

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



**“EVALUACIÓN DE LAS OPERACIONES DE CARGUÍO Y
TRANSPORTE PARA EL MEJORAMIENTO DE LA
PRODUCTIVIDAD EN LA UNIDAD MINERA TACAZA –
CIEMSA”**

TESIS:

PRESENTADA POR:

BACH. RENZO ESCARCENA GUZMÁN

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PUNO – PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

**EVALUACIÓN DE LAS OPERACIONES DE CARGUÍO Y
TRANSPORTE PARA EL MEJORAMIENTO DE LA
PRODUCTIVIDAD EN LA UNIDAD MINERA TACAZA – CIEMSA**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. RENZO ESCARCENA GUZMÁN

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

| | | |
|--------------------------|---|--|
| PRESIDENTE | : | <hr/> M.Sc. ESTEBAN MARÍN PAUCARA |
| PRIMER MIEMBRO | : | <hr/> M.Sc. LUCIO QUEA GUTIERREZ |
| SEGUNDO MIEMBRO | : | <hr/> M.Sc. LUCIO RAUL MAMANI BARRAZA |
| DIRECTOR / ASESOR | : | <hr/> Ing. ARTURO RAFAEL CHAYÑA RODRIGUEZ |

Área : Ingeniería de Minas

Tema : Desarrollo de Labores Mineras y Otras Excavaciones

FECHA DE SUSTENTACIÓN 7 DE NOVIEMBRE DEL 2019

DEDICATORIA

Con profundo amor y agradecimiento dedico esta tesis a mis padres: Abrahán y Pelagia, por el apoyo desmedido y constante en el transcurso de mi existencia.

A mis hermanos Edilson, Darwin y Rider por ser mi mayor motivación en mí desarrollo profesional.

A mi novia Dina por el constante apoyo que me brinda.

Renzo

AGRADECIMIENTO

Quisiera expresar mis más profundos agradecimientos a:

A Dios nuestro señor, por ser mi guía y compañía en cada momento a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en mis momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizaje y sobre todo felicidad.

A la Universidad Nacional del Altiplano - Puno, Alma Mater que me ha acogido durante todos los años de mi formación académica profesional, enseñándome aspectos de la vida que ninguna clase formal pudiera enseñar.

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas, que nos han impartido sus conocimientos, experiencias, y que estuvieron siempre dispuestos a aclarar mis dudas y responder mis preguntas, especialmente a los, M.Sc. Esteban Marín Paucara, M.Sc. Lucio Raúl Mamani Barraza, M.Sc. Lucio Quea Gutiérrez; a todos ellos, una y mil gracias.

Al Ing. Abner Martin Condori Ccallo, Ing. Naguith Flores Mendoza e Ing. Yelsin Walter Solorzano Ticona, compañeros de trabajo, por su constante apoyo en la ejecución y culminación del presente trabajo de investigación.

A todos mis compañeros, con la cual he formado una gran amistad y fraternidad durante toda mi carrera, gracias por ser tan buenos amigos.

A mis padres y hermanos, que siempre ha estado allí para apoyarme y darme ánimo cuando las fuerzas desfallecen.

También deseo expresar mi más sentido agradecimiento a todas aquellas personas que directa o indirectamente han colaborado y contribuido con su apoyo, comentarios, sugerencia y ayuda en el desarrollo de esta tesis.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 1

ABSTRACT 2

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema..... 3

1.2. Formulación del problema 4

1.2.1. Problema general 4

1.2.2. Problema específico 4

1.3. Hipótesis de la investigación 4

1.3.1. Hipótesis general..... 4

1.3.2. Hipótesis específicas 5

1.4. Justificación del Estudio 5

1.5. Objetivos de la investigación 6

| | |
|------------------------------------|---|
| 1.5.1. Objetivo general..... | 6 |
| 1.5.2. Objetivos específicos | 6 |

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

| | |
|--|----|
| 2.1. Antecedentes de la investigación | 7 |
| 2.2. Marco teórico | 9 |
| 2.2.1. Sistema de gestión de tiempos | 9 |
| 2.2.2. Capacidad de productividad..... | 15 |
| 2.2.3. Selección de equipos..... | 17 |
| 2.2.4. Relación entre los equipos de carga y transporte..... | 19 |
| 2.2.5. Factor de acoplamiento “ <i>Match Factor</i> ” | 21 |
| 2.2.6. Teoría de colas aplicada al carguío y transporte..... | 30 |
| 2.3. Marco conceptual..... | 32 |
| 2.3.1. Movimiento de tierras | 32 |
| 2.3.2. Sistema de carguío y transporte en minería | 35 |
| 2.3.3. Ciclo de carguío y transporte | 39 |
| 2.3.4. Factores que condicionan el ciclo de carguío y transporte | 42 |
| 2.3.5. Términos relacionados a la utilización del equipo..... | 42 |
| 2.3.6. Rendimiento..... | 44 |
| 2.3.7. Factor de acoplamiento (FA) | 44 |

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

| | |
|---|----|
| 3.1. Ubicación Geográfica del Estudio | 46 |
| 3.1.1. Ubicación | 46 |
| 3.1.2. Accesibilidad..... | 46 |
| 3.1.3. Clima..... | 47 |
| 3.2. Periodo de duración del estudio | 48 |
| 3.3. Procedencia del material utilizado | 48 |
| 3.3.1. Instrumento | 48 |
| 3.3.2. Revisión, recopilación y elaboración de información preliminar | 49 |
| 3.3.3. Materiales..... | 49 |
| 3.4. Población y muestra del estudio | 50 |
| 3.4.1. Población..... | 50 |
| 3.4.2. Muestra | 51 |
| 3.4.3. Muestreo | 51 |
| 3.5. Diseño metodológico | 51 |
| 3.6. Procedimiento | 52 |
| 3.6.1. Procedimiento | 52 |
| 3.6.1. Técnica..... | 53 |
| 3.7. Variables | 53 |
| 3.7.1. Variables independientes | 53 |

| | |
|-------------------------------------|----|
| 3.7.2. Variables dependientes | 54 |
| 3.8. Análisis de resultados | 54 |

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

| | |
|--|----|
| 4.1. Resultados | 55 |
| 4.1.1. Operación de carguío: | 55 |
| 4.1.2. Diagnóstico. | 62 |
| 4.1.3. Operación de transporte: | 62 |
| 4.1.4. Diagnóstico. | 71 |
| 4.1.5. Cálculo de la nueva flota de carguío y transporte. | 71 |
| 4.1.6. Factor de acoplamiento | 74 |
| 4.2. Discusión..... | 79 |
| 4.2.1. Prueba de la hipótesis..... | 82 |
| CONCLUSIONES | 84 |
| RECOMENDACIONES..... | 85 |
| REFERENCIAS | 86 |
| ANEXOS | 90 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 2.1: Excavadoras hidráulicas frente a palas cargadoras..... | 19 |
| Tabla 2.2: Factores de llenado del cucharón..... | 35 |
| Tabla 3.1: Ruta de acceso | 47 |
| Tabla 3.2: Operacionalización de variables | 54 |
| Tabla 4.1: Codificación de la distribución de tiempos de trabajo | 55 |
| Tabla 4.2: Distribución de tiempos de trabajo | 56 |
| Tabla 4.3: Resumen de factores de utilización de equipos de carguío | 57 |
| Tabla 4.4: Resumen de rendimientos de equipos de carguío..... | 60 |
| Tabla 4.5: Codificación de la distribución de tiempos de trabajo | 63 |
| Tabla 4.6: Distribución de tiempos de trabajo..... | 63 |
| Tabla 4.7: Resumen de factores de utilización de equipos de transporte | 65 |
| Tabla 4.8: Resumen de rendimientos de equipos de transporte..... | 68 |
| Tabla 4.9: Principales rutas y distancias de transporte de mineral y desmonte..... | 70 |
| Tabla 4.10: Características técnicas de los equipos de carguío | 72 |
| Tabla 4.11: Dimensionamiento de equipos de carguío..... | 73 |
| Tabla 4.12: Dimensionamiento de equipos de transporte..... | 74 |
| Tabla 4.13: Parámetros de análisis | 75 |
| Tabla 4.14: Factor de acoplamiento con la flota actual en el Tajo Central | 75 |
| Tabla 4.15: Factor de acoplamiento con la flota actual en el Tajo José María..... | 76 |



Tabla 4.16: Factor de acoplamiento óptimo para Tajo Central 77

Tabla 4.17: Factor de acoplamiento óptimo para Tajo José María..... 77

Tabla 4.18: Datos estadísticos de tiempos de transporte medidos y estándar 78

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2.1: Esquema de indicadores clave de desempeño del estudio. | 11 |
| Figura 2.2: Distribución del tiempo total del equipo respecto al proceso productivo. ... | 12 |
| Figura 2.3: Distribución del tiempo total, demoras planificadas y no planificadas. | 14 |
| Figura 2.4: Sistema de control de tiempo total (SCTT). | 15 |
| Figura 2.5: Datos básicos de partida para la selección de equipos. | 18 |
| Figura 2.6: Curva de producción teórica | 25 |
| Figura 2.7: Curva de producción real. | 26 |
| Figura 2.8: Puntos de máxima producción y mínimo costo. | 27 |
| Figura 2.9: Variación de la eficiencia en función al Factor de Acoplamiento. | 27 |
| Figura 2.10: Factor de Acoplamiento (MF). | 29 |
| Figura 2.11: Ilustración del esponjamiento. | 34 |
| Figura 2.12: Tiempo de giro con carguío a doble carril. | 37 |
| Figura 2.13: Tiempo por pase. | 38 |
| Figura 2.14: Ciclo de Carguío y Transporte. | 40 |
| Figura 2.15: Diagrama de horas utilizadas en los equipos. | 43 |
| Figura 4.1: Horas programadas vs Tiempo neto de operación de carguío | 56 |
| Figura 4.2: Distribución de tiempos promedio de carguío | 57 |
| Figura 4.3: Disponibilidad mecánica vs Utilización de horas operativas | 58 |
| Figura 4.4: Factor de eficiencia por equipos de carguío. | 58 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.5: Factor de eficiencia del sistema de carguío..... | 59 |
| Figura 4.6: Rendimiento efectivo por equipo y material de carguío | 60 |
| Figura 4.7: Distribución de tiempo de carguío de mineral de excavadora | 61 |
| Figura 4.8: Horas programadas vs Tiempo neto de operación de transporte | 64 |
| Figura 4.9: Distribución de tiempos promedio de transporte | 64 |
| Figura 4.10: Disponibilidad mecánica vs Utilización de horas operativas..... | 65 |
| Figura 4.11: Factor de eficiencia por equipos de transporte..... | 66 |
| Figura 4.12: Factor de eficiencia del sistema de transporte..... | 66 |
| Figura 4.13: Rendimiento efectivo por equipo y material de transporte | 67 |
| Figura 4.14: Factores que incrementan el tiempo del ciclo de transporte de mineral | 69 |
| Figura 4.15: Factores que incrementan el tiempo del ciclo de transporte de desmonte . | 70 |
| Figura 4.16: Comparación del FA ideal versus FA actual..... | 76 |
| Figura 4.17: Comparación del FA optimo versus FA ideal..... | 78 |
| Figura 4.18: Tiempo ciclo de transporte y tiempos estándares de mina..... | 79 |

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

| | |
|----------|---|
| CIEMSA | : Consorcio de Ingeniero Ejecutores Mineros. |
| COEMPISA | : Consorcio de Exploración y Servicios Minero Puno. |
| UM | : Unidad Minera. |
| KPI | : <i>Key Performance Indicator</i> . |
| Eff. | : Eficiencia. |
| Cant. | : Cantidad. |
| Und. | : Unidad. |
| Prod. | : Producción. |
| Nº | : Número. |
| Tj. | : Tajo. |
| Desb. | : Desbroce. |
| Dist. | : Distancia. |
| Gdia. | : Guardia. |
| t | : Toneladas métricas. |
| th | : Toneladas métricas húmedas. |
| Km | : Kilómetros. |
| m | : Metros. |
| Bc. | : Banco. |
| \$/t | : Dólares por tonelada métrica. |
| FA | : Factor de acoplamiento o <i>Match Factor</i> . |
| hh:mm:ss | : Horas minutos y segundos. |
| h | : Horas. |
| min | : Minutos. |
| s | : Segundos. |
| HD | : Horas disponibles. |
| HT | : Horas totales. |
| HM | : Horas de mantenimiento. |
| HR | : Horas operativas. |
| D | : Demoras. |
| DM | : Disponibilidad mecánica. |
| UT | : Utilización. |
| m.s.n.m. | : Metros sobre el nivel del mar. |

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el Tajo José María y Tajo Central, de la Unidad Minera Tacaza que pertenece al Consorcio de Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA, ubicada en el distrito de Santa Lucia, provincia de Lampa, departamento de Puno, en el año 2018, este se encuentra aplicado a las actividades operativas de carguío y transporte para la extracción de mineral y desmonte. Debido a que durante los últimos trimestres se ha detectado bajo rendimiento de productividad a causa de una inadecuada relación de equipos, se propuso como objetivo evaluar las operaciones de carguío y transporte para el mejoramiento de la productividad, específicamente a tres excavadoras y seis volquetes de la empresa contratista COEMPSA, quienes laboran en esta unidad, la metodología utilizada para este estudio es de tipo descriptivo y se toma en cuenta la producción requerida, el tiempo de ciclo de carguío y transporte, con lo que se determina el rendimiento horario de los equipos, además de ello se relaciona con la carga útil de los equipos de transporte, seguidamente se aplica el modelo del factor de acoplamiento para determinar la cantidad de equipos de transporte necesarios por cada equipo de carguío, de acuerdo a la evaluación se determinó que el ciclo de transporte de mineral del Tajo José María y el Tajo Central a la cancha de gruesos es de 38,5 y 25,2 minutos respectivamente, por lo tanto, el factor de acoplamiento actual es de 0,83 y 1,27 respectivamente, para mejorar esta situación e incrementar la productividad, se requiere distribuir 01 excavadora con 08 volquetes en mineral para el Tajo José María y 05 volquetes con 01 excavadora para el Tajo Central.

PALABRAS CLAVE: Dimensionamiento, ciclo, factor, acoplamiento, rendimiento.

ABSTRACT

This research work is located in the Tajo José María and Tajo Central, of the Tacaza Mining Unit that belongs to the Consorcio de Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA, located in the district Santa Lucía, province Lampa, department Puno, in the 2018, this is applied to the operational activities of loading and haulage for the extraction of ore and waste. Because during the last quarters low productivity performance has been detected due to an inadequate equipment ratio, it was proposed to evaluate the loading and transportation operations for productivity improvement, specifically three excavators and six dump trucks COEMPSA contractor, who work in this unit, the methodology used for this study is descriptive and takes into account the required production, the transport and transport cycle time, which determines the hourly performance of the equipment, in addition to this it relates to the payload of the transport equipment, then the coupling factor model is applied to determine the amount of transport equipment needed for each transport equipment, according to the evaluation it is determined that the cycle of ore transportation from the Tajo José María and the Tajo Central to the coarse court is 38.5 and 25.2 minutes respectively, therefore, the current coupling factor is 0.83 and 1.27 respectively, to improve this situation and increase productivity, it is necessary to distribute 01 excavator with 08 tippers in ore for the José María Tagus and 05 tippers with 01 excavator for the Central Tagus..

KEY WORDS: Sizing, cycle, factor, coupling, performance.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En toda actividad minera las operaciones de carguío y transporte de mineral y desmonte hacia la cancha de gruesos y botaderos respectivamente es crítica, ya que durante el tiempo de vida del proyecto las distancias irán variando considerablemente, así mismo estas operaciones son una de las etapas más costosas dentro del ciclo de producción y siempre se busca minimizar dicho monto. La Unidad Minera Tacaza, que pertenece al Consorcio de Ingenieros Ejecutores Mineros S.A., no es ajena a este problema.

Actualmente en la Unidad Minera Tacaza el sistema de carguío y transporte se realiza con excavadoras y volquetes de diferentes capacidades, el material es cargado de dos zonas ubicadas de acuerdo al plan de minado y transportado hacia cuatro zonas de acuerdo a las características del material. Según reportes del área de planeamiento de la Unidad Minera Tacaza, durante últimos trimestres se ha detectado bajo rendimiento de producción, para lo cual se ha determinado que existen múltiples causas como la aglomeración de volquetes en un solo punto de carguío, tráfico vehicular, vías en mal estado y velocidades de manejo por debajo del promedio.

La empresa minera corrigió algunos de ellos, faltando solucionar la aglomeración constante de volquetes en un solo punto de carguío, ocasionando que la producción tenga un déficit, pese a las muchas correcciones logísticas realizadas por la empresa.

Por lo tanto, el problema que se presenta en la Unidad Minera Tacaza es el bajo rendimiento de productividad en las operaciones de carguío y transporte, debido a la inadecuada relación de equipos de transporte con respecto a los de carguío y esto ocasiona bajo rendimiento de la productividad y con ello el incremento de los costos en estas operaciones, para esto, una variable importante es mantener los equipos dedicados a la productividad de la mina trabajando el mayor tiempo posible y evitando al máximo que se encuentren inoperativos por periodos largos de tiempo, generando los denominados tiempos muertos.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Como es la evaluación de las operaciones de carguío y transporte para el mejoramiento de la productividad en la Unidad Minea Tacaza?

1.2.2. Problema específico

- ¿Como es la evaluación de las operaciones de carguío para el mejoramiento de la productividad en la Unidad Minea Tacaza?
- ¿Como es la evaluación de las operaciones de transporte para el mejoramiento de la productividad en la Unidad Minea Tacaza?

1.3. Hipótesis de la investigación

1.3.1. Hipótesis general

Evaluando las operaciones de carguío y transporte mejorara la productividad en la Unidad Minea Tacaza.

1.3.2. Hipótesis específicas

- Evaluando las operaciones de carguío mejorara la productividad en la Unidad Minea Tacaza.
- Evaluando las operaciones de transporte mejorara la productividad en la Unidad Minea Tacaza.

1.4. Justificación del Estudio

La justificación de esta investigación se centra en la relación inadecuada de volquetes con respecto a las excavadoras en las zonas de carguío, esto afecta el rendimiento de la productividad de los equipos, con esta investigación se identificó las causas de los tiempos muertos excesivos en las operaciones de carguío y transporte de mineral y desmonte, así mismo se planteó alternativas de solución para cumplir con los programas de producción en la Unidad Minera Tacaza.

Un sistema de transporte que coordine la utilización de todos los volquetes, conjugándolos con las excavadoras, para obtener una operación óptima en beneficio de la rentabilidad de la operación minera es imprescindible. Así mismo resulta evidente la importancia de la existencia de un sistema eficiente de extracción de mineral, que garantice el cumplimiento de la producción programada por la mina.

Esto tendrá efectos directos en los costos de las operaciones unitarias y en la disminución de los riesgos de accidentabilidad dentro de la operación minera, y el consumo excesivo de combustibles neumáticos y otros accesorios que son imprescindibles de su uso durante la ejecución de estas actividades.

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo general

Evaluar las operaciones de carguío y transporte para el mejoramiento de la productividad en la Unidad Minea Tacaza.

1.5.2. Objetivos específicos

- Evaluar las operaciones de carguío para el mejoramiento de la productividad en la Unidad Minea Tacaza.
- Evaluar las operaciones de transporte para el mejoramiento de la productividad en la Unidad Minea Tacaza.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

Machaca (2016), en la conclusión de su tesis señala que: El acoplamiento entre las cantidades de equipos carguío y transporte ayuda a mantener en condiciones óptimas los costos unitarios de carguío y transporte y que el exceso o la falta de volquetes incurren directamente en los costos unitarios; es así que la distribución de volquetes para una excavadora 345D, 365C y el cargador sobre ruedas 992K son de 7; 8 y 10 unidades de volquetes, con un costo unitario de 0,69; 0,68; 0,2 US\$/t respectivamente, para una distancia de transporte de 1,8 km.

Malimba (2019), en la conclusión de su tesis señala que: El acople entre las unidades de carguío y transporte está en función del tiempo del ciclo de la operación y la producción programada, es así que el acople promedio en los meses de agosto a noviembre del año 2017 hacia el PAD es de 10 unidades de transporte para una unidad de carguío y hacia el DME es de 2 unidades de transporte para 1 unidad de carguío, usando volquetes de 15 m³ y excavadoras CAT 336DL de 3 m³ de capacidad de cuchara, este acople se adecúa a un diseño de transporte óptimo generando un ahorro de 0,64 \$/t.

Mayhua & Mendoza (2012), en la conclusión de su tesis señala que: La mayor pérdida de tiempo muerto es producto de demoras operativas, tales como cola de volquetes en un solo punto de carguío, congestión vehicular en la rampa de acceso hacia superficie con volquetes de las otras zonas, deficiencias en la comunicación entre las contratitas y la empresa. Por lo tanto, determinó que los

ciclos de las operaciones de carguío y transporte, influyen directamente sobre los rendimientos de producción del Nivel 1070, que actualmente tiene un déficit de 183,52 t/día y 5 505,69 t/mes.

Monago (2018), en la conclusión de su tesis señala que: La eliminación de tiempos muertos en base al plan de gestión de tiempos aumentó el ritmo de producción logrando aumentar las toneladas extraídas a superficie, así mismo indica que el monitoreo constante de las operaciones de acarreo y transporte ayudará a mejorar progresivamente la eficacia del plan de gestión que tomará como base para ser aplicado en otros sectores a fin de aumentar la producción en la mayor cantidad de áreas hoy en explotación, e indica que se aumentó la producción que se traduce en 61 toneladas más por guardia de desmonte movido, 122 toneladas más por día y 3 672 toneladas más por mes. Pasando de mover 9 720 toneladas hasta lograr mover 13 392 toneladas lo cual representa 37 % más de desmonte, esto con el mismo personal y la misma cantidad de volquetes.

Rivera (2018), en la conclusión de su tesis señala que: Con la excavadora CAT 336DL, se tiene una producción de material para movimiento de tierras desde la cantera China 1 hasta la presa de relaves enlozada de 476 t/h, una eficiencia operativa del 67,76 % y que el dimensionamiento de la flota óptima de acarreo para la excavadora CAT 336DL, se realizó mediante el análisis del factor de acoplamiento, en función al costo y la producción, obteniéndose que la flota óptima de acarreo es de 11 camiones, el costo unitario de carguío es de 0,2044 US\$/t, el costo unitario de acarreo es de 0,3050 US\$/t y la producción potencial carguío - acarreo es 623,52 t/h.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Sistema de gestión de tiempos

Indicadores clave de desempeño (KPI)

Reátegui (2014), menciona que estos indicadores comúnmente denominados “KPI” por sus siglas en inglés (*Key Performance Indicator*), miden el nivel de rendimiento de un proceso y su objetivo es alcanzar las metas fijas trazadas, los resultados indican la eficiencia de los procesos, indica

Según Bernaola (2012), los indicadores clave de desempeño se seleccionan en función a las metas, objetivo, visión de la organización, son muy importantes para lograr el éxito y deben ser cuantificables, en general los indicadores ayudan a la organización a verificar si están bien direccionados los recursos y costos, informando a la gerencia sobre estos resultados para que tomen una decisión oportuna.

De igual manera (Luzardo & Vázquez, 2010), mencionan que los indicadores claves de desempeño miden el nivel de rendimiento de un proceso, enfocándose en el cómo y que tan buenos son los procesos para poder alcanzar los objetivos fijados, así mismo indica que la importancia de estos radica en que:

- Ayudan a interpretar lo que está ocurriendo en la organización.
- Sirven como apoyo al proceso de toma de decisiones cuando las variables se salen de los límites establecidos, o se quiere proponer una nueva meta.
- Definen la necesidad de introducir cambios y/o mejoras a un determinado proceso o forma de actuación, así como también facilitan el compromiso de mejores resultados.

Gestión de tiempos

Ramírez (2007), indica que la gestión de tiempos de trabajo, como una actividad básica del proceso productivo, consiste en el aprovechamiento óptimo del tiempo en las actividades productivas, puesto que se trata de un importante recurso no renovable que el hombre dispone de manera gratuita. La utilización racional del tiempo cobra importancia según como sea utilizado en forma efectiva en la creación o transformación de un bien y en consecuencia adquiere un valor.

La gestión del tiempo de trabajo consiste en el estudio detallado del empleo de la jornada de trabajo durante la ejecución de una actividad productiva determinada, dirigida a efectivizar el uso del tiempo, estableciendo el balance racional de la jornada de trabajo mediante la obtención de datos de la duración del tiempo en la ejecución de las diferentes actividades y el establecimiento de estándares de tiempo de trabajo efectivo.

El estudio de la labor sincronizada del trabajo en equipo de los operadores, el empleo racional del tiempo de trabajo y la utilización efectiva de la maquinaria es muy importante, debido a que durante el manipuleo de la maquinaria el trabajador realiza uno o más actividades al mismo tiempo.

- El sistema de distribución del tiempo de trabajo empleado por el trabajador respecto al proceso productivo.
- El sistema de distribución del tiempo disponible del equipo o maquinaria respecto al proceso productivo.

En la Figura 2.1, se muestra un esquema de los temas que se desarrolló en esta investigación para el entendimiento de cada indicador y la función que

cumple para poder controlar el buen desempeño de nuestras actividades operativas.

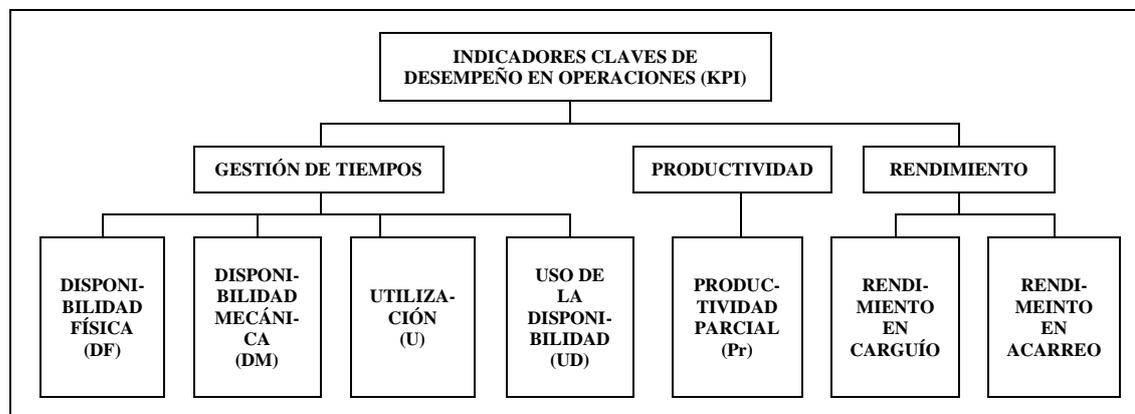


Figura 2.1: Esquema de indicadores clave de desempeño del estudio.

Fuente: Elaborado con base en Ramírez (2007).

Sistema de gestión del tiempo

Así mismo, indica que la gestión del tiempo no será completa si no se incluye en la gestión del tiempo, es decir, la gestión del tiempo de trabajo parte del saber administrar el tiempo no solo correspondiente a las actividades productivas, si no también conocer los componentes del tiempo total que faciliten el aprovechamiento racional, por lo que es necesario conocer la distribución del tiempo, ver Figura 2.2 muestra la distribución del tiempo total con respecto al proceso productivo.

Tiempo Total (Tt).

Se denomina tiempo total al tiempo calendario que está dado por 24 horas al día, 30 o 31 días al mes y 12 meses al año. El tiempo total está conformado por el tiempo programado (Tp) y el tiempo no programado (Tnp).

El tiempo total se divide en dos grandes grupos: tiempo programado y tiempo no programado, como se aprecia en la Figura 2.2, se muestra la distribución del tiempo total de los equipos respecto al proceso productivo.

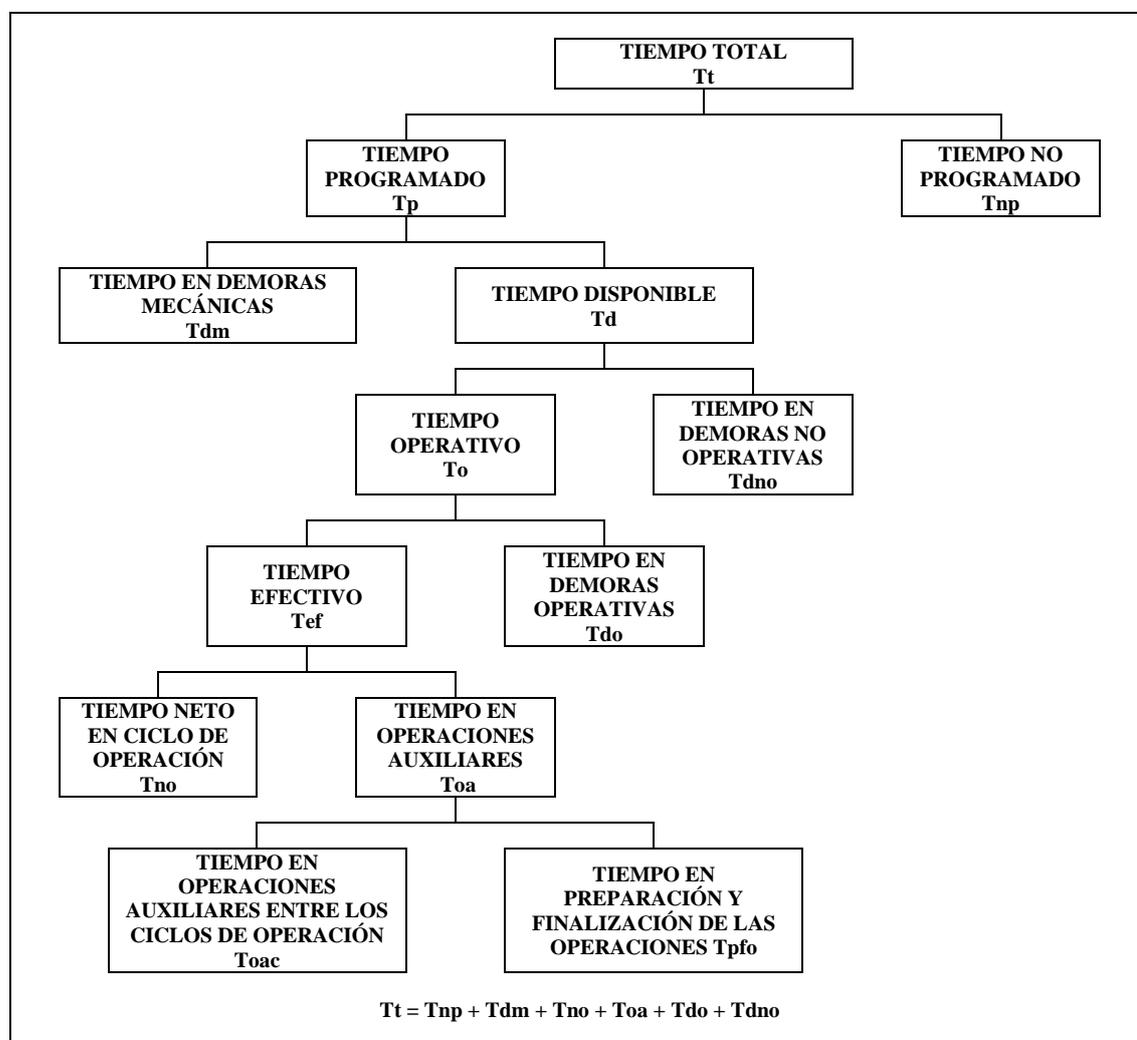


Figura 2.2: Distribución del tiempo total del equipo respecto al proceso productivo.

Fuente: Ramírez (2007).

Tiempo programado (Tp).

Es el tiempo de trabajo destinado a cumplir una actividad productiva (o tiempo destinado a la reparación del equipo o maquinaria minera) con el cual se tiene previsto la ejecución de una actividad productiva.

Cuando se habla de tiempo programado, se trata del tiempo que está destinado ya sea para la actividad productiva o a las reparaciones del equipo, independientemente si el trabajo de reparaciones se realiza dentro de la jornada de trabajo establecido para las operaciones productivas o fuera de ella.

Comúnmente cuando se habla de tiempo programado (T_p), se entiende como que se refiere solo “al tiempo destinado a las operaciones de producción”, de allí que el área de mantenimiento no toma en cuenta, en el cálculo de disponibilidad mecánica, el tiempo utilizado en las reparaciones o mantenimiento realizados durante las horas de refrigerio, cambio de guardia o en días domingos y feriados cuando no están programadas las operaciones de minado. Por lo tanto, el factor de disponibilidad mecánica (DM) calculando no representa la utilización real del tiempo en mantenimiento, no obstante que, durante el tiempo no contabilizado, para el cálculo de disponibilidad mecánica, se emplean mano de obra y materiales desvirtuándose, de esta manera, el factor de disponibilidad mecánica y los costos por actividades,

La gestión del tiempo total (T_t) consiste en la administración de todas las actividades relacionadas a la maquinaria y equipo minero, desde el momento de la compra o alquiler hasta dársele de baja, registrándose en qué situación se encuentra el equipo en los diferentes momentos y etapas de utilización.

Tiempo no programado (T_{np})

Es el tiempo durante el cual el equipo o maquinaria se encuentra paralizado (ya sea en estado operativo o malgrado).

Conceptualmente si una empresa dependiera de un solo equipo cuyo costo es de medio millón de dorales, para asegurar la mayor rentabilidad, este equipo estaría operativo todo el tiempo dejando de trabajar solamente el tiempo que dure el mantenimiento y reparaciones programadas. Este manejo organizacional necesitaría un planeamiento de los trabajos de mantenimiento y reparaciones, reduciendo al mínimo las paradas por fallas intempestivas, por consiguiente, se vería en la necesidad de la implementación del área de planeamiento de mantenimiento mecánico y del área de logística, ambas especializadas y proactivas.

$$T_t = T_p + T_{np}$$

Donde

T_t : Tiempo total

T_p : Tiempo programado

T_{np} : Tiempo no programado

| | | | | | |
|--|--|-----------|--|---|---|
| TIEMPO TOTAL (T_t) | | | | | |
| TIEMPO PROGRAMADO (T_p) | | | | TIEMPO NO PROGRAMADO (T_{np}) | |
| TIEMPO EFECTIVO (T_{ef}) | DEMORAS NO PLANIFICADAS (D_{np}) | | DEMORAS PLANIFICADAS (D_p) | | DEMORAS NO OPERATIVAS (T_{dno}) |
| | Operativas | Mecánicas | Operativas | Mecánicas | |

Figura 2.3: Distribución del tiempo total, demoras planificadas y no planificadas.

Fuente: Ramírez (2007).

Sistema de control de tiempo

El sistema de control de tiempo consiste en la clasificación del tiempo calendario y la interdependencia de las actividades en el proceso productivo y

sirve para la evaluación de indicadores clave de eficiencia y rendimiento tanto de equipos individuales como en la evaluación de flotas de los diferentes tipos de equipos.

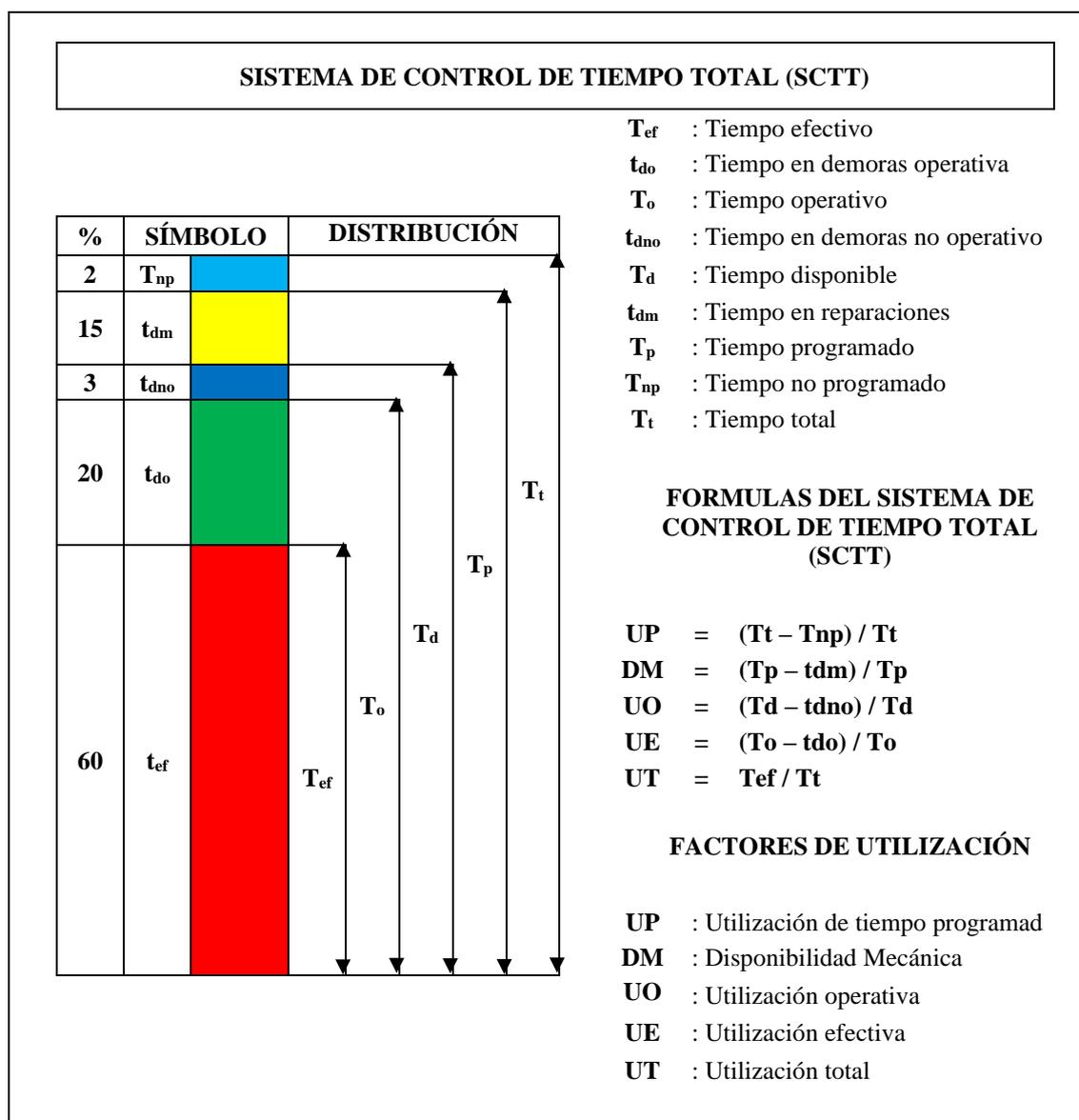


Figura 2.4: Sistema de control de tiempo total (SCTT).

Fuente: Ramírez (2007).

2.2.2. Capacidad de productividad

Según Ramírez (2007), la determinación de la capacidad productiva de los equipos mineros consiste en el cálculo de las capacidades operativas de cada uno

de los equipos en una unidad de tiempo, bajo ciertas condiciones técnico-minera y acorde con el sistema de gestión del tiempo de trabajo durante el proceso productivo.

Como es de conocimiento general, los equipos existentes en el mercado están fabricados para cumplir un determinado trabajo cuya capacidad productiva nominal, en determinadas condiciones de trabajo (condiciones técnico-mineras) están especificadas en sus catálogos respectivos. Depende de los usuarios como lograr el rendimiento de los equipos a los estándares sugeridos por los fabricantes.

Capacidad productiva de los equipos de carguío

La capacidad de carga operativa calculada durante el ciclo de carguío se denomina capacidad operativa de carga (Q_{cc}), mientras que la capacidad nominal de carga (Q_{nc}) es el dato proporcionado por el fabricante según el tipo de la cuchara del equipo de carguío.

$$Q_{cc} = \frac{V_{cn} * F_{uc} * \delta_i}{T_{cc} + F_{esp}}$$

Donde:

Q_{cc} : Capacidad de carga por ciclo de carguío, t/seg.

V_{cn} : Capacidad de carga nominal de cuchara, m^3

F_{uc} : Factor de utilización de cuchara.

δ_i : Peso específico in situ de material roto, T/m^3

T_{cc} : Tiempo de ciclo de carguío, seg.

F_{esp} : Factor de esponjamiento

Capacidad productiva de los equipos de transporte

También, indica que el cálculo de la simulación de acarreo está íntimamente ligado al equipo de carguío seleccionado y a las rutas de acarreo previamente diseñado, como también, a las rutas existentes en el caso de que se tratara de evaluar el requerimiento de equipos de carguío y acarreo en una determinada operación.

La capacidad operativa de la tolva operativa, respecto al peso específico in situ del material, se calcula de la siguiente forma:

$$Q_{co} = N_p * \frac{V_{ct} * F_{uc} * \delta_i}{T_{cc} + F_{esp}}$$

Donde:

Q_{cc} : Capacidad operativa de tolva, t.

N_p : Numero de pases.

V_{nc} : Capacidad nominal de carga de cuchara, m³.

F_{uc} : Factor de utilización de cuchara.

δ_i : Peso específico in situ de material roto, T/m³.

T_{cc} : Tiempo de ciclo de carguío, seg.

F_{esp} : Fator de esponjamiento, t/m³.

2.2.3. Selección de equipos

Vargas (1999), Aunque de hecho existe un equipo adecuado para cada tipo de trabajo, los contratistas no siempre disponen de él y en caso de tenerlo, el tamaño y estado del mismo no resulta en ocasiones deseable.

Criterios de selección de equipos

López (1995), En un proyecto de nuevo desarrollo, una vez localizado el yacimiento de mineral que se desea explotar y realizados los primeros estudios de viabilidad técnico económica, en los que ya se habrá contemplado la maquinaria a emplear, la etapa de selección de equipos parte de tres grupos de datos básicos, ver Figura 2.5.

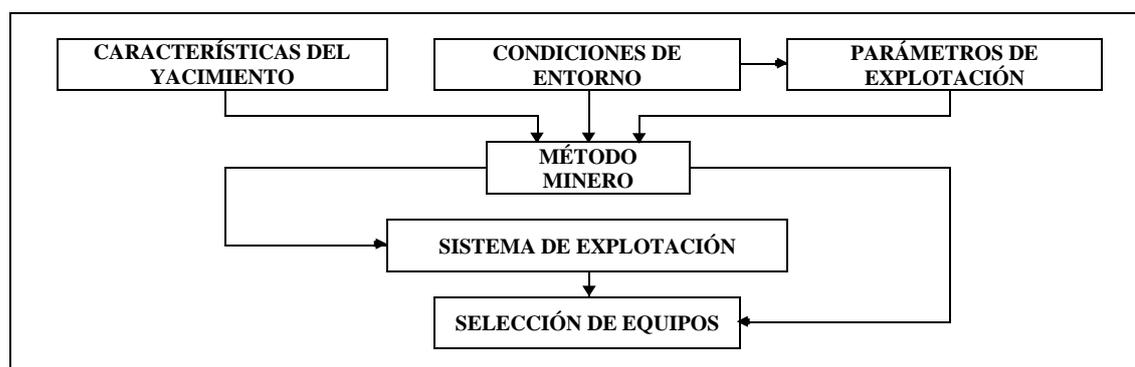


Figura 2.5: Datos básicos de partida para la selección de equipos.

Fuente: López (1995).

Consideraciones de selección

En lo relativo a los criterios que sirven para la selección de las palas cargadoras, en primer lugar, deben ponderarse las diferencias esenciales con su más directo rival, que son las excavadoras hidráulicas indica. En la Tabla 2.1 aparecen comparadas estas dos máquinas. Para seleccionar la excavadora de tamaño apropiado primero determinar la producción requerida o deseada, después determinar el tiempo de ciclo de la excavadora y el número de ciclos por hora, luego determinar la carga útil requerida por ciclo en metros cúbicos sueltos, posteriormente determinar el tamaño de cucharón necesario, para luego hacer la selección de la máquina con el tamaño del cucharón y carga útil como criterios

para cumplir con los requisitos de producción y finalmente comparar el tiempo de ciclo de la excavadora utilizado en los cálculos con el tiempo de ciclo de la máquina seleccionada. Si se encuentra alguna diferencia, iniciar nuevamente con el paso 2.

Tabla 2.1: Excavadoras hidráulicas frente a palas cargadoras

| EXCAVADORAS HIDRÁULICAS | PALAS CARGADORAS |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Inversión media. • Vida media (5 – 10 años). • Costo de operación medio. • Valor residual pequeño. • Capacidad del cazo hasta 26 m³ • Fuerzas específicas de cortes elevadas. • Adecuada en terrenos compactos. • Puede operar en terrenos duros y blandos según el ancho de oruga. • Puede trabajar por encima o por debajo de la máquina. • Alcance de excavación y altura de descarga elevada. • Adecuada a alturas de banco y volquetes grandes. • Ciclos de trabajos pequeños. • Rendimiento de carga elevado. • Anchura del tajo requerida pequeña. • Máquina de carga ideal en tajo fijo. | <ul style="list-style-type: none"> • Inversión media. • Vida media (5 años). • Costo de operación alto. • Valor residual pequeño. • Capacidad del cazo hasta 26 m³ • Fuerzas específicas de cortes pequeñas. • Adecuada en terrenos blandos o con materiales empujados con tractores. • Puede operar en terrenos duros y blandos según el ancho de oruga. • Precisa plataforma de trabajo firme y dura. • Alcance y altura de descarga media. • Adecuada a alturas de banco pequeñas y volquetes de tipo media. • Ciclos de trabajos grandes. • Rendimientos medios. • Anchura del tajo requerida media grande. |

Fuente: López (1995).

2.2.4. Relación entre los equipos de carga y transporte

En relación con el volquete que se haya seleccionado para efectuar el transporte, hay que tener en cuenta lo siguiente:

- Relación entre la capacidad del volquete y la del caso de la máquina
- Altura de descarga y comparación con la altura de la caja del volquete
- Alcance de la maquina y relación con el centro de la caja del volquete.

- Anchura del cazo y relación con la longitud de la caja del volquete.

Herrera (2006), Dentro del método de la explotación por corte, el sistema cíclico de carga diferenciada con pala o excavadora y de transporte con volquete mineros es llamado convencional, siendo muy práctico, bien ensayado y probado en todo el mundo. Las características principales de este sistema son:

- Gran flexibilidad operativa para imprevisto cambios de tajo o del material.
- Rango de distancias económicas muy elevada.
- Fácil contratación de la maquinaria por su similitud con la utilizada en la obra pública.
- Buena selectividad entre mineral y estéril, pudiéndose separar muy fácilmente los diferentes materiales de una explotación.

Como normas habituales en el dimensionado y el diseño del equipo principal, en este sistema convencional, se deben considerar o recomendar las siguientes:

- Una máquina perforadora por cada excavadora si no se realiza el arranque directo. Una equilibrada relación en tamaños está en 1" de diámetro del barreno de perforación por cada m³ de capacidad de la cuba de la cargadora.
- Una excavadora para cada tipo de material o para cada banco siendo de una menor capacidad la máquina dedicada al arranque del mineral, por su menor producción y su especial selectividad, que la máquina de carga del estéril, cuyo objetivo es el menor coste, lo que en general se obtiene con el mayor cubo.

- Tres o cuatro volquetes por cada excavadora, lo que es función de la longitud y del perfil del transporte y de la capacidad del camión, pero que deben estar equilibrados con la capacidad de la cuba. Una buena relación está en el orden de unas 10 t de capacidad de transporte por cada m³ de capacidad de la cuba de la cargadora o que el ciclo de llenado de la unidad de transporte sea entre 2 y 3 minutos.
- Tractores de orugas, de neumáticos y motoniveladoras en número suficiente para el mantenimiento de las pistas y para limpieza en general, especialmente de las áreas de carga de la excavadora y del mantenimiento de los vertederos.
- Los tractores de orugas se emplean para nivelar los baches de al menos yarda (0,90 m) de altura, los tractores de neumáticos para los baches de hasta 1 pie (0,30 m) y la niveladora para arreglar y terminar las superficies de bancos y pistas con baches de hasta 1 pulgada (25,4 mm).

2.2.5. Factor de acoplamiento “*Match Factor*”

En un sistema excavadora - volquete el indicador más importante es aquel que refleja la relación entre la productividad de la excavadora y la productividad de las unidades de transporte.

Ortiz Canchari, Iglesias, & Gonzales (2007), menciona que el factor de acoplamiento desde una perspectiva de un modelo matemático determina el número de volquetes para cada unidad de carguío.

De igual manera hay autores que resaltan que:

Gómez (2011), Un proyecto de movimiento de tierras implica la ejecución de una serie de actividades repetitivas (como excavación, carguío y transporte), las cuales son realizadas con distintos tipos de equipos. Para llegar al grado deseado de eficiencia, es indispensable una muy buena coordinación entre los equipos, sobre todo para las actividades de carga y transporte de material. Para conseguir lo anteriormente mencionado, es necesario atender los siguientes factores:

- La adecuada combinación entre las dimensiones de los equipos tanto de carga como acarreo, de tal forma que no se originen paras en el ciclo ni aumentos excesivos en los tiempos de mismo.
- Elección de la cantidad de equipos de transporte y carga necesarios. Esto debe efectuarse una vez conocidos los modelos de los mismos, el tipo o tipos de material a transportar, y la distancias y vías por las que efectuara el acarreo.

Con el cálculo del FA se busca determinar la cantidad optima de unidades de transporte asociadas a un equipo de carguío determinado. En líneas generales, podemos definir el Factor de Acoplamiento de la siguiente manera:

$$FA = \frac{\textit{Producción del equipo de carguío}}{\textit{Producción del equipo de transporte}}$$

Debido a que en proyectos de movimiento de tierras los equipos de carguío son prácticamente fijos para determinado frente de trabajo, se puede calcular (a través del FA) la cantidad de equipos de acarreo que deben trabajar con la máquina

de carga establecida; esta cantidad de equipos será la necesaria para poder absorber la producción del equipo de carguío en el frente de trabajo.

También hay autores que mencionan que:

López (1995), otra parte interesante es la determinación del número total de volquetes que debe ser asignado a cada unidad de carga; esto es lo que se trata de resolver mediante el “Factor de Acoplamiento (*Match Factor*)”.

Supóngase que para un determinado trabajo se tienen los siguientes datos:

- N = Número de equipos de transporte (volquetes)
 n = Número de equipos de carguío (cargadores frontales o excavadoras)
 T = Tiempo de ciclo de cada unidad de transporte
 t = Tiempo de ciclo de cada pase del equipo de carguío
 x = Número de equipos de transporte por unidad de equipo de carguío
 p = Numero de cucharas necesarios para llenar un equipo de transporte

El cociente entre el tiempo total del ciclo del volquete, “T”, y el tiempo de carga de este, “p * t.”, da el número de volquetes necesarios, “x”, por cada unidad de carga.

$$x = \frac{T}{p * t}$$

Si se multiplica esta expresión por el número de equipos de carga, “n”, se tiene:

$$x * n = \frac{T * n}{p * t}$$

Como “ $x * n$ ” es el número total de volquetes, resulta:

$$N * p * n = n * T$$

$$\frac{N * p * t}{n * T} = 1$$

Al primer miembro de esta expresión se le denomina “Factor de acoplamiento”

$$FA = \frac{N * p * t}{n * T} = \frac{n^{\circ} \text{ total de volquetes}}{n^{\circ} \text{ total de cargadoras}} * \frac{\text{ciclo de carga del volquete}}{\text{ciclo de volquete}}$$

Se puede considerar que “ t ” y “ T ” son valores constantes, en cuanto a los valores medios, si bien dependen de las condiciones de trabajo, de las características de cada máquina y de la eficiencia del operador.

El número de casos por volquete “ p ”, es un número medio constante, que se debe determinar y mantener en función del trabajo concreto que se realiza.

En lo referente al número de equipos de carguío, “ n ” la producción requerida obliga inmediatamente al número adecuado de ellas para obtenerla, partiendo de que se tiene decidido el modelo y prevista su producción aproximada.

En cuanto al número total de volquetes, “ N ”, se determina asignado al factor de acoplamiento su óptimo, esto es 1, despejando dicho valor a continuación:

$$\frac{N * p * t}{n * T} = 1$$

Luego:

$$N = \frac{n * T}{p * t}$$

Con esta ecuación se determina el número óptimo de equipos de transporte, el número de volquetes, en teoría, absorberá la producción estimada por el equipo de carga.

La representación gráfica de este resultado se muestra en la Figura 2.6 donde se observa que a medida que el número de volquetes incrementa la producción también ira creciendo.

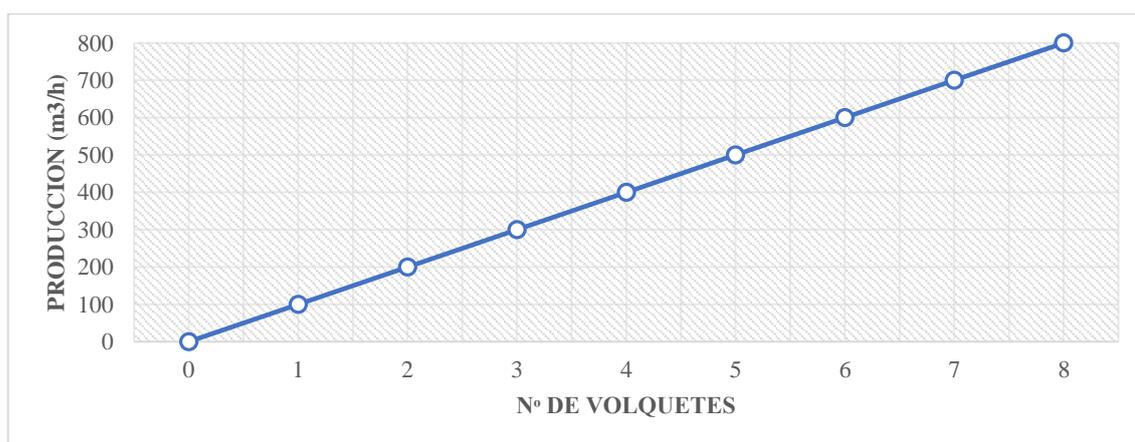


Figura 2.6: Curva de producción teórica

Fuente: López (1995).

Pero la curva de producción real, va siempre por debajo de la teoría, y se necesitaran más volquetes si se quiere llegar a obtener la producción máxima de la unidad de carga, lo que es debido a varias causas:

- Volquetes de diferentes capacidades o de distinto estado de conservación.

- Estrechamiento en zonas de carga, descarga y pistas de transporte.
- Espaciamiento diferente entre volquetes.

Por ello, es preciso marcar un objetivo, ya que son dos las posibilidades existentes:

- Máximo producción (condicionada por el tiempo limitado de la operación minera).
- Mínimo costo (limitación de tipo económico). Ver Figura 2.7.

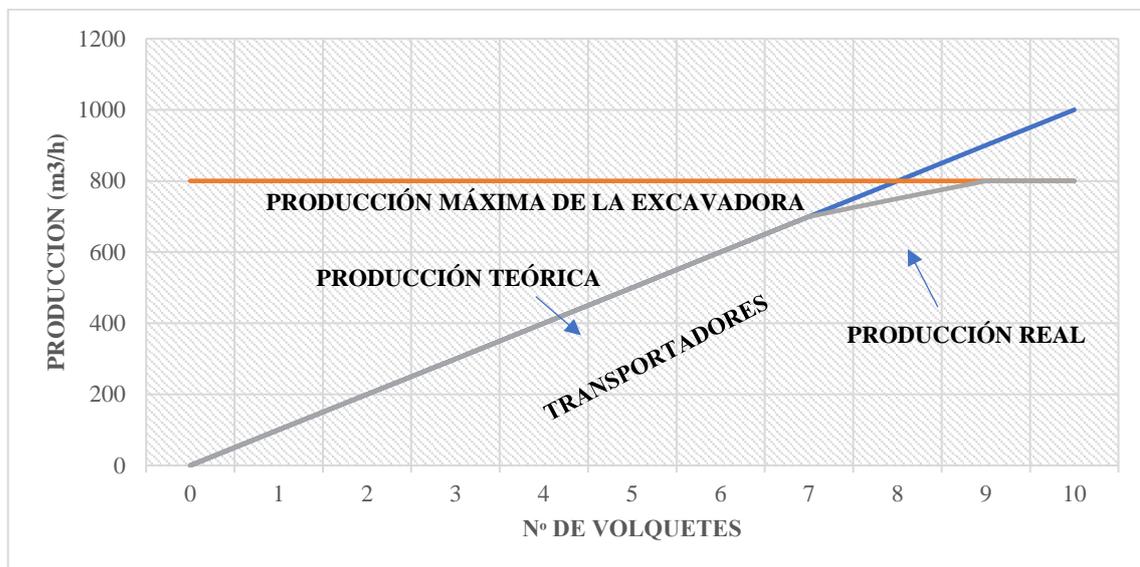


Figura 2.7: Curva de producción real.

Fuente: López (1995).

Naturalmente, los equipos que persiguen estos fines, no coinciden, tal y como se ve en la Figura 2.8.

Donde se observa el costo expresado en dólares por tonelada y el número de equipos, no coincide con la producción expresada en toneladas por horas y el número de equipos.

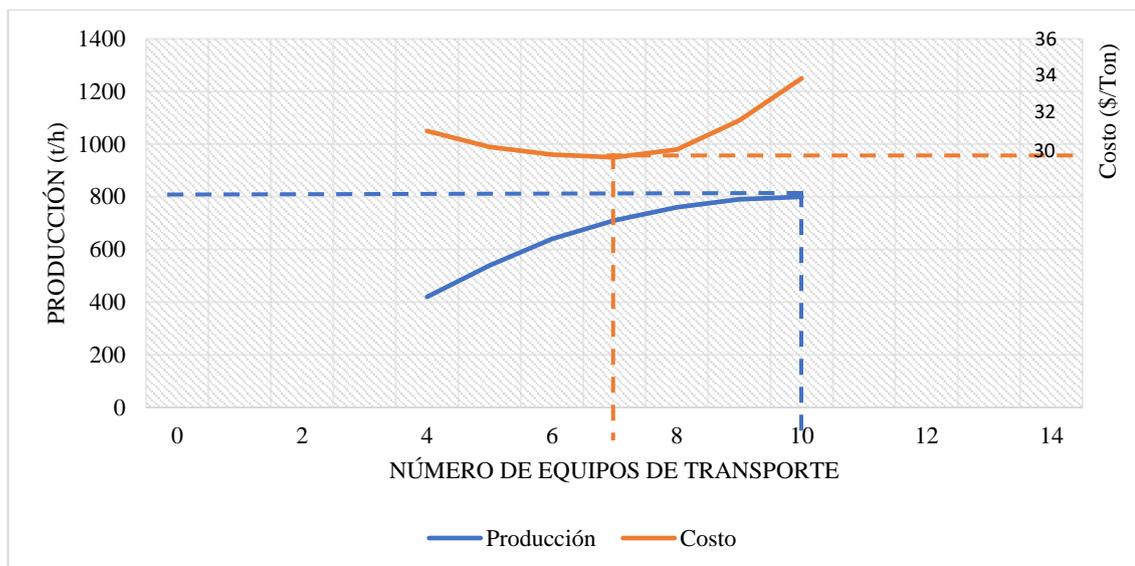


Figura 2.8: Puntos de máxima producción y mínimo costo.

Fuente: López (1995).

Por último, en la Figura 2.9, se muestra la variación de la eficiencia para las unidades de carga y transporte, en función del grado de desacoplamiento.

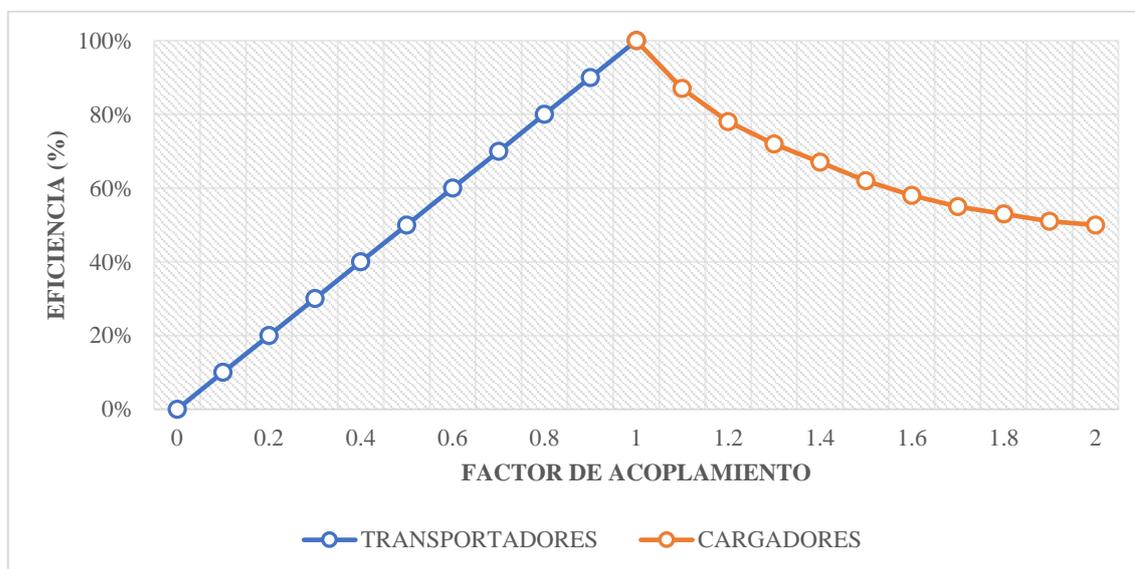


Figura 2.9: Variación de la eficiencia en función al Factor de Acoplamiento.

Fuente: López (1995).

Así, para un $FA = 1$, el acoplamiento es perfecto. Si es menor de 1, existirá un exceso de la capacidad de carga y, por lo tanto, la eficiencia del transporte es del 100 %, mientras que la de la carga es menor. Por el contrario, si el Factor de Acoplamiento es mayor de 1, la eficiencia de la carga es de 100 % y la del transporte, por lo tanto, será menor.

Douglas (1964), determina el número de camiones a través de la utilización de este indicador entre la productividad de un cargador y la productividad de una flota de camiones. La productividad de una unidad (pala o camión) se define como directamente proporcional a su capacidad de carga e inversamente proporcional al tiempo de ciclo. Por su parte, el tiempo de ciclo de los vehículos es la suma del promedio de los tiempos de tránsito, carga y descarga; se excluyen los tiempos de espera producto de los efectos de la congestión.

Posteriormente, (Morgan & Peterson, 1968), publican una extensión generalizada para el cálculo de este indicador denominada como Factor de Acoplamiento o “Match Factor”. En la siguiente expresión se observa la fórmula utilizada para el cálculo del factor de acoplamiento (MF). Este indicador se define como el calce entre la productividad de la flota de cargadores (no se limita a un solo cargador) y la flota de transporte para un sistema en particular. Además, se supone una flota de camiones y palas homogénea, tiempos de espera promedio para los ciclos de las unidades y se excluyen los tiempos de espera producto de la congestión.

$$MF = \frac{\text{número de camiones} \times (\text{tiempo de ciclo pala})}{\text{número de palas} \times (\text{tiempo de ciclo camión})}$$

Desde el punto de vista de la eficiencia de las unidades del sistema, son tres los posibles resultados del indicador MF:

- Sobredimensionamiento de las unidades de carga o palas ($MF < 1$), implicando el máximo de utilización de los vehículos de transporte, pero una subutilización de las unidades de carga.
- Sobredimensionamiento de la flota de camiones ($MF > 1$), implica máxima utilización de las unidades de carguío, pero una subutilización de la flota de vehículos. Los tiempos de espera (congestión) serán crecientes en relación al tamaño de la flota.
- Acoplamiento ($MF = 1$), corresponde al calce perfecto en términos de productividad entre ambos conjuntos de unidades.

En la Figura 2.10. se muestra gráficamente la relación entre ambas funciones de productividad y como estas influyen sobre indicador de eficiencia de las unidades. En la práctica, es común saturar el equipo de carguío ($MF > 1$), dado que presentan mayores costos que los de los equipos de transporte.

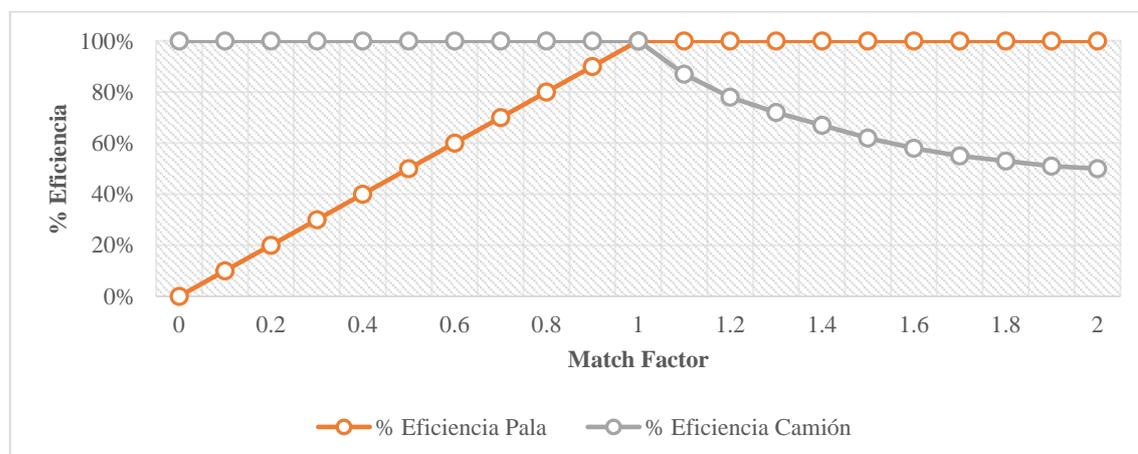


Figura 2.10: Factor de Acoplamiento (MF).

Fuente: Rodríguez (2013)

Burt & Caccetta (2007), menciona que la dificultad de utilizar esta metodología para el dimensionamiento de la flota de camiones, haciendo uso del indicador MF, se reduce a determinar los nuevos tiempos de viaje de los nuevos escenarios a predecir para un valor del indicador en particular. En investigaciones recientes se han incorporado extensiones al cálculo del indicador MF donde se consideran flotas heterogéneas de cargadores, flotas heterogéneas de transporte o ambos casos simultáneamente. Si bien se obtienen mejoras en la asertividad de la predicción del tamaño de la flota, no se hace referencia a las diferencias en productividad entre operaciones con flota homogénea y flota heterogénea.

2.2.6. Teoría de colas aplicada al carguío y transporte

Rodríguez (2013), menciona que las primeras bases de la teoría de colas se remontan a comienzos del siglo XX y, no es hasta la década del cincuenta cuando Koenigsberg (1958) publica la primera investigación aplicada a la industria de la minería, específicamente, minería subterránea de carbón. Éste considera las operaciones mineras como un circuito cíclico cerrado de colas, que da servicio a un número finito de unidades de trabajo, bajo un determinado estándar de servicio y un determinado rendimiento del sistema. Las unidades que completan un ciclo se reincorporan a la cola en la primera etapa. Se suponen distribuciones de tiempo de servicio exponencial y tasas de llegadas variables.

Así mismo Gutiérrez (2017), dice que en la actualidad los tiempos de espera en la mina se pueden modelar, con la ayuda del modelo matemático llamado teoría de colas, es por ello que es importante estudiar, comprender y aplicar a las operaciones de carguío y acarreo con el fin de mejorar

significativamente el rendimiento de los equipos mineros (palas, camiones y cargadores frontales) por guardia.

Una cola es una línea de espera y la teoría de colas es un modelo matemático que describe sistemas de línea de espera particulares o sistemas de colas. Los modelos matemáticos sirven para encontrar un buen compromiso entre costos del sistema y los tiempos promedio de la línea de espera para un sistema dado.

Hillier & Lieberman (2001), menciona que la teoría de colas es el estudio de la espera en las distintas modalidades se utiliza los modelos de colas para representar en las distintas modalidades se utiliza los modelos de colas para representar los tipos de sistemas de líneas de espera (sistemas que involucran colas de algún tipo) que surgen en la práctica. Las fórmulas de cada modelo indican cuál debe ser el desempeño del sistema correspondiente y señalan la cantidad promedio de espera que ocurrirá en diversas circunstancias, asimismo, menciona a la teoría de colas, como el estudio matemático de las líneas de espera (colas) permitiendo el estudio de varios factores relacionados tales como:

- Longitud promedio de la línea de espera (cuantas unidades están en la línea de espera)
- El número estimado de camiones en el sistema total.
- El tiempo estimado que un camión estará en el sistema total.
- Las probabilidades asociadas con eventos específicos creados por la línea de espera, y muchas otras características.
- El tiempo promedio que una máquina, persona, etc. estará en la cola

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Movimiento de tierras

Cherné & Gonzáles (1987), Se denomina movimiento de tierras al conjunto de operaciones que se realizan con los terrenos naturales, a fin de modificar las formas de la naturaleza o de aportar materiales útiles en obras públicas, minería o industria.

Saavedra (2014), Considerado por algunos como el eje motriz de la minería, ya que se realiza desde la fase de construcción hasta el cierre de los proyectos. En términos generales, hace referencia al conjunto de actuaciones a producirse en un terreno para la ejecución de una obra, que puede llevarse a cabo en forma manual y mecánica.

Fases del movimiento de tierras en minería

El arranque

Es la operación que presenta mayor dificultad, porque se trata de pasar un material de su estado natural, en el que lleva muchos años, al de material suelto, de forma que esta nueva situación permita realizar el resto de las fases, (LOM, 2009).

La carga

Es una fase en la que, comparativamente, las dificultades son menores; consiste en mover el material desde la situación en la que queda en la fase anterior hasta introducirlo, en la mayoría de los casos, dentro de la caja de un volquete, para su transporte.

El transporte

Es la operación que, a pesar de su aparente facilidad, representa el mayor porcentaje en el coste final por tonelada movida; la razón es simple: se necesitan varias unidades de transporte para absorber toda la carga que es capaz de mover la máquina que efectúa la carga; dicho de otro modo, a pesar del enorme tamaño que han alcanzado los volquetes, aún son, y seguirán siendo, pequeños en relación con los equipos de carga, porque nunca será rentable fabricar una cargadora que llene el volquete con un solo cucharón.

En esta fase cobra una importancia especial las distancias a que se vaya a transportar el material y la diferencia de cotas que deban superar los componentes del equipo de transporte.

La descarga

Se realiza por el propio volquete, en la mayoría de los casos elevando su caja; en función del material transportado, se hará en una escombrera si es estéril o en una tolva si se trata de la materia prima a transformar.

Densidad

Cruzat (20081), La densidad del material que va a moverse corresponde al peso por metro cúbico del material que hay que transportar. La densidad del material afecta la forma de trabajo de los diferentes equipos que trabajan en el movimiento de materiales, así: la manera de cargar de un cargador, el trabajo del arrastre de un tractor o la operación de mantención de caminos de una motoniveladora son afectados por la densidad de los materiales intervenidos.

Siempre que se muevan materiales, su densidad será uno de los factores primordiales en la ejecución del trabajo. La densidad afecta incluso la eficiencia en los virajes, maniobras y acarreo de las máquinas, notándose finalmente en los rendimientos de las mismas y en la productividad. En general, mientras mayor sea la densidad de un material, mayor será la potencia requerida para moverlo.

Factor de esponjamiento

Bazán (2016), El esponjamiento es la cantidad por la cual el volumen de la roca se expande cuando se somete a una voladura o se excava, y se expresa como porcentaje. El factor de esponjamiento se utiliza para convertir la densidad o el volumen del banco a densidad o volumen suelto.

Cherné & Gonzáles (1987), El esponjamiento ha de ser tenido en cuenta para calcular la producción de excavación y dimensionar adecuadamente los medios de transporte necesarios. En todo momento se debe saber si los volúmenes de material que se manejan corresponden al material en banco o al material ya excavado.

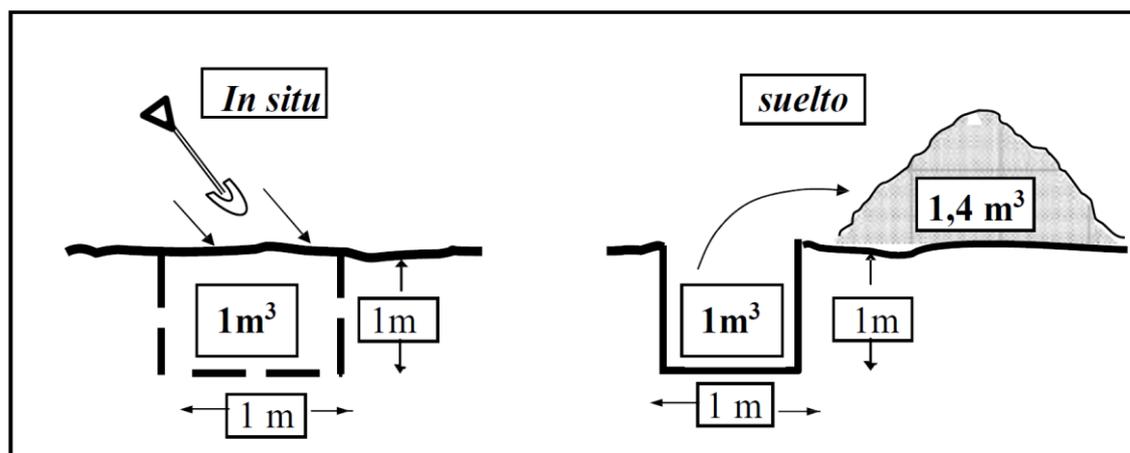


Figura 2.11: Ilustración del esponjamiento.

Fuentes: Cruzat (2008).

Factor de llenado

La carga útil del cucharón de una excavadora que mueve en cada ciclo (la cantidad real de material en el cucharón en cada ciclo de excavación) depende del tamaño, forma y fuerza de plegado del cucharón, además de ciertas características del suelo, es decir el factor de llenado expresado en forma de porcentaje, que depende del tipo de material que se cargue.

El factor de llenado se puede determinar empíricamente (por medio de mediciones), o tomarse de los manuales de fabricantes. En la Tabla 2.2 se muestran una tabla para definir el factor de llenado para excavadoras.

A continuación, se indican los factores de llenado de varios tipos de material.

Tabla 2.2: Factores de llenado del cucharón

| | MATERIAL | FACTOR DE LLENADO |
|------------------------|--|--------------------------|
| Material suelto | Agregados de humedad mezclados | 95 % - 100 % |
| | Agregados uniformes hasta de 3 mm (1/8") | 95 % - 100 % |
| | 3 mm-9 mm (1/8"-3/8") | 90 % - 95 % |
| | 12 mm-20 mm (1/2"-3/4") | 85 % - 90 % |
| | 24 mm (1") y más | 85 % - 90 % |
| Roca tronada | Buena | 80 % - 95 % |
| | Media | 75 % - 90 % |
| | Mala | 60 % - 75 % |
| Otro | Mezclas de roca y tierra | 100 % - 120 % |
| | Marga húmeda | 100 % - 110 % |
| | Tierra, canteras, raíces | 80 % - 100 % |
| | Materiales encementados | 85 % - 95 % |

Fuente: Cherné & Gonzáles (1987).

2.3.2. Sistema de carguío y transporte en minería

Eyzaguirre (2018), El carguío y el transporte constituyen las acciones que definen la principal operación en una faena minera. Estas son los responsables del

movimiento del mineral o estéril que ha sido fragmentado en un proceso de tronadura.

Carguío

Checya (2015), Consiste en la carga de material fragmentado del tajo para conducirlo a los posibles destinos. La operación de carguío involucra el desarrollo de una serie de funciones que aseguran que el proceso se lleve a cabo con normalidad y eficiencia.

Manzaneda (2015), Esta etapa del proceso de la explotación minera se ocupa de definir los sectores de carga, las direcciones de carguío (a frentes de carga, posición de equipos de carguío y nivel de pisos) y el destino de los materiales de acuerdo con leyes de clasificación y tonelajes definidas previamente.

Checya (2015), El tiempo de carguío tiene dos componentes:

- **Tiempo de cambio o giro**

Inicia desde que termina de cargar el camión anterior (al descargar el último pase - toque de bocina), hasta cuando retorna el brazo de la excavadora hacia la carga, en donde da inicio el tiempo de llenado.

Según la Figura 2.12, el tiempo que lleva desplazar el brazo de la posición "A" hacia "B", es el tiempo que debe tomarse en consideración para efectos de cálculo, así mismo cabe indicar que este tiempo depende de las habilidades del operador y las características de los equipos que se está empleando.

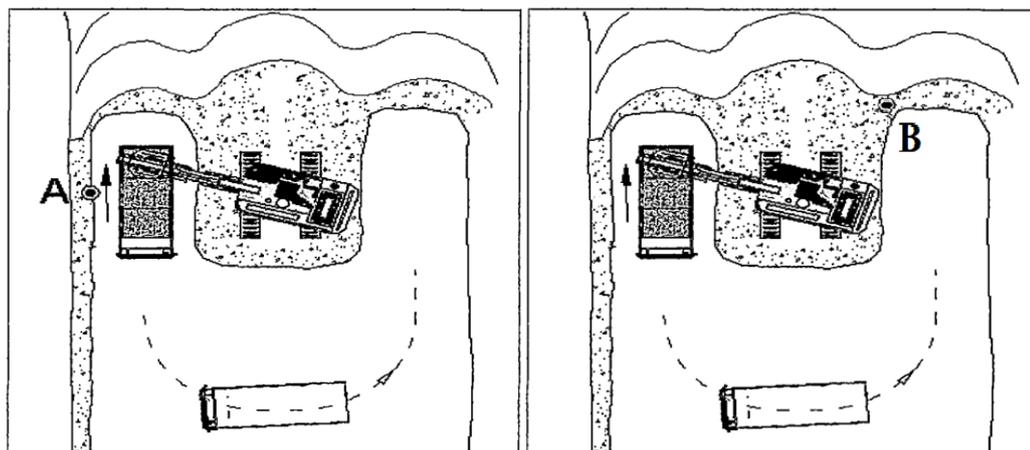


Figura 2.12: Tiempo de giro con carguío a doble carril.

Fuentes: Checya (2015).

- **Tiempo de llenado**

El tiempo de llenado o carguío propiamente dicho, está determinado por la cantidad de pases que conforman la carga total del camión y a su vez por el tiempo que se requiere para completar cada pase. El tiempo por pase está directamente relacionado con las condiciones del material a excavar, la habilidad del operador y otros factores.

Para efectos de buen control del tiempo por pase, las maniobras (M) consideradas son las siguientes; como se muestra en la Figura 2.13.

- M-1: Recoge la carga (en "B").
- M-2: Giro con el cucharón lleno (de "B" hacia "C").
- M-3: Llenado de camión (Descarga, "C").
- M-4: Giro con el cucharón vacío (de "C" hacia "B").

En el último pase realizado para completar el carguío del camión, solo se consideran las maniobras M-1, M-2 y M-3, ya que al llenar el camión con el último pase se finaliza el ciclo del carguío de cada camión. A partir de la posición "C" del último pase inicia el nuevo ciclo de carguío del camión siguiente.

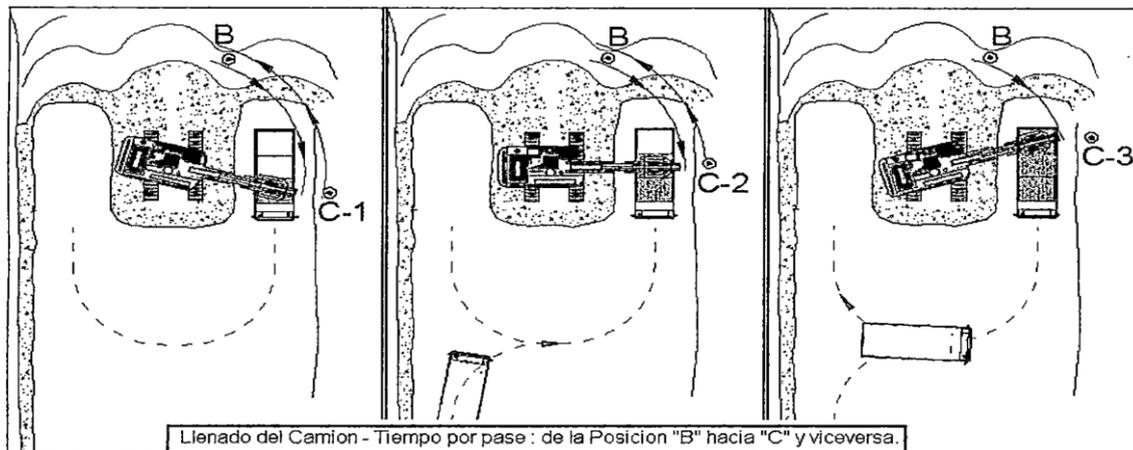


Figura 2.13: Tiempo por pase.

Fuentes: Checya (2015).

Por lo tanto, el tiempo del ciclo de carguío total está determinado por la suma del tiempo de cambio más el tiempo de llenado.

Un método utilizado en minería que sirve para aumentar la productividad de los equipos de carguío, reduciendo los tiempos de espera de camiones, consiste en el empleo de dos volquetes por excavadora, pudiendo situarse a ambos lados o uno en el mismo nivel, y otro en el inferior. A este trabajo se le denomina carguío a doble carril.

Transporte

Rondán (2014), Consiste en el traslado de material mineralizado y/o estéril desde el yacimiento hacia los posibles destinos, ya sea el chancado, stock de

mineral o botaderos de estéril. Las funciones involucradas en el proceso de transporte son las siguientes: En esta etapa se planifica bien la definición de las rutas de transporte y del destino de los materiales de acuerdo con leyes de clasificación y tonelajes definidas previamente.

Saavedra (2014), En la etapa de transporte, se incluye el diseño de la ruta, cuyos criterios más importantes se refieren a la distancia de detención, señales de distancia y velocidad, los que cobran mayor relevancia cuando hay intersecciones, curvas y ubicaciones de descarga. En cuanto a la construcción de las rutas estas contienen material de subbase y pavimentos de calidad y espesor adecuados (dependiendo en parte del proyecto). Para aumentar su seguridad y productividad se utilizan caminos duros, lisos y con buena tracción.

Servicios Auxiliares

A los caminos se les hace mantenimiento. Hay equipos que van sacando las piedras y los van dejando lo más parejos posible.

Uno de los temas relevantes dentro del presupuesto, es que las rutas duren lo más posible ya que las piedras son agentes que desgastan mucho a los vehículos. Para mantener los caminos se usan motoniveladoras, rodillos y camiones aljibe que van lanzando agua para mantener las superficies húmedas y regadas.

2.3.3. Ciclo de carguío y transporte

Cruzat (2008), En cualquier trabajo de remoción de tierra, las máquinas se adaptan a un ciclo de trabajo determinado. En este ciclo están incluidas las

operaciones de carga, acarreo, descarga y retorno al lugar original, con algunas variaciones en ciertos casos.

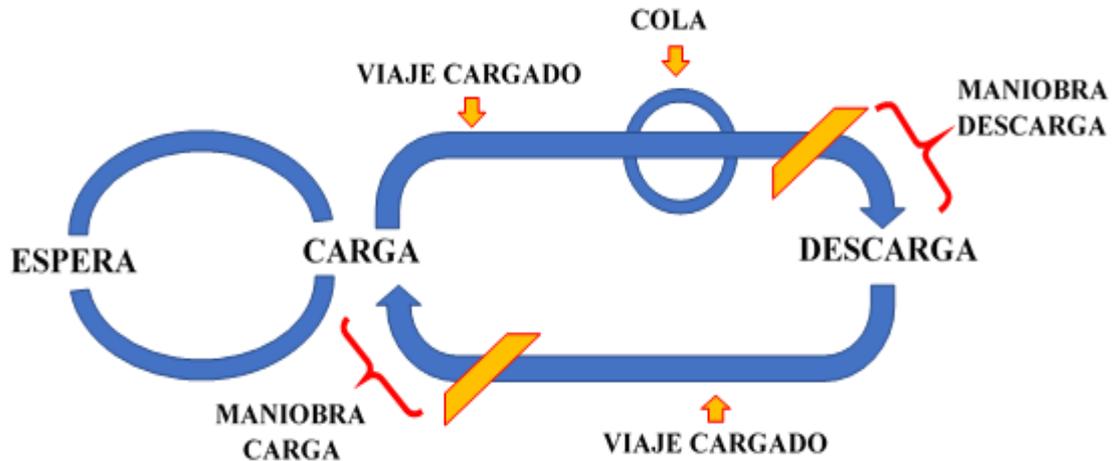


Figura 2.14: Ciclo de Carguío y Transporte.

Fuentes: Cruzat (2008).

Tiempos en el carguío y transporte

Tiempos fijos

Es el que invierte una máquina, durante el ciclo, en todo aquello que no sea acarreo (transporte) y retorno. Incluye el tiempo para cargar, descargar y maniobrar en el curso del trabajo. Todos estos tiempos son más o menos constantes, sea cual sea la distancia a que se lleve o acarree el material.

Tiempos variables

Es el que se necesita para el transporte o, en otras palabras, el tiempo invertido en el camino acarreando el material y regresando vacío, y varía con la distancia hasta la zona de vaciado y la velocidad de los camiones.

Tiempos muertos

Bazán (2016), En una operación minera; si se tiene un excedente de camiones, se generarán tiempos muertos, pues estos equipos se verán en la obligación de esperar a que se liberen las excavadoras.

Si el número de camiones fuera menor al que se necesita, entonces las excavadoras tendrían tiempos muertos incrementando el tiempo de ciclo de transporte de los camiones, lo cual se traduce en menor producción horaria y mayor costo por unidad cargada y transportada adicionalmente al costo por tener las excavadoras sin trabajar.

Saldaña (2013), hace mención a dos casos importantes en los cuales se produce tiempos muertos o tiempos improductivos en las operaciones de carguío y transporte; estos son:

- Equipos de carguío esperando a camiones o *hang*

Es el tiempo en el cual el equipo de carguío no tiene camiones, transcurrido desde que salió el último camión del equipo de carguío, hasta que le marca auto llegada al próximo camión.

- Tiempo de cola o *queue time*

Es el tiempo en el cual los camiones en el frente de carguío están esperando en cola para ser cargados. Se mide como el porcentaje de tiempo respecto al tiempo operativo del resto de la flota.

2.3.4. Factores que condicionan el ciclo de carguío y transporte

Cruzat (2008), establece dos grupos de factores condicionantes que se encuentran muy ligados al ciclo de carguío y transporte, estos son: factores para producción y factores para transporte.

Factores para producción

Se consideran los siguientes: buena fragmentación, propiedades del material, condiciones mecánicas y eléctricas del equipo, tracción, velocidades y habilidad y eficiencia del operador.

Factores de transporte

Los factores de transporte o acarreo son: la capacidad de la unidad, distancia de acarreo, condiciones de la carretera y pendientes, resistencia de rodamiento, resistencia a la pendiente, resistencia al viento, resistencia de fricción interna, ciclo de operación y los factores climatológicos.

2.3.5. Términos relacionados a la utilización del equipo

Horas malogrado (HM).

Son las horas en que el equipo no está disponible para producir, ya sea por reparación correctiva o programada y por reparación preventiva o programada, (Saldaña, 2013).

Horas disponibles (HD)

Saldaña (2013), establece que las horas disponibles del equipo son las horas en que el equipo está disponible para producir; es decir, a disposición de

operaciones mina, al mismo tiempo realiza un bosquejo con sus respectivas definiciones que se muestra en la Figura 2.15.

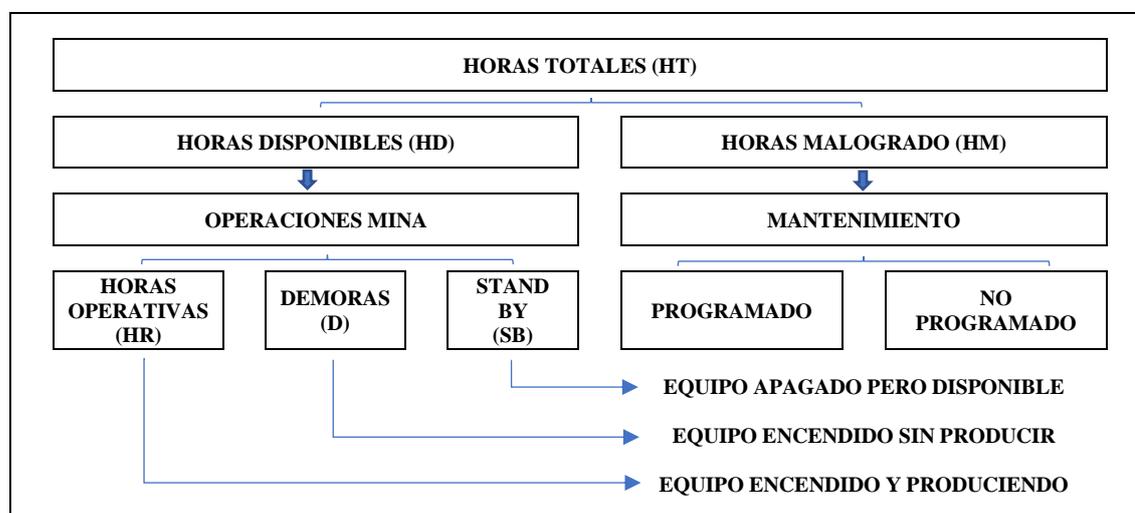


Figura 2.15: Diagrama de horas utilizadas en los equipos.

Fuentes: Saldaña (2013).

- Horas operativas (HR). Son las horas en que el equipo está operativo y haciendo trabajo productivo.
- Demora (D). Es el tiempo en que el equipo está operativo, pero no realizando trabajo productivo. Algunas demoras son: limpieza de tolva, cambio de operador o cambio de guardia, relleno combustible, disparo, esperando instrucciones o supervisor, servicios higiénicos, revisión y chequeo, perfilando, esperando topógrafo y traslados por propios medios
- *Stand by* (SB). Es el tiempo en que el equipo está disponible mecánicamente, pero apagado por consideraciones operativas. Ejemplos de paradas por *stand by* son: equipo de carguío parado por falta de equipo de transporte, equipo de transporte parado por falta de equipo de carguío, parada por condiciones inseguras, falta de frente, falta de grifo o cisterna, equipo listo en mantenimiento, falta de operador y refrigerio.

Disponibilidad mecánica (DM)

Es el porcentaje del tiempo total que el equipo está disponible para operaciones. Es una medida de la eficiencia de Mantenimiento, por lo que es controlada por ellos.

$$DM = \frac{\text{Horas Totales} - \text{Horas malogrado}}{\text{Horas totales}} * 100 \%$$

Utilización (UT)

Cruzat (2008), Es la fracción del tiempo, expresada en porcentaje (%), en la cual el equipo es operado por cada hora en que este está en condiciones de cumplir su objetivo de diseño o físicamente disponible.

$$UT = \frac{\text{Horas Operativas} + \text{Demoras}}{\text{Horas Totales} - \text{Horas malogrado}} * 100 \%$$

2.3.6. Rendimiento

Es el promedio de unidades de producción (m^3 , t), realizadas por el equipo por cada unidad de tiempo de operación y el rendimiento de un equipo es directamente proporcional a la velocidad de producción del equipo e inversamente proporcional al tiempo de pérdida operacional.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Unidades de produccion promedio}}{\text{Unidades de tiempo de operacion}}$$

2.3.7. Factor de acoplamiento (FA)

Gómez (2011), Con el cálculo del FA se busca determinar la cantidad óptima de unidades de transporte asociadas a un equipo de carguío determinado.

En líneas generales, se puede definir el factor de acoplamiento de la siguiente manera:

$$FA = \frac{\text{Ciclo de Transporte} * N^{\text{de equipos de Carguio}}}{\text{Ciclo de carguio} * N^{\text{de equipos de Transporte}}}$$

Debido a que en proyectos de movimiento de tierras los equipos de carguío son prácticamente fijos para determinado frente de trabajo, se puede calcular (a través del FA) la cantidad de equipos de acarreo que deben trabajar con la máquina de carga establecida; esta cantidad de equipos será la necesaria para poder absorber la producción del equipo de carguío en el frente de trabajo.

El resultado ideal de un FA está representado por la unidad, pero como es lógico, difícilmente se obtendrá dicho valor en la práctica, por lo que la solución ideal contempla aquellos factores de acoplamiento que se encuentren próximos a dicho número, tanto superiores o inferiores a él. Cuando se elige un FA superior a la unidad, se opta por una flota que pueda proporcionarnos una mayor producción diaria por la existencia de mayor cantidad de equipos de acarreo que la mínima necesaria, en este caso pueden presentarse ligeras paras durante el ciclo de los volquetes, mientras que la excavadora se mantendrá operando en todo momento.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación Geográfica del Estudio

3.1.1. Ubicación

Políticamente, la Unidad Minera Tacaza se encuentra ubicada en el paraje de Choroma, distrito de Santa Lucia, provincia de Lampa, en el departamento de Puno, con una extensión de 633 ha, las coordenadas centrales son 314 750 E, 8 271 500 N y altura de 4 200 – 4 450 m.s.n.m., datum WGS 84, zona 19.

El área donde se emplaza la Unidad Minera Tacaza se encuentra dentro de la concesión metálica Tacaza y la concesión San Salvador 27, estas concesiones se encuentran debidamente registradas en los registros públicos de minería de la SUNARP, a favor de Consorcio de Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. (CIEMSA).

3.1.2. Accesibilidad

El acceso desde Lima hacia la Unidad Minera Tacaza es por vía aérea hasta la ciudad de Juliaca en el departamento de Puno, desde la ciudad de Juliaca es por vía terrestre inter regional Juliaca – Arequipa hasta el desvío Tacaza y finalmente por una trocha carrozable desde el desvío Tacaza hasta la Unidad Minera Tacaza, el tramo terrestre esta 97 % pavimentada. Siendo el tiempo estimado de llegada total de 3 horas y 17 minutos y desde la ciudad de Juliaca 1 hora y 30 minutos recorriendo aproximadamente 78 km en tierra. En el siguiente cuadro se muestra las vías de acceso desde Lima hacia la Unidad Minera Tacaza:

Tabla 3.1: Ruta de acceso

| DE | HACIA | Distancia (Km) | TIEMPO (h) | CONDICIÓN |
|---------------|---------------|-------------------|---------------|-----------|
| Lima | Juliaca | - | 1,47 | Vía aérea |
| Juliaca | Santa Lucia | 60 | 0,80 | Asfaltada |
| Santa Lucia | Desvió Tacaza | 15 | 0,35 | Asfaltada |
| Desvió Tacaza | U.M. Tacaza | 03 | 0,15 | Asfaltada |
| TOTAL | | 78 | 3,17 | |

Fuente: Dirección Regional de Transportes

Para mayor detalle de la ubicación del área de estudio ver Anexo 1. Plano de ubicación.

3.1.3. Clima

El área de estudio del proyecto corresponde al tipo de clima frígido, conocido como clima de Puna o Páramo, que corresponde a los sectores altitudinales de la región de la sierra comprendidos entre 4 000 a 5 000 m.s.n.m.; este clima se caracteriza por presentar precipitaciones promedio de 700 mm anuales y temperaturas promedios también anuales de 6,6 °C.

En época de verano son siempre lluviosos y nubosos, por el contrario, en las épocas de inviernos (junio – agosto) son fríos y secos.

El área de emplazamiento de la Unidad Minera Tacaza presenta un relieve de topografía moderada circundado por colinas de cerros con taludes de moderada a fuerte pendiente y en posición estable modelado en rocas volcánicas de edad Terciario – Mioceno cubiertos parcialmente por depósitos morrénicos.

Los resultados de concentración de sólidos en suspensión PM10 en el aire, plomo (Pb), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂) y monóxido de carbono (CO), obtenidas en las estaciones muestreadas en el área de influencia

directa del proyecto, no superan los estándares establecidos en el DS N° 074-2001-PCM, así mismo, los resultados de las concentraciones de arsénico (As), no superan el límite máximo permisible establecido en la R.M. N° 315-96-EM/VMM.

Los niveles de ruido registrados en el área de influencia directa del proyecto, no superan el estándar establecido en el D.S. N° 085-2003-PCM: Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental de Ruido.

3.2. Periodo de duración del estudio

El presente estudio de investigación fue realizado en la Unidad Minera Tacaza que pertenece a la Empresa Consorcio de Ingenieros Ejecutores Mineros S.A. – CIEMSA, el periodo duración del proyecto está dado entre los meses de mayo a julio del 2016, junio a julio del 2017 y enero a agosto del 2019. El tiempo de duración acumulado fue de 13 meses.

3.3. Procedencia del material utilizado

3.3.1. Instrumento

Los instrumentos usados en la recolección de datos para la presente investigación son:

Para registro de datos medidos en campo:

- Ficha de registro de control de tiempo Excavadora
- Ficha de registro de control de tiempos Volquete

Para efectuar controles y mediciones:

- Cronometro
- Horómetros de equipos de carguío y transporte

Otros:

- Plano Topográfico
- Distancias de transporte de material
- Parámetros de rendimiento de excavadora
- Parámetros de rendimiento de volquete

Para mayor detalle de las fichas de registro ver Anexo 4. Control de tiempos medidos de las actividades de carguío, Anexo 5. Control de tiempos medidos de las actividades de transporte y Anexo 9. Distancias de transporte de material medidas en la unidad minera

3.3.2. Revisión, recopilación y elaboración de información preliminar

Para ejecutar el proyecto de investigación se realizó una planificación según la metodología a aplicar, se recopiló y revisó información bibliográfica relacionada al tema de investigación.

La revisión bibliográfica se hizo para tener una visión del estado de conocimiento sobre la distribución de equipos de transporte para incrementar el rendimiento de la producción.

3.3.3. Materiales

Los materiales empleados en el trabajo de investigación son los siguientes:

- Material de escritorio.

- Material de papelería
- Material bibliográfico.
- Equipos de cómputo (Laptop)
- Asesoría para el desarrollo de la investigación.

Para el análisis de la información obtenida mediante los instrumentos de medición se usó la estadística descriptiva e inferencial, apoyándonos con diferentes softwares:

Software Aplicativo:

- Procesadores de texto (Microsoft Office Word 2016).
- Hojas de cálculo (Microsoft Office Excel 2016).
- Base de Datos (Minitab).

Graficador:

- Autodesk. Inc. AutoCAD Civil3D 2018.

Para los datos procesados, se realizó un análisis cuantitativo y porcentual representado en gráficos de barras y líneas, así como la respectiva contrastación de la hipótesis empleando la *t* de Student.

3.4. Población y muestra del estudio

3.4.1. Población

La población del presente estudio está conformada por las excavadoras y volquetes de la Empresa Contratista COEMPSA, quienes laboran en la Unidad Minera Tacaza, que pertenece al Consorcio de Ingeniero Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA, para la extracción de material hacia su destino final.

3.4.2. Muestra

La muestra del presente estudio está conformada por tres excavadoras y seis volquetes de la Empresa Contratista COEMPSA, quienes laboran en la Unidad Minera Tacaza, que pertenece al Consorcio de Ingeniero Ejecutores Mineros S.A. - CIEMSA, para la extracción de material hacia su destino final.

3.4.3. Muestreo

Para el caso de este estudio se utilizó el muestreo probabilístico aleatorio de afijación simple y la medición de los ciclos de carguío y transporte de material de los equipos que conforman la muestra, se realizaron en fusión al tiempo total, horas programadas y asignación de la zona de trabajo diario.

3.5. Diseño metodológico

El tipo de investigación es cuantitativa ya que los datos son producto de mediciones que se representan mediante números, se analizan a través de métodos estadísticos, y se interpretan según la hipótesis y la teoría.

El nivel de investigación es descriptivo, correlacional y explicativo. El diseño de la investigación es no experimental transversal; ya que se analiza la realidad sin manipular las variables y el tiempo no es determinante, porque se describen la relación entre las variables de distribución de equipos de transporte y rendimiento de la producción.

El método de investigación que se usó para el presente trabajo de investigación es el método deductivo - inductivo orientándose a la evaluación de las operaciones de carguío y transporte para el mejoramiento de la productividad

de las operaciones de carguío y transporte en la Unidad Minera Tacaza – Consorcio de Ingenieros Ejecutores Mineros S.A., donde se detallan la relación adecuada entre los equipos de carguío y transporte aplicando el factor de acoplamiento, para incrementar el rendimiento de la producción de la Unidad Minera Tacaza.

Una investigación descriptiva, comprende la descripción del registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual de los datos. Utilizando el método de análisis, se logra caracterizar el objeto en estudio o una situación concreta, señalar sus características y propiedades. Combinada con ciertos criterios de clasificación sirve para ordenar, agrupar o sistematizar los objetos involucrados en el trabajo de investigación.

3.6. Procedimiento

3.6.1. Procedimiento

En la recolección de datos de las diferentes etapas del ciclo de carguío y transporte, se realizado durante la guardia día por ser el más congestionado, aplicándose los instrumentos de medición previamente elaborados que son las fichas de registro de control de tiempo de los equipos, los que se ingresaron considerando el tipo de tiempo, paralelo a ello se registró todos los tiempos de las diferentes actividades realizadas desde el reporte en balanza, desplazamiento del volquete sin carga hacia el punto de carguío, carguío, transporte hacia el destino del material.

La toma de datos no medidos obtenida de los estándares e informes del Área de Planeamiento de la Unidad Minera Tacaza, se ordenó, clasifico y

transcribió en hojas borrador para ser utilizados como datos comparativos de los ciclos y rendimientos de transporte del sistema de transporte con volquetes.

3.6.1. Técnica

Las técnicas usadas durante la recolección de datos se basaron en la observación directa de los ciclos de carguío y transporte de mineral y desmonte, así como la medición de la distancia de los diferentes tramos de recorrido hasta llegar al destino de cada material, (cancha de gruesos, cancha de depósito de mineral de baja ley, cancha de depósito de óxidos, cancha de depósito de desmonte y depósito de *top soil*), también se realizó la observación directa de las actividades de los operadores de equipos para determinar la eficiencia del sistema, este control se realizó durante un día de actividad completa, para cada equipo.

Por otro lado, se recopiló datos por observación indirecta, de informes, estándares de mina y reportes de rendimiento de los equipos de carguío y transporte, proporcionados por el área de planeamiento de la Unidad Minera Tacaza.

3.7. Variables

$$Y = F(X)$$

Donde:

X : Variable independiente

Y : Variable dependiente

3.7.1. Variables independientes

Evaluación las operaciones de carguío y transporte.

3.7.2. Variables dependientes

- Productividad de las operaciones de carguío y transporte.
- Gestión del tiempo de trabajo.

3.8. Análisis de resultados

Tabla 3.2: Operacionalización de variables

| TIPO DE VARIABLES | | DEFINICIÓN CONCEPTUAL | DEFINICIÓN OPERATIVA | INDICADORES | ÍNDICES |
|-------------------------------|--|--|-------------------------|--|--------------------------|
| Variable Independiente | Evaluación las operaciones de carguío y transporte | Cantidad óptima de unidades de transporte asociadas para un equipo de carguío determinado | Factor de acoplamiento | FA = (Numero de Equipos* Ciclo de Carguío) / (Ciclo de Transporte) | - |
| | | | Número de equipos | N = Toneladas de material requerido / Producción por equipo | Unidades |
| | | | Carguío | (t de material) / (días trabajados por mes) | t/h m ³ /h |
| Variable Dependiente | Productividad de las operaciones de carguío y transporte | Es el promedio de unidades de producción (m ³ , t), realizadas por el equipo por cada unidad de tiempo de operación | Transporte | (m ³ de material) / (días trabajados por mes) | t/h m ³ /h |
| | | | Ciclo de carguío | tiempo (de maniobras + carga + descarga) | segundos/cuchara |
| | | | Ciclo de transporte | tiempo (de maniobras + ida con carga + vuelta sin carga) | min/viaje |
| | | | Disponibilidad mecánica | (Tp – tdm) / Tp | |
| Gestión del tiempo de trabajo | Clasificación del tiempo calendario | Utilización operativa | (Td – tdno) / Td | % | |
| | | Utilización efectiva | (To – tdo) / To | | |

Para mayor detalle ver Anexo 2. Matriz de consistencia.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Operación de carguío:

Distribución de equipos de carguío:

Actualmente en la Unidad Minera Tacaza se trabajaba con 03 excavadoras; 02 excavadoras en desmonte de 1,9 y 2,1 m³ de capacidad y 01 excavadora de 2,3 m³ de capacidad para el carguío de mineral. A cada equipo de carguío se le asigna 06 equipos de transporte según la necesidad y experiencia del ingeniero encargado de la operación, así mismo estos equipos se sitúan en los tajos José María o Tajo Central según el plan lo requiera., ver Anexo 3. Relación de equipos de carguío y transporte.

Gestión del tiempo de trabajo

Se ha recopilado la información de la distribución de tiempos de los equipos de carguío durante el periodo de toma de datos en campo en la Tabla 4.1, muestra la codificación y agrupación de la distribución de tiempos.

Tabla 4.1: Codificación de la distribución de tiempos de trabajo

| DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS DE TRABAJO | | | DESCRIPCIÓN | COD. |
|------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------|
| | | | Total, horas | (Ht) |
| | | | Horas no programadas | (Hnp) |
| | | | Horas programadas | (Hp) |
| | | | Tiempo demoras mecánicas | (Tdm) |
| | | | Horas disponibles | (Hd) |
| | | | Tiempo demoras no operativas | (Tdn) |
| HORAS PROGRAM ADAS (Hp) | HORAS DISPONI BLES (Hd) | HORAS TRABAJA DAS (Ho) | Horas operativas | (Ho) |
| | | | Tiempo demoras operativas | (Tdo) |
| | | | Horas efectivas | (Hef) |
| | | | Tiempo neto de operación | (Tno) |
| | | | Tiempo operación auxiliares | (Toa) |
| | | | HORAS EFECTIVAS (Hef) | |

Y en la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.**, se muestra los resultados de la toma de tiempo y su distribución durante un día de trabajo y para mayor detalle ver Anexo 10. Distribución de tiempo por actividades.

Tabla 4.2: Distribución de tiempos de trabajo

| CÓDIGO | HORAS | | | PROMEDIO |
|-------------------------|-----------|--------------|-----------|-----------|
| | CAT 336DL | HYUNDAI R360 | CAT 329D | |
| (Ht) | 24,00 | 24,00 | 24,00 | 24,00 |
| (Hnp) | 5,83 | 7,66 | 5,78 | 6,42 |
| (Hp) | 18,17 | 16,34 | 18,22 | 17,58 |
| (Tdm) | 0,12 | 0,35 | 0,14 | 0,20 |
| (Hd) | 18,05 | 15,99 | 18,09 | 17,38 |
| (Tdn) | 2,24 | 2,23 | 2,41 | 2,29 |
| (Ho) | 15,80 | 13,76 | 15,68 | 15,08 |
| (Tdop) | 2,06 | 2,24 | 2,54 | 2,28 |
| (Hef) | 13,75 | 11,52 | 13,14 | 12,80 |
| (Tno) | 13,63 | 11,38 | 12,74 | 12,58 |
| (Toa) | 0,12 | 0,15 | 0,40 | 0,22 |
| TIEMPO TOTAL (h) | 24 | 24 | 24 | 24 |

En la Figura 4.1, se muestra la comparación del tiempo programado versus el tiempo neto de operación de cada equipo, como se observa en el grafico el equipo CAT 336DL tiene mayor tiempo de operación neto con respecto a los otros equipos. La distribución de tiempos tomados puede observarse a mayor detalle en Anexo 4. Control de tiempos medidos de las actividades de carguío.

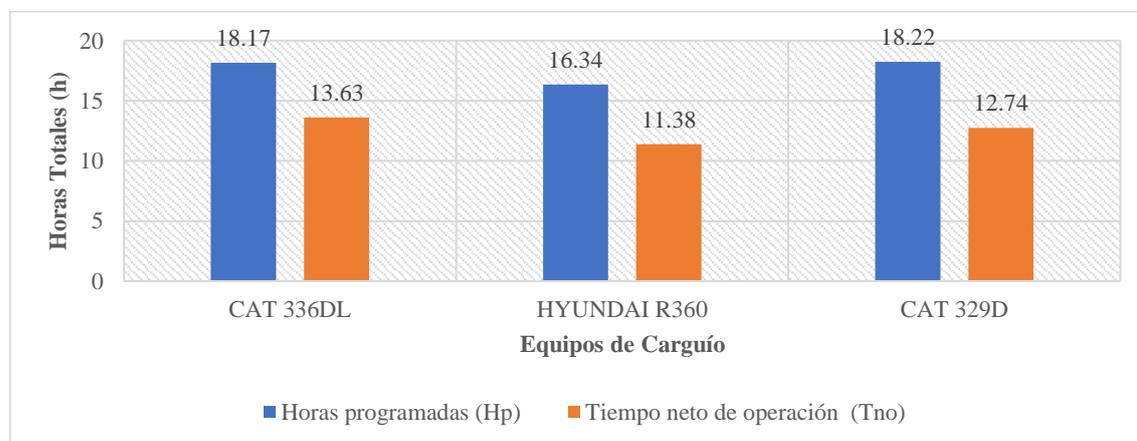


Figura 4.1: Horas programadas vs Tiempo neto de operación de carguío

En la Figura 4.2, se observa una comparación de los tiempos promedios del sistema distribución de tiempo, de las 17,58 horas disponibles solo 15,08 horas están dedicadas a la operación, de las cuales 12,80 horas son las efectivas de trabajo para la cuales fueron destinadas.

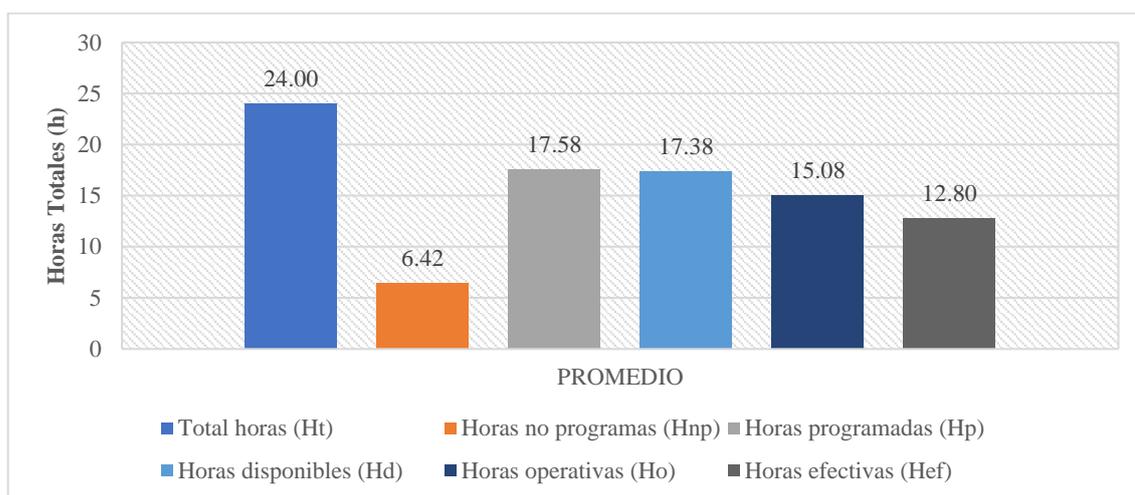


Figura 4.2: Distribución de tiempos promedio de carguío

Para un mayor detalle de la distribución de los tiempos ver Anexo 4. Control de tiempos medidos de las actividades de carguío.

De la información recopilada se determina los factores de utilización del tiempo para la actividad de carguío.

Tabla 4.3: Resumen de factores de utilización de equipos de carguío

| DESCRIPCIÓN | EXCAVADORA | | | PROMEDIO | UNIDAD |
|--|-------------|--------------|-------------|-------------|----------|
| | CAT 336DL | HYUNDAI R360 | CAT 329D | | |
| Factor de utilización de horas programadas | 0,76 | 0,68 | 0,76 | 0,73 | % |
| Factor de disponibilidad mecánica | 0,99 | 0,98 | 0,99 | 0,99 | % |
| Factor de utilización de horas operáticas | 0,88 | 0,86 | 0,87 | 0,87 | % |
| Factor de utilización de horas efectivas | 0,87 | 0,84 | 0,84 | 0,85 | % |
| Factor de utilización total | 0,76 | 0,71 | 0,72 | 0,73 | % |

Como se observa en el Tabla 4.3, el factor de utilización total o factor de eficiencia del sistema para el la actividad de carguío es de 73 %, los datos con los cuales fueron determinados estos factores de utilización con mayor detalle se observan en el Anexo 6. Distribución de tiempos de trabajo y factores de utilización del tiempo de equipos de carguío y transporte.

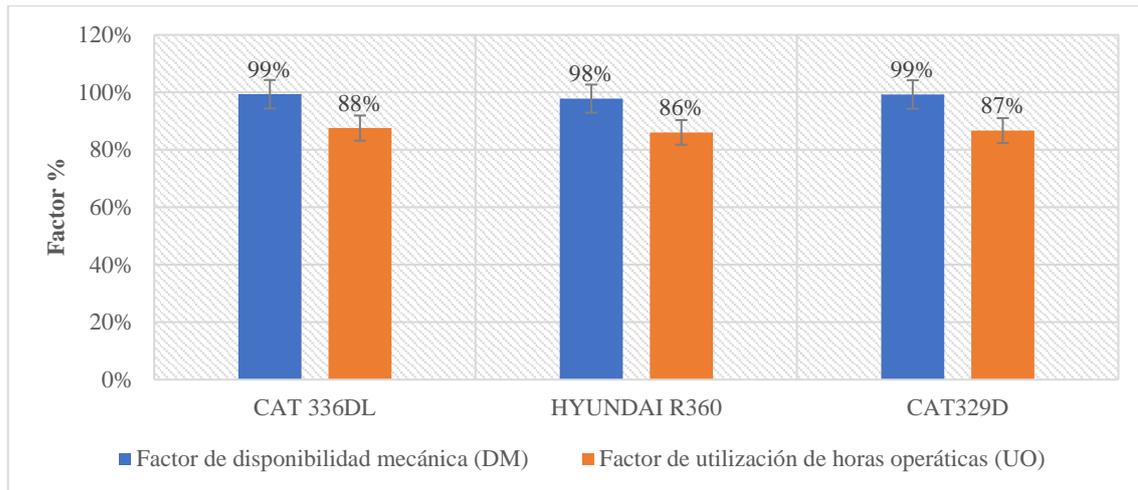


Figura 4.3: Disponibilidad mecánica vs Utilización de horas operativas

Como se observa en la Figura 4.3, se observa que cada equipo está haciendo uso efectivo de las horas operativas con respecto a la disponibilidad mecánica.

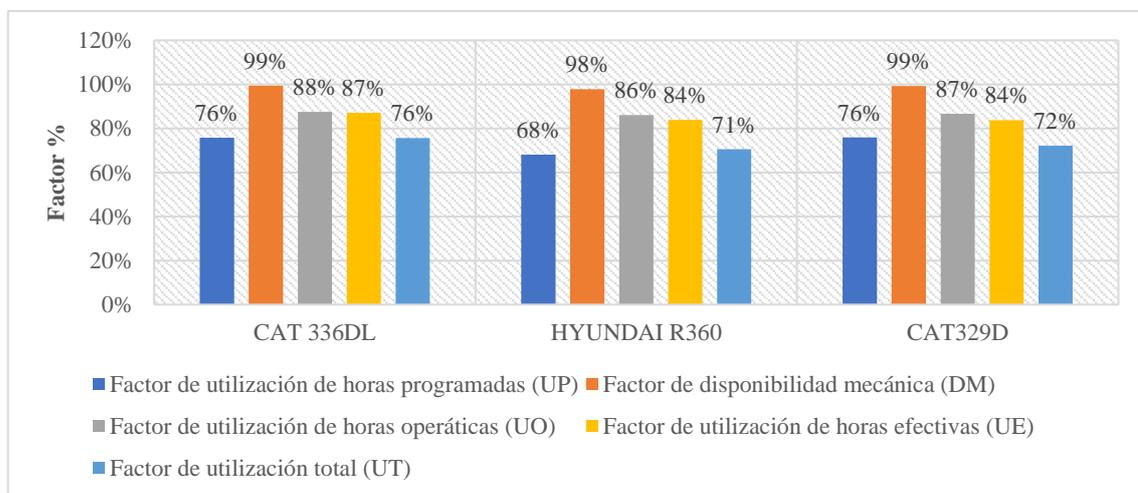


Figura 4.4: Factor de eficiencia por equipos de carguío

De la Figura 4.4, podemos observar que el equipos CAT 336DL está disponible el 99 %, de los cuales solo se hace uso el 87 % y para la actividad que fue designada solo se hace uso de 76 %, de igual manera para el equipos Hyundai R360 está disponible 98 % de los cuales para la actividad que fue designada es de 71 %, y el equipo CAT 329D hace uso del 76 % para la actividad que fue designado. esto nos indica que se está usando los tres equipos en paralelo.

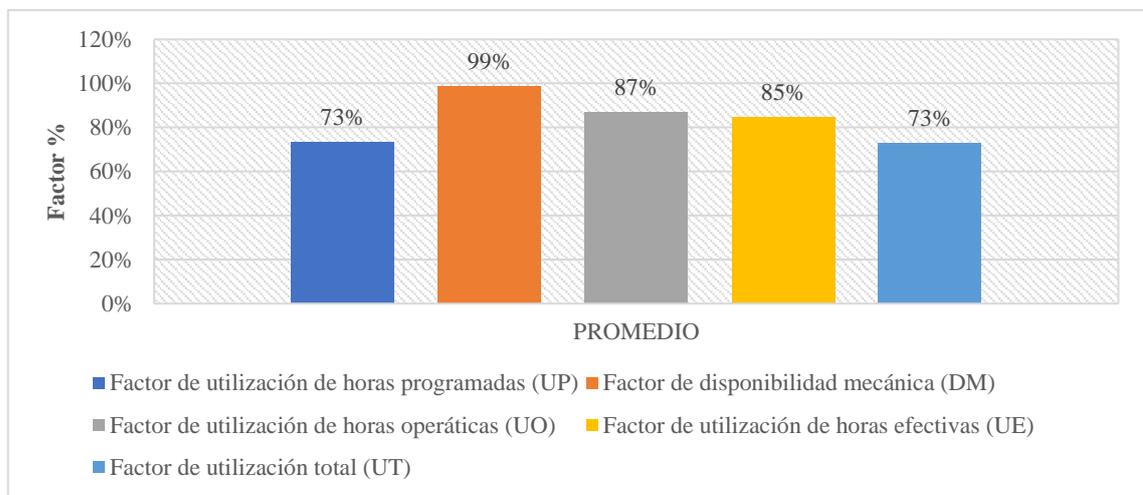


Figura 4.5: Factor de eficiencia del sistema de carguío

En la Figura 4.5, se muestra el promedio de los factores para los tres equipos, esto para poder estandarizar los cálculos para el plan de minado, de estos factores para hacer el cálculo se requiere la utilización de horas efectivas y el factor de utilización total.

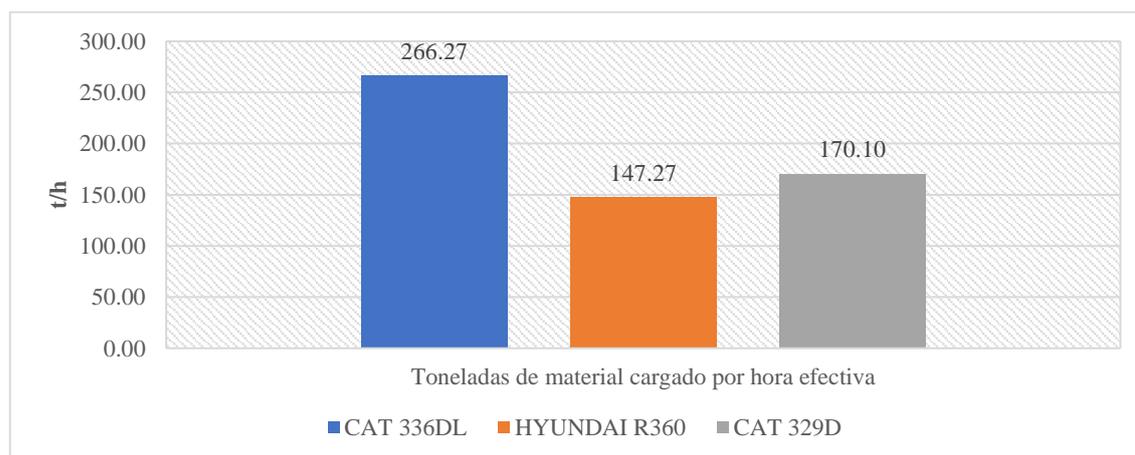
Para mayor detalle de los resultados ver Anexo 6. Distribución de tiempos de trabajo y factores de utilización del tiempo de equipos de carguío y transporte.

Rendimiento

Del estudio de tiempo que se ha realizado, también se determinó el rendimiento de cada equipo de carguío y se tiene lo siguiente:

Tabla 4.4: Resumen de rendimientos de equipos de carguío

| DESCRIPCIÓN | EXCAVADORA | | | PROMEDIO | UNIDAD |
|---|---------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------------|
| | CAT 336DL | HYUNDAI R360 | CAT 329D | | |
| Ciclo de carguío por chuchara | 40,0 | 32,3 | 35,0 | 35,8 | Segundos |
| Numero de pases para cargar a un volquete | 8 | 10 | 9 | 9 | Unidad |
| Capacidad de cucharon | 2,3 | 1,9 | 2,1 | 2,1 | m ³ |
| Factor de esponjamiento | 1,3 | 1,33 | 1,35 | 1,3 | % |
| Factor de llenado de cuchara | 0,82 | 0,75 | 0,8 | 0,79 | % |
| Densidad In-Situ | 2,66 | 1,68 | 1,85 | 2,06 | t/m ³ |
| Carga neta de cucharon en volumen | 1,89 | 1,43 | 1,68 | 1,66 | m ³ /cuch. |
| Carga neta de cucharon en toneladas | 3,86 | 1,80 | 2,30 | 2,65 | t/cuch. |
| Maniobras de volquete y excavadora | 1,89 | 2,06 | 1,97 | 1,97 | Minutos |
| Tiempo de ciclo de carguío a volquete | 3,44 | 3,32 | 1,97 | 2,91 | Minutos |
| Tiempo total del ciclo de carguío a volquete | 5,33 | 5,38 | 5,25 | 5,32 | Minutos |
| Rendimiento por hora total en volumen | 171,23 | 161,93 | 174,83 | 169,33 | m ³ /h |
| Rendimiento por hora total en toneladas | 350,36 | 204,54 | 239,58 | 264,82 | t/h |
| Factor de eficiencia | 0,76 | 0,72 | 0,71 | 0,73 | % |
| Rendimiento horario efectivo | 266,27 | 147,27 | 170,10 | 194,55 | t/h |

**Figura 4.6: Rendimiento efectivo por equipo y material de carguío**

La Tabla 4.4, muestra el resumen del Anexo 7, donde se muestra cómo se determinó estos resultados para los equipos de carguío. Para mayor detalle de los

resultados de los rendimientos de cada equipo ver Anexo 7. Producción, duración ciclo de acarreo y rendimiento equipos de carguío.

Tiempos muertos para la excavadora

Los tiempos muertos de la excavadora se presentaron con las esperas por falta de volquetes. De acuerdo al análisis de la Tabla 4.4 se tiene la Figura 4.7 que muestra en porcentaje la distribución de tiempos de la excavadora, la cual destina 3,44 min a realizar el carguío, 1,32 min a excavar y 0,57 min a esperar equipos de transporte.

El tiempo de excavación de 25 % es un porcentaje referencial debido a que los operadores de las excavadoras cuando no hay volquetes para cargar optan mayormente por realizar esta actividad. El tiempo de espera equivalente al 11 % es elevado; para una optimización es crucial que las esperas se eliminen por más pequeñas que sean.

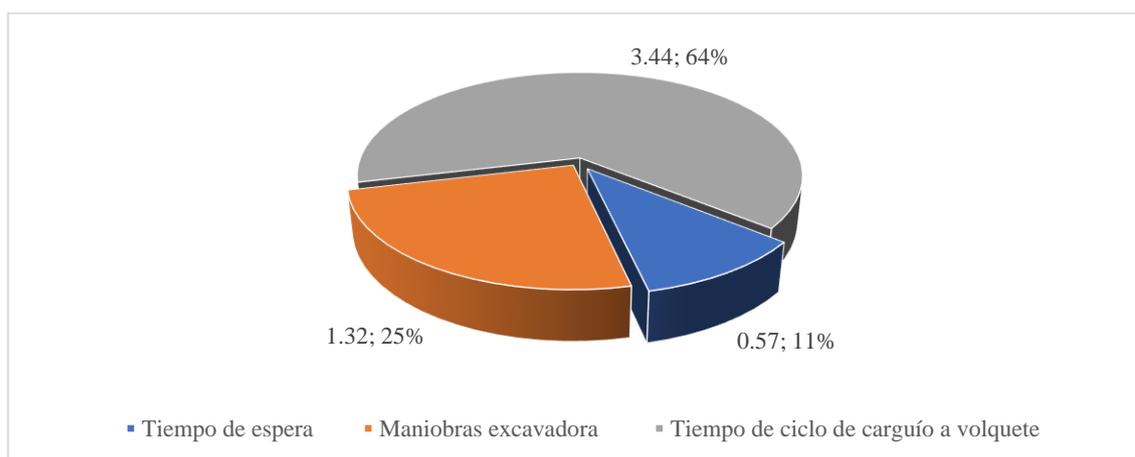


Figura 4.7: Distribución de tiempo de carguío de mineral de excavadora

El tiempo de ciclo de carguío representa el 64 % para optimizar estas actividades es recomendable subir dicho porcentaje a 75 %.

4.1.2. Diagnóstico.

Se puede observar que el rendimiento promedio de los equipos de carguío CAT 336DL, Hyundai R360 y CAT 329D es de 266,27 t/h, 147,27 t/h y 170,10 t/h respectivamente, esto porque cada uno de los equipos son de diferentes características y capacidades de cuchara.

Así mismo se observa que la Disponibilidad Mecánica se encuentra en un 99 % lo que indica que el equipo se encuentra en buenas condiciones y apto para trabajar, más por el contrario el factor de Utilización de Horas Operativas se encuentra en un 87 % que indica que existe demoras operativas, es por lo que el factor de Utilización de Horas Efectivas resulta en un 73 %.

4.1.3. Operación de transporte:

Distribución de equipos de transporte:

Actualmente para el transporte de material en la Unidad Minera Tacaza se realiza con 18 volquetes por turno de 15 m³ de capacidad nominal promedio y una en *stand by*, los cuales transportan una carga de 25 t en promedio, cada equipo de carguío tiene asignado 06 equipos de transporte.

Gestión de tiempo de trabajo

Se ha recopilado la información de la distribución de tiempos de los equipos de transporte durante el periodo de toma de datos en campo, en la Tabla 4.6, se muestra los resultados de la toma de tiempos y su distribución durante un día de trabajo, y la Tabla 4.5, muestra la codificación y agrupación de la distribución de tiempos para un mejor entendimiento:

Tabla 4.5: Codificación de la distribución de tiempos de trabajo

| DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS DE TRABAJO | | | | DESCRIPCIÓN | COD. |
|------------------------------------|---------|---------|------------------|------------------------------|--------|
| | | | | Total, horas | (Ht) |
| | | | | Horas no programas | (Hnp) |
| | | | | Horas programadas | (Hp) |
| | | | | Tiempo demoras mecánicas | (Tdm) |
| | | | | Horas disponibles | (Hd) |
| HORAS | | | | Tiempo demoras no operativas | (Tdno) |
| PROGRAM | HORAS | | | Horas operativas | (Ho) |
| ADAS | DISPONI | HORAS | | Tiempo demoras operativas | (Tdop) |
| (Hp) | BLES | TRABAJA | | Horas efectivas | (Hef) |
| | (Hd) | DAS | HORAS | Tiempo neto de operación | (Tno) |
| | | (Ho) | EFFECTIVAS (Hef) | Tiempo operación auxiliares | (Toa) |

La distribución de cada de las horas consideradas en la Tabla 4.6, se ve con más detalle en Anexo 10. Distribución de tiempo por actividades, en el cual se indica cada distribución de tiempos que se tomó en cuenta para el análisis de la operación de carguío.

Tabla 4.6: Distribución de tiempos de trabajo

| CÓDIGO | HORAS | | | | | | PROMEDIO |
|-------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | F9O-869 | X3L-836 | C2O-823 | A8X-908 | AKU-903 | Z3F-917 | |
| (Ht) | 24,00 | 24,00 | 24,00 | 24,00 | 24,00 | 24,00 | 24,00 |
| (Hnp) | 9,30 | 10,33 | 8,28 | 5,80 | 11,40 | 5,80 | 9,02 |
| (Hp) | 14,70 | 13,67 | 15,72 | 18,20 | 12,60 | 18,20 | 14,98 |
| (Tdm) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 4,50 | 0,00 | 3,41 | 0,90 |
| (Hd) | 14,70 | 13,67 | 15,72 | 13,70 | 12,60 | 14,79 | 14,08 |
| (Tdno) | 1,34 | 1,50 | 1,31 | 1,42 | 1,42 | 1,29 | 1,40 |
| (Ho) | 13,35 | 12,17 | 14,41 | 12,28 | 11,18 | 13,50 | 12,68 |
| (Tdop) | 2,04 | 3,16 | 2,14 | 2,64 | 2,82 | 2,33 | 2,56 |
| (Hef) | 11,31 | 9,01 | 12,26 | 9,63 | 8,36 | 11,17 | 10,12 |
| (Tno) | 11,31 | 9,01 | 12,26 | 9,63 | 8,36 | 11,17 | 10,12 |
| (Toa) | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| TIEMPO TOTAL (h) | 24,00 |

En la Figura 4.8, se muestra la comparación del tiempo programado versus el tiempo neto de operación de cada equipo de transporte, como se observa en el grafico el equipo A8X-908 tiene mayor tiempo de operación neto con respecto a los otros equipos.

La distribución de tiempos tomados puede observarse a mayor detalle en Anexo 5. Control de tiempos medidos de las actividades de transporte.

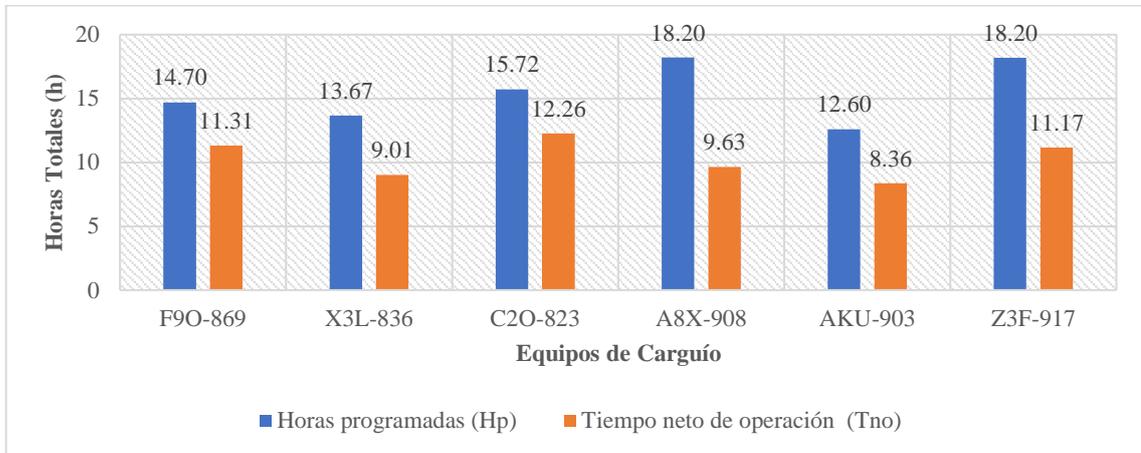


Figura 4.8: Horas programadas vs Tiempo neto de operación de transporte

En la Figura 4.9, se observa una comparación de los tiempos promedios del sistema distribución de tiempo, de las 14,08 horas disponibles solo 12,68 horas están dedicadas a la operación, de las cuales 10,12 horas son las efectivas de trabajo para la cuales fueron destinadas.

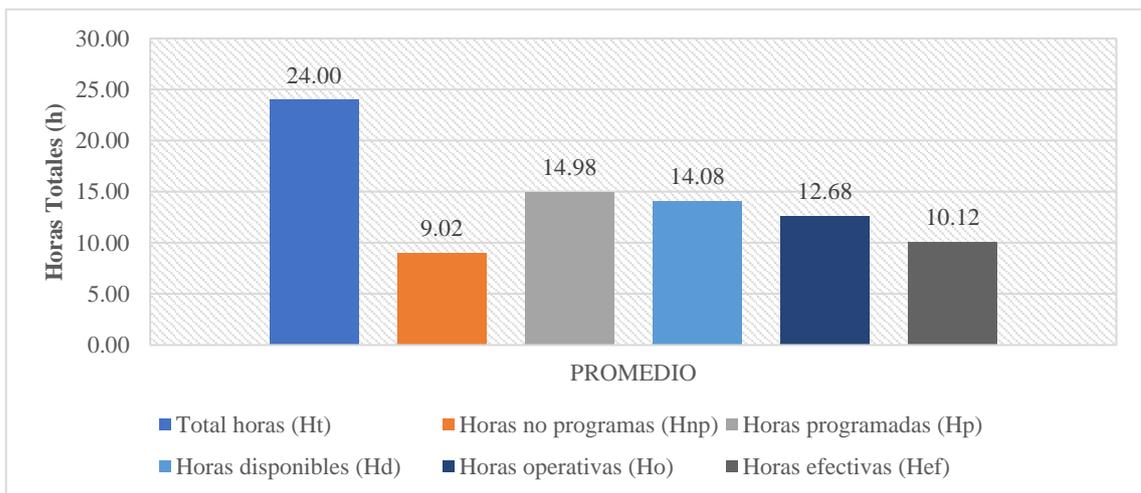


Figura 4.9: Distribución de tiempos promedio de transporte

Para un mayor detalle de la distribución de los tiempos ver Anexo 5. Control de tiempos medidos de las actividades de transporte.

De la información recopilada se determina los factores de utilización del tiempo para la actividad de transporte, por lo tanto, el factor de utilización total o tiempo efectivo es de 67 %.

Tabla 4.7: Resumen de factores de utilización de equipos de transporte

| DESCRIPCIÓN | VOLQUETE | | | | | | PROMEDIO | UNIDAD |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| | F90-869 | X3L-836 | C20-823 | A8X-908 | AKU-903 | Z3F-917 | | |
| Factor de utilización de horas programadas | 0,61 | 0,57 | 0,66 | 0,76 | 0,53 | 0,76 | 0,65 | % |
| Factor de disponibilidad mecánica | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 0,75 | 1,00 | 0,81 | 0,93 | % |
| Factor de utilización de horas operáticas | 0,91 | 0,89 | 0,92 | 0,90 | 0,89 | 0,89 | 0,90 | % |
| Factor de utilización de horas efectivas | 0,85 | 0,74 | 0,85 | 0,78 | 0,75 | 0,83 | 0,80 | % |
| Factor de utilización total | 0,77 | 0,66 | 0,78 | 0,53 | 0,66 | 0,61 | 0,67 | % |

Los datos con los cuales fueron determinados estos factores de utilización con mayor detalle se observan en el Anexo 6. Distribución de tiempos de trabajo y factores de utilización del tiempo de equipos de carguío y transporte.

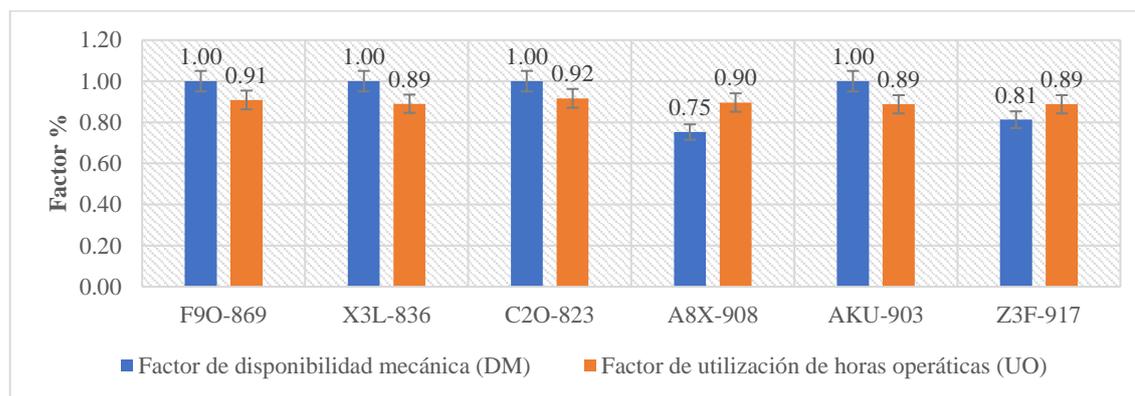


Figura 4.10: Disponibilidad mecánica vs Utilización de horas operativas

Como se observa en la Figura 4.10, se observa que cada equipo está haciendo uso efectivo de las horas operativas con respecto a la disponibilidad mecánica.

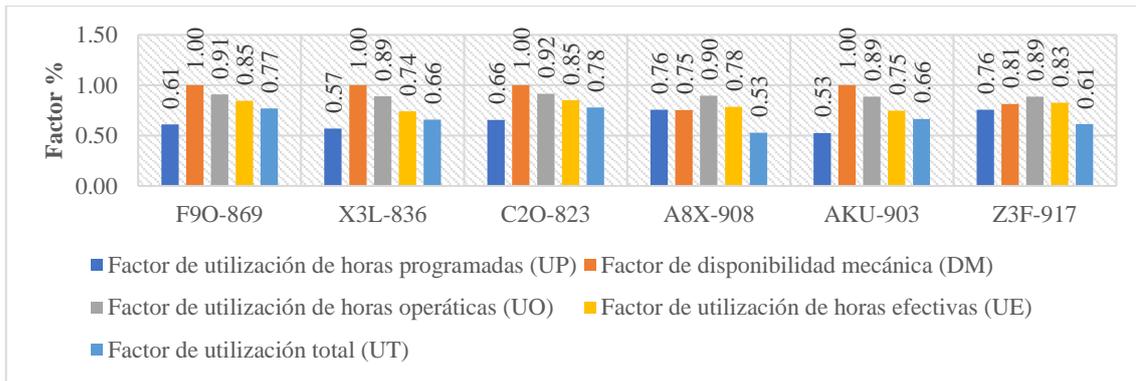


Figura 4.11: Factor de eficiencia por equipos de transporte

En la Figura 4.12, se muestra el promedio de los factores para los tres equipos, esto para poder estandarizar los cálculos para el plan de minado, de estos factores para hacer el cálculo se requiere la utilización de horas efectivas y el factor de utilización total.

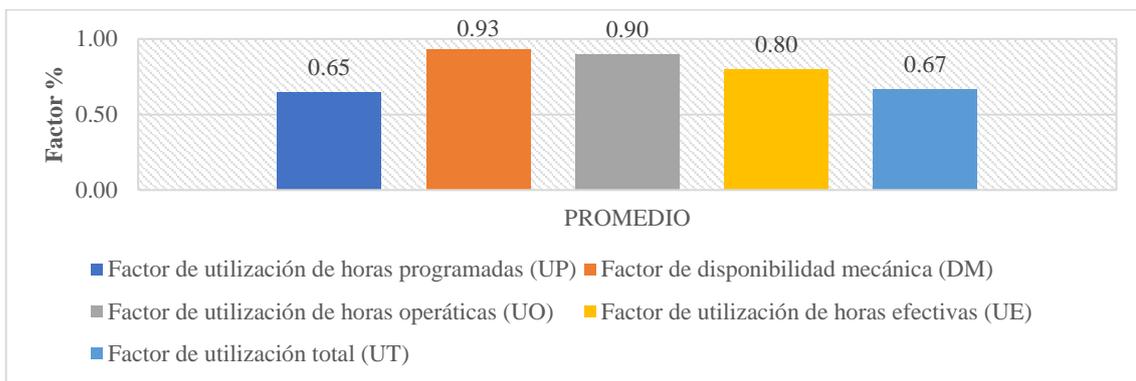


Figura 4.12: Factor de eficiencia del sistema de transporte

Para mayor detalle de los resultados ver Anexo 6. Distribución de tiempos de trabajo y factores de utilización del tiempo de equipos de carguío y transporte.

Rendimiento:

De igual manera se realizado un estudio de tiempo de la situación actual y en la Figura 4.13 se muestra la comparación de rendimientos horarios efectivos de los equipos.

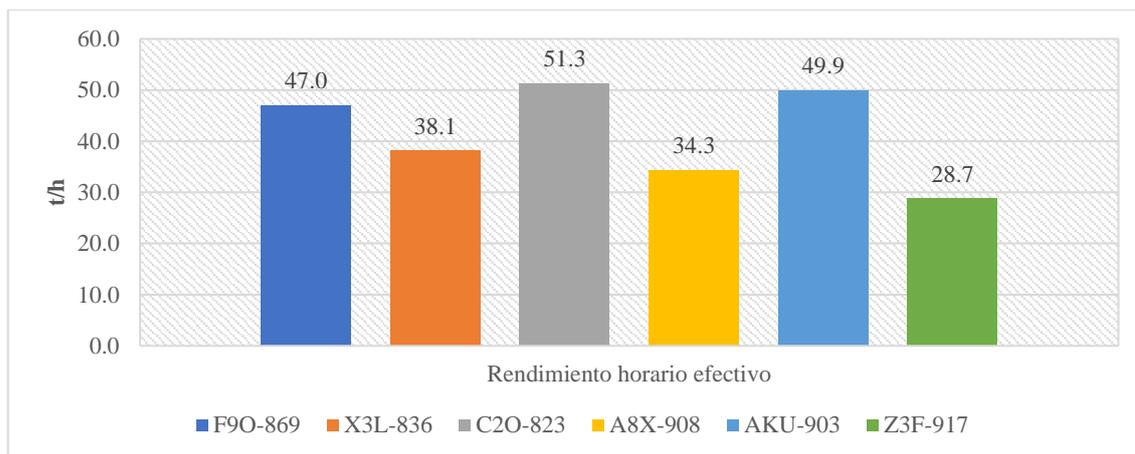


Figura 4.13: Rendimiento efectivo por equipo y material de transporte

La Tabla 4.8, muestra el resumen del Anexo 8, donde se muestra cómo se determinó estos resultados para los equipos de transporte, se hizo el control de actividades para cada equipos durante las horas programadas, el cual implica el control de tiempo de las maniobras para el carguío, carguío, maniobras para la descarga, descarga, tiempo de recorrido con carga, tiempo de recorrido sin carga y el tiempo en operaciones auxiliares.

De esta figura también se puede extraer que el rendimiento efectivo de los equipos es variable y no son comparables entre sí, ya que la actividad que realizar siempre es distinta, es por lo que para efectuar una optimización se debe comprar actividades similares, con este método de trabajo; la excavadora se encuentra trabajando de manera continua y necesita de la flota de camiones cuyo rendimiento horario efectuó sea cercano a 100 %.

Para mayor detalle de los resultados de los rendimientos de cada equipo de transporte ver Anexo 8. Producción, duración ciclo de acarreo y rendimiento equipos de transporte

Tabla 4.8: Resumen de rendimientos de equipos de transporte

| DESCRIPCIÓN | VOLQUETE | | | | | | PROMEDIO | UNIDAD |
|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------|
| | F9O-869 | X3L-836 | C2O-823 | A8X-908 | AKU-903 | Z3F-917 | | |
| Maniobras para el carguío | 35,1 | 22,6 | 51,2 | 50,1 | 24,2 | 48,7 | 38,7 | Segundos |
| Carguío | 179,6 | 200,0 | 176,3 | 172,2 | 220,9 | 216,6 | 194,3 | Segundos |
| Maniobras para la descarga | 59,0 | 23,2 | 34,9 | 59,9 | 24,4 | 33,6 | 39,2 | Segundos |
| Descarga | 76,9 | 125,2 | 75,3 | 71,7 | 221,3 | 73,4 | 107,3 | Segundos |
| Tiempo en recorrido con carga | 405,8 | 506,1 | 404,9 | 442,1 | 546,1 | 998,0 | 550,5 | Segundos |
| Tiempo en recorrido sin carga | 330,2 | 365,6 | 358,4 | 345,1 | 444,0 | 904,5 | 458,0 | Segundos |
| Tiempo en operaciones auxiliares | 10,1 | 8,3 | 21,9 | 27,6 | 33,9 | 34,6 | 22,7 | Segundos |
| Total, Ciclo de Transporte | 18,3 | 20,9 | 18,7 | 19,5 | 25,2 | 38,5 | 23,5 | Minutos |
| Capacidad de Volquete | 14,5 | 15,8 | 14,8 | 15,2 | 15,4 | 14,8 | 15,1 | m ³ /volq. |
| % de Esponjamiento de Material | 1,33 | 1,33 | 1,35 | 1,35 | 1,30 | 1,30 | 1,33 | % |
| Densidad In-Situ | 1,68 | 1,68 | 1,85 | 1,85 | 2,66 | 2,66 | 2,06 | t/ m ³ |
| Carga util de Volquete | 10,90 | 11,88 | 10,96 | 11,26 | 11,85 | 11,35 | 11,37 | m ³ /volq. |
| Carga util de Volquete | 18,32 | 19,96 | 20,28 | 20,83 | 31,51 | 30,18 | 23,51 | t/volq. |
| Rendimiento por hora total | 36,3 | 34,4 | 35,6 | 35,0 | 28,4 | 17,7 | 31,2 | m ³ /h |
| Rendimiento por hora total | 61,0 | 57,8 | 65,8 | 64,7 | 75,7 | 47,1 | 62,0 | t/h |
| Factor de eficiencia | 0,77 | 0,66 | 0,78 | 0,53 | 0,66 | 0,61 | 0,67 | % |
| Rendimiento horario efectivo | 47,0 | 38,1 | 51,3 | 34,3 | 49,9 | 28,7 | 41,6 | t/h |

Como se puede observar el rendimiento promedio de la operación de transporte cuando se transporta del Tajo Central 49,9 t/h y del Tajo José María es de 28,7 t/h, el tiempo promedio de transporte es de transporte de mineral del Tajo Central a la cancha de gruesos es de 25,2 minutos y para el tajo José María es de 38,5 minutos, así mismo se puede calcular un rendimiento horario efectivo promedio para el sistema, para mayor detalle de estos resultados ver Anexo 8. Producción, duración ciclo de acarreo y rendimiento equipos de transporte.

Tiempos muertos para los volquetes

Cuando existe formación de colas, estas incrementan el tiempo del ciclo promedio de carguío y transporte desde 1,3 min a 1,1 min, equivalentes al 4 % y 5 % respectivamente como se muestra en la Figura 4.14 y Figura 4.15.

Las colas se presentaron mayormente en descargas con pendiente negativa para la conformación del dique del contenedor número cuatro y cuando se ingresa a los frentes de carga de un solo carril. Para disminuir estos porcentajes se recomienda realizar descargas en retirada y adecuar vías de doble carril.

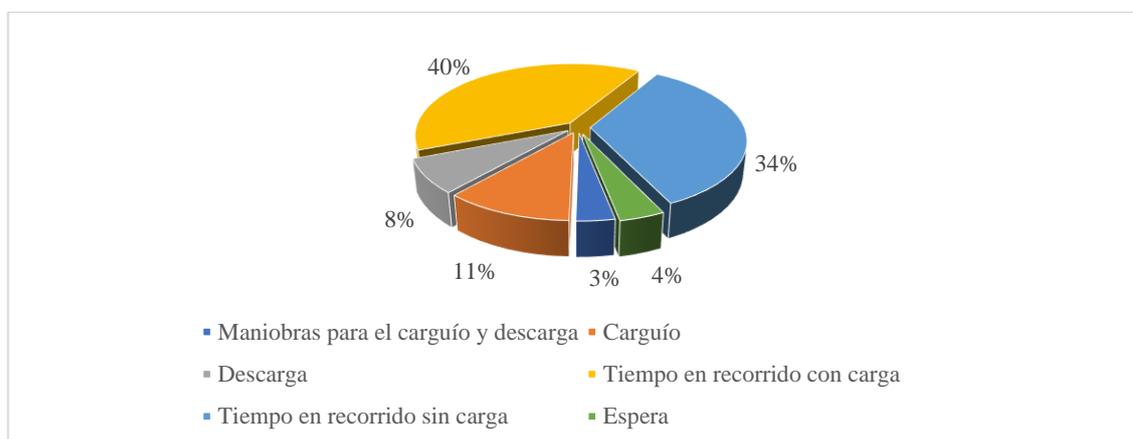


Figura 4.14: Factores que incrementan el tiempo del ciclo de transporte de mineral

Cabe indicar que los porcentajes de colas y esperas solo brindan una referencia puesto que no son determinantes, ya que los tiempos muertos no se presentan siguiendo una periodicidad; es decir, no se conoce el momento exacto de cuando van a ocurrir y en qué cantidad se van a generar.

Es importante para verificar la existencia de tiempos muertos en las operaciones de carguío y transporte, ya que tener estos parámetros controlados ayuda a mejorar la productividad del sistema carguío y transporte, dado que esos tiempos se acumulan.

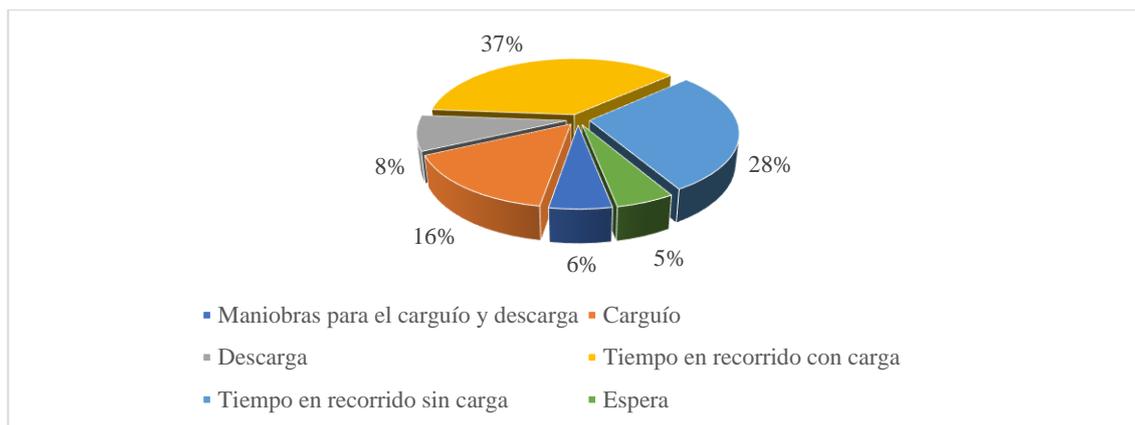


Figura 4.15: Factores que incrementan el tiempo del ciclo de transporte de desmonte

Distancia:

De acuerdo al tipo de material las distancias irán variando, es por lo que se ha realizado una recopilación de distancias promedios de los diferentes puntos de carguío hacia los correspondientes puntos de llegada.

Para mayor detalle de todas las rutas de transporte ver Anexo 9. Distancias de transporte de material medidas en la unidad minera.

Tabla 4.9: Principales rutas y distancias de transporte de mineral y desmonte

| N° | MATERIAL | ORIGEN | DESTINO | RUTA | | TOTAL |
|----|--------------|--------------------|-----------------------------|--------|-----|---------|
| | | | | INICIO | FIN | |
| 01 | | Mineral | Cancha de gruesos | TJM | CG | 2 003,2 |
| 05 | | Desmonte | Depósito de desmonte | TJM | CD | 801,8 |
| 09 | Tajo José | | Dique de contenedor N 4 | TJM | DC | 1 091,0 |
| 13 | maría | Óxidos | Cancha de óxidos | TJM | BO | 870,5 |
| 17 | | Mineral de segunda | Cancha mineral de segunda | TJM | BMS | 810,2 |
| 21 | | <i>top soil</i> | Depósito de <i>top soil</i> | TJM | BT | 697,8 |
| 23 | | Mineral | Cancha de gruesos | TC | CG | 1 012,0 |
| 27 | | Desmonte | Depósito de desmonte | TC | CD | 1 067,0 |
| 31 | Tajo Central | | Dique de contenedor N 4 | TC | DC | 531,0 |
| 35 | | Óxidos | Cancha de óxidos | TC | BO | 854,3 |
| 39 | | Mineral de segunda | Cancha mineral de segunda | TC | BMS | 697,8 |
| 43 | | <i>top soil</i> | Depósito de <i>top soil</i> | TC | BT | 823,6 |

Las rutas y las distancias que se muestran en la Tabla 4.9, representa un resumen de las principales arterias de transporte, para fines de cálculo.

4.1.4. Diagnóstico.

Se puede observar que el rendimiento promedio de los equipos de transporte es de 47,0 y 38,1 t/h en desmante por excavación; 51,3 y 34,3 t/h en desmante por voladura y 49,9 y 28,7 t/h en mineral en los tajos José María y Tajo Central respectivamente.

Así mismo se observa que la disponibilidad mecánica se encuentra en un 93 % lo que indica que el equipo se encuentra en buenas condiciones y apto para trabajar, más por el contrario el factor de utilización de horas operativas se encuentra en un 90 % que indica que existe demoras operativas, es por lo que el factor de utilización de horas efectivas resulta en un 67 %.

La distancia de transporte de mineral y desmante irán variando año a año debido a que el tajo va profundizando. Para mayor detalle de las distancias equivalentes ver Anexo 9. Distancias de transporte de material medidas en la unidad minera.

4.1.5. Cálculo de la nueva flota de carguío y transporte.

Carguío

El carguío del mineral de mina a la cancha de gruesos se realizará mediante la excavadora CAT-336DL, el carguío de desmante se realiza con la excavadora Hyundai R360 y la excavadora CAT-329D, por su versatilidad realiza ambas actividades de acuerdo a la necesidad del momento, ya que este equipo se encuentra en *stand by*, también es importante resaltar que según la necesidad de la operación estos equipos pueden realizar otras actividad las cuales no fueron consideradas para los fines de esta investigación.

En la Tabla 4.10 se muestra las características técnicas de los equipos de carguío, cabe indicar que el fabricante no indica el tiempo de ciclo nominal de estos equipos a la misma altura en la que se desarrolla el proyecto, ya que el rendimiento del equipo varía conforme a la altura con respecto al mar en la que se desempeña.

Tabla 4.10: Características técnicas de los equipos de carguío

| DESCRIPCIÓN | CAT 336 DL | HYUNDAI R 360 LC 7A | CAT 329 D |
|---------------------------|---------------------|------------------------|--------------------|
| Peso de trabajo | 33,750 t | 37,4 t | 29,240 t |
| Modelo de motor | Cat C9 ACERT | QSL | Cat C7 ACERT |
| Dimensiones | 11,2 * 3,37 m | 11,12 * 3,34 m | 10,41 * 3,63 m |
| Rendimiento de motor | 200 Kw | 221 Kw | 152 Kw |
| Capacidad de pala | 2,30 m ³ | 1,9 m ³ | 2,1 m ³ |
| Ciclo nominal | 3.2 min | 2.9 min | 3.1 min |
| Anchura zapata | 800 mm | 600 mm | 700 mm |
| Pluma | M | MB 8,9 l | M |
| Revoluciones | 1850 RPM | 1850 RPM | 1650 RPM |
| Alcance lateral | 11,640 m | 12,38 m | 11,153 m |
| Profundidad de excavación | 8,09 m | 8,6 m | 7,83 m |
| Fuerza de rotura | 222 kN | 249,3 kN | 201 kN |

Fuente: Ficha técnica de cada equipo.

Se realizó el cálculo de flota de carguío, para este cálculo la cantidad de material a remover por mes fue tomada según el Plan de Minado del segundo trimestre proporcionado el área de planeamiento, la capacidad de cuchara fue determinado en campo con la técnica de saturación con agua.

Las horas trabajadas, los ciclos de carguío, los rendimientos, el tonelaje movido por cada excavadora se tomaron del control de tiempos que se realizó previo a la redacción de este estudio.

Para cumplir con la producción mensual se requiere 02 excavadoras más 01 en *stand by*, cada una trabajando 09 horas guardia, 02 guardias al día y 20 días al mes como se muestra en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11: Dimensionamiento de equipos de carguío

| PARÁMETROS DE CARGUÍO CON EXCAVADORA | MINERAL | DESMONTE | | | |
|---|--------------------------|-----------------------|---------------|---------------|---------------------------|
| | | VOLADURA | EXCAVACIÓN | | |
| Producción requerida por mes | 36,000 | th/mes | 33,000 | 12,000 | m ³ /mes |
| Numero de pases para cargar a un volquete | 8 | pases | 9 | 10 | pases |
| Capacidad de cucharon | 2,3 | m ³ /volq. | 2,1 | 1,9 | m ³ /volq |
| Factor de esponjamiento | 1,3 | % | 1,35 | 1,33 | % |
| Factor de llenado de cuchara | 0,82 | % | 0,8 | 0,75 | % |
| Densidad In-Situ | 2,66 | t/m ³ | 1,85 | 1,68 | t/m ³ |
| Carga neta | m ³ 1,89 | m ³ /cuch. | 1,68 | 1,43 | m ³ /cuch. |
| | t 3,86 | th/ cuch. | 2,30 | 1,80 | th/ cuch. |
| Maniobras de volquete y excavadora | 1,89 | min. | 1,97 | 2,06 | min. |
| Tiempo de ciclo de carguío a volquete | 3,44 | min. | 3,29 | 3,32 | min. |
| Tiempo total del ciclo de carguío a volquete | 5,33 | min. | 5,25 | 5,38 | min. |
| Rendimiento por hora total | m ³ 169,80 | m ³ /h. | 172,71 | 158,88 | m ³ /h. |
| | t 347,43 | th/h. | 236,68 | 200,68 | th/h. |
| Factor de eficiencia | 0,76 | % | 0,71 | 0,72 | % |
| Rendimiento horario efectivo | 264,05 | th/h. | 122,63 | 114,39 | m³/h. |
| Horas maquina requerida por mes para carguío | 136,34 | h. exc./mes | 269,11 | 104,90 | h exc/mes |
| Otros (30 %) | 40,90 | h. exc./mes | 80,73 | 31,47 | h exc/mes |
| Total, horas máquina requerida | 177,24 | total, h. exc. | 349,84 | 136,38 | total, h exc |
| Total, horas Excavadora requerido al mes | | 659,25 | | | Total, h Exc. |
| Días programados mes | | 20 | | | Dia/mes |
| Turnos programados día | | 2 | | | Turnos/mes |
| Horas programadas por turno | | 9 | | | h./turno |
| Numero guardias de carguío requeridos por mes | | 37 | | | Total, Guardias |
| Numero equipos requeridos por mes | | 2 | | | Equipos de Carguío |

Además, se puede observar que la eficiencia de la excavadora en mineral es más alta que en desmonte, debido a la selectividad de mineral, selección y rotura de bancos, presencia de laboreos antiguos y otros.

Transporte

Se ha realizado la toma de tiempo de transporte de mineral y desmonte a sus respectivos destinos, con los cuales se calcula el número de equipos necesarios por mes, en la Tabla 4.12 se muestra dichos resultados.

Según los resultados mostrados en la Tabla 4.12, deducimos que se requiere 04 volquetes para el transporte de mineral hacia la Planta Concentradora, debido que el transporte está ligado directamente al carguío, esta cantidad de flota en mineral nos permite un continuo flujo sin tiempos de espera en la excavadora. En desmonte se requiere una flota de 08 volquetes, debido a una eficiencia mayor

en el carguío y una distancia menor en el transporte de desmonte que son destinados hacia el muro de los contenedores de relaves espesados.

Esto para cumplir con el movimiento de material requerido por mes y por contingencia es necesario agregar 02 volquetes en *stand by* para cada turno.

Tabla 4.12: Dimensionamiento de equipos de transporte

| PARÁMETROS DE TRANSPORTE CON VOLQUETE | MINERAL | DESMONTE | |
|---|------------------------|----------------------------|------------------------------|
| | | VOLADURA | EXCAVACIÓN |
| Distancia Ida | 1508 km | 811 | 934 km |
| Distancia Vuelta | 1508 km | 811 | 934 km |
| Destino | 3015 km | 1622 | 1869 km |
| Maniobras para el carguío | 0,6 min. | 0,8 | 0,5 min. |
| Carguío | 3,6 min. | 2,9 | 3,2 min. |
| Maniobras para la descarga | 0,5 min. | 0,8 | 0,7 min. |
| Descarga | 2,5 min. | 1,2 | 1,7 min. |
| Tiempo en recorrido con carga | 12,9 min. | 7,1 | 7,6 min. |
| Tiempo en recorrido sin carga | 11,2 min. | 5,9 | 5,8 min. |
| Pesaje en Balanza | 0,6 min. | 0,4 | 0,2 min. |
| Total, Ciclo de Transporte | 31,9 min. | 19,1 | 19,6 min. |
| Producción requerida por mes | 36 000 th/mes | 33 000 | 12 000 th/mes |
| Capacidad de Volquete | 15,1 m ³ | 15,0 | 15,2 m ³ |
| % de Esponjamiento de Material | 1,3 % | 1,4 | 1,3 % |
| Densidad In-Situ | 2,66 t/m ³ | 1,85 | 1,68 t/m ³ |
| Carga neta | m ³ 11,6 | m ³ /volq. 11,1 | m ³ /volq. 11,4 |
| | t 30,85 | th/volq. 20,56 | th/volq. 19,14 |
| Rendimiento por hora total | m ³ 21,8 | m ³ /h. 34,9 | m ³ /h. 34,9 |
| | t 58,1 | th/h. 64,6 | th/h. 58,7 |
| Factor de eficiencia | 0,64 % | 0,66 | 0,72 % |
| Rendimiento horario efectivo | 36,9 | th/h. 22,9 | 25,0 m³/h. |
| Horas maquina requerida por mes para transporte | 976,2 h. vol./mes | 1 443,2 | 480,5 h. vol./mes |
| Otros (30 %) | 292,9 h. vol./mes | 433,0 | 144,1 h. vol./mes |
| Total, horas máquina requerida | 1 269,1 total, h. vol. | 1 876,2 | 624,6 total, h. vol. |
| Numero de guardias requeridos por mes | 71 Dias/mes | 104 | 35 Grdia/mes |
| Numero equipos requeridos por mes | 4 Volq./mes | 6 | 2 Volq./mes |
| Días programados mes | 20 | | Dia/mes |
| Turnos programados día | 2 | | Turnos/mes |
| Horas programadas por turno | 9 | | h./turno |
| Número total de guardias requeridos por mes | 209 | | Total, Guardias |
| Número total de equipos requeridos por mes | 12 | | Equipos de Carguío |

4.1.6. Factor de acoplamiento

De acuerdo al análisis de tiempo realizados tanto para la actividad de carguío y transporte, se puede observar que existe demoras no operativas que pueden ser evitadas como es la espera de volquete para ser cargado, la aglomeración de volquetes y la ausencia de los mismos, este problema puede ser solucionado con una correcta distribución de volquetes para cada excavadora.

Para lo cual se realizará un análisis pormenorizado del factor de acoplamiento de las flotas que realizar la actividad en la Unidad Minera.

Tabla 4.13: Parámetros de análisis

| CASO | DESCRIPCIÓN | PARÁMETRO |
|------|--|-----------|
| 1 | Cuando hay exceso de excavadoras; la eficiencia del carguío es 100 % | FA < 1 |
| 2 | Cuando hay exceso de volquetes; la eficiencia de transporte es 100 % | FA > 1 |
| 3 | Cuando el factor de acoplamiento es ideal | FA = 1 |

Fuente: Mayhua & Mendoza (2012).

$$FA = \frac{\text{Numero de Volquetes} * \text{Ciclo de carguio}}{\text{Ciclo de transporte}}$$

Analizando los resultados del actual factor de acoplamiento y comparando con los parámetros de análisis de la Tabla 4.13 se tiene lo siguiente:

Tabla 4.14: Factor de acoplamiento con la flota actual en el Tajo Central

| TAJO CENTRAL | CICLO DE CARGUÍO | NÚMERO DE EQUIPOS DESIGNADOS | CICLO DE TRANSPORTE | FACTOR DE ACOPLAMIENTO O REAL TAJO CENTRAL | FACTOR DE ACOPLAMIENTO O IDEAL |
|-------------------------|------------------|------------------------------|---------------------|--|--------------------------------|
| Mineral | 5,33 | 6 | 25,2 | 1,27 | 1 |
| Desmonte por Excavación | 5,25 | 6 | 18,3 | 1,72 | 1 |
| Desmonte por Voladura | 5,38 | 6 | 18,7 | 1,73 | 1 |

De la Tabla 4.11 y Tabla 4.12 se extrae los tiempos de carguío y transporte en mineral y desmonte del Tajo Central con los cuales se calcula el factor de acoplamiento y los resultados se muestran en la Tabla 4.14.

Como se puede observar en la Tabla 4.14, el factor de acoplamiento se encuentra por encima de la unidad.

Tabla 4.15: Factor de acoplamiento con la flota actual en el Tajo José María

| TAJO CENTRAL | CICLO DE CARGUÍO | NÚMERO DE EQUIPOS DESIGNADOS | CICLO DE TRANSPORTE | FACTOR DE ACOPLAMIENTO O REAL TAJO CENTRAL | FACTOR DE ACOPLAMIENTO O IDEAL |
|-------------------------|------------------|------------------------------|---------------------|--|--------------------------------|
| Mineral | 5,33 | 6 | 38,5 | 0,83 | 1 |
| Desmante por Excavación | 5,25 | 6 | 20,9 | 1,51 | 1 |
| Desmante por Voladura | 5,38 | 6 | 19,5 | 1,66 | 1 |

De la Tabla 4.11 y Tabla 4.12 se extrae los tiempos para de carguío y transporte en mineral y desmante del Tajo Central con los cuales se calcula el factor de acoplamiento y los resultados se muestran en la Tabla 4.15.

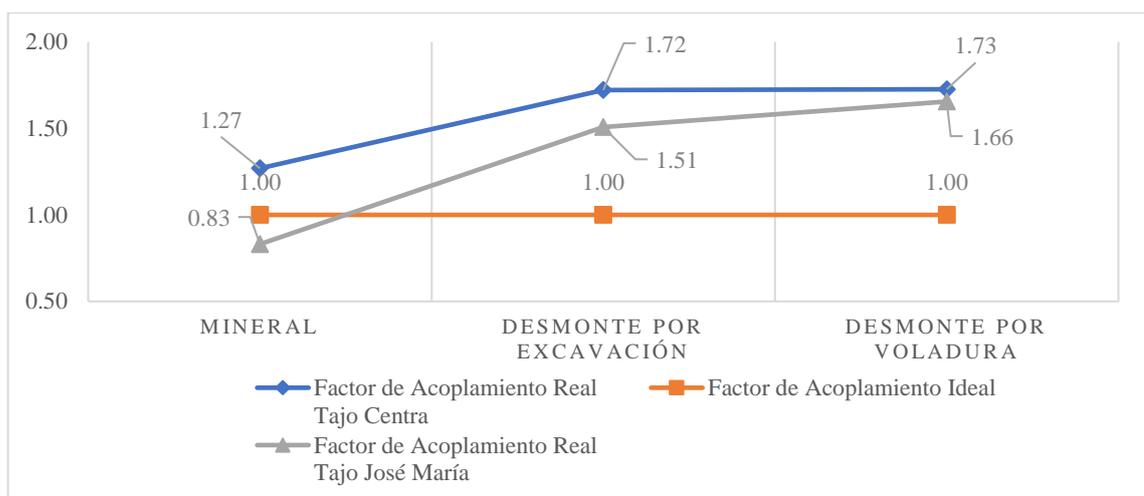


Figura 4.16: Comparación del FA ideal versus FA actual

Como se puede observar en las Tabla 4.14 y la Tabla 4.15 los factores de acoplamiento se encuentran por encima de la unidad, lo que indica que existe una sobre estimación de equipos de transporte con respecto los de carguío.

De igual manera en la Figura 4.16 se muestra el factor de acoplamiento para los equipos de carguío y transporte tanto para el Tajo Central y el Tajo José María y el factor de acoplamiento ideal, de los cuales se puede observar que hay

un exceso de equipos de transporte y solo en lo que es mineral en el Tajo José María se observa un pico de 0,83 que indica que hay una falta de equipos de transporte.

Según estos resultados se puede concluir que en esta flota hay un exceso de volquetes, pero, actualmente se cumple al tope con la producción, es por lo que es necesario distribuir adecuadamente el número de volquetas para cada equipo de carguío, en la Tabla 4.16, se muestra la distribución correcta para cada equipo de carguío.

Tabla 4.16: Factor de acoplamiento óptimo para Tajo Central

| TAJO CENTRAL | CICLO DE CARGUÍO | NÚMERO DE EQUIPOS DESIGNADOS | CICLO DE TRANSPORTE | FACTOR DE ACOPLAMIENTO O REAL TAJO CENTRAL | FACTOR DE ACOPLAMIENTO O IDEAL |
|-------------------------|------------------|------------------------------|---------------------|--|--------------------------------|
| Mineral | 5,33 | 5 | 25,2 | 1,06 | 1 |
| Desmonte por Excavación | 5,38 | 4 | 18,3 | 1,18 | 1 |
| Desmonte por Voladura | 5,25 | 4 | 18,7 | 1,12 | 1 |

Tabla 4.17: Factor de acoplamiento óptimo para Tajo José María

| TAJO CENTRAL | CICLO DE CARGUÍO | NÚMERO DE EQUIPOS DESIGNADOS | CICLO DE TRANSPORTE | FACTOR DE ACOPLAMIENTO O REAL TAJO CENTRAL | FACTOR DE ACOPLAMIENTO O IDEAL |
|-------------------------|------------------|------------------------------|---------------------|--|--------------------------------|
| Mineral | 5,33 | 8 | 38,5 | 1,11 | 1 |
| Desmonte por Excavación | 5,38 | 4 | 20,9 | 1,03 | 1 |
| Desmonte por Voladura | 5,25 | 4 | 19,5 | 1,08 | 1 |

Según estos resultados al distribuir los equipos de transporte correctamente para cada equipo de carguío se tiene una nueva flota con carguío óptimo, en cada tajo tanto para minera como para desmonte.

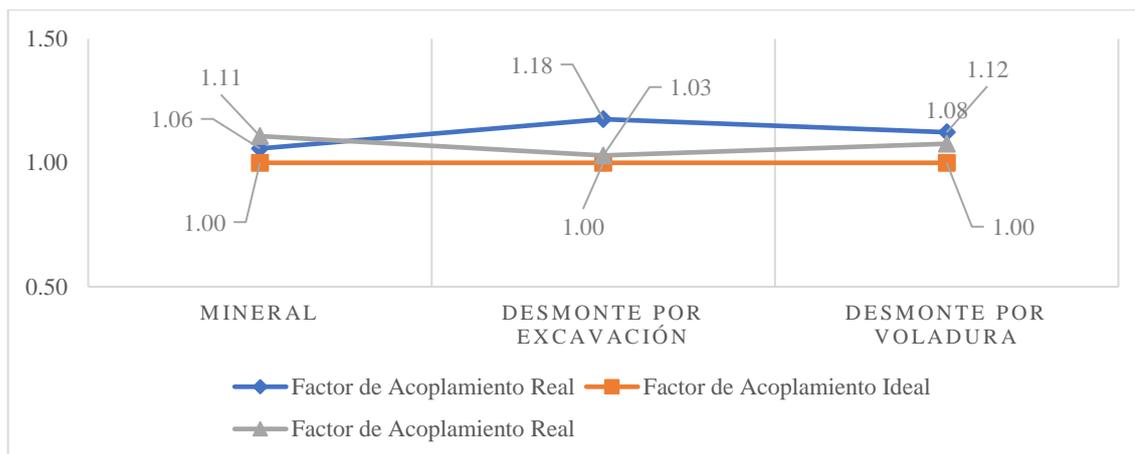


Figura 4.17: Comparación del FA óptimo versus FA ideal

Después de procesar los resultados de las mediciones de tiempo de los equipos de carguío y transporte, realizados en los meses de mayo y junio, se realiza la comparación de estos resultados con los estándares que el área de planeamiento maneja, así mismo se determina la media aritmética y la desviación estándar de los datos tomados en campo, ver Tabla 4.18:

Tabla 4.18: Datos estadísticos de tiempos de transporte medidos y estándar

| MUESTRA | TIEMPOS MEDIDOS | PARÁMETROS DE MINA | DÉFICIT | UNIDADES |
|---------------------|-----------------|--------------------|---------|----------|
| M1 | 18,28 | 22 | 3,72 | min. |
| M2 | 20,85 | 22 | 1,15 | min. |
| M3 | 18,71 | 22 | 3,29 | min. |
| M4 | 19,48 | 22 | 2,52 | min. |
| M5 | 25,25 | 22 | -3,25 | min. |
| M6 | 38,49 | 22 | -16,49 | min. |
| Media aritmética | 23,51 | 22,00 | -1,51 | |
| Desviación estándar | 7,76 | 0,00 | 7,76 | |

Fuente: Datos medidos y estándar de mina

Del Tabla 4.18 y Figura 4.18, se puede concluir que los ciclos de transporte de la muestra medida en mina son ligeramente más altos que los parámetros estándar que maneja mina, estas diferencias afectan considerablemente al rendimiento de los equipos de transporte.

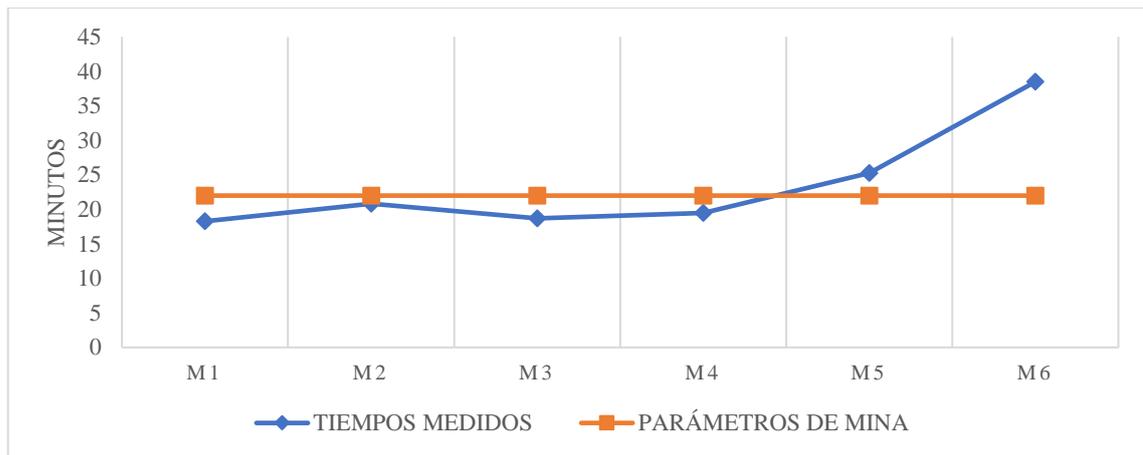


Figura 4.18: Tiempo ciclo de transporte y tiempos estándares de mina

4.2. Discusión

En la investigación de (Machaca, 2016), señala que la distribución de volquetes para una excavadora 345D, 365C y el cargador sobre ruedas 992K son de 7, 8 y 10 unidades de volquetes, para una distancia de transporte de 1,8 km.

Se concuerda con los resultados de esta investigación y se agrega que para una excavadora 336 DL con un ciclo de carguío de 5,33 minutos se requiere 8 volquetes con ciclos promedios de 38,5 minutos, de acuerdo a la

Tabla 4.17, y a la Figura 4.17, donde se muestra los factores de acoplamiento óptimo según ciclo de transporte.

En la investigación de (Malimba, 2019), señala que el acople entre las unidades de carguío y transporte están en función del tiempo del ciclo de la operación y la producción programada, es así que el acople promedio en los meses de agosto a noviembre del año 2017 hacia el PAD es de 10 unidades de transporte para una unidad de carguío y hacia el DME es de 2 unidades de transporte para 1

unidad de carguío, usando volquetes de 15 m³ y excavadoras CAT 336DL de 3 m³ de capacidad de cuchara.

Se concuerda con los resultados de esta investigación y se agrega que para una excavadora 336 DL con un ciclo de carguío de 5,33 minutos se requiere 8 volquetes con ciclos promedios de 38,5 minutos, de acuerdo a la

Tabla 4.17, y a la Figura 4.17, donde se muestra los factores de acoplamiento óptimo según ciclo de transporte.

En la investigación de (Mayhua & Mendoza, 2012), señala que la mayor pérdida de tiempo muerto es producto de demoras operativas, tales como cola de volquetes en un solo punto de carguío, congestión vehicular en la rampa de acceso hacia superficie con volquetes de las otras zonas, deficiencias en la comunicación entre los Contratistas y Empresa. Por lo tanto, determinó que los ciclos de las operaciones de carguío y transporte, influyen directamente sobre los rendimientos de producción

Se concuerda con los resultados de esta investigación y se agrega que cuando existe formación de colas, estas incrementan el tiempo del ciclo promedio de carguío y transporte desde 1,3 min a 1,1 min, equivalentes al 4 % y 5 % respectivamente como se muestra en la Figura 4.14 y Figura 4.15.

En la investigación de (Monago, 2018) señala que la eliminación de tiempos muertos en base al plan de gestión de tiempos aumentó el ritmo de producción logrando aumentar las toneladas extraídas a superficie, así mismo indica que el monitoreo constante de las operaciones de acarreo y transporte

ayudará a mejorar progresivamente la eficacia del plan de gestión que tomará como base para ser aplicado en otros sectores a fin de aumentar la producción en la mayor cantidad de áreas hoy en explotación.

Se concuerda con los resultados de esta investigación y se agrega que los porcentajes de colas y esperas solo brindan una referencia puesto que no son determinantes, ya que los tiempos muertos no se presentan siguiendo una periodicidad; es decir, no se conoce el momento exacto de cuando van a ocurrir y en qué cantidad se van a generar. Pero si es importante para verificar la existencia de tiempos muertos en las operaciones de carguío y transporte.

En la investigación de (Rivera, 2018), con la excavadora CAT 336DL, se tiene una producción de material para movimiento de tierras desde la Cantera China 1 hasta la presa de relaves Enlozada de 476 t/h, una eficiencia operativa del 67,76 % y que el dimensionamiento de la flota óptima de acarreo para la excavadora CAT 336DL, se realizó mediante el análisis del Match Factor, en función al costo y la producción, obteniéndose que la flota óptima de acarreo es de 11 camiones.

Se concuerda con los resultados de esta investigación y se agrega que para una excavadora 336 DL con un ciclo de carguío de 5,33 minutos se requiere 8 volquetes con ciclos promedios de 38,5 minutos, de acuerdo a la

Tabla 4.17, y a la Figura 4.17, donde se muestra los factores de acoplamiento óptimo según ciclo de transporte.

4.2.1. Prueba de la hipótesis

Este procedimiento se basará en la evidencia muestral y en la teoría de probabilidades que se empleara para determinar si la hipótesis es un enunciado racional y no debe rechazarse o si es irracional y debe ser rechazado.

Planteamiento de la hipótesis

En este trabajo de investigación se han planteado dos hipótesis mutuamente excluyentes; la hipótesis nula y la hipótesis alternativa o de investigación.

- **Hipótesis nula:** Evaluando las operaciones de carguío y transporte mejorara la productividad en la Unidad Minea Tacaza.

$$H_0: \mu = 22 \text{ min}$$

- **Hipótesis alterna:** Evaluando las operaciones de carguío y transporte no mejorara la productividad en la Unidad Minea Tacaza.

$$H_1: \mu \neq 22 \text{ min}$$

El análisis estadístico de los datos servirá para determinar si se puede aceptar o no la hipótesis nula (H_0). Cuando se rechaza H_0 significa que el factor estudiado ha influido significativamente en los resultados y se acepta la hipótesis alternativa (H_1)

Nivel de significancia y zona de aceptación

La máxima cantidad de error que estamos dispuestos a aceptar para dar como valido la hipótesis es de $\alpha = 0,05$ o 5 %

Por lo tanto, el nivel de confianza = 0,95 o 95 %, y la zona de aceptación y rechazo de la hipótesis nula (H_0) está comprendido de $Z = \pm 1,96$.

Cálculo de la función pivotal

La prueba más apropiada para este caso es la prueba t, ya que el tamaño de la muestra es menor que 30.

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}}; (n - 1) GL, \quad \text{Cuando } n \leq 30$$

$$t = \frac{23,51 - 22}{7,76 / \sqrt{6}}$$

$$t = 0,5$$

Decisión estadística

Puesto que la t calculada se encuentra dentro del rango de la zona de aceptación; es decir $\{-1,96 < 0,5 > + 1,96\}$, en consecuencia, se acepta la hipótesis nula (H_0) y se rechaza la hipótesis alterna (H_1).

Conclusión estadística

Se ha demostrado con la prueba t que "Evaluando las operaciones de carguío y transporte mejorara la productividad en la Unidad Minea Tacaza", con un nivel de significancia del 5 %.

CONCLUSIONES

De acuerdo a la evaluación realizada a las operaciones de carguío, se concluye que el rendimiento promedio de los equipos de carguío CAT 336DL, CAT 329D y Hyundai en la Unidad Minera Tacaza es de 266,27 t/h, 147,27 t/h y 170,10 t/h respectivamente, así mismo se determinó que una flota con carguío óptimo reduce las esperas en hasta 0,57 minutos y las colas en hasta 1,3 minutos, para mejorar la productividad en los tajos José María y Tajo Central de acuerdo al diseño de carguío óptimo, el número de equipos requeridos es de 3 excavadoras y 12 volquetes en los meses de mayo y junio, distribuido de la siguiente manera: En mineral es de 08 volquetes para 01 excavadora en el Tajo José María y 05 volquetes para 01 excavadora en el Tajo Central. En desmante es de 04 volquetes para 01 excavadora en ambos tajos.

De acuerdo a la evaluación realizada a las operaciones de transporte se concluye que una inadecuada relación de equipos de transporte con respecto a los equipos de carguío genera tiempos muertos producto de demoras operativas compuestas por colas de volquetes en un solo punto de carguío, congestión vehicular en las rampas de ingreso y salida de los tajos; seguido de demoras fijas, esto implica un rendimiento disminuido en la producción. La reducción de tiempos muertos está sujeta al diseño de flota, una flota con transporte óptimo reduce las colas de hasta 1,3 minutos. Así mismo se determinó que el ciclo de transporte de mineral del Tajo José María y el Tajo Central a la Cancha de Gruesos es de 38,5 y 25,2 minutos respectivamente, por lo tanto, el factor de acoplamiento actual es de 0,83 y 1,27 respectivamente, esto nos indica que hay un déficit, para mejorar esta situación e incrementar la producción diaria según planeamiento, se requiere agregar 02 equipos de transporte a la flota que opera en el Tajo José María y retirar 01 equipos a la flota del Tajo Central, resultando un factor de acoplamiento de 1,1 y 1,06.

RECOMENDACIONES

Implementar el diseño de flota con carguío óptimo para obtener un mejor rendimiento de movimiento de material e implementar un sistema computarizado en las excavadoras y volquetes para obtener datos de tiempos más exactos.

Evaluar continua y constantemente la gestión de tiempos tanto para los equipos de transporte para así poder actualizar la correcta distribución de equipos de transporte con respecto a los equipos de carguío, estos deberán programarse periódicamente conforme las distancias o condiciones varíen notablemente, así mismo establecer velocidades estándar de acuerdo a los estados de cada uno de los tramos que conforman la vía de transporte, para conseguir tiempos del ciclo sincronizados y adecuados para así evitar la presencia de tiempos muertos ya sea por esperas o colas de los equipos e incrementar el rendimiento de los equipos.

REFERENCIAS

- Bazán, A. (2016). *Cálculo del número de unidades de la flota de camiones en el tajo abierto San Gerardo, perteneciente a la Compañía Minera Atacocha*. Universidad Continental.
- Bernaola, H. (2012). Gestión de la productividad total en minería subterránea: Indicadores de productividad. Retrieved May 12, 2019, from Gestipolis website: <https://www.gestipolis.com/gestion-de-productividad-total-mineria-subterranea/#autores>
- Burt, C., & Caccetta, L. (2007, December). Match Factor for Heterogeneous Truck and Loader Fleets. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 21, 84–85.
- Checyá, D. (2015). *Gestión de la operación de equipos de movimiento de tierras para mejorar el rendimiento de carguío y acarreo en la mina Antapaccay*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Cherné, J., & Gonzáles, A. (1987). *Movimiento de tierras apuntes de Construcciones Industriales*. Catabria.
- Cruzat, A. (2008). *Manual de Cargue y Transporte*. Cochimbo.
- Douglas, J. (1964). Prediction of shovel-truck production: a reconciliation of computer and conventional estimates. *Department of Civil Engineering*.
- Eyzaguirre, E. (2018). Carguío y Transporte Minería. Retrieved May 14, 2019, from Academia website: https://www.academia.edu/8298934/Carguio_y_Transporte_Mineria
- Gómez, S. (2011). *Dimensionamiento óptimo de flotas de equipos para proyectos de movimiento de tierras*. Piura.
- Gutiérrez, J. (2017). *Teoría de Colas Aplicada al Carguío y Acarreo en una Mina de*

- Hierro*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Herrera, J. (2006). *Métodos de minería a cielo abierto*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Hillier, F., & Lieberman, G. (2001). *Introduction to operations research* (7th ed.; K. Case & P. Wolfe, Eds.). New York: McGraw-Hill.
- LOM. (2009). Manual de formación preventiva específica para el desempeño del puesto de operador de maquinaria de arranque, carga, viales en actividades extractivas de exterior. *Laboratorio Oficial José María de Madariaga*, 314.
- López, C. (1995). *Manual de Arranque, Carga y Transporte en Minería a Cielo*. Madrid.
- Luzardo, J., & Vázquez, G. (2010). *Sistema de Control de Procesos Empresariales por medio de Indicadores de Gestión aplicado al Departamento de Servicio al Cliente en el Proceso de Facturación y Atención de Reclamos de la empresa Plásticos S.A. ubicada en la ciudad de Guayaquil*. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Machaca, E. (2016). *Selección de equipos de carguío y transporte mediante el factor de acoplamiento para los tres primeros lifts de la reconformación del botadero Jesica en la Mina Aruntani*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Malimba, A. (2019). *Cálculo de la Flota de Carguío y Transporte para Optimizar la Producción Diaria en el Tajo Ciénaga Norte - Coimolache*. Universidad Nacional de Cajamarca.
- Manzaneda, J. (2015). *Optimización de la flota de carguío y acarreo para el incremento de producción de material de desbroce de 400k a 1000k BCM - U.E.A. El Brocal Consorcio Pasco Stracon G y M*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Mayhua, A., & Mendoza, L. (2012). *Optimización del sistema de transporte de mineral*

- del nivel 1070 a superficie de la unidad de producción San Cristóbal - VOLCAN CIA MINERA S.A.A.* Universidad Nacional de Huancavelica.
- Monago, A. (2018). *Gestión del tiempo de transporte de mineral para reducir costos en la Mina Islay – Unidad Operativa Chungar de Volcan Compañía Minera S.A.A.* Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- Morgan, C., & Peterson, L. (1968). Determining Shovel-Truck Productivity. *Mining Engineering*, 76–80.
- Ortiz, O., Canchari, G., Iglesias, S., & Gonzales, M. (2007). Simulación determinística y estocástica para dimensionar, y seleccionar equipo y elegir alternativas de minado en la explotación minera superficial. *Revista Del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, 76–80.
- Ramírez, N. (2007). *Sistema de Gestión del Tiempo en Operaciones Mineras* (1ra ed.; G. Quiquia, Ed.). Lima: Imprenta Gráfica Rocío.
- Reátegui, C. (2014). Gestión estratégica de costos y presupuestos en minería superficial. *Cámara Minera Del Perú - CAMIPER*, 405.
- Rivera, R. (2018). *Mejoramiento de la flota de carguío y acarreo en operaciones mina, para el incremento de la producción, Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.* Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Rodríguez, D. (2013). *Modelo analítico para el dimensionamiento de flota de transporte en minería a cielo abierto: Análisis de prioridades de atención según rendimiento.* Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Rondán, E. (2014). *Producción real vs. producción potencial de equipos de carguío y acarreo y aplicación del match factor para determinar el número óptimo de volquetes mina Arasi.* Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Saavedra, A. (2014). Movimiento de Tierra en Faenas Mineras. *Construcción Minera*,

80.

- Saldaña, A. (2013). *Productividad en el ciclo de carguío y acarreo en el tajo Chaquicocha bajo clima severo - Minera Yanacocha*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Vargas, R. (1999). *La maquinaria pesada en movimintos de tierras (descripcion y rendimiento)*. Instituto Tecnológico de la Construcción.