13.83 | 12 | 0:52:03 | 0.87 |
| 1 | Nv3660 Tj6652-2 | 11123.72 | 371 | 8:25:00 | 17:00:00 | 7.58 | 21 | Volquete | 20.02 | 22 | 1:05:57 | 1.10 |

Tabla 4.6.6: Caso 5 considerado en el simulador. Fuente: Elaboración propia

| Condicion via | | EQUIPO | | | CANTIDAD | | | RESULTADO CUMPLE CON LAS HORAS EFECTIVAS TERMINO EN MEDIA GUARDIA | | | | | |
|---------------|--|----------|--------------|-------------|----------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | Volquete | Dumper 12 TN | Dumper 8 TN | | | | | | | | | |
| | | 9 | 0 | 0 | | | | | | | | | |

| Orden de tarea | Labores | Plan de minado Marzo | Tonelaje diario (TN) | Hora inicio | Hora Fin | Tiempo total (hr) | Cantidad Viajes | Equipo | Rendimiento promedio (tn/hr) | Capacidad Carga (TN) | Tiempo Ciclo hh:mm:ss | Tiempo Ciclo (hr) |
|----------------|-----------------|----------------------|----------------------|-------------|----------|-------------------|-----------------|----------|------------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|
| 3 | Nv3780 Tj662 | 5710.19 | 190 | 11:30:00 | 12:05:00 | 0.58 | 11 | Volquete | 41.25 | 22 | 0:32:00 | 0.53 |
| 2 | Tj6610-4 | 3184.25 | 106 | 10:55:00 | 11:30:00 | 0.58 | 6 | Volquete | 26.37 | 22 | 0:50:03 | 0.83 |
| 1 | Nv3660 Tj6652-2 | 11123.72 | 371 | 8:05:00 | 10:55:00 | 2.83 | 21 | Volquete | 20.00 | 22 | 1:06:00 | 1.10 |

Para el caso 4 en específico, se configuro el simulador con una cantidad de 3 volquetes, 3 dumper 12 Ton y 3 dumper de 8 Ton para evaluar el rendimiento de los volquetes y el tiempo de demora por tráfico. Este caso es el que más se acerca al caso actual de la unidad minera. En la figura 4.6.3, figura 4.6.4 y figura 4.6.5 representan en porcentajes los tiempos del volquete y en las figuras 4.6.6, 4.6.7 y 4.6.8 se observan los valores en minutos de los tiempos durante el transporte de mineral de los volquetes.

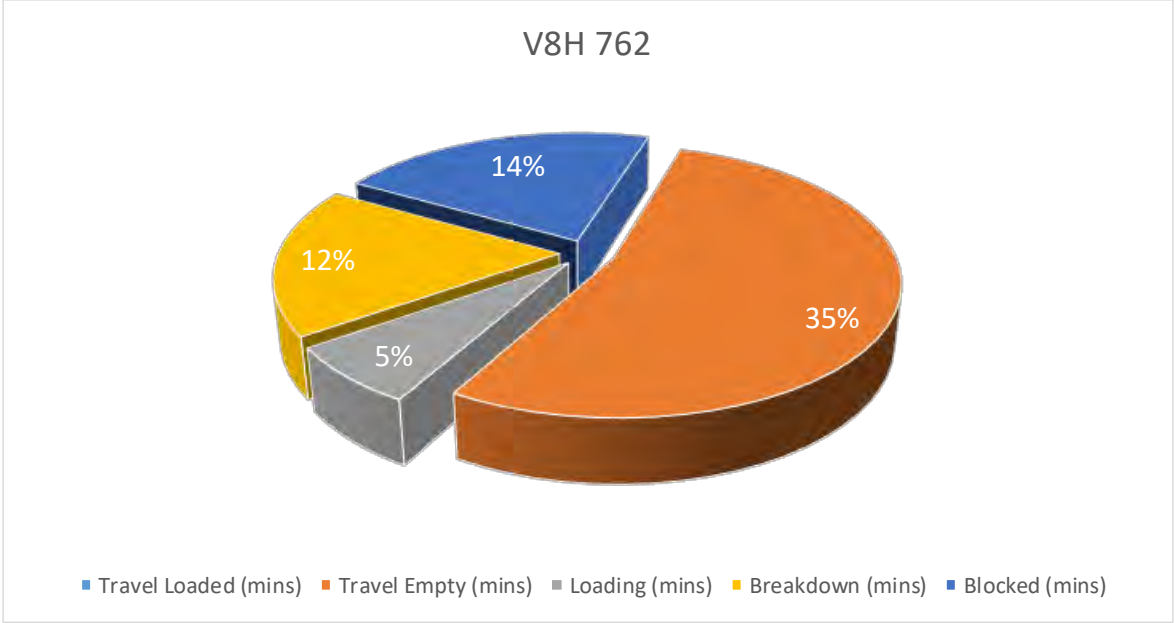


Figura 4.6.3: Estructura de tiempos en porcentaje para el volquete V8H 762. Fuente: Software Haulsim

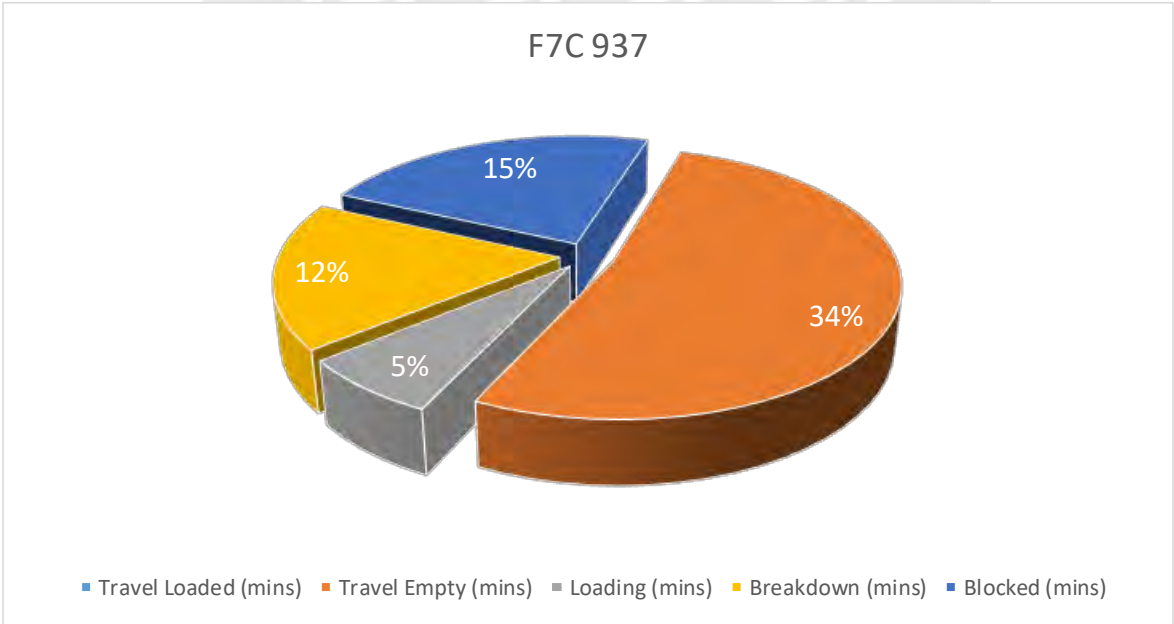


Figura 4.6.4: Estructura de tiempos en porcentaje para el volquete F7C 937. Fuente: Software Haulsim

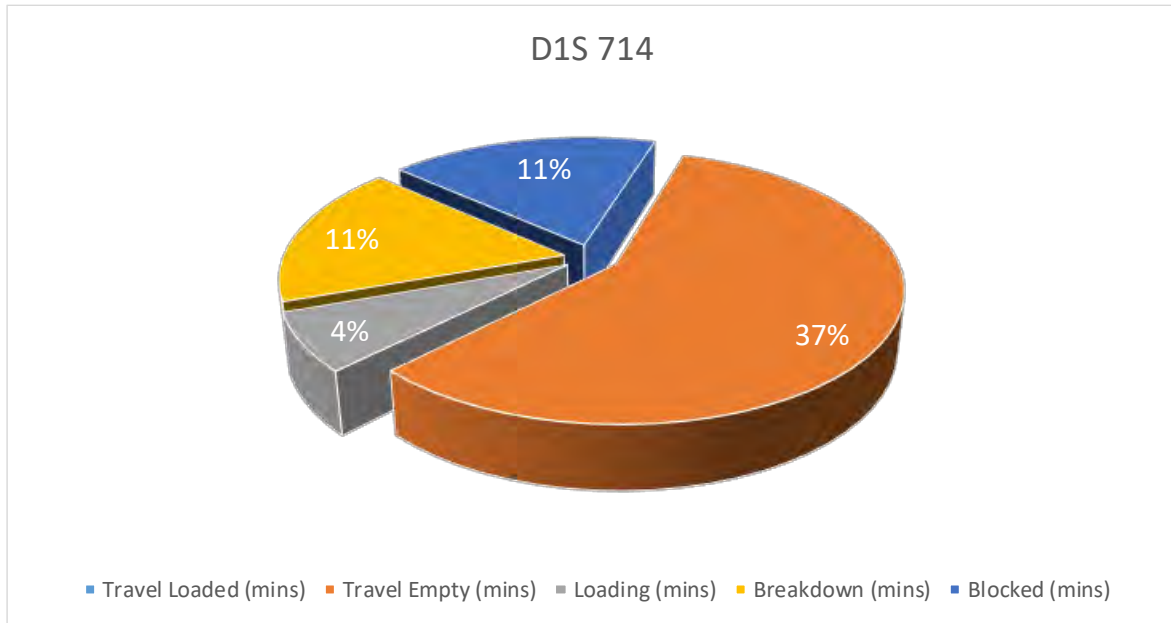


Figura 4.6.5: Estructura de tiempos en porcentaje para el volquete D1S 714. Fuente: Software Haulsim

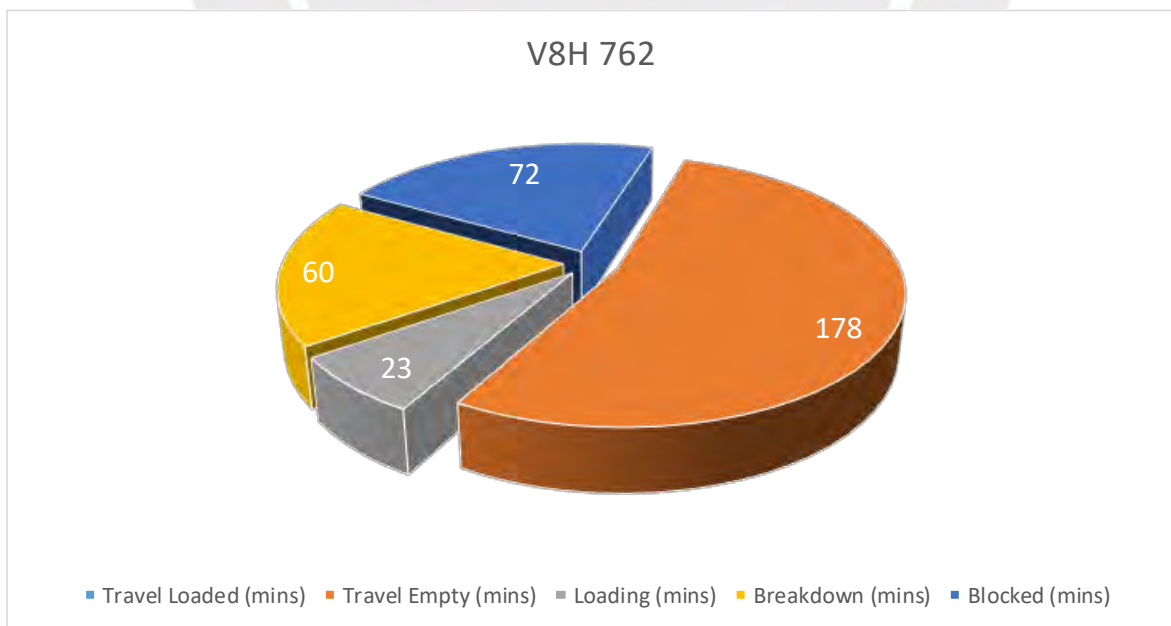


Figura 4.6.6: Estructura de tiempos en minutos para el volquete V8H 762. Fuente: Software Haulsim

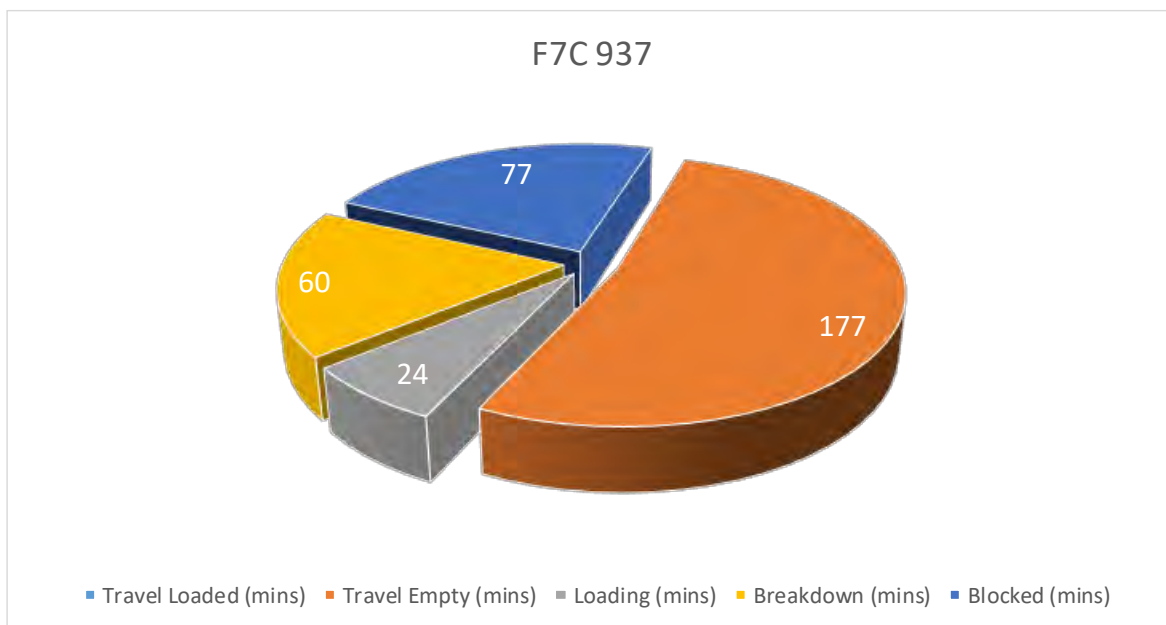


Figura 4.6.7: Estructura de tiempos en minutos para el volquete F7C 937. Fuente: Software Haulsim

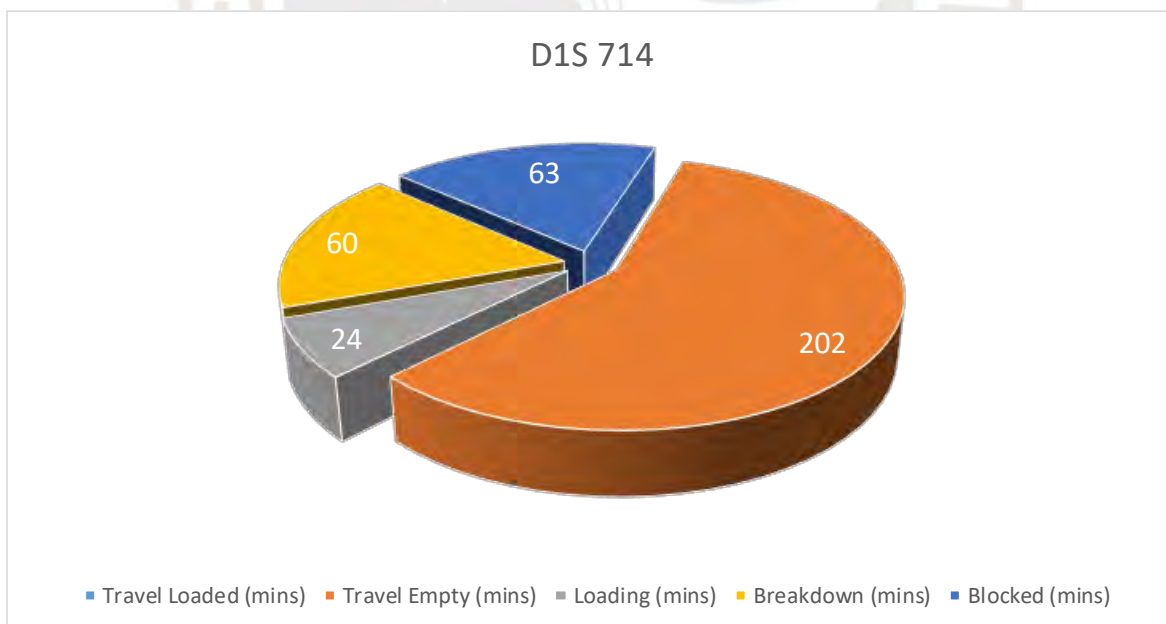


Figura 4.6.7: Estructura de tiempos en minutos para el volquete D1S 714. Fuente: Software Haulsim

Finalmente, en el caso 5 se ejecutó la posible implementación del Sistema de extracción con 9 volquetes y que tuvo un resultado positivo ya que el tonelaje objetivo diario en cada labor que supuestamente debía ser extraído en dos guardias fue terminado en una guardia. Sin embargo, para el caso 3 en la que se consideró 3 dumper 12 Ton y 3 dumper de 8Ton fue ejecutado en 18 horas efectivas. Quiere decir que no se pudo extraer en las dos guardias, sino que requirieron de 3 guardias para completar dicho objetivo.

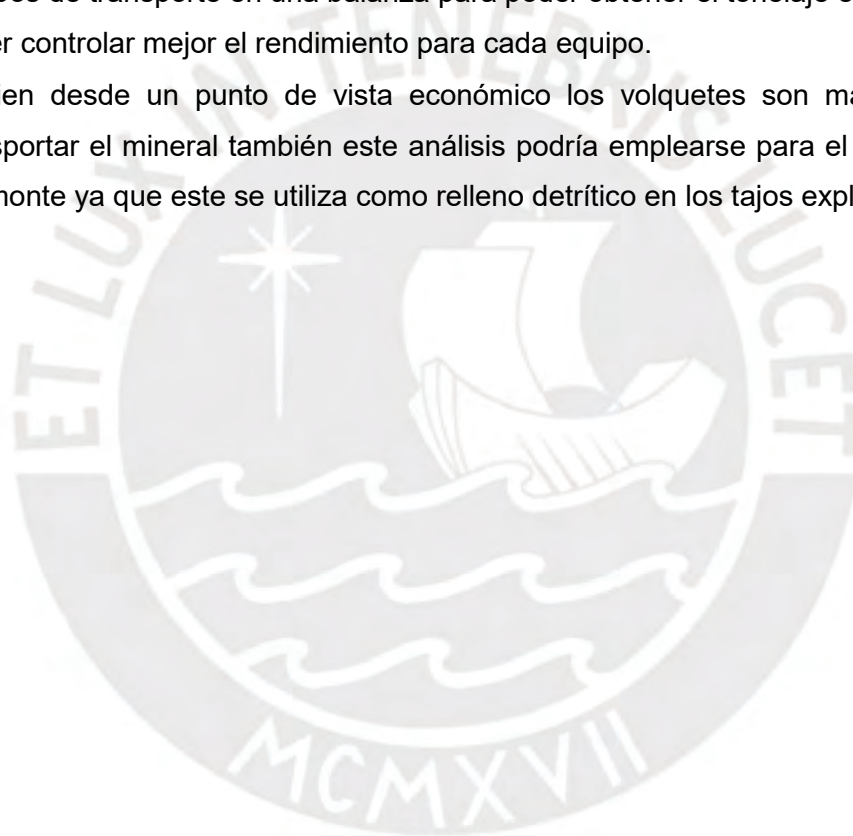


5. CONCLUSIONES

- Los rendimientos mínimo y máximo para los volquetes fueron de 28.53 Ton/hr y 35.12 Ton/hr respectivamente. Mientras que los rendimientos mínimos y máximos para el dumper de 12TN fue de 11.34 Ton/hr y 14.88 Ton/hr respectivamente. En ese sentido es posible afirmar la hipótesis 1 que fue planteada al inicio.
- El ahorro mensual al elegir el volquete será de US\$ 16 982; asimismo, el VAN real del proyecto será 915,331 US\$ con una tasa interna de retorno de 79%. Por tanto, a largo plazo es preferible usar volquetes ya que el costo anual será menor.
- El tráfico en la rampa, tráfico en el tajeo con dumper, espera del scoop, secciones no estandarizadas y mantenimiento de vías representan el 80 % de las variables operativas que afectan el rendimiento de los equipos. En específico el tráfico en la rampa represento la causa principal. Es decir, la hipótesis 2 que fue planteada al inicio es afirmativa.
- El hecho de tener un rendimiento mayor por parte de los volquetes implica que se necesitaran tres volquetes para cumplir con el tonelaje diario y por tanto evitar tanto tráfico en la rampa principal por la que transitan los equipos de transporte ya que si solo se emplearan seis dumper no se llegaría a cumplir el tonelaje diario.
- El rendimiento de los volquetes obtenidos (desde 28.53 Ton/hr hasta 35.12 Ton/hr) están por encima del promedio del “benchmark” de minas subterráneas que van desde 23 ton/hr hasta 31 ton/hr. En ese sentido, se puede optimizar estos rendimientos posicionándose con ventaja por encima de otras empresas y siendo más efectivos al largo plazo.
- Al realizar la simulación bajo el escenario que se realiza actualmente en la unidad minera se encontró que las horas de tráfico en la rampa y con los dumpers en el tajo ascienden en promedio a 70 minutos que representa un 13 % del tiempo total para un volquete al transportar mineral. Asimismo, bajo este escenario, el tonelaje diario fue cumplido dentro de las horas efectivas. Sin embargo, el caso donde se consideraron 3 dumper de 12 Ton y 3 dumper de 8 Ton no se llegó a concretar la cuota diaria de tonelaje.
- Es necesario considerar para el transporte de mineral solo volquetes ya que estos tienen una mayor capacidad de acarreo y mayor velocidad pues si el dimensionamiento solo se da con volquetes entonces habrá menos cantidad de volquetes que de dumper que serán necesario para transportar la misma cantidad de mineral. De este modo, el tráfico será menor entre volquetes.

6. RECOMENDACIONES

- Es necesario realizar una simulación general de la mina entera para identificar que otras labores se pueden implementar un sistema de transporte más efectivo
- Al realizar las simulaciones se debe de repetir los escenarios con variaciones de orden pues influye en el rendimiento de los equipos e identificar la estrategia a emplear para la extracción
- Para tener un rendimiento más específico sería recomendable poder medir los equipos de transporte en una balanza para poder obtener el tonelaje en cada viaje y poder controlar mejor el rendimiento para cada equipo.
- Si bien desde un punto de vista económico los volquetes son más baratos al transportar el mineral también este análisis podría emplearse para el transporte de desmonte ya que este se utiliza como relleno detrítico en los tajos explotados.



7. BIBLIOGRAFÍA

- Cuti, J. (2019). Determinación de indicadores de rendimiento en equipos de carguío, acarreo y transporte para mejorar la productividad en mina Chipmo, u.e.a. Orcopampa de CIA de minas Buenaventura S.A.A. Arequipa. (Tesis de licenciatura en ingeniería de minas, Universidad Nacional de San Antonio de Abad del Cuzco, Perú)
- Ballester, F & Peral, A. (1988 Setiembre). Aplicación mediante ordenador del factor de acoplamiento en equipos de carga y transporte. Revista de Obras Públicas, 857-869
- Baldeon, Z. (2011). Gestión en las operaciones de transporte y acarreo para el incremento de la productividad en CIA. Minera Condestable S.A. (Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería de Minas, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú)
- Riveros, J. (2016). Cálculo de la productividad máxima por hora de los volquetes en el transporte minero subterráneo en la unidad minera Arcata 2016. (Tesis con licenciatura en Ingeniería de Minas, Universidad Nacional del Altiplano, Perú)
- Robles, L. (2015). Influencia de factores operacionales en la productividad de volquetes volvo FMX 8x4 en el proceso de extracción de mineral y desmonte en una operación subterránea. (Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería de Minas, Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú)
- Skawina, B. (2019). Load-Haul-Dump operations in underground mines. (Tesis de doctorado en Ingeniería Civil, Ambiente y de recursos naturales con mención en Ingeniería de Minas y Geotécnica. Lulea University of Technology, Suecia).