



UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO”
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS
GEOLOGÍA Y METALURGIA



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE MINAS

TESIS

**OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE EN LA
RAMPA 400 MINA HÉRCULES CÍA. MINERA
LINCUNA S.A. – 2022**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO DE MINAS**

PRESENTADO POR:

BACH.: MAGUIÑA HUARAC ANGEL JHONSTON

ASESOR:

Dr. Ing. SOTELO MONTES JAVIER ENRRIQUE

HUARAZ – PERÚ

2023





UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS,
GEOLOGÍA Y METALURGIA

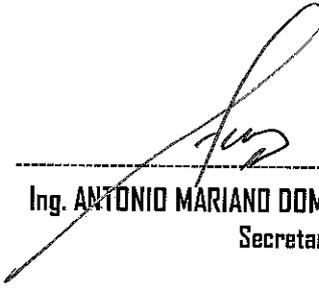


ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL

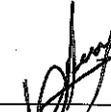
En la ciudad de Huaraz, siendo las tres horas con diez minutos de la tarde (3:10 p.m.) del día diecinueve de Diciembre del Veintitres (19/12/23), se reunieron los miembros del Jurado Evaluador nominados según Resolución Nro. 116-2023-FIMGM/D, de fecha 06 de Junio del 2023, integrado por los siguientes Docentes: **Dr. GUSTAVO ROBERTO BOJORQUEZ HUERTA**, como **Presidente**; **Ing. ANTONIO MARIANO DOMINGUEZ FLORES**, **Secretario** y el **Dr. RICARDO CAYO CASTILLEJO MELGAREJO**, como **Vocal**; para la sustentación de la tesis Titulada: "**OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE TRANSPORTE EN LA RAMPA 400 MINA HERCULES CIA. MINERA LINCUNA S.A. - 2022**", presentado por el **Bachiller ANGEL JHONSTON MAGUIÑA HUARAC**, para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas, en concordancia con el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo", se procedió con el acto de sustentación bajo las siguientes consideraciones, el Presidente del Jurado calificador, invitó a los docentes, alumnos y público en general a participar en este acto; luego invitó al Secretario del Jurado calificador a dar lectura de la Resolución N° 116-2023-FIMGM/D de fecha 06 de Junio del 2023. Acto seguido se invitó al sustentante a la defensa de su tesis por un lapso de treinta minutos (30), concluida con la misma, se procedió con el rol de preguntas de parte de los miembros del Jurado Evaluador, finalmente se invitó al público en general a hacer abandono del Auditorium de la FIMGM por un lapso de diez (10) minutos con el propósito de deliberar la nota del sustentante, **ACORDANDO: APROBAR CON EL CALIFICATIVO (*)de: DIECISEIS (16)**. Siendo las dieciséis horas y diez (16:10 p.m.) del mismo día, se dio por concluida el acto de sustentación.

En consecuencia, queda en condición de ser **Aprobado** por el Consejo de Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Metalurgia y por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" y recibir el Título de **INGENIERO DE MINAS** de conformidad con la Ley Universitaria y el Estatuto de la UNASAM.


Dr. GUSTAVO ROBERTO BOJORQUEZ HUERTA
Presidente


Ing. ANTONIO MARIANO DOMINGUEZ FLORES
Secretario


Dr. RICARDO CAYO CASTILLEJO MELGAREJO
Vocal


Dr. JAVIER ENRIQUE SOTELO MONTES
Asesor

(*) De acuerdo con el Artículo 84º Reglamento de Grados y Títulos de la UNASAM, están deben ser calificadas con términos de: **APROBADO CON EXCELENCIA (19-20)**, **APROBADO CON DISTINCIÓN (17-18)**, **APROBADO (14-16)**, **DESAPROBADO (00-13)**.

Nota: El sustentante deberá levantar todas las observaciones realizadas por el Jurado Evaluador



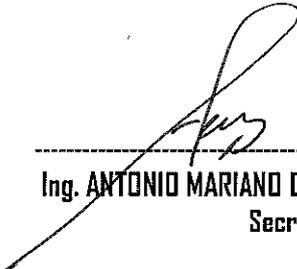
ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS

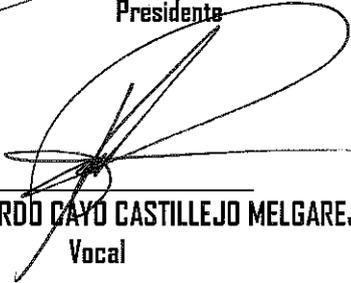
Los Miembros del Jurado Evaluador, informamos que el Bachiller ANGEL JHONSTON MAGUIÑA HUARAC, ha sustentado la tesis titulada **"OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE TRANSPORTE EN LA RAMPA 400 MINA HERCULES CIA. MINERA LINCUNA S.A. - 2022"**, el día 19 de Diciembre del 2023, la cual declaramos aprobado por unanimidad.

En consecuencia queda en condiciones de ser publicada.

Huaraz, 19 de Diciembre del 2023


Dr. GUSTAVO ROBERTO BOJORQUEZ HUERTA
Presidente


Ing. ANTONIO MARIANO DOMINGUEZ FLORES
Secretario


Dr. RICARDO CAYO CASTILLEJO MELGAREJO
Vocal


Dr. JAVIER ENRIQUE SOTELO MONTES
Asesor

Anexo de la R.C.U N° 126 -2022 -UNASAM
ANEXO 1
INFORME DE SIMILITUD.

El que suscribe (asesor) del trabajo de investigación titulado:

OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE EN LA RAMPA 400 MINA HÉRCULES
CÍA. MINERA LINCUNA S.A. – 2022

Presentado por: ANGEL JHONSTON MAGUIÑA HUARAC

con DNI N°: 47870326

para optar el Título Profesional de:

INGENIRO DE MINAS

Informo que el documento del trabajo anteriormente indicado ha sido sometido a revisión, mediante la plataforma de evaluación de similitud, conforme al Artículo 11 ° del presente reglamento y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de : 22% de similitud.

Evaluación y acciones del reporte de similitud de los trabajos de los estudiantes/ tesis de pre grado (Art. 11, inc. 1).

| Porcentaje | | Evaluación y acciones | Seleccione donde corresponda |
|-------------------------|-------------------|---|----------------------------------|
| Trabajos de estudiantes | Tesis de pregrado | | |
| Del 1 al 30% | Del 1 al 25% | Esta dentro del rango aceptable de similitud y podrá pasar al siguiente paso según sea el caso. | <input checked="" type="radio"/> |
| Del 31 al 50% | Del 26 al 50% | Se debe devolver al estudiante o egresado para las correcciones con las sugerencias que amerita y que se presente nuevamente el trabajo. | <input type="radio"/> |
| Mayores a 51% | Mayores a 51% | El docente o asesor que es el responsable de la revisión del documento emite un informe y el autor recibe una observación en un primer momento y si persistiese el trabajo es invalidado. | <input type="radio"/> |

Por tanto, en mi condición de Asesor/ Jefe de Grados y Títulos de la EPG UNASAM/ Director o Editor responsable, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del software anti-plagio.

Huaraz, 05/01/2024


FIRMA
Apellidos y Nombres: JAVIER ENRIQUE SOTELO MONTES

DNI N°: 31601882

Se adjunta:

1. Reporte completo Generado por la plataforma de evaluación de similitud

DEDICATORIA

A Dios que ilumina y guía mi vida.

A mi familia, a mis padres y hermanos, que en todo momento estuvieron y están a mi lado brindándome sus conocimientos y comprensión, apoyándome para lograr mi objetivo.

Angel Jhonston

AGRADECIMIENTO

A mi Alma Mater, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo que me brindó los conocimientos suficientes para poderlos utilizar en mi vida profesional; asimismo, mi agradecimiento a todos los docentes, que hacen y seguirán haciendo de ésta, una de las más reconocidas escuelas a nivel nacional.



RESUMEN

La tesis tiene como objetivo general optimizar el sistema de transporte en la Rampa 400 mina Hércules Cía. Minera Lincuna S.A. – 2022. Se justifica porque en la mina Hércules con motivo de incrementar su producción se están construyendo labores de accesos para llegar al mineral en profundidad, es por ello que se está construyendo la Rampa 400. Se empleo el método de investigación científica como método general del tipo aplicada, y es descriptivo correlacional los resultados más importantes fueron: Las Vías deben de estar en buen estado de mantenimiento, para minimizar el costo por las llantas y optimizar los tiempos de transporte y las cámaras de carguío tanto para el mineral como para el desmonte, que tengan una ubicación estratégica. Las conclusiones más resaltantes fueron los volquetes presentaron rendimientos en promedio de 32,20 toneladas por hora (257 toneladas métricas por guardia). La disponibilidad mecánica promedio de los volquetes fue del 89%, mientras que la utilización efectiva promedio fue del 92,50%, y la eficiencia horaria del Scooptrams, es mayor (378 Tm/hr.) cuando la distancia es menor o igual a 10 metros y es menor (386,9 Tm/hr.) cuando la distancia es igual a 200 metros, la disponibilidad mecánica del Scooptrams, (DM), es igual a 92 % y la Utilización Efectiva del Scooptrams, (UE), es igual a 95,24%.

Palabras claves: Optimización, sistema de transporte, Rampa 400, mina Hércules, Cía. Minera Lincuna S.A. año 2022.

ABSTRACT

The general objective of the thesis is to optimize the transportation system in Rampa 400 of the Hércules mine, operated by Lincuna Mining Company S.A. - 2022. This study is justified by the need to increase production in the Hércules mine, which requires the construction of access tunnels to reach the deep-seated mineral deposits. As a result, Rampa 400 is being built. The scientific research method was employed as the general applied approach, using a descriptive correlational design.

The most important findings of the study were as follows: the roads must be in good maintenance condition to minimize tire costs and optimize transportation times, and the loading chambers for both mineral and waste material should be strategically located. The significant conclusions include the average performance of the volquetes, which reached 32,20 tons per hour (257 metric tons per shift). The average mechanical availability of the volquetes was 89%, while the average effective utilization was 92,50%. In the case of the Scooptrams, their hourly efficiency was higher (378 tons/hr.) when the distance traveled was equal to or less than 10 meters, and lower (386,9 tons/hr.) when the distance was equal to 200 meters. The mechanical availability of the Scooptrams was 92%, and the effective utilization was 95,24%.

Keywords: Optimization, transportation system, Rampa 400, Hércules mine, Lincuna Mining Company S.A., 2022.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-----|
| RESUMEN | iv |
| INTRODUCCIÓN | xii |
| CAPITULO I | 1 |
| GENERALIDADES | 1 |
| 1.1. Entorno Físico..... | 1 |
| 1.1.1. Ubicación y acceso | 1 |
| 1.1.1. Clima, flora y fauna | 2 |
| 1.1.2. Fisiografía | 3 |
| 1.2. Entorno Geológico..... | 4 |
| 1.2.1. Geología regional..... | 4 |
| 1.2.2. Geología local | 5 |
| 1.2.3. Geología estructural | 8 |
| 1.2.4. Geología económica..... | 8 |
| CAPITULO II..... | 11 |
| FUNDAMENTACIÓN | 11 |
| 2.1. Marco Teórico | 11 |
| 2.1.1 Antecedentes de la investigación | 11 |
| 2.2. Fundamentación teórica..... | 16 |
| 2.2.1. Optimización..... | 16 |
| 2.2.2. Transporte | 17 |
| 2.2.3. Camión volquete volvo modelo FMX 8X4 R..... | 18 |
| 2.2.4. Camión volquete volvo modelo FMX 6X4 | 20 |
| 2.1.1. Índices operacionales de gestión..... | 21 |

| | |
|---|----|
| 2.1.2. Utilización efectiva | 23 |
| 2.1.3. Disponibilidad mecánica..... | 24 |
| 2.3. Definición de términos | 26 |
| CAPITULO III | 29 |
| METODOLOGÍA..... | 29 |
| 3.1. El Problema | 29 |
| 3.1.1. Descripción de la realidad problemática | 29 |
| 3.1.2. Planteamiento y Formulación del Problema | 30 |
| 3.1.2.1. Formulación del problema General..... | 30 |
| 3.1.2.2. Formulación de problemas específicos | 30 |
| 3.1.3. Objetivos de la investigación | 30 |
| 3.1.3.1. Objetivo General | 30 |
| 3.1.3.2. Objetivos Específicos..... | 30 |
| 3.1.4. Justificación e importancia..... | 31 |
| 3.1.5. Alcances | 31 |
| 3.1.6. Delimitación de la Investigación..... | 31 |
| 3.1.7. Limitación de la Investigación | 32 |
| 3.2. Hipótesis | 32 |
| 3.3. Variables | 32 |
| 3.3.1. Operacionalización de variables | 33 |
| 3.4. Diseño de la investigación | 33 |
| 3.4.1. Tipo de investigación | 33 |

| | |
|--|----|
| 3.4.2. Nivel de la investigación..... | 34 |
| 3.4.3. Método | 34 |
| 3.4.4. Diseño de investigación | 34 |
| 3.4.5. Población y muestra | 34 |
| 3.4.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos..... | 35 |
| 3.4.7. Forma de Tratamiento de los Datos | 35 |
| 3.4.8. Forma de Análisis de las Informaciones | 35 |
| CAPITULO IV | 36 |
| RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN | 36 |
| 4.1. Descripción de la realidad y procesamiento de datos | 36 |
| 4.2. Planificación del sistema de transporte en la Rampa 400 mina Hércules | 37 |
| 4.2.1. Limpieza de material de la Rampa 400..... | 37 |
| 4.2.2. Selección del equipo de Limpieza | 38 |
| 4.2.3. Parámetros para el cálculo de limpieza..... | 39 |
| 4.2.4. Disponibilidad Mecánica | 43 |
| 4.2.5. Utilización Efectiva..... | 43 |
| 4.2.6. Horas Efectivas Mensuales | 44 |
| 4.2.7. Transporte de mineral y desmonte | 44 |
| 4.3. Aplicación del mejoramiento de carguío y transporte en la rampa 400 de la mina polimetálica Hércules | 48 |
| 4.3.1. Mejoramiento del ciclo | 49 |
| 4.3.2. Teoría de colas aplicada a nuestra flota optimizada..... | 50 |
| 4.3.3. Extracción por Volquete | 52 |
| 4.3.4. Recolección de la información..... | 52 |

| | |
|---|----|
| 4.3.5. Procesamiento de la información | 53 |
| 4.3.6. Análisis de los resultados | 54 |
| 4.3.7. Diseño de una propuesta de gestión de volquetes dentro de la mina .. | 54 |
| 4.4. Discusión de resultados | 55 |
| 4.5. Aporte del tesista | 56 |
| CONCLUSIONES..... | 57 |
| RECOMENDACIONES | 59 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 60 |
| ANEXOS..... | 63 |
| ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIAS | 64 |
| ANEXO 2. ACRÔNIMOS | 65 |



ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Ubicación de la unidad minera “Hércules” | 2 |
| Figura 2. Mapa geológico local. | 7 |
| Figura 3. Especificaciones VOLVO FMX 8X4 – Parte lateral. | 19 |
| Figura 4. Sección Frontal de la Rampa. | 19 |
| Figura 5. Sección Longitudinal de la Rampa. | 20 |
| Figura 6. Volquete Volvo modelo FMX 6X4. | 21 |
| Figura 7. Diagrama MTBF. | 24 |
| Figura 8. Sección de la Rampa 400. | 38 |
| Figura 9. Especificaciones técnicas de los equipos de transporte | 45 |
| Figura 10. Sección típica – Labor Principal. | 46 |
| Figura 11. Esquema de Sistema de Extracción de Mineral y/o desmonte..... | 47 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Operacionalización de variables..... | 33 |
| Tabla 2. Eficiencia de SCOOP DE 6 YD3 | 41 |
| Tabla 3. Resumen de Utilización efectiva y disponibilidad mecánica..... | 44 |
| Tabla 4. Horas efectivas mensuales..... | 44 |
| Tabla 5. Distancias | 44 |



INTRODUCCIÓN

La construcción de la Rampa 400 en la mina Hércules presenta diversos problemas relacionados con el sistema de transporte utilizando camiones Volvo FMX de 17 m³ en configuraciones 8 x 4 y 6 x 4. Estos problemas se traducen en tiempos improductivos y pérdidas de tiempo que generan gastos excesivos, lo cual se debe en gran medida a la ineficiencia del sistema de transporte subterráneo mediante volquetes.

Una de las principales causas de esta ineficiencia es la falta de uniformidad en la pendiente de la rampa, lo cual resulta en la presencia de baches. Además, la disposición de carga en la tolva del volquete se ve afectada debido a que el scooptrans no está adecuadamente diseñado para cargar volquetes de gran altura, lo que dificulta que el sistema articulado del lampón del Scoop llene correctamente el camión volquete. Estos inconvenientes se suman a la pérdida de tiempo causada por el tránsito, ya que solo se permite el ingreso de un camión a la vez hasta los puntos de cruce, generando tiempos muertos y dificultando el flujo de los camiones debido a maniobras complicadas.

Además de estos desafíos operativos, las fallas técnicas de los camiones volquetes contribuyen a retrasos en los ciclos y encarecen el sistema de transporte, lo que resulta en una baja productividad general.

Para abordar estos problemas, la presente tesis se estructura en cuatro capítulos principales, que se detallan a continuación:

CAPÍTULO I: GENERALIDADES, Se ofrece una descripción del entorno físico y geológico de la Rampa 400 en la mina Hércules, perteneciente a la empresa Minera Lincuna S.A.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN, Se aborda el marco teórico de la investigación, que incluye la revisión de antecedentes, fundamentos teóricos y la definición de conceptos.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA, Se plantea la interrogante de investigación, junto con los objetivos, la justificación y la importancia del estudio. Se desarrolla la hipótesis, se identifican las variables y se describe la metodología, que incluye la población y muestra del estudio. También se mencionan las técnicas y procedimientos utilizados para la recolección y análisis de datos.

CAPÍTULO I: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN, Se exponen los resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación.

Además, se presentan las conclusiones derivadas de los resultados obtenidos, se ofrecen recomendaciones basadas en dichas conclusiones, se incluyen las referencias bibliográficas utilizadas y se adjuntan los anexos correspondientes.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. Entorno Físico

1.1.1. Ubicación y acceso

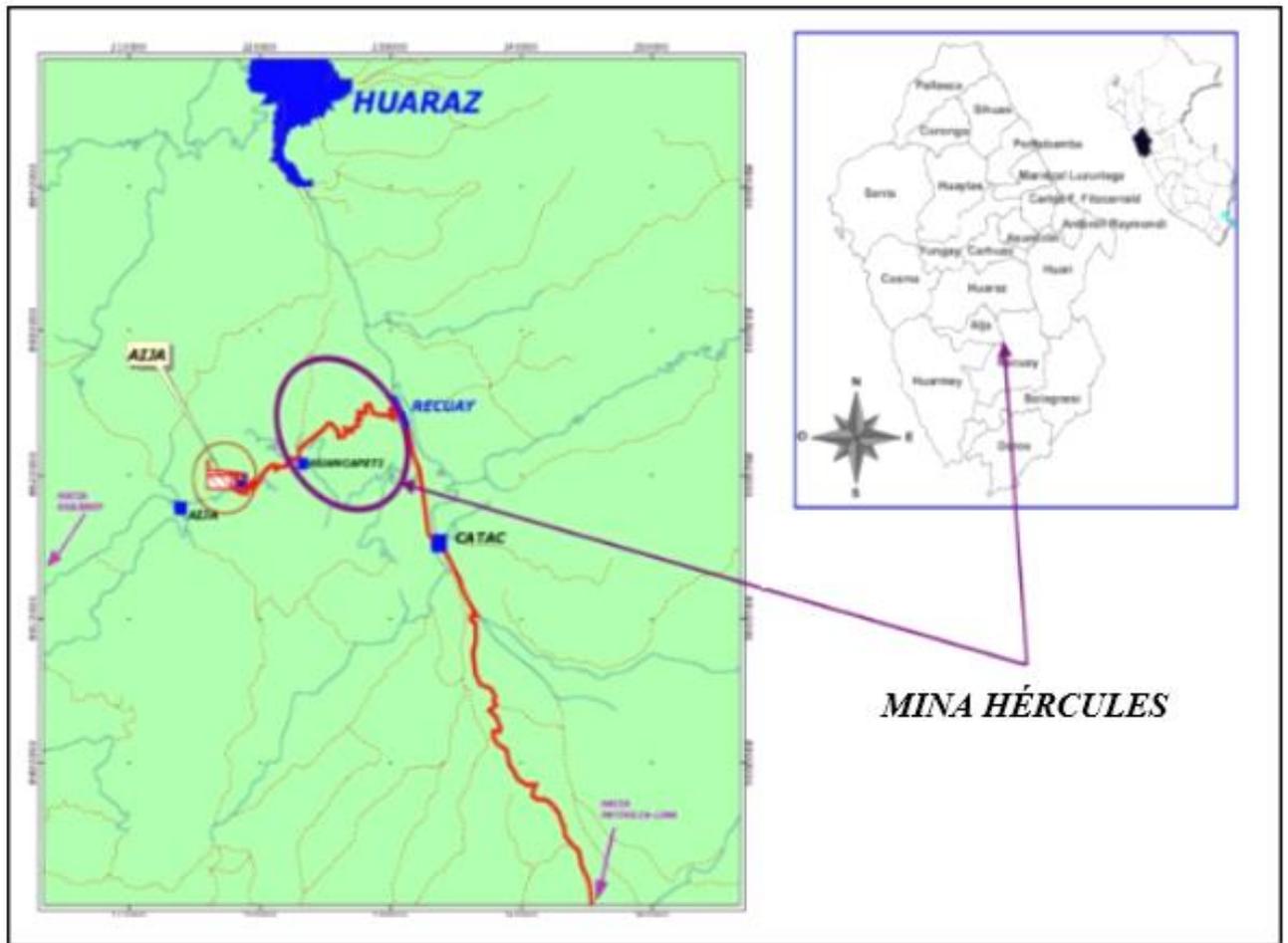
La unidad minera "Hércules" se encuentra situada en el distrito de Aija, provincia de Aija, en el departamento de Ancash. Esta mina consta de tres unidades de producción: Hércules, Coturcan y Caridad (Ver Plano 1). La unidad Hércules está localizada en las siguientes coordenadas geográficas y UTM:

- Longitud oeste: 77° 33', Este: 878,200
- Latitud sur: 90° 46', Norte: 8'918,800
- Altitud: 4,100 metros sobre el nivel del mar (Tacuri, 2017, p. 6).

El acceso a ala minas es el siguiente:

El trayecto desde Lima hasta la ciudad de Recuay tiene una distancia de 374 kilómetros y se recorre por una carretera completamente asfaltada. Posteriormente, desde la ciudad de Recuay hasta la Mina Hércules, se deben recorrer 40 kilómetros a través de un camino afirmado. En total, el tiempo estimado de viaje desde la ciudad de Lima hasta la Mina Hércules es de aproximadamente 9 horas.

Figura 1. Ubicación de la unidad minera “Hércules”



Fuente: Amilcar Tacuri Gamboa, 2017.

1.1.1. Clima, flora y fauna

- **Clima:** En la mina Hércules, el clima se caracteriza por ser templado a frío y seco debido a la altitud. Durante los meses de diciembre a abril, hay lluvias persistentes, tormentas de nieve y neblinas densas que reducen la visibilidad. Las temperaturas oscilan entre 0°C y 5°C durante la noche, y de 7°C a 14°C durante el día. De junio a octubre, se presentan períodos de sequía con temperaturas diurnas de 5°C a 16°C y nocturnas de 0°C a 1°C. En altitudes superiores a los 4000 metros sobre

el nivel del mar, las bajas temperaturas son conocidas como "heladas" por los habitantes locales.

- **Flora:** La vegetación en la zona minera es escasa y se limita a especies que pueden resistir el frío y las altitudes superiores a los 4000 metros sobre el nivel del mar. Predominan las gramíneas, como el Ichu, que son comunes en la región andina. También se encuentran arbustos como los quisuares, retamas, cactus y huaman pinta. Además, los lugareños practican la agricultura en altitudes inferiores a los 3500 metros sobre el nivel del mar, cultivando papas, trigo, cebada, maíz, habas y quinua.
- **Fauna:** En los alrededores de la zona minera se pueden observar animales silvestres como venados y vizcachas. También hay aves como el pato de la puna, la gaviota andina y la huachua cerca de las lagunas de la zona. Además, se encuentra ganado vacuno, ovino y porcino en la región. (Paricahua, 2014, pp. 60-61).

1.1.2. Fisiografía

La Cordillera Negra es una parte de la Cordillera Occidental de los Andes en Perú. Tiene una altitud que varía entre los 3,400 y 4,900 metros sobre el nivel del mar y presenta distintos tipos de superficies erosionadas. El relieve incluye colinas, antiguos circos glaciares, superficies onduladas, quebradas y escarpas. Las líneas de cumbres siguen una dirección andina (Noroeste-Sureste). El sistema de drenaje es radial-detrítico en el flanco occidental de la cordillera, asociado a una estructura circular de 24 km de diámetro formada por rocas volcánicas, y dendrítico en el flanco oriental (margen izquierda del Río Santa). Estos sistemas de drenaje se unen en dos cuencas hidrográficas

importantes: la cuenca del Río Santa en el sector Este y la cuenca del Río Huarmey en el sector Oeste.

El relieve en la zona de Hércules es accidentado y abrupto debido a la presencia de rocas andesíticas y los procesos de orogénesis de la cordillera, junto con la acción del intemperismo y otros agentes superficiales. El área del proyecto mencionado se encuentra en la margen derecha del Río Santa, en la Cordillera Negra. En la zona, a una altitud de 5000 metros sobre el nivel del mar, se encuentra la planta de tratamiento de concentrados minerales, mientras que la Mina Coturcán se ubica a 4300 metros sobre el nivel del mar en el descenso hacia la ciudad de Aija. Siguiendo hacia el oeste se encuentra la Mina Hércules a 4080 metros sobre el nivel del mar, a unos 10 km de la capital de la provincia de Aija. Se puede observar que estas áreas estuvieron cubiertas de nieve, lo cual se evidencia en las lagunas y morreras en las laderas de los cerros. Estas nieves han causado fracturas y han alterado y desgastado constantemente el relieve, resultando en la actual forma accidentada y abrupta. (Paricahua, 2014, pp. 61-62).

1.2. Entorno Geológico

1.2.1. Geología regional

- **Geomorfología:** Las morfologías más características del área, corresponden a los depósitos de morrenas laterales asociados a antiguas lenguas glaciales y también la morfología típica de valle en “U”. con afloramientos rocosos escarpados en los sectores altos, morfologías agrestes y superficies un tanto suavizadas en sectores más bajos. En general la zona de interés se caracteriza por presentar un típico

modelado glaciar con valles de sección transversal en forma de “U”, tapizados por “Depósitos morrénicos, Fluvio–aluviales y Suelos residuales”.

- **Geología regional:** En los alrededores de Aija afloran rocas sedimentarias del Jurásico – Cretáceo (formaciones Chimú, Santa, Carhuaz). El Batolito de la Costa, Cretáceo superior, intruye a las secuencias anteriores, los Volcánicos Calipuy forman una secuencia volcánica muy extensa y potente, constituidas por rocas piroclásticas, derrames lávicos y sedimentos continentales, esta secuencia esta plegada, es del Cretáceo superior - Terciario inferior. Localmente hay volcánicos provenientes de centros volcánicos del Terciario medio a superior, que están agrupados dentro del Calipuy, pequeños stocks del Mioceno – Plioceno y de composición ácida intermedia como aquellos de Collaracra, Tarugo, intruyen a los Volcánicos Calipuy. Paricahua, 2014, pp. 62-64).

1.2.2. Geología local

Existen dos estructuras principales en la zona, el Centro Volcánico Hércules y el Stock Collaracra.

- a) **Centro Volcánico Hércules:** Localizado en el cerro Tarugo, este centro volcánico está delimitado por las quebradas Carán y Hércules. Ha producido lavas andesíticas y brechas piroclásticas que se encuentran en discordancia angular con las rocas Cretáceas y los volcánicos Calipuy. En esta estructura semicircular se ha emplazado el Pórfido Tarugo, una roca de composición dacítica, que se cree se

encuentra en el punto focal volcánico. Otros pequeños cuerpos intrusivos se han ubicado alrededor del centro volcánico, como la Dacita Hércules (conocida como Tufo Hércules), ubicada en el cerro Pucara, de donde se desprenden diques hacia el norte y el sur. También se encuentran el Pórfido Huancapeti, cerca del borde de la fractura circular, el Pórfido Bellota Maguiña al oeste de la confluencia de las quebradas Hércules y Carán, y el Pórfido Señor de Burgos y Pórfido Olga, que tienen una composición similar a la de Tarugo. La actividad magmática dentro del centro volcánico ha generado un patrón de fracturamiento principal, con fracturas predominantemente en dirección N 30° W, especialmente en los contactos del dique Dacítico (tufo), que han sido afectadas por el sistema de fallamiento principal tipo Tarugo, Wilson, y se asocian con un sistema de fracturas conjugadas tipo Huancapeti. Fuera del centro volcánico, se encuentran fracturas tensionales como Nebraska, Carpa, Félix II, San Arturo, Santa Deda, entre otras, que presentan un patrón aproximadamente radial. Las fallas Señor de Burgos, Hércules y Tucto, de dirección N-E, desplazan las fracturas NW-SE en sentido dextrógiro. A lo largo de la falla Hércules se encuentran pequeños cuerpos intrusivos de brecha, turmalina, cuarzo y pirita.

- b) **Stock Collaracra:** Ubicado en el cerro del mismo nombre, este stock se encuentra a ambos lados de la quebrada Ismopata y tiene una forma más o menos circular. Del stock Collaracra se desprenden numerosos diques y diques capas (sills) que se extienden hacia Jinchis y Florida.

1.2.3. Geología estructural

El yacimiento presenta estructuras mineralizadas en forma de mantos con un buzamiento de 0° a 15° . Las potencias de estas estructuras varían desde 10 cm. hasta potencias mayores a 1.0 m. La geología estructural se ha logrado determinar tres fallas importantes que controlan los mantos mineralizados, NE-SW falla Qulqui, NW-SE falla veta Pumas, y falla Morenas. En exploración para su posterior interpretación. Los comportamientos de las estructuras están gobernados por múltiples fallas verticales normales e inversas y en algunas zonas se presentan fallas horizontales dextrales y sinestrales. Debido a las fallas, las estructuras mineralizadas se presentan en forma escalonada. Es decir que van profundizando de sur a norte conforme se avanza con la operación. Actualmente, se ha realizado sondajes con perforación diamantina, por lo que se han encontrado estructuras mineralizadas a mayor profundidad siguiendo el mismo comportamiento de las estructuras ya conocidas (Informe de Geología Minera Santa Bárbara de Trujillo S.A.C., citado por Julca, 2017, p. 4).

1.2.4. Geología económica

- **Génesis y Paragénesis:** Los depósitos minerales en Huancapeti se forman a través de procesos hidrotermales, específicamente en forma de vetas que llenan y reemplazan fracturas en rocas volcánicas e intrusivas. La secuencia paragénica, según estudios mineralógicos, es la siguiente: Cuarzo-Pirita-Arsenopirita-Calcopirita I-Esfalerita I-Esfalerita II-Calcopirita II-Cobre gris-Luzonita-Calcopirita III-

Bismutinina-Bornita-Galena-Boulangerita-Bornita-Cobre gris II-Pirita II-Melnicovita-Marcasita-Covelita-Carbonatos.

- **Tipo de yacimiento:** El yacimiento de Huancapeti se clasifica como un yacimiento tipo veta de relleno, con una mineralización de plomo, zinc, plata y oro en cantidades pequeñas, lo que lo clasifica como un "epitermal de baja sulfuración". Sin embargo, también se encuentran yacimientos epitermales en esa zona según el modelo geológico de Sillitoe para pórfidos de cobre.
- **Mineralización:** Los minerales económicos presentes en el yacimiento son galena (Pb), blenda (Zn), argentita (Ag), proustita (AsS_3Ag_3), geocronita ($(\text{SbAs})_2\text{S}_3\text{Pb}_5$), freibergita y calcopirita (Cu,Fe). Los minerales de ganga incluyen cuarzo (SiO_2), pirita (FeS_2) y pirolusita (MnO_2). También se encuentran oropimente (As_2S_3), rejalgar (AsS) y estibina (Sb_2S_3) en la parte superior del yacimiento. Otros minerales de ganga presentes en menor proporción son la rodocrosita (CO_3Mn), rodonita (SiO_2Mn), siderita (CO_3Fe) y calcita (CO_3Ca).
- **Disposición de la mineralización:** La mineralización en Huancapeti es discontinua y errática, y se presenta en dos formas: mineralización en vetas y mineralización en cuerpos. La mineralización en vetas se encuentra restringida a vetas individuales, a veces en forma de columnas, como en el caso de Manto 2. En las vetas del sistema Hércules, los clavos de mineral tienen anchos que no superan los 2,50 m, con longitudes entre 40 m y 200 m, separados por zonas estériles.

Además de varias vetas de mineral, también hay una única conocida, como en Florida, Jesús y Wilson.

- **Los cuerpos de mineral:** se forman por la proximidad de dos vetas, como en el caso de las vetas "Hércules A" y "Manto 2", o por la presencia de un ramal de vetas, como Manto 2A. También pueden formarse por la unión de dos vetas principales, como Hércules A y Manto 2 en el extremo sur, o por la intersección con una falla, como en Huancapetí y Hércules. Estas estructuras tienen una mineralización concentrada en la veta respectiva y diseminación entre ellas, generalmente de menor. (Tacuri, 2017, pp. 16-23).

CAPITULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1. Marco Teórico

2.1.1 Antecedentes de la investigación

Antecedentes internacionales:

Según Barrios (2020) en la tesis “Carguío dinámico para la optimización de la utilización efectiva de camiones de minería a cielo abierto a escala de laboratorio”, El carguío y de transporte tiene gran incidencia en el costo de una explotación minera a cielo abierto el cual es alrededor del 50%, los cuales se pueden dividir en factores tales como desgaste (mecánico, electromecánico, neumáticos) y consumo de insumos (petróleo, lubricantes, etc.). Es posible reducir los costos generados por estos factores por medio del uso de algoritmos que utilicen los datos que se generan al momento de cargar y transportar. Datos tales como el tonelaje, los esfuerzos sobre las distintas zonas del camión, la pendiente de rampa y particularmente la distribución de la carga en la tolva, que es donde nace la problemática a tratar en este trabajo de título. El carguío correcto es aquel que la carga final de forma cónica y lo más cercana posible al centro de la tolva. Es necesario esta práctica para no reducir la vida útil de los componentes. Sin embargo, en la minería muchas veces se debe sobrecargar los camiones, a solicitud de mineral de la planta. Esta situación genera que un camión cargado de la manera tradicional, y sometido a las distintas rampas, tenga una mayor probabilidad de derramar mineral que el caso del mismo camión en condiciones normales de operación.

Para evitar dichos derrames y así no afectar la fluidez del circuito de transporte, se decide operacionalmente cargar de manera desplazada hacia el frontis de la tolva, siendo este carguío efectuado de una manera totalmente discrecional y sin ningún cálculo asociado que respalde la nueva ubicación de cada baldada, provocando así sobreesfuerzos en el camión, los cuales son indeterminados al momento de tomar la decisión de reubicar los pases de carguío y afectan a posteriori la vida útil del equipo y sus componentes. La tesis busca solución teórica, basada en el trabajo de laboratorio y simulaciones, que optimice el proceso de carguío, utilizando tecnologías de procesamientos de datos como el deep learning, para posteriormente entregar una herramienta de decisión que permita a la persona que esté a cargo de la operación del equipo de carguío conocer cuál debe ser la posición óptima del pase a cargar. Esto con el objetivo de evitar la ocurrencia de derrames en ruta, sujeto a cumplir las exigencias de la demanda de mineral desde la planta y de minimizar los costos por el daño generado por este tipo de carguío, al cual se le denomina Carguío Dinámico. (Barrios, 2020).

Según De La Morena (2018) en la tesis “Estudio para la implantación de conducción autónoma en volquetes en minería de interior”, El trabajo de investigación se centra en la implantación de volquetes autónomos en interior mina, para ello se estudia el estado actual de la minería y su posible adaptación de la conducción autónoma teniendo en cuenta los diferentes sistemas necesarios para su implantación como son los sistemas RFID, la tecnología, tanto de software como de hardware, para la automatización de volquetes y por último se ha estudiado su disposición e interacción entre los elementos instalados tanto para el sistema de control como la adquisición de

la información y el desempeño de los sistemas incluidos en el volquete, se propone un estudio económico que contiene valores tanto del coste de implementación como el estudio de algunos costes operativos que repercuten de este estudio. El mayor inconveniente es la necesidad de prueba del sistema propuesto, por lo que este estudio necesita ser ampliado en las siguientes etapas académicas. (De La Morena, 2018).

Antecedentes Nacionales:

Según Mollo (2022) en su tesis “Optimización del sistema de transporte de mineral a cargo de la empresa DCR minería y construcción, en la unidad minera immaculada”. El transporte en la mina representa más del 30% de los costos totales de producción, porque no cuenta con un plan de transporte establecido y no se trata de optimizar los tiempos y el costo, lo que no se obtiene mayores ganancias, el estudio tuvo por objetivo en plantear una propuesta para optimizar el actual sistema de transporte en la Unidad Minera "Inmaculada". Enfocándose en el análisis del transporte por medio de volquetes, la empresa tiene una flota de 24 volquetes que trabajan en interior como en superficie de la mina. Se analiza del porqué de las demoras innecesarias en los puntos de carga, descarga y pesaje incrementan el tiempo de ciclo de transporte, por otro lado, gran parte de los viajes realizados, especialmente por los volquetes FMX 6x4 llevan aproximadamente 30% menos de su carga optima lo que implica realizar más viajes para una misma cantidad de material. Se determina que el mantenimiento correctivo es responsable en un 60% de las paradas de mantenimiento correctivo, lo que implica mayores costos en el sistema de producción. Por tanto, la propuesta

de optimización se enfoca en mitigar estos tres principales problemas, su implementación permite disminuir el tiempo ciclo de transporte, incrementar la productividad diaria por volquete minimizar el número de paradas por mantenimiento correctivo. (Mollo, 2022).

Según Ramos y Salomon (2021) en su tesis “Optimización del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral para aumentar la producción de mineral en la Unidad Minera Andaychagua”. La mina Andaychagua de Volcan Compañía Minera S.A. presenta deficiencias en el transporte del mineral desde el interior de la mina, lo que produce pérdidas económicas. La mala distribución de los volquetes en los puntos de carguío, el carguío y transporte del mineral, deficiente, geneneralnete son los que originan fallas. Al realizar el diagrama de Pareto se nota que el refrigerio, es una actividad crítica, como también la cola de los volquetes y las reparaciones mecánicas producen en demasía tiempos improductivos que se tiene que mejorar respectivamente. Se concluye que, en la situación actual, el número de espera de volquetes es de 1, el tiempo de carguío es de 8.41 minutos y el tiempo de espera en la fila es de 3.91 minutos, lo cual genera pérdidas productivas y económicas. Por otro lado, en la situación óptima, el número de espera de volquetes es de 0, el tiempo de carguío es de 4.81 minutos y el tiempo de espera en la fila es de 0.36 minutos, lo cual es óptima sin ningún equipo parado en espera respectivamente y el tiempo de espera de 0.36 minutos refleja la concordancia de mejora en el carguío, transporte y descarga de mineral. La optimización del costo de carguío y transporte de la veta Salvadora en 6 \$/t, esto reflejado en el tonelaje programado por veta se tendría una optimización de 4,324 \$/t–día, para los 3 volquetes y 1 scooptram. La

optimización del costo de carguío y transporte de la veta Adriana en 5.76 \$/t. Esto reflejado en el tonelaje programado por veta tendría una optimización de 4,151 \$/t–día para los 3 volquetes y 1 scooptram. (Ramos y Salomon, 2021).

Según Anchiraico (2020) en su tesis “Optimización del sistema de acarreo y transporte en labores de preparación de las zonas de profundización mediante la metodología Six Sigma operada por la E.C.M. Zicsa en la Unidad Minera Inmaculada.”. La implementación de la metodología Six Sigma para la optimización del sistema de acarreo y transporte en la profundización de la Unidad Minera Inmaculada, la mina explota oro y plata con leyes promedio de 4.71 g/t y 163 g/t respectivamente mediante el método taladros largos. Las labores de acarreo en la zona de profundización en la veta Ángela se realiza mediante 3 scooptram R1600H de 6 yd³, el transporte se realiza con 5 volquetes marca volvo 27 toneladas. En unidad minera, el acarreo y transporte son las etapas con menor eficiencia, lo cual genera un deficiente ciclo operativo generando excesivos consumos de combustible, llantas, repuestos y, por consiguiente, una menor productividad. El objetivo de la presente tesis es optimizar los tiempos improductivos en el proceso de acarreo en las labores de explotación de a través de Six Sigma. (Anchiraico, 2020).

Según Leon (2019) en su Trabajo de investigación “Análisis de la implementación de la transición de equipos de transporte “Dumper A Volquete” en una mina subterránea”. El trabajo tiene por objetivo Implementar el cambio del sistema de transporte de Dumper a Volquete en una mina subterránea. Para generar valor en una empresa minera la optimización de los procesos operativos, implementación de tecnología y la

gestión de los recursos, son herramientas por excelencia que buscan dar mayor rentabilidad en una empresa. Las actividades unitarias comunes en minería son: perforación, voladura, carguío y acarreo, siendo los costos de carguío y acarreo los que representan el porcentaje mayor en los costos operativos por la cantidad de mineral que extraen y al rendimiento del sistema de transporte 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. (Leon, 2019).

Antecedentes Locales:

Según Rosales (2018) en su tesis “Aplicación del algoritmo de transportes para minimizar costos de traslado de caolín en INSUMEX S.A. – 2016”. La tesis tiene por objeto analizar el costo de envío de caolín, mediante la aplicación de la técnica cuantitativa, con la finalidad de optimizar la operación referente al traslado de mineral desde las distintas unidades productivas a las plantas de procesamiento industrial. La investigación fue descriptiva transversal y básicamente se analizó las variaciones de costos en el transporte mediante la aplicación del Algoritmo de Transportes lo que permitió minimizar el costo. (Rosales, 2018).

2.2. Fundamentación teórica

2.2.1. Optimización

La optimización es desarrollar una actividad lo más eficientemente posible, con menor cantidad de recursos y en menos tiempo. Es decir, la optimización significa realizar una tarea de la mejor manera, ósea es gestionar

los recursos de manera más eficiente, para alcanzar mucho más con los mismos recursos en la industria minera optimizar significa simplificar ciertos procedimientos para que puedan realizarse de forma más rápida. (<https://economipedia.com/>, 2020).

Según Mollo (2022), La optimización de procesos representa la búsqueda de alternativas para mejorar los ajustes y organización de las tareas, con el fin de disminuir los costos, mejorar la calidad y acortar el tiempo de producción. (Pag. 8).

2.2.2. Transporte

Consiste en el movimiento del material, sea este mineral o desmonte, desde una posición de carguío dentro de la mina, a una ubicación designada para la descarga, la cual generalmente es el chancador primario en el caso del mineral y el botadero en el caso del estéril. Esta operación debe realizarse dentro de un rango de tiempo llamado tiempo de ciclo, el cual debe ser lo más cercano posible al utilizado en la etapa del diseño de flota, para así ir en consonancia con las metas establecidas en corto, mediano y largo plazo. El ciclo de transporte recién mencionado es posible dividirlo en distintas etapas:

$$T \text{ Ciclo (min)} = TC + TVC + TD + TVV + Ta + TD$$

Donde:

- TC [min] = Tiempo de carguío del camión por parte de la pala.
- TVC [min] = Tiempo de viaje cargado a chancador.
- TD [min] = Tiempo de descarga en chancador.

- TVV [min] = Tiempo de viaje vacío a la frente de carguío.
- TA [min] = Tiempo de aculatamiento, tanto en carguío como en chancado.
- TD [min] = Tiempo de demora. Hace referencia al tiempo perdido en esperas en colas o en imprevistos.

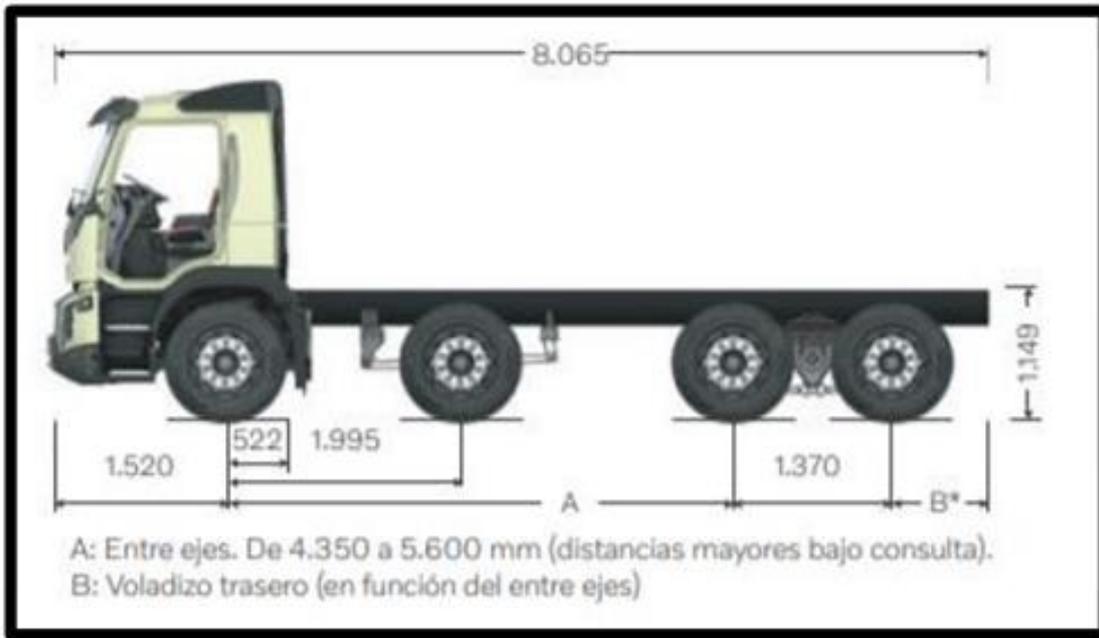
El tiempo de demora idealmente debe ser cero para maximizar la utilización de la flota y tener un mayor volumen de viajes, pero en la práctica esto no sucede. (Barrios, 2020, pp. 5-6).

2.2.3. Camión volquete volvo modelo FMX 8X4 R

- Motor Volvo D13A440 Turbo intercooler, freno de motor VEB, con taponamiento al escape + compresión
- Caja VT2514 de 12 velocidades sincronizadas + 2 hacia adelante. Embrague doble disco.
- Distancia entre ejes 4 300 mm
- Relación final 4.55:1
- Capacidad eje delantero 17.4 ton.
- Capacidad eje posterior 27 ton
- Eje posterior RT3210HV con cubos reductores y bloqueadores de diferencial entre ejes y rueda.

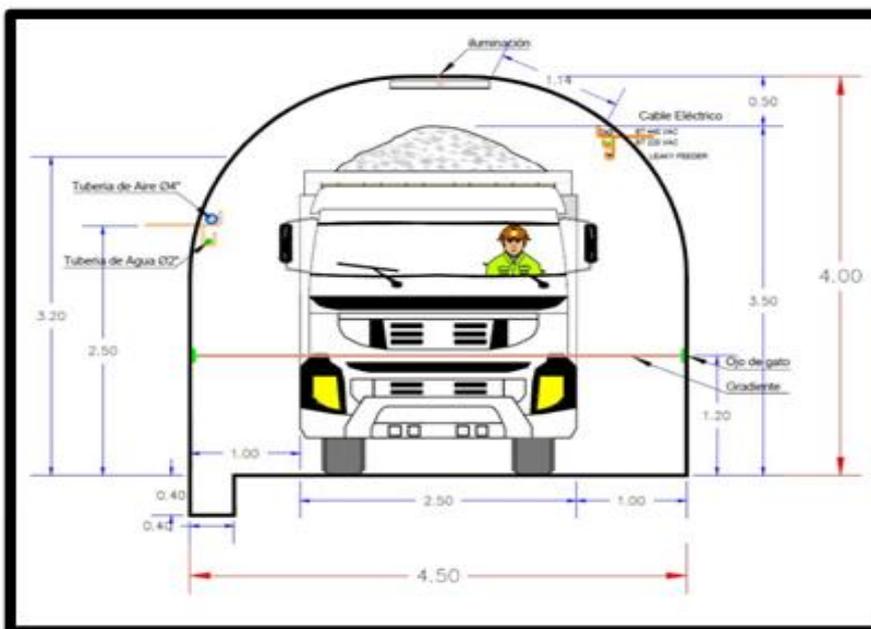
- Suspensión de Muelles convencionales de 32 ton (Anchiraico 2020, p. 25).

Figura 3. Especificaciones VOLVO FMX 8X4 – Parte lateral.



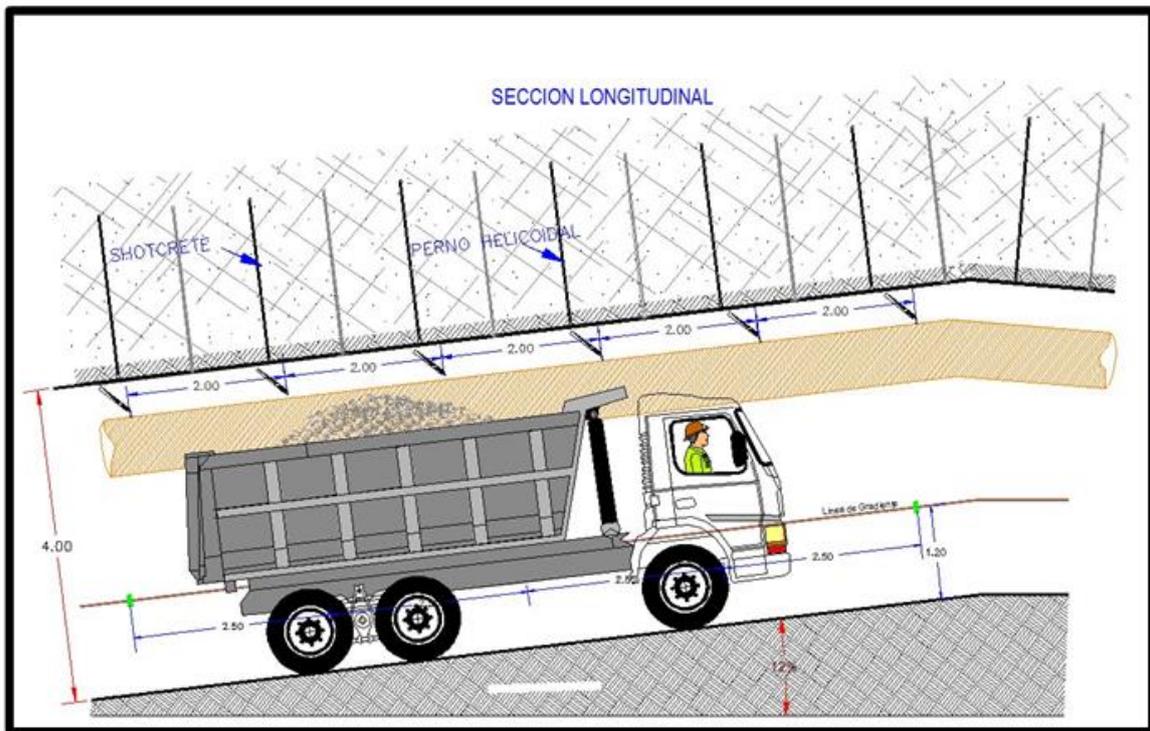
Fuente: Anthony Luis Anchiraico Giraldo, 2020.

Figura 4. Sección Frontal de la Rampa.



Fuente: Anthony Luis Anchiraico Giraldo, 2020.

Figura 5. Sección Longitudinal de la Rampa.



Fuente: Anthony Luis Anchiraico Giraldo, 2020.

2.2.4. Camión volquete volvo modelo FMX 6X4

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. (Leon, 2019, p. 18).

- Capacidad (m3). - 15
- Capacidad (TM). – 22 TM
- Ancho (mm). – 2490
- Alto en descarga(mm). – 5592
- Alto en transporte(mm). – 3046
- Largo (mm). – 10015

Figura 6. Volquete Volvo modelo FMX 6X4.



Fuente: Enzo Fabrizio, Leon Flores, 2019.

2.1.1. Índices operacionales de gestión

Los índices operacionales fundamentales para todo trabajo de carguío y transporte en la mina son:

- **Disponibilidad Mecánica:** Es la fracción del tiempo nominal que el equipo está en condiciones electromecánicas para operar, tanto haya o no un operador disponible para el equipo.

$$DM (\%) = 100 \times \frac{\text{Tiempo Disponible}}{\text{Tiempo Nominal}}$$

- **Utilización (UT):** Es la fracción del tiempo disponible donde el equipo está con operador y puede desempeñarse en las tareas encomendadas.

$$UT (\%) = 100 \times \frac{\text{Tiempo Operativo}}{\text{Tiempo Disponible}}$$

- **Utilización Efectiva en base a disponibilidad (UEBD, o UE):** Es la fracción del tiempo disponible donde el equipo se está desempeñando en las tareas para las cuales fue diseñado. Es por esto mismo que se considera el tiempo efectivo y no las demoras ni pérdidas operacionales. En el presente trabajo se hará referencia a este concepto como UE.

$$UE (\%) = 100 \times \frac{\text{Tiempo Efectivo}}{\text{Tiempo Disponible}}$$

- **Porcentaje de Pérdidas operacionales:** Es la fracción de tiempo disponible en la cual el equipo debería estar desempeñándose en las labores para las cuales fue diseñado, y sin embargo está esperando en cola mientras se desarrolla uno o varios procesos, para después poder continuar con su labor normal.

$$PO (\%) = 100 \times \frac{\text{Pérdidas Operacionales}}{\text{Tiempo Disponible}}$$

En minería superficial es de imperiosa necesidad evitar los derrames de mineral o desmonte cuando se están transportando, por ello ocasiona pérdidas económicas. (Barrios, 2020, pp. 7-8).

2.1.2. Utilización efectiva

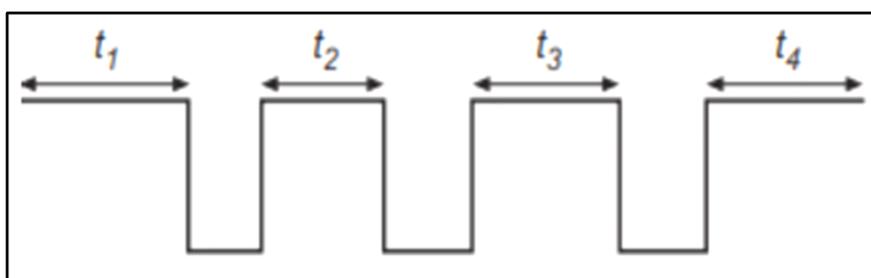
La gestión de la utilidad efectiva es algo de suma importancia dentro de toda operación minera, pues a un mejor rendimiento de este indicador, implica un mejor desempeño operacional y mayor aprovechamiento del capital invertido en el equipo. En el caso del transporte de mineral o estéril, los derrames de mineral o estéril deben ser removidos de la carretera, para así no provocar daños a los neumáticos que pasen por sobre estos, ni mayor desgaste a estos al tratar de esquivarlos con maniobras. La pérdida operacional que provocan según Bonzi es de amplio rango, va del orden de 1,5 minutos hasta los 25 minutos solo para ejecutar la limpieza (Bonzi, 2016). Lo que Bonzi no considera es cómo influyen estos derrames finalmente a la flota completa, ni tampoco un sistema de carguío que permita prevenir este fenómeno, pues lo que aconseja en su tesis es que los paleros tengan mayor precaución en la ubicación de las baldadas al momento de cargar, evitar la mala estivación de carga y a su vez evitar la sobrecarga de los camiones. (Barrios, 2020, p. 12).

2.1.3. Disponibilidad mecánica

Los camiones volquete son los equipos pesados de movimiento de tierras de uso intensivo y de uso intensivo de capital en la industria minera. El monitoreo continuo del desempeño de los camiones volquete es esencial para un sistema de minería y necesita una medida de desempeño bien definida. La disponibilidad mecánica está definida por: (Mollo, 2022, pp. 23-14).

- a. **Confiabilidad:** Es la probabilidad de que un artículo realice una función requerida, en condiciones establecidas, durante un periodo de tiempo determinado, esto es, la probabilidad de que un artículo funcione durante un periodo de tiempo determinado. Existen distintos parámetros para expresar la confiabilidad, no obstante, uno de los más usados es el Tiempo Promedio entre Fallas. (Mollo, 2022, p. 24).
- b. **Tiempo medio entre fallas:** El MTBF, por sus siglas en inglés (Mean Time Between Failures), es el tiempo medio de funcionamiento entre fallas de un equipo o sistema específico. (Mollo, 2022, p. 24).

Figura 7. Diagrama MTBF.



Fuente: Crouse- Hinds, citado por Joslan Marco Mollo Yauilli, 2022.

El MTBF se usa para expresar la confiabilidad general considerando cuando los elementos que se deben cambiarse, en lugar de repararse, el

MTTF (Mean Time to Failure) que representa el tiempo medio hasta el fallo. No obstante, los dos términos tienen prácticamente el mismo significado, siendo el MTBF el más usado para componentes que se cambian o se reparan.

El MTBF establece la relación entre el tiempo total de operación y el número de fallas, es decir: . (Mollo, 2022, p. 24).

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Tiempo total de operación}}{\text{Numero de Fallas}}$$

- c. **Mantenibilidad:** Es la probabilidad de que el dispositivo defectuoso pueda ser reparado para una determinada condición dentro de un cierto período de tiempo y con ciertos recursos. Es por esto que la mantenibilidad de la máquina se da por medio del cálculo de la media de tiempos de reparación (MTTR). (Mollo, 2022, p. 25)

$$\text{MTBF} = \frac{\text{Tiempo total de Fallas}}{\text{Numero de Fallas}}$$

- d. **Tiempo promedio para reparación:** relación entre el tiempo total de acción correctiva y el número total de errores detectados durante el período de observación. La relación del tiempo medio entre averías está relacionada con el cálculo del tiempo medio de reparación. . (Mollo, 2022, p. 25).
- e. **Disponibilidad:** La disponibilidad es el parámetro de mantenimiento más importante, ya que limita la capacidad de producción. Se define como la probabilidad de que una máquina esté lista para la producción

en un plazo determinado; es decir, que no se detenga por errores o cambios.

$$D = \frac{T_0}{T_0 + T_P}$$

Donde:

T0 = Tiempo total de operación

Tp Tiempo total de parada

Los períodos nunca incluyen paradas planificadas, ni para trabajos de mantenimiento programados ni para paradas de producción, ya que no se deben a averías de la máquina. La disponibilidad depende de dos factores: la frecuencia de fallas y el tiempo que transcurre en reanudar el servicio. (Mollo, 2022, p. 25).

$$D = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR}$$

2.3. Definición de términos

- **Accesos:** Son labore mineras por las cuales se puede acceder y/o ingresar a la zona mineralizada. (Pituy, 2020, p. 19).
- **Actividad:** Son procesos u operaciones que se realizan para obtener un bien o servicio. (Pituy, 2020, p. 19).
- **Botaderos:** Conocidos también como canchas de depósito de mineral de baja ley o ganga. Usualmente, se localizan en el entorno de la mina y fuera de la zona mineralizada. (DS N° 024-2016-EM. p. 7)

- **Calidad:** Son las propiedades o características de un bien o servicio. (Pituy, 2020, p. 19).
- **Carguío:** Labor por la cual se realiza el llenado de materiales con el apoyo de una herramienta o equipo cargador. (Pituy, 2020, p. 19).
- **Costo horario de operación:** Es el costo por hora de un equipo de trabajo. (Pituy, 2020, p. 19).
- **Estándares de Trabajo:** Son los modelos, pautas y patrones que contienen los parámetros establecidos por el titular de actividad minera y los requisitos mínimos aceptables de medida, cantidad, calidad, valor, peso y extensión establecidos por estudios experimentales, investigación, legislación vigente y/o resultado del avance tecnológico, con los cuales es posible comparar las actividades de trabajo, desempeño y comportamiento industrial. Es un parámetro que indica la forma correcta y segura de hacer las cosas. El estándar satisface las siguientes preguntas: ¿Qué hacer?, ¿Quién lo hará?, ¿Cuándo se hará? y ¿Quién es el responsable de que el trabajo sea seguro? (DS N° 024-2016-EM. p. 9).
- **Humos:** Partículas sólidas en suspensión en el aire producidas en los procesos de combustión incompleta. (DS N° 024-2016-EM. p. 9).
- **Muro de Seguridad:** Es una pila o acumulación de material o de concreto armado, cuyo propósito es evitar que un vehículo se salga del camino, pista o vía, o se salga del borde de los botaderos o cámaras de carguío, causando daños personales y/o materiales a terceros. (DS N° 024-2016-EM. p. 10).

- **Productividad:** Es la analogía insumo – producto que se lleve a cabo en cualquier entidad y actividad organizacional. (Pituy, 2020, p. 19).
- **Producto:** Bien final o concluido de todo un proceso de fabricación. (Pituy, 2020, p. 19).
- **Rampa:** Son labores subterráneas con pendientes de 12% positivo o negativo, la cual funciona como entrada principal de una mina, que sirve como acceso de los equipos y personal hacia las áreas de trabajo. Estas pueden ser circulares, elípticas o en zigzag. (Anchiraico, 2020, p. 22).
- **Transporte:** Es todo un conjunto de procesos con la finalidad de desplazar o comunicar bienes o materiales. (Pituy, 2020, p. 19).

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. El Problema

El transporte en la Rampa 400 mina Hércules Cía. Minera Lincuna S.A. tiene un costo elevado el cual debemos de controlar ya que está cerca al 43% esto debido al desgaste de los neumáticos ya que en la construcción de la rampa existe rocas filosas producto del disparo que muchas veces cortan los neumáticos, a la caída de roca de las tolvas de los camiones volvo FMX 6 x 4, al consumo de combustible producto de la falta de aire limpio que ayude a la combustión. Para reducir los costos es necesario mejorar el carguío, uniformizar las pendientes, pero el que más incide es la correcta ubicación de la carga en la tolva. El transporte por medio de volquetes de material estéril en la Rampa 400, presente muchas deficiencias lo que hace que esta actividad no sea eficiente es por ello que siempre se busca dentro del programa de mejora continua optimizar los procesos de carguío y los ambientes físicos para ahorrar en esta actividad unitaria minera subterránea, ya que los costos de transporte por medio de volquetes es alto, pero a diferencia de ello presenta buena productividad, la selección de la flota importante por incide directamente en los costos operativos.

3.1.1. Descripción de la realidad problemática

En la construcción de la Rampa 400 mina Hércules Cía. Minera Lincuna S.A. el carguío y transporte de mineral y estéril son las actividades unitarias mineras que tiene menor eficiencia y eficacia, que se traduce el altísimos consumo de neumáticos, combustibles, lubricantes, repuestos de todo tipo lo que conlleva a una baja productividad lo que encarece en demasía los costos

de construcción de la rampa, es por ello que el presente estudio pretende dar alternativas de solución para así optimizara los costos operativos y ahorrar recursos económicos en la construcción de la Rampa.

3.1.2. Planteamiento y Formulación del Problema

3.1.2.1. Formulación del problema General

¿Como se optimizará el sistema de transporte en la Rampa 400 mina Hércules Cía. Minera Lincuna S.A. – 2022?

3.1.2.2. Formulación de problemas específicos

1. ¿Cómo planificar el sistema de transporte en la Rampa 400 mina Hércules, para que sea eficiente?
2. ¿Cómo identificar las variables operativas que influyen en el rendimiento de los equipos de transporte y como desarrollar propuestas de mejora?

3.1.3. Objetivos de la investigación

3.1.3.1. Objetivo General

Optimizar el sistema de transporte en la Rampa 400 mina Hércules Cía. Minera Lincuna S.A. – 2022

3.1.3.2. Objetivos Específicos

1. Realizar una eficiente planificación del sistema de transporte en la Rampa 400 mina Hércules.

2. Identificar las variables operativas que influyen en el rendimiento de los equipos de transporte y desarrollar propuestas de mejora.

3.1.4. Justificación e importancia

En la mina Hércules con motivo de incrementar su producción se están construyendo labores de accesos para llegar al mineral en profundidad, es por ello que se está construyendo la Rampa 400, el cual tiene implementado un programa de mejora continua en todas sus actividades unitarias y siendo el sistema de transporte por Volquetes desde interior de la rampa hacia superficie los que nos lleva a realizar este estudio para tratar de optimizar este sistema y obtener ahorros considerables en la construcción de la Rampa y es importante porque el transporte es que esta alrededor del 43% del costo de producción, reducirlo y permitirá mantener los costos de producción en general óptimos.

3.1.5. Alcances

La investigación tiene por alcance optimizar el sistema de transporte en la Rampa 400.

3.1.6. Delimitación de la Investigación

La investigación será realizada entre los meses de enero a junio del año 2022.

3.1.7. Limitación de la Investigación

Para realizar este trabajo se tuvo como limitante el recurso económico que es escaso y tiene que ser financiado por el tesista.

3.2. Hipótesis

Hipótesis General

El sistema de transporte en la Rampa 400 mina Hércules Cía. Minera Lincuna S.A. año 2022, será óptimo.

Hipótesis Específicas

1. Se realiza una eficiente planificación del sistema de transporte en la Rampa 400 mina Hércules.
2. Se identifica las variables operativas que influyen en el rendimiento de los equipos de transporte y se desarrolla propuestas de mejoras.

3.3. Variables

Variable Independiente (x)

Optimización.

Variable dependiente (y)

Sistema de transporte en la Rampa 400 mina Hércules Cía. Minera Lincuna S.A. – 2022.

3.3.1. Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables.

| Tipo de variable | Nombre de la variable | Dimensiones | Indicadores |
|------------------------|--|--------------------|--|
| Variable Independiente | Optimización. | Carguío. | <ul style="list-style-type: none"> • Ton/día. |
| | | Tiempos. | <ul style="list-style-type: none"> • Reducción de tiempos improductivos |
| | | Rampa. | <ul style="list-style-type: none"> • Pendiente. • Caída de Rocas en la rampa. • Radios de curvatura. • Distancias. |
| | | Recursos. | <ul style="list-style-type: none"> • Costos. |
| Variable dependiente | Sistema de transporte en la Rampa 400 mina Hércules Cía. Minera Lincuna S.A. – 2022. | Camiones Volquetes | <ul style="list-style-type: none"> • Desgaste de Neumáticos. • Tiempo de llenado de combustibles. • Rendimientos. (%) • Disponibilidad mecánica. (%) • Utilización (%) • Capacidad (TM). • Volumen de producción. |
| | | Calidad. | <ul style="list-style-type: none"> • Calidad del sistema de transporte por Volquetes. |

Fuente: Maicol Jenrry Pituy Flores, 2020.

3.4. Diseño de la investigación

3.4.1. Tipo de investigación

La investigación es **Aplicada**, que busca la optimización del sistema de transporte en la Rampa 400 mina Hércules Cía. Minera Lincuna S.A. – 2022.

3.4.2. Nivel de la investigación

El nivel será de investigación descriptivo y correlacional, ya describe en forma correlacional la optimización del sistema de transporte en la Rampa 400 mina Hércules Cía. Minera Lincuna S.A. – 2022.

3.4.3. Método

Empleamos el método científico en forma general. Porque según Pituy (2020) se construye a base de datos empíricos insitu en las operaciones de transporte en Rampa 400 de la mina Hercules, para mejorar la productividad de empresa en base a la evaluación de dichos datos. (pag. 32).

3.4.4. Diseño de investigación

Según Pituy (2020) la investigación es de diseño longitudinal no experimental, porque el objetivo de la investigación es determinar el mejoramiento del transporte de mineral con volquete en la construcción de la Rampa demoras operativas. (pag. 33).

3.4.5. Población y muestra

Población

El universo estará compuesto por todos los sistemas de transporte por camiones volquetes que trabajan en la mina Hércules.

Muestra

Estará compuesta por 4 camiones volvo FMX y dos Scooptrams por guardia de 12 horas.

3.4.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas usadas en la presente investigación se basan en los libros sobre el tema de investigación de operaciones. Los instrumentos usados para la presente investigación serán, algoritmos, software, bibliografía entre otras fuentes. (Rosales, 2018, p. 39).

3.4.7. Forma de Tratamiento de los Datos

Se utilizarán programas computarizados específicos como Excel, los cuales serán presentadas mediante gráficos, cuadros y resúmenes. (Rosales, 2018, p. 39).

3.4.8. Forma de Análisis de las Informaciones

La forma de análisis se efectuará en dos etapas, la etapa inicial estará enfocado al desarrollo de la información básica necesarias para evaluar la adecuación del modelo matemático, y la segunda etapa es la interrelación de la información básica con las iteraciones necesarias para obtener el objetivo principal de la presente investigación. (Rosales, 2018, p. 39).

CAPITULO IV

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Descripción de la realidad y procesamiento de datos

Se tomarán datos entre los meses de enero a junio del año 2022 lo cual nos permitirá tener los datos suficientes primero para ver las ineficiencias del sistema de transporte para luego proponer las estandarizaciones para optimizar nuestro sistema de transporte; la rampa tendrá las siguientes características:

- Rampas 400 de 4.5 x 4.0m. – Labores permanente que nos permite el tránsito de los volquetes, transporte de material, personal e instalación de servicios.
- Pozas de bombeo. – se construirán cada 25m. de 1.2 x 1.2 x 1.0m.
- Refugios. – Se construirán cada 50m. en tramos rectos y cada 30m. en curvas de sección de 2.0 x 2.0 x 1.5m.
- Instalaciones de servicio. - Estarán a una distancia no mayor a 25m. del frente.
- Mangas de ventilación. - Estarán a no más de 15m. del frente.
- Alcayatas. - La instalación de tuberías de aire y agua deberán estar espaciadas entre si cada 2.5 m y para el cable eléctrico cada 2.0m.
- Cable eléctrico. - Deberá estar independiente y al lado opuesto de las otras instalaciones con una separación mínima de 1m.
- Tuberías y cables. - Deberán estar sujetos con cintillas de amarre.

- Cuneta. - Deberá seguir a la labor a una distancia no mayor de 15m. del frente con una sección de 0.4 x 0.4m.
- Se pondrán cada 2.5m. ojos de gato a 1.20m. del piso.
- Señalizar las alcayatas con cintas reflectivas del color respectivo de acuerdo al anexo 17 código de señales y colores del DS 024-2016-EM.
- La gradiente de la rampa no será mayor a 12% sea positiva o negativa.
- La gradiente de control deberá ser marcada por topografía a 1.2m. del piso de la labor. (Anchiraico, 2020, p. 32).

4.2. Planificación del sistema de transporte en la Rampa 400 mina Hércules

4.2.1. Limpieza de material de la Rampa 400

Para la Limpieza de labores de mineral y desmonte se emplearán equipos diesel (Minería trackless) que permitirán alcanzar una mayor productividad en el desarrollo de las actividades mineras, en este caso la CML S.A. contará con equipos de las siguientes capacidades:

- 08 Scoops Caterpillar R1300G de 4,2 yd3,
- 01 Scoop LH-310 de 4,2 yd3,
- 02 Scoops Wagner 2,2 yd3,
- 02 Scoop Wagner 3,5 yd3 y
- 01 Scoop Yarvis 01 yd3.

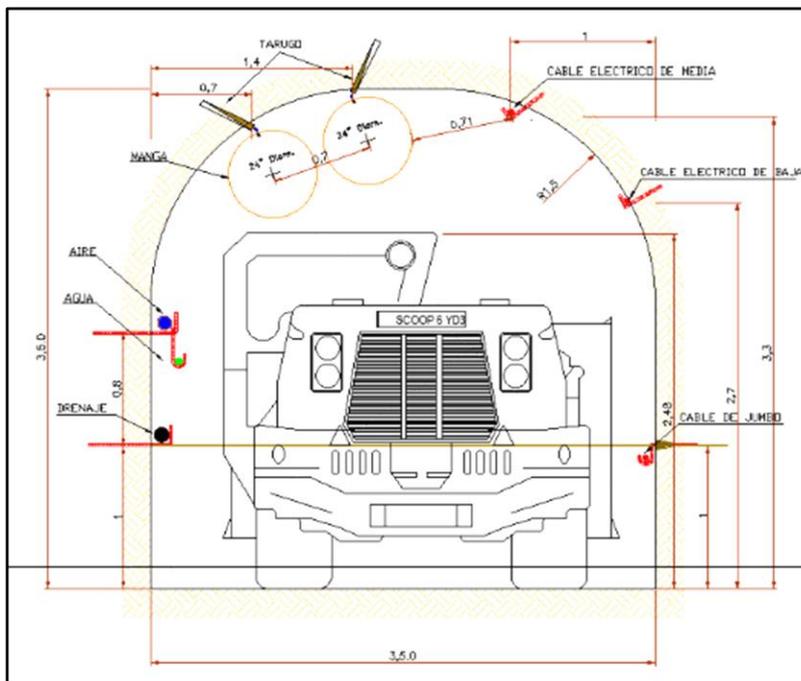
Siendo así estos equipos sirven para poder realizar la limpieza del frente mismo donde se realizó la voladura, para luego realizar la acumulación o el carguío directo hacia los volquetes para la extracción del material de caja (desmante) o de mineral.

4.2.2. Selección del equipo de Limpieza

La selección del equipo adecuado debe considerar la potencia requerida que deberá tener el motor a nivel del mar, para comparar con la potencia efectiva que este motor obtiene con ayuda de dispositivos como el tubo cargador (dispositivo de compensador de altura) a una cota determinada.

Una deficiente selección traería como consecuencia un motor sobrecargado, velocidad de desplazamiento anormal, producción de mucho humo y gases, calentamiento anormal del motor, etc.

Figura 8. Sección de la Rampa 400.



Fuente: Enzo Fabrizio, Leon Flores, 2019.

4.2.3. Parámetros para el cálculo de limpieza

Para encontrar la mayor productividad del equipo se debe tomar en consideración los siguientes parámetros:

- Sistema de carga sea el más económico que garantice la máxima velocidad de avance Velocidad necesaria de avance de la labor. Este parámetro es muy importante, así como su relación con otros, por ejemplo, que él.
- Producción a cargar, capacidad de acarreo requerido.
- Tipo de material a cargar. Es importante no solo conocer el tamaño del material a cargar, sino también otras propiedades como su densidad, dureza, abrasión y esponjamiento.
- Frentes, curvas, intercepciones, características del área de descarga, del punto de carga, visibilidad.
- Utilización del equipo
- Sección de la labor, de manera que permita que el equipo pueda funcionar con holgura.
- Sistema principal de transporte en la mina y organización del mismo.
- Factores económicos, que incluyen desde el costo de la tonelada excavada y cargada a otros factores económicos, capital disponible, amortización, etc.

La limpieza de los frentes de avance se efectuará en dos etapas:

- El material producto de la voladura de los frentes se limpiará con el Scoop y será acumulado en las cámaras de carguío y/o acumulación los que están ubicados cada 200 metros del tope de la labor.
- En la segunda etapa el Scoop procederá a cargar el material de las cámaras de carguío a los volquetes o camión de bajo perfil para ser evacuados hasta la bocamina.

A continuación, se muestra el cuadro a detalle de la eficiencia del Scooptrams empleado de 6 Yd3.

Tabla 2. Eficiencia de SCOOP DE 6 YD3

| ESPONJAMIENTO 60% Y DENSIDAD DE 3 TM / M3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| CAT R 1600 - SCOOP DE 6 YD3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Velocidad Promedio Cargado (Km/Hr) | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Velocidad Promedio Vacío (Km/Hr) | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 | 5,5 |
| Capacidad Nominal de cuchara 6,0 y d3 (Yd3) | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Factor de llenado de cuchara | 90% | 90% | 90% | 90% | 90% | 90% | 90% | 90% | 90% | 90% | 90% | 90% | 90% | 90% | 90% | 90% | 90% | 90% | 90% | 90% |
| Capacidad efectiva Cuchara 6,0 y d3 (m3) | 4,13 | 4,13 | 4,13 | 4,13 | 4,13 | 4,13 | 4,13 | 4,13 | 4,13 | 4,13 | 4,13 | 4,13 | 4,13 | 4,13 | 4,13 | 4,13 | 4,13 | 4,13 | 4,13 | 4,13 |
| Densidad Promedio (Desmonte / Mineral) | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Esponjamiento | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Toneladas por viaje | 7,75 | 7,75 | 7,75 | 7,75 | 7,75 | 7,75 | 7,75 | 7,75 | 7,75 | 7,75 | 7,75 | 7,75 | 7,75 | 7,75 | 7,75 | 7,75 | 7,75 | 7,75 | 7,75 | 7,75 |
| Distancias | m, |
| Distancias desde el frente de trabajo hasta el punto de descarga | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 | 170 | 180 | 190 | 200 |
| Tiempos | min |
| Carguío de material (Fijo) | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| Viaje cargado | 0,12 | 0,24 | 0,36 | 0,48 | 0,6 | 0,72 | 0,84 | 0,96 | 1,08 | 1,2 | 1,32 | 1,44 | 1,56 | 1,68 | 1,8 | 1,92 | 2,04 | 2,16 | 2,28 | 2,4 |
| Descarga de material y Maniobras (Fijo) | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| Viaje de regreso vacío | 0,11 | 0,22 | 0,33 | 0,44 | 0,55 | 0,66 | 0,77 | 0,88 | 0,99 | 1,1 | 1,21 | 1,32 | 1,43 | 1,54 | 1,65 | 1,76 | 1,87 | 1,98 | 2,09 | 2,2 |
| Total de Ciclo | 1,23 | 1,46 | 1,69 | 1,92 | 2,15 | 2,37 | 2,6 | 2,83 | 3,06 | 3,29 | 3,52 | 3,75 | 3,98 | 4,21 | 4,44 | 4,67 | 4,89 | 5,12 | 5,35 | 5,58 |
| Eficiencias | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| Numero de minutos por hora (15% de tiempos muertos) | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 | 60 |
| Número de viajes por hora | 48,8 | 41,2 | 35,6 | 31,3 | 28 | 25,3 | 23 | 21,2 | 19,6 | 18,2 | 17,1 | 16 | 15,1 | 14,3 | 13,5 | 12,9 | 12,3 | 11,71 | 11,2 | 10,8 |
| Eficiencia horaria | 378 | 319 | 276 | 243 | 217 | 196 | 179 | 179 | 164 | 152 | 141 | 132 | 124 | 117 | 111 | 105 | 99,7 | 95,02 | 90,8 | 86,9 |

Fuente: Elaboración propia.



4.2.4. Disponibilidad Mecánica

$$DM = (h.p. - (M + R)) * 100/(h.p.-M)$$

Donde:

- DM =Disponibilidad Mecánica (%)
- h.p.= Horas Programadas para el trabajo del equipo = 12
- M = Mantenimiento o Tiempo de Reajuste General del Equipo = 02
- R = Reparación o tiempo de reparaciones en general mecánica y eléctrico = 0.8
- **DM = 92 %**

4.2.5. Utilización Efectiva

$$UE = (h.p. - (S + r + M + R)) * 100/(h.p. - (S + r)$$

Dónde:

- UE = Porcentaje de Utilización Efectiva Durante las Horas Programadas
- S = Servicios (Tiempos de carguío de combustible, agua, demoras y otros) = 0.5
- r = Refrigerio =1.0
- M = Mantenimiento = 0.5

- R = Reparación = 0.0
- UE = 95.24%

Tabla 3. Resumen de Utilización efectiva y disponibilidad mecánica.

| | | |
|--------------------------|---------|---------|
| Capacidad del Scooptrams | 4.2 yd3 | 6.0 yd3 |
| UE en % | 95,24 | 95,24 |
| DIM en % | 92,00 | 92,00 |

Fuente: Elaboración propia.

4.2.6. Horas Efectivas Mensuales

$$\text{HEM} = \text{HP} * \text{UE} / 100 * \text{DIM} / 100$$

Tabla 4. Horas efectivas mensuales.

| | |
|-------------|------------|
| Cat 4.2 yd3 | Cat 6.0yd3 |
| 335 hrs | 365 hrs |

Fuente: Elaboración propia.

4.2.7. Transporte de mineral y desmante

Se cuenta con equipos de 15m3 recortados a 12m3 debido a la sección que se cuenta en interior mina.

Se sugiere solicitar el servicios de contratistas mineros que cuenten con equipos de 25m3 para llevar mineral y/o desmante a la superficie..

Tabla 5. Distancias

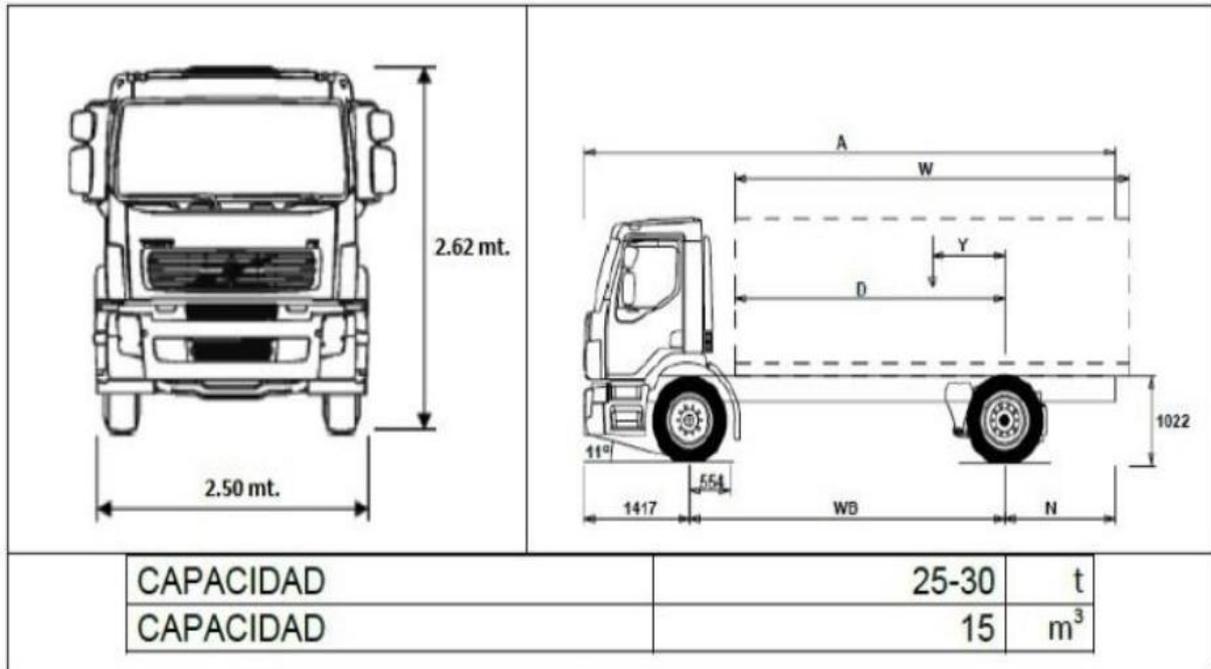
| Zona | Distancia promedio | Rendimiento (Tn/Hr) |
|----------|--------------------|---------------------|
| Hercules | 12,55 (km) | 11,30 |

Fuente: Elaboración propia.

Para tener una buena eficiencia y rendimiento en cuanto a la extracción de mineral y desmonte mediante volquetes, se debe tener en cuenta las características para este tipo de transporte que se detallan a continuación:

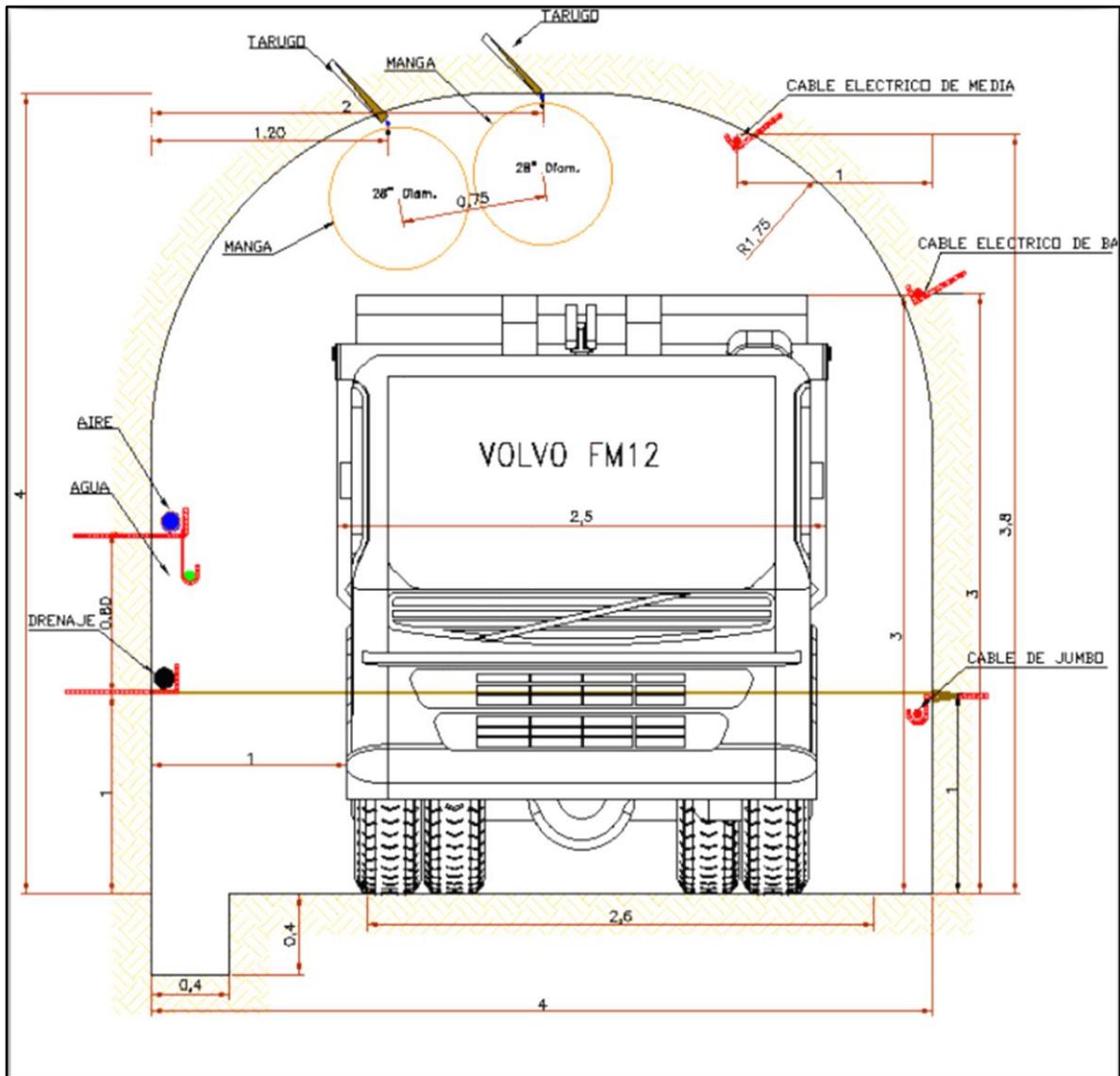
- Vías en buen estado de mantenimiento, para minimizar el costo por las llantas y optimizar los tiempos de transporte.
- Cámaras de carguío tanto para el mineral como para el desmonte, que tengan una ubicación estratégica,
- Pendientes no mayores a +/- 12%,
- Capacidad de carga por cada volquete.

Figura 9. Especificaciones técnicas de los equipos de transporte



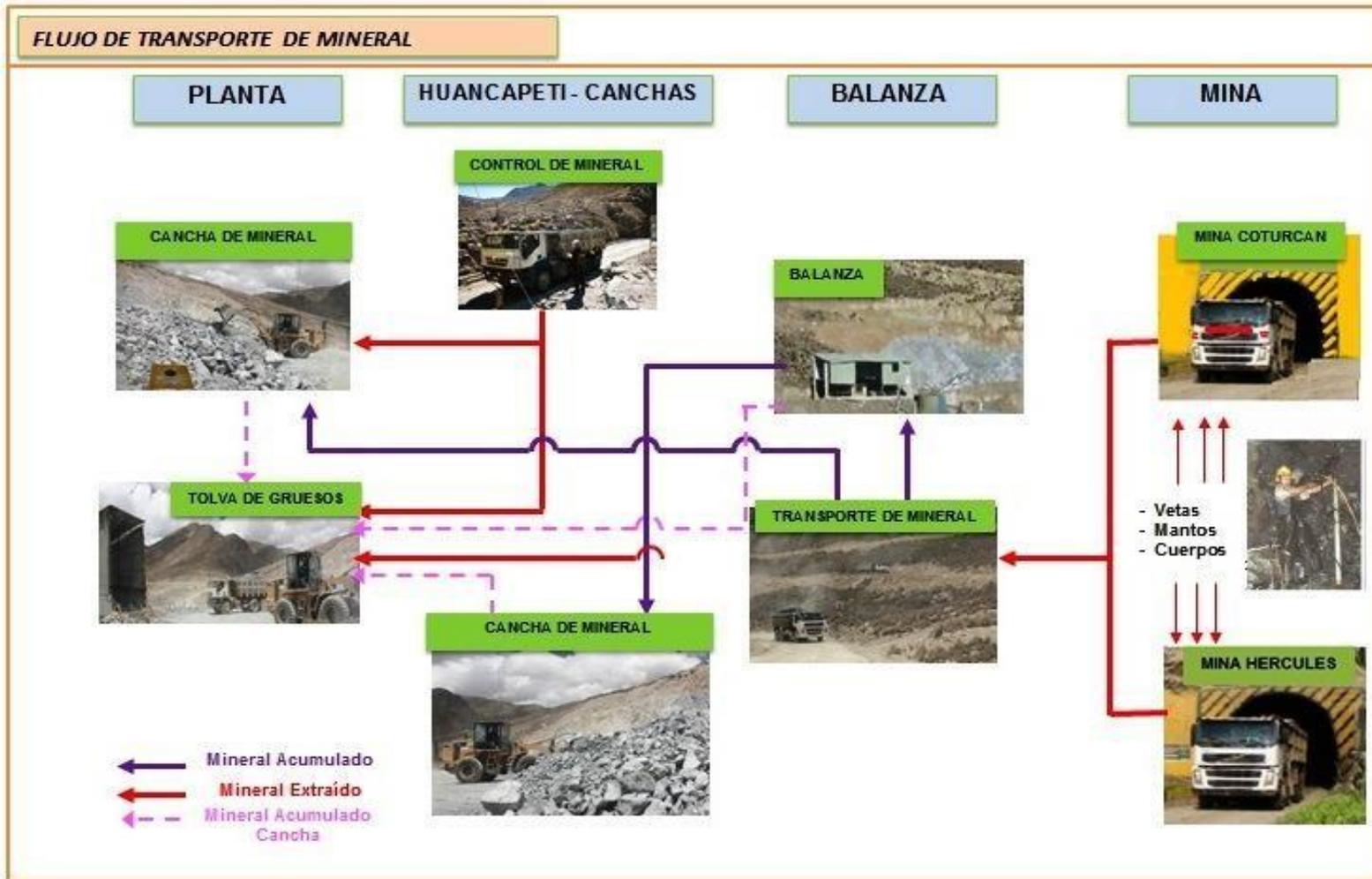
Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Sección típica – Labor Principal.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. Esquema de Sistema de Extracción de Mineral y/o desmonte.



Fuente: Elaboración propia.

4.3. Aplicación del mejoramiento de carguío y transporte en la rampa 400 de la mina polimetálica Hércules

El mejoramiento del carguío y transporte en la rampa 400 de la mina polimetálica Hércules puede tener varios beneficios para la eficiencia y productividad de la operación minera. A continuación, se presentan algunas posibles aplicaciones para lograr dicho mejoramiento:

1. **Implementación de equipos de carguío más eficientes:** Se puede considerar la adquisición de equipos de carguío de última generación, como Scooptrams, más grandes y potentes. Estos equipos permitirán cargar mayores volúmenes de mineral en cada ciclo, reduciendo el tiempo de carga y aumentando la productividad.
2. **Optimización de los puntos de carga:** Es importante analizar y mejorar los puntos de carga en la rampa 400. Esto implica identificar los cuellos de botella y las áreas donde se produce congestión durante el proceso de carga. Mediante el diseño de puntos de carga eficientes y la implementación de sistemas de monitoreo, se puede minimizar el tiempo de espera de los camiones y mejorar la fluidez del proceso.
3. **Implementación de tecnología de automatización:** La incorporación de sistemas de carga y transporte automatizados, como camiones mineros autónomos, puede aumentar la eficiencia y la seguridad en la rampa 400. Estos vehículos autónomos pueden operar las 24 horas del día, los 7 días de la semana, sin la necesidad de descansos ni pausas, lo que reduce los tiempos de inactividad y mejora la productividad.

4. **Uso de sistemas de gestión de flotas:** La implementación de sistemas de gestión de flotas permite monitorear en tiempo real la ubicación y el rendimiento de los camiones y equipos de carguío. Estos sistemas facilitan la programación de rutas óptimas, la asignación eficiente de recursos y el seguimiento de indicadores clave de rendimiento, lo que ayuda a identificar áreas de mejora y optimizar la eficiencia operativa.
5. **Capacitación y entrenamiento del personal:** Es esencial capacitar al personal involucrado en el carguío y transporte para que utilicen de manera eficiente los equipos y las tecnologías implementadas. La formación en prácticas de operación seguras, mantenimiento básico de equipos y uso adecuado de las herramientas de gestión de flotas contribuirá a maximizar los beneficios del mejoramiento en la rampa 400.

4.3.1. Mejoramiento del ciclo

Después de haber analizado el ciclo y con la ayuda de las herramientas de gestión y figuras se observa que el tiempo improductivo evitable para nuestro estudio es:

1. **Cola de volquetes.** - Por tanto, nuestro objetivo es reducir el tiempo de espera producto de la cola de volquetes para lo cual utilizamos la teoría de colas, obteniendo así el tiempo improductivo que se produce en cada tramo.
2. Ya con un ciclo optimizado verificamos con el factor acoplamiento y el rendimiento de flota si se posee una flota óptima para cada tramo. Las distancias tomadas son constantes.

3. Relación del factor de acoplamiento y rendimiento de flota
4. Se presentan los tramos de carguío – transporte - descarga, como se puede visualizar se hace el análisis con la cantidad de volquetes.
5. La columna de color negro da a conocer que el factor de acoplamiento es igual a 1, es decir que se ha encontrado la flota óptima.

Flota actual: 04 volquetes

Flota optima: 03 volquetes

Ciclo de transporte: 75,50 minutos.

Se puede observar que con la distribución actual no existe un sobredimensionamiento del equipo de transporte provocando cola de volquetes. ya que la relación de los rendimientos en toneladas horas versus el tamaño de una flota de transporte homogénea. Los rendimientos que se obtienen son equivalentes a las capacidades reales de la flota de volquetes en ausencia de congestión, al reducir los tiempos de espera hallados con la teoría de colas. Posteriormente aplicamos nuevamente la teoría de colas para corroborar la optimización de los ciclos, ya con la flota optima calculada.

4.3.2. Teoría de colas aplicada a nuestra flota optimizada

A través de la teoría de colas se podrá corroborar si con la flota optimizada se redujo el tiempo de espera de los volquetes, obteniendo los siguientes resultados.

Datos iniciales (situación actual)

- Velocidad de llegada: $\lambda = 10$
- Tiempo de servicio: $\mu = 4,5$ minutos Máximo de clientes en la cola: $k = 2$ ($k_{lim} = 500$) Numero de servidores: $s = 1$
- Factor de tiempo: $ft = 60$
- Resumen de resultados (situación actual)
- Velocidad de servicio: $\mu = 13,33$
- No. Mínimo de servidores: $s_{min} = 1$
- Rendimiento: $\rho = 0,7500$
- Rendimiento real: $\rho_r = 0,7500$
- Clientes que llegan: $\lambda = 10$
- Clientes que se quedan: $\lambda_p = 10$
- Clientes que se van: $\lambda - \lambda_p = 0$
- Longitud de la cola: $L = 0,81$
- Clientes en espera: $L_q = 0,06$
- $W = 4,86$ Minutos
- $W_q = 0,36$ Minutos
- Buscar probabilidad $P(n = 0)$ $P = 0,432432$ $P = 4,324 E-01$

- $\Sigma C_n = 2,31250$
- $P_o = 0,4224324$

$$P_k = 2,432 E - 01 = 24,32 \%$$

Al reducirse el número de volquetes de 4 a 3 en la construcción de la rampa 400 de la mina Hércules, se redujo el número de volquetes que arriban para ser cargados de por lo que el tiempo de espera de los volquetes en la cola se reduce, así también la probabilidad de encontrar volquetes en la cola disminuye.

4.3.3. Extracción por Volquete

La extracción mediante volquetes se realiza utilizando equipos de la marca VOLVO, modelo FMX 6X4 del año 2018. Se ha modificado la carrocería de los volquetes para que puedan cargar hasta 25 m³. Esta modificación fue necesaria debido a que el tamaño original del volquete era demasiado alto para acceder a las áreas de trabajo mineras, lo que impediría su entrada para llevar a cabo la extracción. La pendiente promedio de la rampa auxiliar por la cual se desplazan los equipos es del 8%, con algunas pequeñas variaciones de hasta el 12% en ciertos tramos.

4.3.4. Recolección de la información

Se han tenido en cuenta diferentes variables que afectan el rendimiento de los volquetes, tales como la distancia recorrida, la hora del recorrido y la ubicación de la zona de extracción. Estas variables resultan importantes debido a que no solo determinan el tiempo que tarda un equipo de transporte

en completar un ciclo de carga, sino que también influyen en variables externas, como el tráfico en la rampa o demoras causadas por un mantenimiento deficiente de las vías, entre otras situaciones que se explicarán en detalle a lo largo de esta tesis.

4.3.5. Procesamiento de la información

Se excluyeron los datos anómalos para evitar que afecten los resultados del análisis. A continuación, se calculará el rendimiento de cada equipo en cada ciclo de transporte utilizando el tonelaje transportado y el tiempo empleado en completar el ciclo. Esta información es relevante, ya que permitirá observar que el rendimiento de cada equipo no es constante a lo largo del día, lo que ayudará a identificar las causas que reducen su rendimiento en ciertas horas. Una vez obtenidos los rendimientos de cada ciclo diario, se podrán calcular los rendimientos totales por día para cada equipo. Este análisis también es importante, ya que permite identificar cómo fue el rendimiento de cada equipo durante el día y cómo varía diariamente. Asimismo, se podrán identificar las variables que afectan el rendimiento durante el recorrido. Después de analizar los rendimientos y costos de los equipos de transporte en el interior de la mina, se determinará cuál de los dos es el mejor, teniendo en cuenta las variables estudiadas. En este paso, se utilizarán técnicas estadísticas para descartar datos incorrectos de la base de datos recopilada y se identificarán las variables externas que afectan el rendimiento de los equipos de transporte. En general, el tráfico en la rampa, la espera para la carga y descarga, la espera del scoop, las secciones no

estandarizadas y el mantenimiento de las vías representan aproximadamente el 80% del tiempo perdido en la operación.

4.3.6. Análisis de los resultados

Se llevó a cabo una evaluación económica comparativa del antes y después del volquete, utilizando los rendimientos y costos de transporte basados en los datos procesados. Además, se elaboró una lista que incluye todas las causas que afectan negativamente el transporte eficiente en el interior de la mina. Posteriormente, se aplicará el método de Pareto para identificar las causas más críticas, donde el 20% de las causas totales representan el 80% del problema.

4.3.7. Diseño de una propuesta de gestión de volquetes dentro de la mina

e presentará una propuesta de mejora para optimizar el rendimiento y los costos del transporte de mineral en la mina Hércules, considerando las variables relevantes en el proceso. Se realizará una simulación utilizando el programa Haulsim 2.0 para evaluar el rendimiento de los sistemas de transporte, dumper y volquete. Se ingresarán los datos necesarios, como las coordenadas topográficas de la ruta, los tipos de equipos y las condiciones de la vía. Antes de ejecutar la simulación, se tomarán en cuenta las horas efectivas de trabajo por turno y se establecerán los objetivos diarios de transporte. Se llevarán a cabo diferentes casos de simulación para determinar la cantidad óptima de volquetes necesarios en cuatro labores mineras. En uno de los casos, se implementará la utilización de 3 volquetes

y se verificará su rendimiento. El objetivo final es mejorar el rendimiento y los costos del transporte de mineral en la mina Hércules.

4.4. Discusión de resultados

- La eficiencia horaria del Scooptrams, es mayor (378 Tm/hr.) cuando la distancia es menor o igual a 10 metros y es menor (386,9 Tm/hr.) cuando la distancia es igual a 200 metros.
- La disponibilidad mecánica del Scooptrams, (DM), es igual a 92 %.
- La Utilización Efectiva del Scooptrams, (UE), es igual a 95.24%.
- Las Horas Efectivas Mensuales del Scopoptrams de 4,2 yd³ es de 335 horas mensuales.
- Las Horas Efectivas Mensuales del Scopoptrams de 6,0 yd³ es de 365 horas mensuales.
- La eficiencia horaria del volquete en promedio es de (32,20 Tm/hr.).
- La disponibilidad mecánica del volquete en promedio (DM), es igual a 89 %.
- La Utilización Efectiva del volquete en promedio, (UE), es igual a 92,50%.
- Las Vías deben de estar en buen estado de mantenimiento, para minimizar el costo por las llantas y optimizar los tiempos de transporte.
- Cámaras de carguío tanto para el mineral como para el desmote, que tengan una ubicación estratégica.

- Pendientes no mayores a +/- 12%.

4.5. Aporte del tesista

Se aportó con realizar la optimización del sistema de transporte en la Rampa 400 de la mina Hércules en 2022 fue un proyecto realizado por la compañía minera Lincuna S.A. con el fin de mejorar la eficiencia y productividad en el transporte de materiales dentro de la mina, mediante la implementación de medidas como la modernización de equipos, la optimización de rutas y horarios, y la mejora de la infraestructura de la rampa.

CONCLUSIONES.

1. Los volquetes presentaron rendimientos en promedio de 32.20 toneladas por hora (257 toneladas métricas por guardia). La disponibilidad mecánica promedio de los volquetes fue del 89%, mientras que la utilización efectiva promedio fue del 92.50%.
2. La eficiencia horaria del Scooptrams, es mayor (378 Tm/hr.) cuando la distancia es menor o igual a 10 metros y es menor (386,9 Tm/hr.) cuando la distancia es igual a 200 metros, la disponibilidad mecánica del Scooptrams, (DM), es igual a 92 % y la Utilización Efectiva del Scooptrams, (UE), es igual a 95.24%.
3. Es necesario que las vías estén adecuadamente mantenidas con el fin de reducir los costos asociados a los neumáticos y mejorar los tiempos de transporte. Además, se recomienda ubicar estratégicamente las cámaras de carga tanto para el mineral como para el desmonte. Asimismo, se sugiere que las pendientes no superen el rango de +/- 12%.
4. El tráfico en la rampa, la espera del scoop, secciones no estandarizadas y el mantenimiento de vías son responsables del 80% de las variables operativas que impactan en el rendimiento de los equipos. Específicamente, el tráfico en la rampa se identificó como la causa principal.
5. Para alcanzar el tonelaje diario planificado por el departamento de ingeniería minera y evitar un exceso de tráfico en la rampa principal, se requerirán tres volquetes debido a su mayor rendimiento.

6. Al reducir o eliminar los excesos en el tamaño de los equipos de transporte y carga, se eliminan los tiempos de espera improductivos en las colas de los volquetes, lo que a su vez reduce los costos asociados a estos tiempos.

RECOMENDACIONES

1. **Mantenimiento de las vías:** Es importante llevar a cabo un mantenimiento regular de las vías para garantizar su buen estado y evitar costos adicionales debido al desgaste de los neumáticos. Esto también ayudará a optimizar los tiempos de transporte.
2. **Ubicación estratégica de las cámaras de carguío:** Se recomienda ubicar estratégicamente las cámaras de carguío tanto para el mineral como para el desmonte. Esto permitirá una operación más eficiente y minimizará los tiempos de espera del equipo de carga.
3. **Gestión del tráfico en la rampa:** Dado que el tráfico en la rampa se identificó como una de las principales causas que afectan el rendimiento de los equipos, se sugiere implementar medidas para gestionar y reducir el tráfico en esta área. Esto puede incluir la programación de horarios de carga y descarga, la implementación de sistemas de prioridad de paso y la coordinación entre los diferentes equipos de transporte.
4. **Dimensionamiento adecuado de los equipos de transporte:** Es importante evitar sobredimensionamientos en los equipos de transporte y carguío. Al ajustar el tamaño de los equipos de acuerdo a las necesidades reales de la operación, se reducirán los tiempos improductivos de espera de los volquetes en cola y se disminuirán los costos asociados a ellos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Anchiraico Giraldo, A. (2020). *Optimización del sistema de acarreo y transporte en labores de preparación de las zonas de profundización mediante la metodología Six Sigma operada por la E.C.M. Zicsa en la Unidad Minera Inmaculada*. [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería de Gestión Minera. Lima, Perú.
- Araujo García, R. (2018). *Optimización de la flota de volquetes en el acarreo, para incrementar la producción en la mina los Andes Peru Gold – Huamachuco*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Trujillo]. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería de Minas y Metalúrgica. Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas. Trujillo, Perú. .
- Barrios Ormeño, F. (2020). *Carguío dinámico para la optimización de la utilización efectiva de camiones de minería a cielo abierto a escala de laboratorio*. [Tesis de Pregrado, Universidad de Chile]. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Departamento de Ingeniería de Minas. Santiago de Chile, Chile.
- De La Morena Fernández, F. (2018). *Estudio para la implantación de conducción autónoma en volquetes en minería de interior*. [Tesis de Pregrado, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía]. Ingeniería De Tecnología Minera. Explotación de Minas. Madrid, España. .
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. (2014). & Baptista Lucio, P. *Metodología de la investigación*. . México D.F., México.
- <https://economipedia.com/definiciones/optimizacion.html>. (2020).
- Leon Flores, E. (2019). *Análisis de la implementación de la transición de equipos de transporte “Dumper A Volquete” en una mina subterránea*. [Trabajo de

- investigación, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Facultad de Ciencias E Ingeniería. Lima Perú. .
- Mollo Yaulli, J. (2022). *Optimización del sistema de transporte de mineral a cargo de la empresa DCR minería y construcción, en la unidad minera immaculada*. [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa, Perú. .
- Paricahua Arias, M. (2014). *Diseño de la Galería Paralela 270-1 e integración de Rampas 400 y 1000 para incrementar la producción en la zona Hercules Cia. Minera Huancapeti*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín]. Facultad de Geología, Geofísica y Minas. Escuela Profesional de Ingeniería de Minas. Arequipa, Perú. .
- Pituy Flores, P. (2020). *Mejoramiento del transporte de mineral con volquete en interior mina para incrementar la productividad en U.M. Andaychagua de Volcan Compañía Minera S.A.A.* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Facultad de Ingeniería de Minas. Huancayo, Perú. .
- Ramos Crisostomo, M. y Salomon De la Peña, E. (2021). *Optimización del ciclo de carguío, transporte y descarga de mineral para aumentar la producción de mineral en la Unidad Minera Andaychagua*. [Tesis de Pregrado, Universidad Continental]. Facultad de Ingeniería. Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas. Huancayo, Perú.
- Rosales Santamaria, M. (2018). *Aplicación del algoritmo de transportes para minimizar costos de traslado de caolin en INSUMEX S.A. – 2016*. [Tesis de Pregrado Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Facultad De Ingeniería de Minas Geología y Metalurgia. Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas. Huaraz, Perú.

Tacuri Gamboa, A. (2017). *Evaluación geomecánica del macizo rocoso para la aplicación del sostenimiento en la mina Hércules – Cía. minera Lincuna S.A.* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil. Escuela de Formación Profesional de Ingeniería de Minas. Ayacucho, Perú. .

Villalba Cardenas, M. (2020). *Optimización granulométrica del material volado a partir de la mejora de estándares en las operaciones unitarias de perforación y voladura en la Unidad Minera Hércules - Compañía Minera Lincuna.* [Tesis de Pregrado, Universidad Continental]. Facultad de Ingeniería. Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas. Huancayo, Perú. .



ANEXOS



ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIAS

| PROBLEMA | OBJETIVOS | HIPOTESIS | VARIABLES | METODOLOGIA | POBLACION |
|--|--|--|--|---|--|
| <p>Problema General</p> <p>¿Como se optimizará el sistema de transporte en la Rampa 400 mina Hércules Cía. Minera Lincuna S.A. – 2022?</p> | <p>Objetivo General</p> <p>Optimizar el sistema de transporte en la Rampa 400 mina Hércules Cía. Minera Lincuna S.A. – 2022.</p> | <p>Hipótesis General</p> <p>El sistema de transporte en la Rampa 400 mina Hércules Cía. Minera Lincuna S.A. año 2022, será óptimo.</p> | <p>Variable Independiente (x)</p> <p>Optimización.</p> <p>Variable dependiente (y)</p> | <p>Tipo</p> <p>Aplicada.</p> <p>Nivel de la investigación</p> <p>descriptivo y correlacional.</p> <p>Método</p> <p>método científico.</p> <p>Diseño de investigación</p> <p>longitudinal no experimental.</p> | <p>Población</p> <p>El universo estará compuesto por todos los sistemas de transporte por camiones volquetes que trabajan en la mina Hércules.</p> <p>Muestra</p> <p>Estará compuesta por 4 camiones volvo FMX y dos Scooptrams por guardia de 12 horas.</p> |
| <p>Problemas específicos</p> <p>¿Cómo planificar el sistema de transporte en la Rampa 400 mina Hércules, para que sea eficiente?</p> | <p>Objetivos específicos</p> <p>Realizar una eficiente planificación del sistema de transporte en la Rampa 400 mina Hércules.</p> | <p>Hipótesis específicas</p> <p>Se realiza una eficiente planificación del sistema de transporte en la Rampa 400 mina Hércules.</p> | <p>Sistema de transporte en la Rampa 400 mina Hércules Cía. Minera Lincuna S.A. – 2022.</p> | | |
| <p>¿Cómo identificar las variables operativas que influyen en el rendimiento de los equipos de transporte y como desarrollar propuestas de mejora?</p> | <p>Identificar las variables operativas que influyen en el rendimiento de los equipos de transporte y desarrollar propuestas de mejora</p> | <p>Se identifica las variables operativas que influyen en el rendimiento de los equipos de transporte y se desarrolla propuestas de mejoras.</p> | | | |

Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 2. ACRÓNIMOS

Extraído de la tesis Optimización de la flota de volquetes en el acarreo, para incrementar la producción en la mina los Andes Perú Gold – Huamachuco sustentado por Roberth Wilman

Araujo García, 2018

| | |
|----------------------|--------------------------------|
| Cant. | : Cantidad. |
| Cant.Trab | : Cantidad de Trabajadores. |
| Tj | : Tajo. |
| Desq. | : Desquinche. |
| Disp. | : Disparo. |
| Dist. | : Distancia. |
| Gdia | : Guardia. |
| Hr. | : Horas. |
| Km | : Kilómetros. |
| m | : Metros. |
| m² | : Metros cuadrados. |
| m³ | : Metros cúbicos. |
| Niv. | : Nivel. |
| Pza. | : Pieza. |
| "US\$" | : Dólares Estadounidenses |
| TM | : Toneladas. |
| Und. | : Unidad. |
| \$/TM | : Dólares por Tonelada Métrica |