

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

**Facultad de Ingeniería**

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

**RELACIÓN ENTRE EL RENDIMIENTO DE EQUIPOS  
DE CARGUÍO Y SU PRODUCCIÓN OBTENIDA,  
MEDIANTE ANÁLISIS DE KPI'S EN UNA MINA  
SUPERFICIAL DEL SUR DEL PERÚ-2022**

**TESIS**

Presentada por:

Bach. Diego Manuel Torres Sarzozo

Para optar el Título Profesional de:

**INGENIERO DE MINAS**

TACNA – PERÚ

2024

# UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

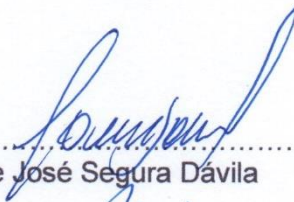
## Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

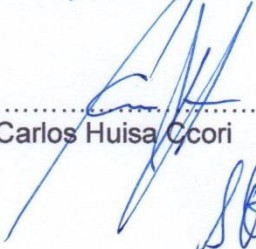
### RELACIÓN ENTRE EL RENDIMIENTO DE EQUIPOS DE CARGUÍO Y SU PRODUCCIÓN OBTENIDA, MEDIANTE ANÁLISIS DE KPI'S EN UNA MINA SUPERFICIAL DEL SUR DEL PERÚ-2022

Tesis sustentada y aprobada el 31 de enero de 2024, estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE

  
.....  
Dr. Jorge José Segura Dávila

1er. MIEMBRO  
(SECRETARIO)

  
.....  
Dr. Carlos Huisa Ccori

2do. MIEMBRO  
(VOCAL)

  
.....  
MSc. Salomón Medardo Ortiz Quintanilla

ASESOR

  
.....  
Dr. Carlos Huisa Ccori

## CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Dr. Carlos HUISA CCORI, en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N° 8273-2023-FAIN/UNJBG de la tesis titulado:

“RELACIÓN ENTRE EL RENDIMIENTO DE EQUIPOS DE CARGUÍO Y SU PRODUCCIÓN OBTENIDA, MEDIANTE ANÁLISIS DE KPI'S EN UNA MINA SUPERFICIAL DEL SUR DEL PERÚ-2022”.

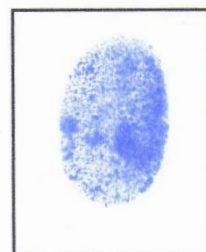
Presentado por el Bachiller Diego Manuel TORRES SARZOZO, Para optar título profesional de Ingeniero de Minas.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del **software de similitud textual** TURNITIN cuenta con el **nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es** 10 % Por lo que, **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis enunciado líneas arriba, la cual está expedita para continuar con los trámites para la obtención de título profesional, según corresponda consiguientemente la publicación en el repositorio institucional.

FIRMA ASESOR

Nombres y apellidos, DNI


  
CARLOS HUISA CCORI  
00417032



Huella digital

FIRMA TESISTA

Nombres y apellidos, DNI

  
DIEGO MANUEL TORRES SARZOZO  
70933594



Huella digital

## **DEDICATORIA**

A mi pareja, familiares y amistades, pues su amor, confianza y apoyo incondicional son mi motivación para enfrentar las adversidades y poder alcanzar mis metas, con una mención especial a las personas que ya no me acompañan en este mundo, pero siempre estarán presentes como luz guía de mi camino.

## **AGRADECIMIENTO**

A los docentes de mi alma máter Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, por la orientación y enseñanzas que me permiten seguir mejorando como un profesional íntegro y en especial al Dr. Carlos Huisa Ccori, por su cordial apoyo en la asesoría técnica y académica para la realización de esta investigación, siendo eje fundamental en el desarrollo y culminación de la misma.

## ÍNDICE

PÁGINA DEL JURADO .....	ii
CERTIFICADO DE SIMILITUD.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	3
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.1. Antecedentes del problema .....	3
1.2. Descripción del problema .....	4
1.3. Formulación del problema .....	6
1.3.1. Problema general.....	6
1.3.2. Problemas específicos .....	6
1.4. Objetivos .....	6
1.4.1. Objetivo general .....	6
1.4.2. Objetivos específicos .....	7
1.5. Justificación e importancia de la investigación.....	7
1.6. Limitaciones.....	8
1.7. Viabilidad del estudio .....	9
1.8. Formulación de hipótesis .....	9

1.8.1. Hipótesis general.....	10
1.8.2. Hipótesis específicas .....	10
1.9. Variables .....	10
1.10. Operacionalización de las variables .....	12
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>13</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>13</b>
2.1. Antecedentes del estudio.....	13
2.1.1. Antecedentes extranjeros .....	13
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	15
2.2. Bases teóricas.....	18
2.2.1. Minería superficial .....	18
2.2.2. Equipos de carguío en minería superficial .....	21
2.2.3. Indicadores clave de desempeño (KPI's).....	23
2.2.4. Rendimiento de equipos de carguío .....	24
2.3. Definición de términos.....	36
2.4. Aspectos generales de la mina de estudio .....	40
2.4.1. Ubicación .....	40
2.4.2. Accesibilidad.....	42
2.4.3. Reservas minerales.....	42
2.4.4. Características del pit .....	43
2.5. Operación de minado de la mina superficial del sur del Perú.....	46
2.5.1. Ciclo de minado .....	46
3.5.2. Servicios auxiliares .....	56
2.5.3. Control de operaciones.....	57
2.5.4. Plan de minado.....	62
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>66</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>66</b>
3.1. Planteamiento metodológico.....	66

3.1.1. Tipo de estudio.....	66
3.1.2. Nivel de investigación.....	66
3.1.3. Diseño de la investigación .....	67
3.2. Población y muestra de estudio.....	67
3.3. Equipos y materiales .....	68
3.4. Técnicas de recolección de datos .....	69
3.5. Técnicas para el procesamiento de datos .....	70
3.5.1. Tabulación de información .....	70
3.5.2. Cálculo de KPI's .....	76
3.5.3. Tratamiento y análisis estadístico de datos .....	93
3.5.3.1. Prueba de normalidad o simetría.....	95
3.5.3.2. Análisis de correlación.....	101
3.5.3.3. Estadística de prueba.....	104
CAPÍTULO IV.....	107
RESULTADOS.....	107
4.1. Presentación y análisis de los resultados.....	107
4.1.1. Para el rendimiento operativo en equipos de carguío .....	107
4.1.2. Para el rendimiento de gestión de tiempos en equipos de carguío.....	108
4.1.3. Equipos más y menos productivos en base a los KPI's calculados .....	110
4.1.4. Factores que más afectan a la U % y U.D.F. % .....	112
4.2. Contrastación de hipótesis.....	115
CAPÍTULO V .....	117
DISCUSIÓN .....	117
5.1. Aplicación de la tecnología encontrada. ....	117
5.2. Contraste con trabajos de investigación similares. ....	118
CONCLUSIONES .....	122
RECOMENDACIONES .....	124
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	125

ANEXOS.....	127
ANEXO 01: Matriz de consistencia.....	128
ANEXO 02: Matriz de operacionalización de variables.....	129
ANEXO 03: Formato de consulta de cargas y descargas .....	130
ANEXO 04: Formato de consulta de estados de equipos .....	131
ANEXO 05: Formato de reporte de producción .....	132
ANEXO 06: Formato de reporte de consumo eléctrico y costos totales.....	133

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Cumplimiento mensual de planes de minado en la mina superficial del sur del Perú en 2022, al cierre del primer semestre .....	5
<b>Tabla 2</b> Operacionalización de variables de estudio .....	12
<b>Tabla 3</b> Accesibilidad a la mina superficial del sur del Perú .....	42
<b>Tabla 4</b> Reservas minerales al 2022.....	43
<b>Tabla 5</b> Perforadoras primarias de mina, 2022 .....	46
<b>Tabla 6</b> Parámetros de perforación de mina, 2022.....	47
<b>Tabla 7</b> Equipos de carguío en mina, 2022 .....	50
<b>Tabla 8</b> Equipos de acarreo en la mina superficial del sur, 2022.....	54
<b>Tabla 9</b> Planificación de palas 2022.....	63
<b>Tabla 10</b> Planificación de volquetes 2022.....	63
<b>Tabla 11</b> Plan anual de minado 2022 .....	64
<b>Tabla 12</b> Tabla de datos ordenados para cálculo de KPI's de rendimiento operativo.....	71
<b>Tabla 13</b> Tabla de datos ordenados para cálculo de KPI's de gestión de tiempo	74
<b>Tabla 14</b> Rendimiento de carguío horario(t/h) enero a junio, 2022 .....	76
<b>Tabla 15</b> Rendimiento de cobertura horaria (volquetes/h) enero a junio, 2022...	78

<b>Tabla 16</b>	Rendimiento de consumo energético (Kwh/t), 2022 .....	80
<b>Tabla 17</b>	Costo de carguío por tonelada (\$/t), 2022 .....	82
<b>Tabla 18</b>	Costo de carguío por hora (\$/h), 2022 .....	83
<b>Tabla 19</b>	KPI's de gestión de tiempo de equipos de carguío, 2022 .....	86
<b>Tabla 20</b>	Distribución total de tiempo por equipo enero-junio, 2022 .....	88
<b>Tabla 21</b>	KPI's de gestión de tiempos de equipos de carguío enero-junio, 2022 .....	88
<b>Tabla 22</b>	Datos para análisis estadístico, 2022 .....	94
<b>Tabla 23</b>	Prueba de normalidad para el rendimiento operativo .....	97
<b>Tabla 24</b>	Resultado de prueba de normalidad para el rendimiento de gestión de tiempo .....	99
<b>Tabla 25</b>	Resultados de la correlación entre rendimiento operativo (t/h) y la producción obtenida (t) .....	102
<b>Tabla 26</b>	Resultados de la correlación entre rendimiento de tiempos (U.D.F. %) y la producción obtenida (t) .....	103
<b>Tabla 27</b>	Equipos de carguío ordenados en base a sus KPI's de rendimiento operativo .....	110
<b>Tabla 28</b>	Equipos de carguío ordenados en base a sus KPI's de gestión de tiempo .....	111
<b>Tabla 29</b>	Top 10 de estados por demoras totales .....	113
<b>Tabla 30</b>	Top 10 de estados por demoras mecánicas .....	114
<b>Tabla 31</b>	Resultados del análisis estadístico para prueba de hipótesis .....	115

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Mina a cielo abierto del centro del Perú .....	19
<b>Figura 2</b>	Pala hidráulica Hitachi EX5600 E-6, mina del centro del Perú .....	22
<b>Figura 3</b>	Esquema de rendimiento operativo de equipos de carguío .....	25
<b>Figura 4</b>	Distribución de tiempo, mina del sur del Perú 2022 .....	29

<b>Figura 5</b> Esquema de rendimiento de la gestión de tiempo de los equipos en mina, 2022.....	32
<b>Figura 6</b> Ubicación y accesibilidad de la mina de estudio.....	41
<b>Figura 7</b> Características de vía a doble sentido en mina.....	44
<b>Figura 8</b> Corte transversal del pit, indicando las fases activas de minado en 2022.....	45
<b>Figura 9</b> Cargado de explosivos en proyecto de voladura en mina 2022.....	49
<b>Figura 10</b> Cargado de pala eléctrica a volquete en mina.....	52
<b>Figura 11</b> Composición del ciclo de acarreo, 2022.....	55
<b>Figura 12</b> Flota de volquetes de acarreo en mina, 2022.....	55
<b>Figura 13</b> Alimentación eléctrica de equipos en mina, 2022.....	56
<b>Figura 14</b> Esquema de control de operaciones en mina.....	58
<b>Figura 15</b> Oficina de control dispatch, 2022.....	60
<b>Figura 16</b> Fases de minado proyectadas, 2022.....	62
<b>Figura 17</b> Top equipos mayor a menor rendimiento horario, 2022.....	77
<b>Figura 18</b> Comparativa de rendimiento t/h y cobertura volquetes/h, 2022.....	79
<b>Figura 19</b> Top equipos mayor a menor rendimiento energético Kwh/t, 2022.....	81
<b>Figura 20</b> Análisis de rendimiento de costos por equipo, 2022.....	84
<b>Figura 21</b> Análisis de KPI's de tiempo total en equipos de carguío, 2022.....	89
<b>Figura 22</b> Análisis de KPI's de tiempo disponible en equipos de carguío, 2022.....	92
<b>Figura 23</b> Gráfica de normalidad de la variable rendimiento de carguío.....	98
<b>Figura 24</b> Gráfica de normalidad de la variable producción obtenida.....	99
<b>Figura 25</b> Gráfica de normalidad de la variable rendimiento de gestión de tiempo.....	100
<b>Figura 26</b> Gráfica de dispersión entre rendimiento operativo (t/h) y la producción obtenida (t).....	102
<b>Figura 27</b> Gráfica de dispersión entre rendimiento de tiempos (U.D.F.) y la producción obtenida (t).....	103

<b>Figura 28</b> Gráfica comparativa de rendimiento, tonelaje producido y utilización .....	108
<b>Figura 29</b> Gráfica comparativa de tonelaje producido, cobertura y U.D.F % ...	109
<b>Figura 30</b> Escala de magnitud de la correlación en base a un coeficiente de Pearson o Spearman .....	116
<b>Figura 31</b> Contraste de resultados con la investigación de Casas (2018) .....	119
<b>Figura 32</b> Contraste de resultados con la investigación de Huarocc (2014).....	120

## RESUMEN

La presente investigación, propone un trabajo del tipo básico y nivel correlacional que tiene como objetivo principal calcular los indicadores clave de desempeño de los equipos de carguío y estimar la relación estadística entre sus KPI's más representativos desde un enfoque operativo (t/h) y de gestión de tiempos (U.D.F. %), respecto al tonelaje obtenido. Para tal fin se adoptó un diseño no experimental de carácter temporal longitudinal y de tipo panel, con datos recolectados mediante la técnica documental entre enero y junio de 2022.

Los resultados obtenidos, en base a la prueba Rho de Spearman al 95 % de intervalo de confianza, presentan un coeficiente de 0,961 para el rendimiento operativo y 0,796 para la gestión de tiempo, los mismos que de acuerdo al estadístico de prueba, permiten evidenciar una relación directa y positiva, de gran consistencia gráfica. Asimismo, se logró identificar los equipos de mayor desempeño y conocer los 10 factores de demora total y mecánica con mayor incidencia en la utilización del tiempo total y disponible. Finalmente, se obtuvo una comprobación satisfactoria de la hipótesis general planteada, pues se concluye que existe una relación entre el rendimiento de los equipos de carguío y su producción obtenida, adicionalmente se proponen alternativas para incrementar la productividad en la mina de estudio.

**Palabras clave:** Rendimiento de equipos, carguío, producción, KPI's y mina superficial.

## **ABSTRACT**

The main objective of this research is to calculate the key performance indicators of the loading equipment and to estimate the statistical relationship between their most representative KPI's from an operational approach (t/h) and time management (U.D.F. %), with respect to the tonnage produced by them. For this purpose, a non-experimental design of longitudinal and panel type was adopted, with data collected through the documentary technique between January and June 2022.

The results obtained, based on Spearman's Rho test at 95 % confidence interval, show a coefficient of 0,961 for operating performance and 0,796 for time management, which, according to the test statistic, show a direct and positive relationship, with great graphic consistency. Likewise, it was possible to identify the teams with the highest performance and to know the 10 factors of total and mechanical delay with the highest incidence in the use of total and available time. Finally, a satisfactory verification of the general hypothesis was obtained, since it is concluded that there is a relationship between the performance of the loading equipment and the production obtained; additionally, alternatives are proposed to increase productivity in the mine under study.

**Key words:** Equipment performance, loading, production, KPI's and surface mine.

## INTRODUCCIÓN

Las operaciones mineras suponen procesos complejos y dinámicos, puesto que involucran una diversidad de actividades primarias y auxiliares para la explotación de yacimientos, a razón de ello el control de los procesos mediante indicadores clave de rendimiento (KPI's) se ha convertido en una herramienta estratégica fundamental en la gestión minera de las empresas, pues permiten monitorear de forma continua y eficiente el cumplimiento de sus operaciones en consideración de aspectos técnicos, operacionales y económicos.

La operación de minado llevado a cabo en el presente estudio involucra una diversidad de procesos unitarios y equipos, entre los cuales tomamos como objeto principal de estudio los principales equipos de carguío ( 6 palas eléctricas y 2 cargadores frontales de alto tonelaje), a fin de cumplir con el objetivo principal que pretende demostrar la relación entre el rendimiento óptimo de los anteriormente mencionados y su producción obtenida, tomando como directriz un control eficiente de la gestión de equipos.

Una gestión deficiente incurre en un tratamiento inadecuado de recursos presentes como tiempo efectivo, energía, costos de operación e inversión, entre otros; lo que

a su vez se traduce en la generación de condiciones adversas como la reducción de ratios de producción, incumplimiento de planes y el incremento de costos unitarios.

La presente tesis se desarrolla en 5 capítulos:

En el Capítulo I, se presenta el planteamiento del problema, la justificación, los objetivos y las hipótesis.

El Capítulo II, se desarrolla los antecedentes, el marco teórico y las bases teóricas.

En el Capítulo III, se hace referencia al marco metodológico, tipo de investigación nivel y diseño de la investigación realizada, así como la recolección y tratamiento de datos pertenecientes a la muestra y periodo de estudio definido.

En el capítulo IV, se analizan los resultados con el propósito de contrastar las hipótesis planteadas.

En el capítulo V, se realiza la discusión del presente trabajo, a través de un análisis de las otras investigaciones encontradas.

Finalmente, se presentan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Antecedentes del problema**

En la actualidad una mina superficial en el sur del Perú, cuya operación es a cielo abierto y se encuentra ubicada en la región Moquegua, posee un ciclo de minado que comprende los procesos unitarios de perforación, voladura, carguío y acarreo para el cumplimiento de sus planes propuestos, apoyado en el trabajo de diversas áreas interdependientes, con el objetivo principal del minado, procesamiento químico-metalúrgico, refinación y fundición y comercialización de minerales de cobre y molibdeno, lo que le permite percibir un beneficio económicamente rentable, sostenible y seguro.

Las actividades extractivas involucran el trabajo de equipos principales como palas eléctricas de cable, cargadores frontales gigantes y una variedad de flotas de volquetes de acarreo de alto tonelaje, y auxiliares; cuyo trabajo está orientado al movimiento de materiales minerales y desmonte, teniendo como resultado la producción continua de tonelajes minados fuera del tajo, a razón principal de la alimentación a chancadoras para el tratamiento de recuperación del contenido metálico.

En virtud de lo anteriormente expresado, el control constante mediante la evolución constante de indicadores clave de desempeño (KPI's) de la mina superficial del sur, viene siendo una tarea de vital importancia por la contribución que aportan a la optimización de las operaciones unitarias de forma eficiente, mediante el soporte al área de operaciones y de la administración del sistema dispatch Mineops, lo que permite generar escenarios de rendimiento eficiente de equipos, maximización del aprovechamiento de recursos involucrados y reducción de costos de operación en relación a la productividad por tonelada. Es preciso indicar que los KPI's sirven también como herramienta de planificación para la proyección de planes de corto, mediano y largo plazo, cuyo cumplimiento regula el avance en las actividades previstas a lo largo de la vida útil de la mina.

## **1.2. Descripción del problema**

En consonancia con lo enunciado anteriormente, el porcentaje de cumplimiento que relaciona la producción obtenida en contraste con la planificada, significa el principal indicador a tomar en cuenta al momento de evaluar el desempeño general de las operaciones; por ello, se realizó un consolidado de la producción mensual obtenida en el primer semestre del año 2022.

**Tabla 1**

*Cumplimiento mensual de planes de minado en la mina superficial del sur del Perú en 2022, al cierre del primer semestre*

<b>Mes</b>	<b>Minado(t)</b>	<b>Planeado(t)</b>	<b>Cumplimiento (%)</b>
Enero	11 726 234	11 656 000	100,6 %
Febrero	10 759 587	10 528 000	102,2 %
Marzo	11 429 202	11 656 000	98,1 %
Abril	11 019 907	12 000 000	91,8 %
Mayo	11 897 549	11 470 000	103,7 %
Junio	11 376 045	11 700 000	97,2 %
<b>Acumulado</b>	<b>68 208 524</b>	<b>69 010 000</b>	<b>98,8 %</b>

Fuente: Superintendencia de planeamiento mina.

Analizando la Tabla 1, existen 3 meses donde el cumplimiento de minado no ha sido satisfactorio, en consecuencia, es deducible la presencia de gestiones deficientes en los procesos unitarios de mina, los cuales a pesar de tener estrecho vínculo uno del otro, pueden analizarse de forma independiente mediante indicadores clave KPI.

En tal sentido resulta crítico enfatizar el análisis propuesto en el carguío, pues se deduce una posible relación entre el rendimiento de sus equipos y la producción obtenida, por lo que, identificar alternativas de mejora operacional para incrementar el nivel de eficiencia del proceso mencionado, se traducirá en el incremento de ratios de avance satisfactorios a nivel operativo y económico para una explotación minera con alto grado de productividad en cuanto al aprovechamiento de sus recursos materiales y capital humano.

### **1.3. Formulación del problema**

#### ***1.3.1. Problema general***

¿Será posible establecer una relación entre el rendimiento de carguío y su producción obtenida, mediante el análisis de KPI's en la mina superficial del sur del Perú, en 2022?

#### ***1.3.2. Problemas específicos***

- a) ¿El análisis de KPI's de equipos permitiría evaluar el rendimiento operativo e identificar los equipos más y menos productivos?
  
- b) ¿Calcular los indicadores de gestión de tiempos permitiría conocer los factores de mayor influencia en la utilización y uso de la disponibilidad física?

### **1.4. Objetivos**

#### ***1.4.1. Objetivo general***

Estimar la relación entre el rendimiento de equipos de carguío y su producción obtenida, mediante el análisis de KPI's en la mina superficial del sur del Perú, en 2022.

#### ***1.4.2. Objetivos específicos***

- a) Calcular y analizar los KPI's de equipos para evaluar el rendimiento operativo e identificar los equipos más y menos productivos.
  
- b) Identificar los factores de mayor influencia en la utilización y uso de disponibilidad física de los equipos de carguío.

Podemos analizar con mayor detalle en el **Anexo 01: Matriz de consistencia**.

#### **1.5. Justificación e importancia de la investigación**

Se determinó que es necesario calcular los indicadores clave de desempeño (KPI's) del proceso de carguío en la mina superficial, tomando como sujeto de estudio sus equipos principales, que son las 6 palas eléctricas y 2 cargadores frontales gigantes, lo que permitirá establecer la relación entre el rendimiento de estos y la producción obtenida a fin de establecer un control continuo que garantice el cumplimiento de la planificación estimada mensualmente. Los indicadores se evaluarán desde dos enfoques definidos, para facilitar la comprensión y el análisis que contemplan el rendimiento de carguío a nivel operativo, en función al desempeño horario, consumo de recursos y costos involucrados; asimismo de manera análoga se evaluará la gestión de tiempo de los equipos a nivel de tiempo total y disponible para su funcionamiento.

Desde el punto de vista, monitorear el rendimiento de los equipos permitirá identificar cuáles de éstos están cumpliendo efectivamente con su trabajo, establecer equipos más y menos productivos, identificar las causas de deficiencias en la gestión de operaciones y generar alternativas de mejora para elevar su productividad, lo que se traduce en una mayor producción de toneladas a nivel horario, diario y mensual.

## **1.6. Limitaciones**

### **Ubicación geográfica**

La ubicación del área de estudio comprende una zona minera alejada al domicilio del investigador y universidad, lo que incidió en demoras para el desarrollo del presente proyecto, principalmente en el avance y revisión.

### **Acceso a los datos:**

El acceso a datos de la mina superficial del sur del Perú estuvo parcialmente restringido, puesto que la información era de acceso limitado a usuarios definidos, sin embargo, se realizó la coordinación respectiva, con el fin de obtener datos necesarios para el procesamiento, mediante los instrumentos definidos.

**Cantidad de información recopilada:**

Los datos obtenidos fueron de forma semanal y mensual, por lo que se tuvo que esperar un periodo de tiempo razonable, para completar una cantidad ideal para el cálculo y análisis de los indicadores.

**Tiempo disponible:**

El tiempo disponible fue una limitante causante de retrasos en el avance del presente, pues se realizó en contexto de jornadas laborales de régimen atípico con intervalos de descanso reducido.

**1.7. Viabilidad del estudio**

A pesar de las limitaciones expuestas el proyecto de investigación presente resulta viable en cuanto al acceso del lugar de estudio, de obtención y tratamiento de datos, recursos materiales financieros y la disponibilidad de tiempo, asimismo posee un alcance a nivel de las operaciones unitarias dentro de la mina elegida, lo que permite el desarrollo íntegro del estudio para contrastar las hipótesis planteadas y el cumplimiento del objetivo principal y específicos.

**1.8. Formulación de hipótesis**

### ***1.8.1. Hipótesis general***

De acuerdo análisis de KPI's existe una relación directa entre el rendimiento de los equipos de carguío y su producción obtenida, en la mina superficial del sur del Perú en 2022.

### ***1.8.2. Hipótesis específicas***

a) Mediante el análisis de KPI's es posible conocer el rendimiento operativo de cada equipo de carguío y establecer los más y menos productivos.

b) Las demoras totales y mecánicas influyen en la utilización y el uso de la disponibilidad física de los equipos.

## **1.9. Variables**

Se identifican y caracterizan las variables, destacando que debido a la naturaleza del estudio no se tratará de establecer una dependencia entre variables, sino estimar el grado de asociación entre las mismas.

**Variable 1:** Rendimiento de equipos de carguío

Definición conceptual

El rendimiento hace referencia a la relación entre el trabajo realizado por el equipo y un recurso involucrado en la realización de este, con el objetivo de evaluar constantemente el nivel de aprovechamiento y maximizar su producción.

#### Características

- Tipo: Numérica continua, pues admite valores no enteros.
- Naturaleza: Cuantitativa, debido a que los valores pueden cuantificarse.
- Escala: De razón, pues no se distribuye en intervalos establecidos.

#### **Variable 2:** Producción obtenida

##### Definición conceptual

La producción involucra el tonelaje movido desde un punto de carga a uno de descarga fuera de tajo con fines diversos como alimentación a chancadora, descarga en stocks, desbroce de estéril o mantenimiento de vías/ depósitos. No considera tonelajes input o remanejados.

Posee las mismas características de la variable 1:

- Tipo: Numérica continua, pues admite valores no enteros.
- Naturaleza: Cuantitativa, debido a que los valores pueden cuantificarse.
- Escala: De razón, pues no se distribuye en intervalos establecidos.

## 1.10. Operacionalización de las variables

**Tabla 2**

*Operacionalización de variables de estudio*

Variable	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
<b>Variable 1:</b> Rendimiento de equipos de carguío	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Indicadores clave de rendimiento (KPI´s)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rendimiento operativo de equipos en función a tiempo, recursos utilizados y costos.</li> <li>▪ Rendimiento de gestión de tiempos de equipos de carguío.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rendimiento horario (t/h, volquetes/h).</li> <li>▪ Rendimiento de recursos (Kwh/t).</li> <li>▪ Rendimiento de costos (\$/t, \$/h).</li> <li>▪ Utilización (U. %).</li> <li>▪ Disponibilidad física (D.F. %)</li> <li>▪ Uso de la disponibilidad física (U.D.F. %)</li> </ul>
<b>Variable 2:</b> Producción obtenida	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reportes de producción</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tonelaje cargado y acarreado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tonelaje total minado (t).</li> <li>▪ Tonelaje por pala (t).</li> <li>▪ Cumplimiento de plan de producción (%).</li> <li>▪ Variación de la producción (%).</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

Podemos analizar mayor detalle en el **Anexo 02: Matriz de operacionalización de variables.**

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes del estudio**

##### ***2.1.1. Antecedentes extranjeros***

Quiroga Ferruz (2016), en su tesis “Diseño de herramienta computacional para control de KPI de operadores de carguío y transporte – mina los bronces”. Universidad de Chile, Santiago de Chile, 2016. La investigación de Quiroga (2016) tuvo como objetivo principal el diseño de una herramienta computacional de control de KPI de operadores de los principales equipos de carguío y transporte con el propósito de direccionar el trabajo del departamento de capacitación de mina Los Bronces, y apoyar al mejoramiento de las prácticas operacionales de los operadores y a la planificación de los programas de capacitación y entrenamiento.

La principal conclusión fue la siguiente:

- La herramienta computacional proporcionará al departamento de capacitación de mina Los Bronces, mejoras en la productividad individual y global de los operadores de Carguío y Transporte, a través del control y gestión de los principales indicadores de estos procesos mineros (KPI),

asimismo, sentará bases para el desarrollo de futuras herramientas para el control de procesos, debido a la versatilidad de esta aplicación computacional. (Quiroga, 2016).

Caballero Cerda (2013), en su tesis “KPI’s fundamentales para la gestión del área productiva de una minera de mediana producción de cátodos de cobre en Chile”. Universidad de Chile, Antofagasta, 2013. La investigación de Caballero (2013) tuvo como objetivo principal la determinación de los indicadores clave de desempeño (KPI’s) que permitan, al área de producción de una minera de cátodos de cobre, controlar su gestión y operación de forma continua y eficiente.

Las principales conclusiones fueron las siguientes:

- El volumen, la calidad de la producción y los costos unitarios conforman los tres principales factores considerados por la compañía para estimar el nivel de utilidad, considerando también el precio del cobre, pero desde un enfoque externo, puesto que no es afectado por la empresa.
- Los indicadores de mayor incidencia en la producción con la ley de mineral, cantidad de mineral en pilas, disponibilidad de áreas, costos de contratos y consumo de energía eléctrica desde los enfoques de cantidad, calidad y costos en el minado para el periodo estudiado.

### ***2.1.2. Antecedentes nacionales***

Casas Ocas (2018), en su tesis “Indicadores clave de desempeño de equipo pesado para control de rendimiento y productividad”. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, 2018. La investigación de Casas (2018) tuvo como objetivo principal la determinación de los indicadores clave de desempeño de equipos para el control de rendimiento y productividad en el proyecto minero Constancia - Cusco y se empleó un diseño no experimental - longitudinal, para un trabajo aplicado y nivel descriptivo.

Las principales conclusiones fueron la siguientes:

- Los indicadores clave estudiados tienen una relación directa con el rendimiento y la productividad, lo que permite validar nuestra hipótesis, pues cuando se presenta un elevado nivel de desempeño los índices de productividad también lo hacen.
- Los indicadores de control de tiempos se estiman en disponibilidad física al 93,7 %, disponibilidad mecánica al 98,8 %, utilización de 54,7 % y uso de la disponibilidad de 76,6 %; los resultados mostraron que la utilización y el uso de los equipos tuvieron un 35 % en la búsqueda de mejoras para aumentar el nivel de utilización que principalmente es afectado por la demora por falta de frente de trabajo. (Casas, 2018).

Córdova Tahua (2018), en su tesis “Determinación de los KPI’s de la flota de camiones para la optimización del acarreo de lastre en la mina Pierina 2017”. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz, 2018. La investigación de Córdova (2018) tuvo como objetivo principal optimizar el acarreo de lastre en mina Pierina en 2017, mediante la determinación de los KPI’s y dimensionamiento óptimo de la flota de camiones y se empleó un diseño no experimental - longitudinal, para una investigación de tipo aplicada y nivel descriptivo.

Las principales conclusiones fueron la siguientes:

- El índice de acoplamiento o match factor dimensionó una nueva flota de acarreo a 2 cargadores y 18 camiones, permitiendo que la producción se incremente de 353 632,55 a 551 326,82 toneladas.
- Para la flota final de 2 cargadores los índices operacionales fueron: disponibilidad de 92,6 %, utilización de 83,5 %, mantenimiento de 7,4 %, demora operacional de 16,5 % y rendimiento de 77,3 %. (Córdova, 2018).

Huaroc Ccanto (2014) en su tesis “Optimización del carguío y acarreo de mineral mediante el uso de indicadores claves de desempeño U.M. Chuco II de la E.M. Upkar mining S.A.C.”. Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo,

2014. La investigación de Huarocc (2014) tuvo como objetivo principal establecer los mecanismos para optimizar las operaciones unitarias de carguío y acarreo de mineral en la unidad minera Chuco II y para lo cual se empleó un diseño experimental, para una investigación de tipo aplicada y nivel descriptivo-correlacional.

Las principales conclusiones fueron las siguientes:

- La gestión de la producción mediante los indicadores de desempeño nos permite una optimización de procesos para una reducción de costos en 0,44 \$/t en el carguío de mineral y 0,34 \$/t en el acarreo tomando en cuenta los análisis de rentabilidad.
- El uso de los KPI dentro de las operaciones del ciclo de minado nos permitirá tener un mayor conocimiento del rendimiento, y servir de fundamento para la toma de decisiones de optimización en niveles de planeación y reducción de costos. (Huarocc, 2014).

## **2.2. Bases teóricas**

### ***2.2.1. Minería superficial***

#### **Definición**

Se define a la minería superficial al conjunto de actividades relacionadas a la extracción y procesamiento de minerales metálicos y no metálicos de un yacimiento, mediante operaciones en la superficie del terreno, a través de la aplicación de métodos de explotación como el de cielo o tajo abierto, canteras, dragado, graveras, entre otros. Los procesos incluidos en estas actividades están orientados a percibir un beneficio económico producto de la venta de los materiales explotados y procesados. El minado realizado se apoya en diversos recursos como infraestructura especializada, uso de maquinaria diversa, capital humano, procedimientos, entre otros de acuerdo con la magnitud y características de cada operación.

### **Figura 1**

*Mina a cielo abierto del centro del Perú*



Fuente: Elaboración propia.

Entre los principales minerales metálicos explotados en la minería superficial destacan el cobre, molibdeno, hierro, oro y plata producto de la explotación de minas superficiales, entre las cuales citamos a las más importantes de mineral metálico en Perú son Antamina, Las Bambas, Cerro Verde, Antapaccay, Toromocho, Quellaveco, Toquepala, Cuajone, Mina Justa, Pucamarca y Constancia.

### **Método de explotación a cielo abierto**

El método de explotación a cielo abierto también conocido como “Open pit”, comprende los procesos unitarios principales y auxiliares de extracción de mineral metálico o no metálico, donde la explotación se realiza sobre un yacimiento de cuerpo regular debajo de la tierra, al cual es posible acceder realizando bancos y

rampas sobre mineral y desmonte, que ayuden a profundizar o ampliar el pit cada vez más y así acceder a minerales económicamente rentables con ley de mineral superior a su cut-off, dando el aspecto de una fosa o cono flotante (Figura 1).

Existen diversos aspectos que se asocian a la selección de este método, entre los cuales podemos destacar: los geológicos, económicos, técnicos u operacionales, medioambientales y sociales. Para el normal desenvolvimiento de las operaciones en una mina a cielo abierto se requiere la coordinación y apoyo de diversas dentro y fuera del tajo, que brinden soporte a sus operaciones, seguridad, mantenimiento, control y sostenibilidad, entre las cuales mencionamos a las más importantes:

- Geología
- Planeamiento mina
- Operaciones mina
- Geotecnia
- Servicios auxiliares
- Perforación y voladura
- Seguridad mina
- Mejora de mina y entrenamiento
- Mantenimiento mina
- Electricidad mina
- Telecomunicaciones

- Contratistas diversas

### ***2.2.2. Equipos de carguío en minería superficial***

#### **Palas eléctricas**

Una pala eléctrica es una maquinaria de gran dimensión que posee un cucharón de balde para carguío frontal a un equipo de acarreo, está alimentada por energía eléctrica de alto voltaje para su funcionamiento y el minado ejecutado es a grade o nivel, rampa y perfilado de taludes. Una característica destacable de este equipo es que el mecanismo de accionamiento de carguío del balde en el cierre y apertura de balde, así como la excavación y descarga se realizan con cables de fuerza acerados de izar y de retracción y una pluma. En Perú es destacable las marcas como P&H, Bucyrus, Caterpillar e Hitachi como proveedores de palas eléctricas.

#### **Palas hidráulicas**

Una pala hidráulica es similar a una eléctrica en funciones, sin embargo, podemos señalar tres diferencias principales las cuales son la alimentación es a través de diésel o de forma híbrida (diésel y eléctrica), el cucharón puede usarse de forma frontal o inversa como una excavadora según las condiciones operativas y no posee cables para el accionamiento de carguío, sino un brazo hidráulico tal y como se observa gráficamente en la Figura 2.

## **Figura 2**

*Pala hidráulica Hitachi EX5600 E-6, mina del centro del Perú*



Fuente: Elaboración propia.

Es importante resaltar las ventajas que radican en ofrecer condiciones operativas simplificadas, pues un equipo eléctrico requiere de forma necesaria un sistema de cableado eléctrico que lo alimente el cual en ocasiones reduce los tiempos operativos por la manipulación de este, así como traslados de puentes y fallas en la alimentación.

### **Cargadores frontales de alto tonelaje**

Un cargador frontal de alto tonelaje es un equipo montado sobre neumáticos cuya función principal es el carguío de unidades de acarreo mediante accionamiento de su cucharón y brazo hidráulico, en nuestro país las principales marcas de cargadores de alto tonelaje son Caterpillar, Komatsu y Letorneau.

### ***2.2.3. Indicadores clave de desempeño (KPI's)***

#### **Definición**

Los Key Performance Indicators o conocidos comúnmente por su acrónimo KPI's, son herramientas calculadas en base a información de procesos que evalúan el desempeño o funcionamiento de éstos, relacionando factores como producción, tiempo, recursos, costos, frecuencia de eventos, entre otros. Su uso es cotidiano en el control de operaciones de cualquier empresa y es de vital relevancia en el negocio minero, por lo cual, se encuentra presente en todos sus procesos unitarios en general.

#### **Importancia**

Los KPI's sirven como herramienta de evaluación y diagnóstico orientado a mejorar una operación y sus procesos, teniendo como objeto de estudio el rendimiento de personal, equipos, administración de recursos y otros; sirven como primer paso para identificar el cumplimiento satisfactorio de un objetivo o en su defecto las falencias de las situaciones antes mencionadas, para posteriormente ofrecer alternativas de optimización, en pro de un rendimiento más satisfactorio, rentable y seguro.

Otros enfoques asociados a su utilización incurren en la planificación de actividades proyectadas y el monitoreo de resultados obtenidos en tiempo real o dentro de un periodo definido a corto, mediano o largo plazo.

### **KPI's en la industria minera peruana**

Los indicadores usados en la minería peruana son diversos relacionando rendimientos de equipos, tiempo, recursos administrados, costos y productividad, son constantemente monitoreados con el objetivo de optimizar la operación a medida de obtener la mayor producción en cuestiones de cantidad y calidad al menor costo.

#### ***2.2.4. Rendimiento de equipos de carguío***

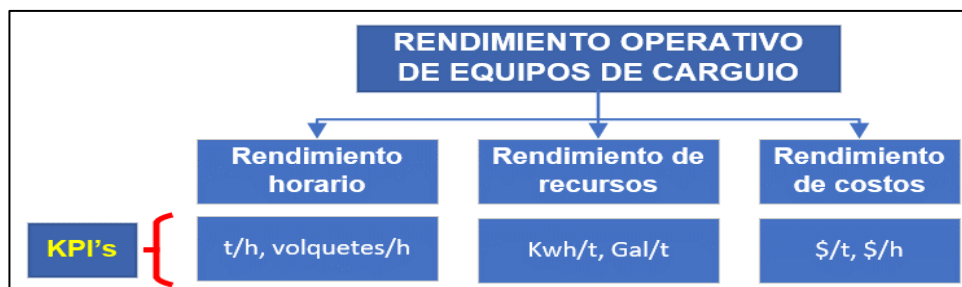
El rendimiento de equipos resulta de comparar el trabajo para los cuales fueron diseñados con un recurso medible como tiempo, costos, área trabajada, consumo de combustible, entre otros. Generalmente, el rendimiento de un equipo se expresa en unidades cuantificables y comparables con objetivos o targets para evaluar el desempeño. Para facilidad de estudio, tratamiento de datos y análisis de resultados el autor considera apropiado subdividir el rendimiento de equipos de carguío en rendimiento operativo y rendimiento de gestión de tiempos.

### 2.2.4.1. Rendimiento operativo de equipos de carguío

Tal y como se ilustra en la Figura 3, en el presente trabajo analizaremos los indicadores clave del rendimiento, principalmente, desde tres categorías de recursos implicados directamente a la operación de carguío: el rendimiento horario, consumo de recursos y costos totales de cada equipo involucrados en su funcionamiento.

**Figura 3**

*Esquema de rendimiento operativo de equipos de carguío*



Fuente: Elaboración propia.

#### 2.2.4.1.1. KPI's de rendimiento operativo de equipos de carguío

##### a) Rendimiento horario

Son indicadores que regulan la operación de carguío a nivel horario, los principales KPI's a analizar son los siguientes:

##### **Carguío horario (t/h)**

Expresa el tonelaje cargado por hora, se define con la siguiente fórmula:

$$(t/h) = \left( \frac{\text{Tonelaje producido}}{\text{Tiempo efectivo}} \right) \quad [1]$$

### **Cobertura horaria (Volquetes cargados/h)**

Representa el número de volquetes cargados por hora en una unidad de carguío, para realizar un seguimiento continuo, se expresa con la siguiente fórmula:

$$(\text{Volquetes/h}) = \left( \frac{\text{N}^\circ \text{ volquetes cargados}}{\text{Tiempo efectivo}} \right) \quad [2]$$

### **b) Rendimiento de recursos**

Cada equipo necesita ciertos recursos para un normal desenvolvimiento, siendo el principal la energía necesaria para el funcionamiento, cuyo consumo resulta conveniente a ser monitoreado para el control de productividad, para efectos de la presente investigación se evaluará el rendimiento de consumo eléctrico.

### **Rendimiento energético (KWh/t)**

Es el indicador asociado al tonelaje cargado por las palas eléctricas, lo cual permite un control de KWh invertidos para cada tonelada cargada y se expresa en la siguiente fórmula:

$$(\text{Kwh/t}) = \left( \frac{\text{Consumo eléctrico de palas}}{\text{Tonelaje producido}} \right) \quad [3]$$

### **c) Rendimiento de costos**

Con el objetivo de optimizar la operación, es importante monitorear los costos totales empleados en cada proceso, y relacionarlos con su actividad realizada, siendo la base para comparar la eficiencia económica de los equipos de carguío.

#### **Costo de carguío por tonelada (\$/t)**

Es importante monitorear los costos de carguío mensuales de cada equipo para cada tonelada producida, debido a su influencia a nivel de reducción de costos, comprende en su totalidad los costos de operación, mantenimiento y recursos empleados para el funcionamiento de cada equipo.

Se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$(\$/t) = \left( \frac{\text{Costos totales}}{\text{Tonelaje producido}} \right) \quad [4]$$

### **Costo de carguío horario(\$/h)**

Adicionalmente, al costo por tonelada, resulta necesario evaluar el costo horario de cada equipo, en relación con el costo de operación total y las horas efectivas empleadas para tener noción de la importancia de maximizar la utilización.

Se expresa a través de la siguiente fórmula:

$$(\$/h) = \left( \frac{\text{Costos totales}}{\text{Tiempo efectivo}} \right) \quad [5]$$

### **2.2.4.2. Rendimiento de la gestión de tiempo de equipos de carguío**

#### ***2.2.4.2.1. Definición***

La gestión de tiempo de equipos en minería, se orienta en aprovechar al máximo el tiempo de los equipos en actividades productivas, en base a un análisis minucioso del tiempo total y disponible podemos calcular indicadores de rendimiento, que nos ayudarán a medir nuestra eficiencia operativa respecto al uso que le damos a nuestros equipos, así como identificar los principales motivos de demoras que disminuyen la utilización efectiva de estos en fines productivos.

**2.2.4.2.2. Distribución del tiempo**

**Figura 4**

*Distribución de tiempo, mina del sur del Perú 2022*

TIEMPO TOTAL								
TIEMPO DISPONIBLE					TIEMPO NO DISPONIBLE			
TIEMPO OPERATIVO			TIEMPO RESERVA		MANTENIMIENTO PROGRAMADO	MANTENIMIENTO NO PROGRAMADO	FACTOR EXTERNO	
TIEMPO EFECTIVO	DEMORA OPERATIVA	DEMORA NO OPERATIVA	STAND BY	FACTOR EXTERNO				
EJEMPLOS	Operativo mina	Voladura	Rancho día	Accidente	Huelga	Mtto. preventivo	Sistema de propulsión	Falta de repuestos
	Intermedio concentradora	Movimiento de cables	Rancho noche	Falta de operador	Clima adverso	Mtto. predictivo	Reparación radiador	Radio de comunicación
	Lixiviación mina	Traslado de pala corto	Cambio de guardia	Falta de palas	Corte de energía	Cambio de componente programado	Reparación de componentes de cucharón	

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4, se visualiza la distribución del tiempo para un equipo de la mina superficial del sur en general, que se clasifica principalmente en tiempo disponible y no disponible, de acuerdo con términos mecánicos que impiden su operación, posteriormente se subdividen de acuerdo con el estado en el que se encuentran y la actividad que realizan.

**Tiempo total:** Corresponde al total de tiempo calendario considerando 24 h, los 12 meses y 365 días del año.

**a. Tiempo Disponible:** El equipo se encuentra disponible mecánicamente pudiendo utilizarse o no.

**a.1. Tiempo Operativo:**

- Tiempo efectivo: El equipo se utiliza para realizar labores productivas principales en mina (Volquetes acarreado, palas cargando, cisterna regando, etc.) o fuera de ésta (apoyo a otras áreas fuera de mina como concentradora o lixiviación).
- Demora operativa: Equipo no realiza labores productivas principales, sino trabajos complementarios y con el motor encendido como traslados cortos de palas o demoras por cambio de operador.
- Demora no operativa: Equipo no realiza labores productivas, con motor apagado. Son rutinarias, como el cambio de guardia u horas de rancho (descanso) en ambos turnos.

**a.2. Tiempo reserva:**

- Tiempo *stand by*: El equipo se encuentra con motor apagado por razones relacionadas a la operación como falta de volquetes, operador o palas, o inclusive el acontecimiento de un accidente. Difiere de las demoras no operativas por su naturaleza no prevista, siendo de carácter situacional y temporal.
- Factor externo de *stand by*: El equipo se encuentra con motor apagado por situaciones no controlables o previsibles, tales como clima adverso o un corte inopinado de energía eléctrica en mina.

**b. Tiempo No disponible:** El equipo no se encuentra disponible mecánicamente.

### **b.1. Mantenimiento Programado**

El equipo se encuentra en un mantenimiento planeado con antelación, por motivos varios entre los cuales podemos mencionar:

- Mantenimientos preventivos.
- Mantenimientos predictivos.
- Cambio de componentes de equipos programado.

### **b.2. Mantenimiento No programado**

El equipo se encuentra en un mantenimiento correctivo para reparar averías no planeadas acontecidas en plena operación como los siguientes:

- Reparación de cables de izaje en una pala.
- Reparación en sistema de propulsión de volquetes.
- Inspección y reparación de componentes de cucharón.
- Cambio de Ripper de tractor oruga.
- Reparación de aire acondicionado.

### **b.3. Factor Externo de mantenimiento**

El equipo es afectado por situaciones no programadas en el mantenimiento o por situaciones ajenas al trabajo, que competen a otra área. Podemos mencionar algunas:

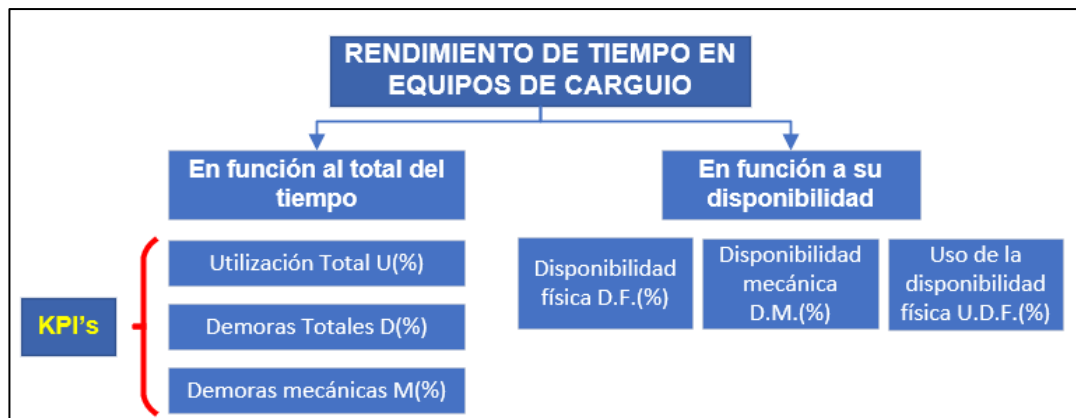
- Falta de repuestos.
- Sistema contra incendios.
- Radio de comunicación.

### 2.2.4.2.3. KPI's de gestión de tiempo en equipos de carguío

El autor considera que aunque el tiempo, se encuentre estrechamente ligado a la operación la gestión de este, necesita un tratamiento especial para incrementar el nivel de análisis e identificación de puntos flojos, es por ello, que se presentan los principales indicadores de desempeño en la gestión de tiempos de un equipo en general y se dividen en función al tiempo total y al tiempo disponible, como se detalla en la Figura 5 y están orientados al aprovechamiento máximo de los niveles de utilización del equipo y reducción de demoras, que incrementarán los niveles de producción obtenida en base a la relación que este trabajo pretende demostrar.

**Figura 5**

*Esquema de rendimiento de la gestión de tiempo de los equipos en mina, 2022*



Fuente: Elaboración propia.

### **a) KPI's respecto al tiempo total**

La suma de estos indicadores consolida el 100 % del tiempo y sirve para analizar la distribución general de éste, integrando a la utilización total, demoras totales y demoras mecánicas.

#### **Utilización total (U. %)**

Relaciona el tiempo efectivo sobre el tiempo total y representa el porcentaje del tiempo total en el cual el equipo realizó actividades productivas y resulta importante como una forma bruta de control de la eficiencia horaria, sin considerar la existencia de demoras que afecten la disponibilidad del equipo. Se calcula bajo la siguiente fórmula:

$$U. (\%) = \left( \frac{\text{TIEMPO EFECTIVO(operación)}}{\text{TIEMPO TOTAL}} \right) * 100 \quad [6]$$

#### **Demoras totales (D. %)**

Resultan al integrarse la suma de las demoras, tiempos en *stand by* y factor externo sobre el tiempo total, buscando consolidar las demoras independientemente de su naturaleza para un tratamiento más efectivo.

Se calcula bajo la siguiente fórmula:

$$D. (\%) = \left( \frac{\text{DEMORA OP.} + \text{DEMORA NO OP.} + \text{TIEMPO STAND BY} + \text{FACT. EXT. S. BY.}}{\text{TIEMPO TOTAL}} \right) * 100 \quad [7]$$

### **Demoras mecánicas (M. %)**

Relaciona el tiempo no disponible debido a mantenimientos mecánicos y situaciones asociadas a éste, sobre el total del tiempo. Se calcula bajo la siguiente fórmula:

$$M. (\%) = \left( \frac{\text{MTTO. PROG.} + \text{MTTO. NO PROG.} + \text{FAC. EXT. MTTO.}}{\text{TIEMPO TOTAL}} \right) * 100 \quad [8]$$

### **b) KPI's respecto al tiempo disponible**

La disponibilidad física, mecánica y el uso de la disponibilidad física constituyen KPI's importantes dentro de la planificación y control de operaciones a cielo abierto, pues en base a ello se elabora el diseño y planificación del minado.

### **Disponibilidad física (D.F. %)**

Es el porcentaje del tiempo total el equipo está disponible para desempeñar cualquier labor para la que está diseñado, integrando el tiempo efectivo y el perdido por demoras totales. Se calcula bajo la siguiente relación:

$$D.F. (\%) = \left( \frac{T. EFECTIVO + DEMORA OP. + DEMORA NO OP. + STAND BY + FACT. EXT. S. BY}{TIEMPO TOTAL} \right) * 100 \quad [9]$$

### **Disponibilidad mecánica (D.M. %)**

Este indicador ayuda a evaluar la influencia de las horas de mantenimiento en el tiempo efectivo, con el objetivo de que el mantenimiento sea consistente y efectivo para minimizar pérdidas e incrementar sus horas de utilización. Se calcula bajo la siguiente fórmula:

$$D.M. (\%) = \left( \frac{T. EFECTIVO}{T. EFECTIVO + MTTO. PROG. + MTTO. NO PROG. + FACT. EXT. MTTO.} \right) * 100 \quad [10]$$

### **Uso de la disponibilidad física (U.D.F. %)**

Indicador que relaciona cantidad de horas que se ha realizado la operación (tiempo efectivo) respecto al tiempo en el que estuvo disponible para tales fines. Se calcula bajo la siguiente fórmula:

$$U.D.F. (\%) = \left( \frac{T. EFECTIVO.}{T. EFECT. + DEMORA OP. + DEMORA NO OP. + STAND BY + FACT. EXT S. BY} \right) * 100 \quad [11]$$

### **2.3. Definición de términos**

#### **a. Fase de minado**

Es un diseño temporal de minado que involucra una serie de actividades a ejecutar, para lograr remover un volumen de material del pit en bancos, es secuenciado y toma en consideración de criterios técnico-económicos para realizar la explotación más rentable y factible.

#### **b. Plan de minado**

Un plan de minado supone una proyección estimada a cumplir en las actividades de minado, con frecuencia diaria, semanal, mensual, anual, o superior. Integra operaciones de movimiento de material para diversos fines como *blending* para chancadoras de sulfuros y óxidos, desbroce o minado a stocks.

#### **c. Producción obtenida (tonelaje minado)**

Define al tonelaje movido en la mina, mediante el carguío y acarreo con fines de alimentación a la chancadora, descarga en stocks, desbroce o mantenimiento de vías fuera de mina, excluyendo material input o remanejado.

**d. Producción (equipo)**

Se refiere a la actividad específica realizada por un determinado equipo o conjunto de ellos (para lo cual fue diseñado) por lo que, es necesario ciertos recursos involucrados en su operación.

**e. Tonelaje total movido**

Considera el tonelaje total movido por todos los fines, de los equipos de carguío y acarreo en mina, generalmente, es mayor al producido.

**f. Tonelaje inpit**

Es el material que se maneja dentro del pit, para mantenimiento de pisos, vías, conformación de bermas y otros trabajos que no se consideran producción.

**g. Tonelaje expit**

Es el material que sale de mina a chancadora, stocks o botaderos y se contabiliza por única vez, como producción al moverse fuera de tajo.

**h. Tonelaje remanejado**

Es el material que por una razón específica es minado por segunda vez, como el minado de stocks a chancadora de sulfuros u óxidos.

**i. Blending**

Es la mezcla proporcionada de mineral para alimentar la chancadora primaria, orientado a cumplir el plan propuesto por planeamiento mina en coordinación con la planta de beneficio.

**j. Desbroce**

Refiere al minado de material estéril o de baja ley no rentable, por debajo de la ley cut off para acceder a zonas mineralizadas, cuya descarga se realiza principalmente en los depósitos de desmonte u otros trabajos como mantenimiento de vías.

**k. Ley de corte o cut off**

Refiere a la ley mínima explotable de mineral, suponiendo operativamente un punto de equilibrio por el cual valores superiores pueden considerarse reserva mineral explotable, y los inferiores material estéril, es un parámetro indispensable para la valorización de bloques y fases de minado para el diseño del pit.

**l. Optimización**

La optimización demanda analizar diversos procesos y ofrecer alternativas o soluciones a falencias que se presenten con el propósito de cumplir eficazmente un trabajo con un menor consumo de recursos. Podemos ejemplificar optimizaciones en minería como incrementar la producción o reducir consumo de

recursos siendo tiempo, combustible, neumáticos; lo cual se traduce en incremento de ganancia y reducción de costos unitarios.

**m. Costo unitario**

Considera el consumo económico generado por el desarrollo de una actividad, expresado en una unidad cuantificable de la misma. Tenemos unitarios para cada proceso del minado, pudiendo ejemplificar el costo \$/t minada por un equipo de carguío o acarreo, el costo de perforación lineal en \$/m perforado o el costo \$/t volado según gastos de maquinaria, recursos materiales, humanos, asistencia técnica, entre otros.

**n. Productividad**

La productividad relaciona con el nivel de producción con cierta cantidad de recursos empleados, pudiendo ser humanos, materiales, económicos y otros.

**o. Recursos**

Son los factores involucrados en el desarrollo de una actividad, y que son necesarios como el tiempo o dinero para realizar un trabajo.

**p. Eficacia**

La eficacia de una actividad u operación significa el cumplimiento de este, a cabalidad sin considerar recursos que se emplearon.

**q. Eficiencia**

Considera el cumplimiento de una actividad, pero utilizando con máximo provecho los recursos necesarios para este fin, sin perder la calidad del trabajo.

**r. CAPEX**

Se refiere a los gastos de inversión de la mina, realizados en maquinaria, así como infraestructura y equipamiento necesario para diversas actividades.

**s. OPEX**

Son los servicios que demandan un costo de operación para la asistencia en operaciones y mantenimiento durante la vida productiva de la mina.

## **2.4. Aspectos generales de la mina de estudio**

### ***2.4.1. Ubicación***

De acuerdo con Pérez (2021), la mina superficial del sur del Perú, se sitúa en el flanco andino del departamento de Moquegua en la provincia Mariscal Nieto, distrito de Torata a una altitud entre los 2950 y 3880 m.s.n.m., aproximadamente a 45 Km al NE de la ciudad de Moquegua (Figura 6).



### **2.4.2. Accesibilidad**

Según Pauca y Herrera (2022), es posible acceder a sus instalaciones por vía terrestre mediante las rutas, descritas en la Tabla 3.

**Tabla 3**  
*Accesibilidad a la mina superficial del sur del Perú*

<b>Tramo</b>	<b>Distancia (Km)</b>	<b>Tiempo (h)</b>	<b>Vía</b>	<b>Estado de vía</b>
Lima-Moquegua	1 146	14	Panamericana sur	Asfaltada
Arequipa-Moquegua	227	3	Panamericana sur	Asfaltada
Tacna-Moquegua	159	1,5	Panamericana sur	Asfaltada
Moquegua-mina	45	0,7	Interoceánica sur-Carretera de mina	Asfaltada

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, la mina de estudio posee un aeropuerto en el campamento de villa Botiflaca, que hace posible el arribo y despegue de avionetas o unidades de vuelo con similares dimensiones.

### **2.4.3. Reservas minerales**

Las reservas de mineral actualizadas al 31 de diciembre de 2021 comprenden la estimación de los siguientes materiales que se detallan en la Tabla 4, para un minado con una vida operativa proyectada hasta el año 2069.

**Tabla 4***Reservas minerales al 2022*

<b>Material</b>	<b>Tonelaje (Mt)</b>	<b>Ley promedio %Cu</b>	<b>Ley promedio %Mo</b>
Sulfuro	1 334	0,492 %	0,017 %
Lixiviable	22	0,496 %	-
Desmonte	3 063	-	-
<b>Total</b>	<b>4 419</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

Fuente: Superintendencia de planeamiento mina.

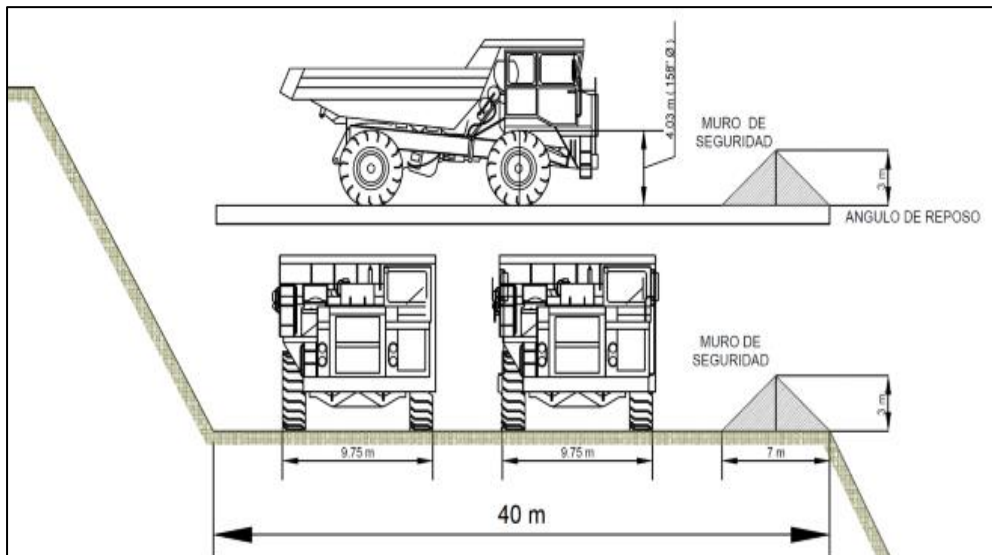
#### **2.4.4. Características del pit**

La longitud del pit (N-S) es de 2,9 Km y el ancho (E-O) de 3,1 Km., posee ángulos de talud de 60-70°, ángulos interrampa de 38°-50°, gradientes de rampas de diseño a 10 % y alturas de banco de 15 m.

El ancho mínimo de minado es de 80 m y el ancho de vías en doble sentido es no menor a 3 veces el ancho del volquete más grande de la operación, en tal sentido se considera 40 m medida que incluye las bermas o muros de seguridad y una distancia ideal respecto a los volquetes y el toe del talud (Figura 7).

**Figura 7**

*Características de vía a doble sentido en mina*



Fuente: Superintendencia de planeamiento mina.

Para estimar la altura en muros de seguridad se toma como referencia al neumático más grande, considerando  $\frac{3}{4}$  partes de la altura del neumático para bermas de vías de acarreo y  $\frac{1}{2}$  altura para bermas en depósitos de descarga de desmonte o stocks. La operación de minado actual cuenta con 3 fases activas (Figura 8):

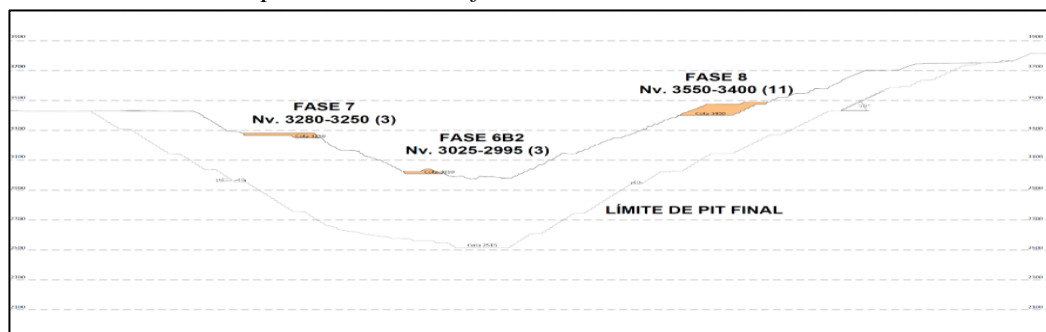
- Fase 6-B2
- Fase 7
- Fase 8.

En las fases 06 B-02 y 7, cuya explotación se encuentra destinada principalmente al abastecimiento de mineral sulfuro a chancadora primaria y

desbroce de explotación de material estéril a depósitos de desmonte, la fase 8 se encuentra en un proceso de desbroce de preparación para iniciar el acceso a zonas de mineral con valor económico superiores al cut-off.

### Figura 8

*Corte transversal del pit, indicando las fases activas de minado en 2022*



Fuente: Superintendencia de planeamiento mina.

Se encuentran activos 4 depósitos de desmonte:

- Depósito Torata Este.
- Depósito Torata Oeste.
- Depósito Cocotea Bajo
- Depósito Cocotea alto.

Se cuenta con stocks para acumular temporalmente materiales para ser remanejados, siendo los más importantes el stock 3445 de mineral óxido, el stock Toratán con mineral para chancadora de sulfuros, el stock asciende al 5 % con mineral de baja ley, el stock de lastre para mantenimiento de vías y el stock de grava para el taconeado de taladros en los proyectos de voladura.

## 2.5. Operación de minado de la mina superficial del sur del Perú

### 2.5.1. Ciclo de minado

#### 2.5.1.1. Perforación

El ciclo de minado empieza por la perforación del macizo rocoso para la posterior fragmentación de este mediante el proceso de voladura, la cual consiste en crear taladros, los cuales son columnas vacías en el terreno donde se introducirán los explosivos. Esta labor es realizada por 6 perforadoras eléctricas (Tabla 5) en el caso de taladros de producción y buffer, y 2 diésel para precorte o voladura secundaria por intermedio de la contratista Pevoex S.A.C., los taladros realizan por acción roto-percutora de columnas de perforación compuesta, principalmente por barrenos, brocas, adaptadores, estabilizadores y otros aceros de perforación.

**Tabla 5**

*Perforadoras primarias de mina, 2022*

<b>Equipo</b>	<b>Modelo</b>
D11	P&H 120A
D13	Bucyrus 49RIII
D14	Bucyrus 49HR
D16	P&H 320XPC
D17	P&H 320XPC
D18	CAT MD6640

Fuente: Superintendencia de operaciones mina.

Es importante señalar que la perforación se realiza mediante la preparación de mallas las cuales son diseñadas por planeamiento mina de acuerdo con

requerimiento pueden ser de producción, trim, precorte, rampas de diseño y ramp-out o voladura de rampa, que luego de ser validadas y subidas al sistema de despacho para su ubicación y perforación en terreno.

Los parámetros de perforación de las mallas son proporcionados por el área de geología, geotecnia y perforación & disparos, de acuerdo con la litología, estabilidad de taludes, y diseño de banco o rampa, en consecuencia, el burden y espaciamiento varían según estos criterios técnicos.

Podemos resumir los parámetros de diseño para taladros de producción y precorte según tipo de material, en la Tabla 6, que pueden sufrir variaciones de acuerdo con el diseño y control de voladura.

**Tabla 6**  
*Parámetros de perforación de mina, 2022*

<b>Parámetros de perforación</b>	<b>Mineral</b>	<b>Desmonte</b>	<b>Precorte</b>
Díámetro Taladro(in)	10 5/8"	12 1/4"	5"
Longitud taladro(m)	15	15	-
Sobre perforación(m)	1	1	-
Espaciamiento(m)	7 a 9	9 a 11	2
Ángulo	90°	90°	60°-70°

Fuente: Superintendencia de operaciones mina.

### **3.5.1.2. Voladura**

La voladura comprende el carguío de columnas explosivas y amarre del proyecto con accesorios, que principalmente son cordones y retardantes que determinan una secuencia de tiempos y orientación de voladura, para que ésta sea controlada. En mina el carguío y amarre de taladros se encuentra a cargo de la contratista especializada en asistencia técnica EXSA y la iniciación del disparo o detonación está a cargo de la empresa ORICA.

El carguío de la columna explosiva dependerá a características técnicas como tipo de taladro, litología, tipo de malla y cuidado de taludes. Principalmente destaca el uso de variedad de explosivos como booster, y detonadores i-Kon, y agentes como ANFO's, emulsiones, cordón detonante y fanel (Figura 9).

La mezcla explosiva para voladura primaria es el Quantex 82(80 % Emulsión Slurrex G y 20 % de ANFO) y 73(70 % Emulsión Slurrex G y 30 % de ANFO) con iniciación y retardos programados con detonadores i-Kon, mientras que la voladura secundaria (precorte o bolonería), es cargada con la emulsión encartuchada Senatel y con amarres de fanel.

## **Figura 9**

*Cargado de explosivos en proyecto de voladura en mina 2022*



Fuente: Elaboración propia.

Durante la detonación de un proyecto de voladura se monitorea la secuencia del disparo y las vibraciones producidas, posteriormente se evalúa la fragmentación obtenida, la minería moderna orienta el diseño de mallas y cargado de explosivos de acuerdo con la operación, buscando condiciones óptimas y seguras para el minado.

### **3.5.1.3. Carguío**

El proceso de carguío involucra la carga de un tipo de material volado o natural (teniendo una dureza inferior que pueda ser excavable) a unidades de acarreo, pudiendo también realizar la descarga en distancias cortas, como el caso de cargadores frontales o la pala eléctrica al momento de arreglar pisos o conformar bermas.

Para las palas eléctricas es necesario un abastecimiento de alto voltaje para su funcionamiento, en la mina superficial del sur los equipos perciben una alimentación de 7,2 Kv. El carguío se apoya en otros equipos auxiliares como tractores sobre ruedas, tractores sobre oruga, motoniveladoras, regadío de cisternas y excavadoras, para dejar pisos bien minados y taludes limpios bien perfilados. Los equipos de carguío principales de la mina son 6 palas eléctricas de cable y 2 cargadores frontales de alto tonelaje, cuyas características principales se detallan en la Tabla 7.

**Tabla 7**

*Equipos de carguío en mina, 2022*

<b>Equipo</b>	<b>Modelo</b>	<b>Capacidad cucharón (m<sup>3</sup>)</b>
P01	P&H 2800XPB	32
P03	P&H 4100A	43
P04	Bucyrus 495BII	43
P05	Bucyrus 495HR	56
P06	Bucyrus 495HR	56
P07	P&H 4100 XPC	57
LT01	LeTorneau 1800	25
LT02	LeTorneau 2350	38

Fuente: Superintendencia de operaciones mina.

## **Ciclo de carguío**

Podemos describir un carguío típico de una pala eléctrica de cable a un volquete o unidad de acarreo considerando una operación ideal, en 4 fases principales:

### **a. Excavación**

La excavación involucra el empuje del balde o cucharón hacia el banco, levantamiento para su llenado y recojo. Las condiciones del material a cargar como dureza y granulometría afectan el factor de llenado del cucharón.

### **b. Giro con carga**

En esta fase la pala realiza una trayectoria de giro para posicionar el cucharón a un ángulo y altura adecuada, sobre el volquete de acarreo.

El ángulo óptimo de giro es de  $90^\circ$ , asimismo el cuadrado del volquete influye significativamente en el giro realizado, pudiendo ser de mayor eficiencia al ser menor por representar distancia y tiempo menor en el giro realizado.

### **c. Descarga**

Mediante mecanismos de accionamiento de apertura de la compuerta inferior, el cucharón se abre descargando el material en el volquete.

d. Giro sin carga o retorno

Involucra el giro de regreso del cucharón vacío al corte de excavación donde inició el carguío. Un carguío eficaz, permite agilizar el número de pases, evitar derrames o pérdida de tiempo en corrección de carga no centrada lo cual tiene gran relevancia en el incremento del rendimiento de la operación y desgaste de componentes en los equipos involucrados.

**Figura 10**

*Cargado de pala eléctrica a volquete en mina*



Fuente: Elaboración propia.

Es importante destacar que el minado de la pala se apoya mediante el sistema de despacho Mineops pro, levantamientos topográficos y supervisión de campo constante, para un mejor control del nivel de pisos, polígonos, dig rate, asignaciones de volquetes, cambios, e indicaciones propias de las actividades a realizarse durante la guardia.

Un cargador frontal gigante realiza su cargado correctamente en 4 fases.

- a. Excavación, se realiza con el cucharón o lampón.
- b. Retroceso y avance para posicionamiento en zona de descarga, adoptando una trayectoria semi perpendicular o como “Y”
- c. Descarga
- d. Retroceso y avance para retorno a zona de carga.

Es importante mencionar que el cargador ofrece ventajas en comparación a la pala como un control propio de pisos, sin necesidad de un equipo auxiliar y desplazamiento independiente adaptable rápidamente a cualquier indicación.

#### **3.5.1.4. Acarreo**

En este proceso se realiza el transporte de materiales de mina de un punto de carga a uno de descarga, constituyendo ciclos o viajes. La mina de estudio cuenta con 45 volquetes agrupados en 7 flotas de diversas capacidades, tal como detalla la Tabla 8. Los puntos de carga principalmente son en la zona de minado de la unidad de carguío en tajo, stocks y vías; para que luego de ser acarreado, el material sea descargado en un punto determinado según la operación: chancadora, botaderos, pisos de pala, vías, stocks y otros.

**Tabla 8***Equipos de acarreo en la mina superficial del sur, 2022*

<b>Flota</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Capacidad Tolva (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tonelaje Nominal (t)</b>
Komatsu 930E	6	160-175	291
Komatsu 930E-4	9	160-175	291
Komatsu 930E-SE	2	173	291
Caterpillar 793D	2	120	232
Caterpillar 797F	18	205	363
Komatsu 980E-4	6	225	363
Caterpillar 798AC	2	200	363

Fuente: Superintendencia de operaciones mina.

La asignación de puntos de carga y descarga en mina es apoyada por el sistema de despacho, siendo de forma manual o automática basada en la optimización de programación lineal en tiempo real, obteniendo un acarreo fluido y con tiempos de cola mínimos en las palas y chancadora. Asimismo, percibe ayuda en el control de somnolencia, coordinaciones operacionales de voladura y mantenimientos mecánicos, cambios de operador, control y cuidado de neumáticos y reporte de incidentes o accidentes suscitados. Un ciclo de acarreo en la mina superficial del sur se compone por los siguientes estados o fases de acuerdo con el control del sistema dispatch (Figura 11).

### Figura 11

*Composición del ciclo de acarreo, 2022*

Estado	Descripción
Queued	Muestra el tiempo en donde el volquete esta haciendo cola en la pala.
Waiting	Muestra el tiempo en donde el volquete está esperando en la pala
Spotting	Muestra el tiempo Cuando el Camión esta retrocediendo para posicionarse a ser cargado (en la pala).
Loading	Muestra el tiempo cuando estuvieron cargando material al volquete
Hauling	Muestra el tiempo cuando el volquete está viajando lleno acarreando material.
Inactive	Muestra el tiempo inactivo que estuvo el volquete.
Backing	Muestra el tiempo Cuando el Camión esta retrocediendo para posicionarse a descargar
Tipping	Muestra el tiempo Cuando la cama del camión esta arriba descargando.
Traveling	Muestra el tiempo cuando el volquete esta viajando vacio.

Fuente: Superintendencia de operaciones mina.

Como se indica en la Figura 11 es necesario contemplar tiempos de demora en el ciclo de acarreo por cuestiones operativas, no operativas y mecánicas; las cuales son constantes en el desarrollo del minado, tal cual se analizará posteriormente en la gestión de tiempos de equipos.

### Figura 12

*Flota de volquetes de acarreo en mina, 2022*



Fuente: Elaboración propia.

### 3.5.2. Servicios auxiliares

Para un correcto desarrollo de las operaciones en mina, es necesario de la realización de trabajos auxiliares como el movimiento y suministro de cableado eléctrico para la energización de perforadoras y palas, incluyendo el trabajo de corte de energía de *switch house* y la conexión a líneas de subestaciones. Las labores anteriormente mencionadas son realizadas por medio de la contratista SELIN y se cuenta con 3 camiones cableros para su realización.

**Figura 13**

*Alimentación eléctrica de equipos en mina, 2022*



Fuente: Superintendencia de operaciones mina.

Un trabajo importante constituye el abastecimiento de agua a las perforadoras primarias y secundarias, mediante 2 tanques cisterna pequeños, para facilitar la acción roto-percutiva de las brocas con el macizo rocoso, así como el

regadío de vías y abastecimiento a depósitos de almacenamiento en grifos, almacenes u otros.

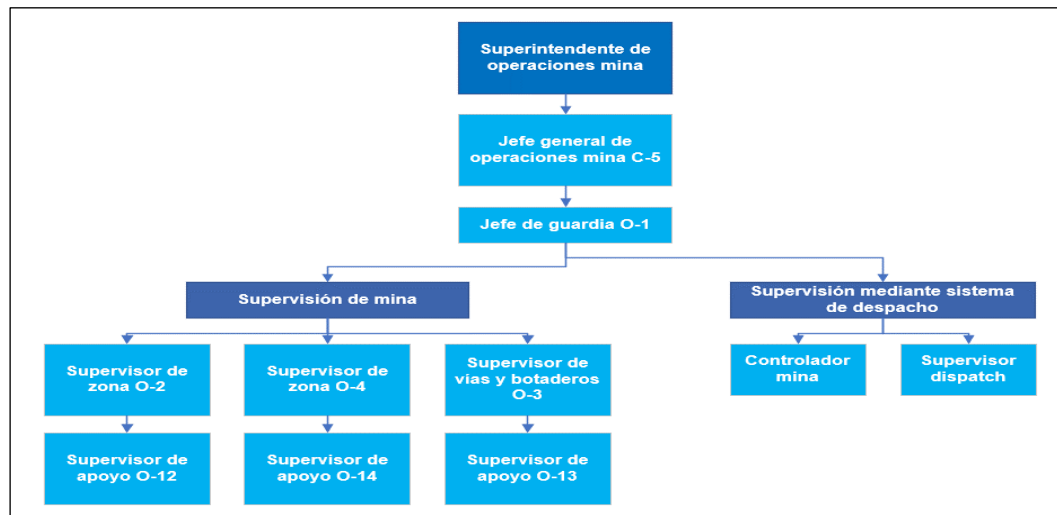
Adicionalmente, podemos incluir las labores de drenaje y bombeo de pozas en diversos puntos de mina para evitar que la presencia de agua obstruya las labores de minado o perjudique la calidad de vías y estructuras, el izaje de cargas, señalización de la mina, iluminación de vías y depósitos de desmonte, trabajos de soldadura y limpieza de instalaciones.

### ***2.5.3. Control de operaciones***

Las operaciones en mina responden a un control con una jerarquía vertical encabezada por el superintendente de operaciones y el jefe general de guardia que realizan el control de actividades planificadas de forma general, apoyándose en supervisores diversos con funciones específicas repartidas en mina y control de flota mediante despacho tal y como se aprecia en la Figura 14.

**Figura 14**

*Esquema de control de operaciones en mina*



Fuente: Superintendencia de operaciones mina.

Las labores se disponen principalmente en tres zonas para lo cual se dispone la supervisión en cada una, la zona de desbroce en fase 8 queda a cargo del O-2 y la zona de mineral en fase 7 y 6B-2 a cargo del O-4 con sus apoyos respectivos y el soporte continuo del control de flota dispatch vía radial, en adición a lo expresado, el supervisor O-3 proporciona el mantenimiento de vías y depósitos de desmonte de mina. Luego de ser planificadas y al momento de ejecutarse las operaciones, es importante realizar un seguimiento continuo a las mismas, permitiendo garantizar el cumplimiento del minado de forma eficiente y segura

### **Supervisión de mina**

Compuesta por ingenieros de minas y personal de apoyo que supervisan los procesos unitarios principales y auxiliares en campo, el reparto de guardia,

seguimiento al cumplimiento de planes de alimentación a chancadora, indicación de trabajos específicos al personal, traslado de equipos y coordinación con otras áreas para el desempeño continuo de actividades como voladura, geotecnia, mantenimiento, lubricación, entre otras.

Otras funciones que le competen al supervisor de mina son las siguientes:

- Revisión de herramientas de gestión de seguridad.
- Elaboración de informes de investigación de accidentes.
- Elaboración y actualización de procedimientos escritos de trabajo seguro (PETS).
- Abordaje de operadores por somnolencia.
- Coordinaciones para el proceso de voladura y reinicio de actividades.
- Coordinación logística para entrega de EPP's al personal.
- Bloqueo de zonas inseguras.
- Indicaciones y control de flota físico ante condiciones climáticas o de terreno adversas.

### **Supervisión mediante sistema de despacho de flota**

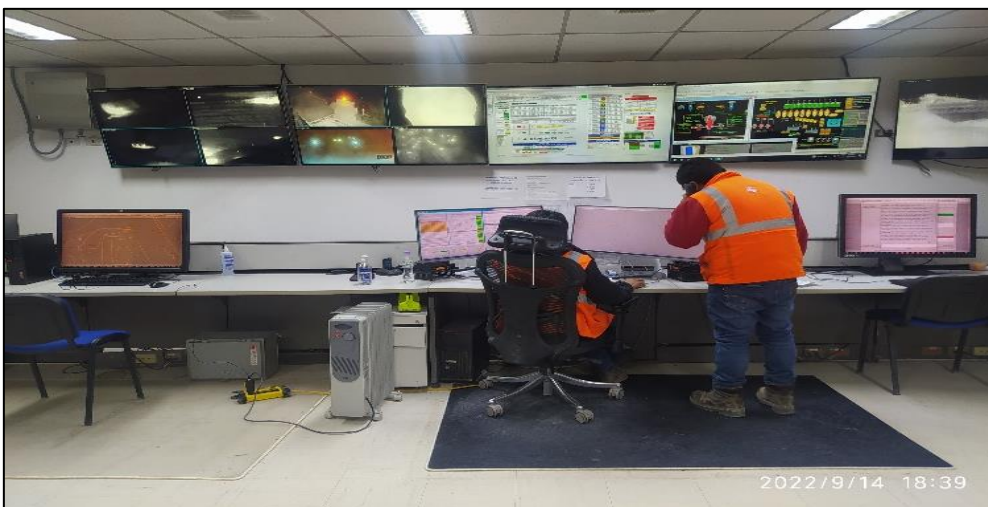
El control en despacho de flota de equipos en mina supone un gran apoyo al monitoreo de operaciones, comúnmente se realiza a través de un sistema modular operado por un supervisor controlador, donde se pueden realizar acciones como

asignación de operadores a equipos, configuración de puntos de carga y descarga, seguimiento al cumplimiento del *blending*, coordinaciones con áreas como mantenimiento, electricidad y contratistas. Otras funciones implican la aplicación de restricciones y bloqueos que permitirán asignaciones optimizadas automáticas, para reducir tiempos de *queue* (cola de volquetes) y *hang* (pala esperando volquete), tomando como objetivo el incremento de la producción.

El sistema de despacho de la mina de estudio es el Mineops pro-versión 2.8-003.002 que brinda soporte a palas, perforadoras, volquetes y equipo auxiliar de mina permitiendo conocer sus ubicaciones, asignaciones, rendimiento, TKPH, estados, control de nivel, ubicación de puntos de perforación, y otras ubicadas en la interfaz de cada equipo (Figura 15).

**Figura 15**

*Oficina de control dispatch, 2022*



Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente el controlador de mina cuenta con sistemas complementarios para el desempeño de operaciones que son los siguientes:

### **Sistema Guardvant**

Sirve para el control de somnolencia reportando eventos de micro sueño, distracción y obstrucción, siendo de gran ayuda para evitar accidentes por fatiga; pues en casos de eventos de micro sueño crítico el sistema emite una vibración que alerta al operador del equipo. Asimismo, recolecta los casos por guardia para realizar abordajes y sensibilización.

### **Sistema Mems y I-truck**

Son sistemas que monitorean la presión y temperatura de neumáticos a fin de evitar eventos peligrosos como la explosión de un neumático por condiciones defectuosas del mismo que pudiesen generar pérdidas materiales y humanas.

### **Sistema de detección de tormentas Vaisala**

Sirve para emitir advertencia de caída de rayos, debido a tormentas eléctricas en lugares próximos a mina, calificando en situaciones de alerta roja, naranja y amarilla que condicionan el desenvolvimiento de la operación a fin de salvaguardar la integridad de los trabajadores.

Las alertas son las siguientes

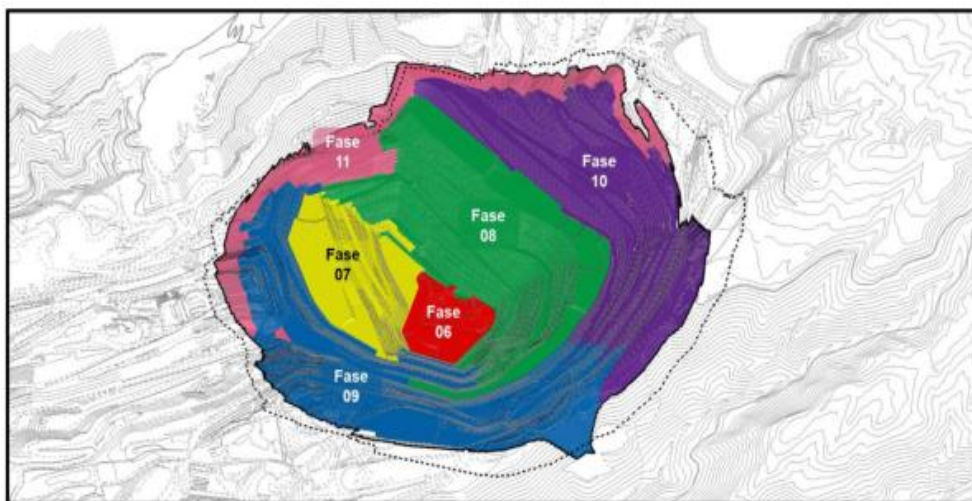
- Alerta roja impide las operaciones por rayos cercanos al tajo en un radio de hasta 10 Km.
- Alerta naranja condiciona a solo realizar labores en equipos con cabina cerrada, la tormenta se encuentra en un rango de 10-20 Km de proximidad.
- Alerta amarilla indica una aproximación superior a los 20 Km, por lo que sugiere precaución ante un posible cambio a un nivel superior.

#### **2.5.4. Plan de minado**

El plan de minado correspondiente al año 2022, comprende la explotación de las fases activas 6,7,8 y el inicio del desbroce en la fase 9 involucrando el movimiento de material sulfuro, oxido y desmonte (Figura 16).

**Figura 16**

*Fases de minado proyectadas, 2022*



Fuente: Superintendencia de planeamiento mina.

Para la planificación de operaciones se realiza simulación del carguío y acarreo, en las Tablas 9 y 10 se consolida promedios de disponibilidad física, utilización y uso de la disponibilidad física anual para las palas y flota de volquetes respectivamente.

**Tabla 9**

*Planificación de palas 2022*

<b>Equipo</b>	<b>Modelo</b>	<b>Horas operativas(h)</b>	<b>Disponibilidad Física (%)</b>	<b>Utilización (%)</b>	<b>Uso de la disponibilidad física (%)</b>
P01	P&H 2800XPB	5 432	89 %	62 %	69 %
P03	P&H 4100A	6 001	89 %	69 %	77 %
P04	Bucyrus 495BII	4 425	88 %	51 %	58 %
P05	Bucyrus 495HR	2 406	89 %	27 %	31 %
P06	Bucyrus 495HR	3 985	70 %	45 %	50 %
P07	P&H 4100 XPC	6 318	90 %	72 %	80 %

Fuente: Superintendencia de planeamiento mina.

**Tabla 10**

*Planificación de volquetes 2022*

<b>Flota</b>	<b>Cantidad de equipos</b>	<b>Tonelaje Nominal (t)</b>	<b>Disponibilidad Física (%)</b>	<b>Utilización (%)</b>	<b>Uso de la disponibilidad física (%)</b>
Komatsu 930E	6	291	88 %	74 %	84 %
Komatsu 930E-4	9	291	88 %	74 %	84 %
Komatsu 930E-SE	2	291	88 %	74 %	84 %
Caterpillar 793D	2	232	87 %	64 %	73 %
Caterpillar 797F	18	363	88 %	75 %	86 %
Komatsu 980E-4	6	363	89 %	76 %	86 %
Caterpillar 798AC	2	363	-	-	-

Fuente: Superintendencia de planeamiento mina, no se considera valores para la flota Caterpillar 798 AC por ser volquetes que se integraron a la operación en abril.

El plan anual de la mina superficial del sur en 2022 considera un total de 143 000 Kilotoneladas (Kt.) de material minado, incluyendo la suma de mineral a chancadora, mineral óxido lixiviable y el acarreo de desmonte para acceder a zonas mineralizadas.

**Tabla 11**

*Plan anual de minado 2022*

Mes	Total material minado (Kt)	Mineral a chancadora (Kt)	%Cu	%Mo	%CuOx	Rhi	CUCN	Mineral óxido (Kt)	Desmonte (Kt)
Ene	11 656	2 495	0,596	0,019	0,017	17,73	0,063	-	9 161
Feb	10 528	2 224	0,61	0,02	0,021	17,93	0,062	-	8 304
Mar	11 656	2 425	0,602	0,019	0,019	18,39	0,056	-	9 231
Abr	11 150	2 553	0,616	0,017	0,025	17,2	0,077	61	8 536
May	11 470	2 649	0,607	0,019	0,015	17,32	0,037	-	8 821
Jun	11 100	2 522	0,6	0,018	0,016	17,7	0,033	-	8 578
Jul	12 400	2 433	0,618	0,02	0,015	17,42	0,044	-	9 967
Agosto	12 400	2 474	0,611	0,019	0,017	18,69	0,042	-	9 926
Set*	12 000	2 159	0,601	0,019	0,02	18,07	0,044	-	9 841
Oct	13 020	2 512	0,622	0,02	0,019	18,36	0,038	36	10 472
Nov	12 600	2 456	0,62	0,019	0,017	17,89	0,048	-	10 144
Dic	13 020	2 465	0,616	0,018	0,016	18,76	0,036	-	10 555
<b>Total</b>	<b>143 000</b>	<b>29 367</b>	<b>0,61</b>	<b>0,019</b>	<b>0,018</b>	<b>17,95</b>	<b>0,048</b>	<b>97</b>	<b>113 536</b>

Fuente: Superintendencia de planeamiento mina, para el mes de setiembre\* se tiene previsto días de parada de planta concentradora.

De acuerdo con la Tabla 11, para el presente año se realizará un minado de 29 367 Kt de mineral para la chancadora de sulfuros con una ley promedio de 0,61 % de cobre, 0,019 % de molibdeno, 0,018 % de cobre lixiviable y dureza (Rhi) con un valor promedio de 17,95, es importante considerar que solo se tiene previsto acceder a polígonos de mineral lixiviable de mina los meses de abril y octubre, el resto de mineral abastecido a los pad's desde el stock 3445 de óxidos. El desmunte transportado asciende a 113 536 Kt. Principalmente de las fases de desbroce 8 y 9 según el tipo de desbroce planificado (preparación o explotación).

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Planteamiento metodológico**

##### ***3.1.1. Tipo de estudio***

La presente investigación es básica, pues tiene como fin incrementar el conocimiento o información en base a la observación de hechos sin alteración alguna de los datos recabados, por lo que, se analiza los resultados de las variables a través de la muestra.

##### ***3.1.2. Nivel de investigación***

Podemos situar el presente trabajo en un nivel correlacional, pues tal como Hernández (2014) nos enuncia “tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular” (p.93), en referencia a nuestro estudio, se pretende demostrar la relación entre el rendimiento de los equipos analizados mediante indicadores clave (KPI's) y la producción obtenida entre los meses de enero y junio del 2022.

### ***3.1.3. Diseño de la investigación***

El presente trabajo posee un diseño no experimental, puesto que, al ser de nivel correlacional, no tiene incidencia en los fenómenos estudiados, y nos permite observar de forma natural la relación entre las variables de estudio planteadas.

Añadido a lo anterior, podemos caracterizarla también como una investigación longitudinal o evolutiva como señala Hernández (2014) cuando sostiene que “se recolectan datos en diferentes momentos o periodos para hacer inferencias respecto al cambio, sus determinantes y consecuencias” (p.160), refiere que el análisis de datos es realizado de forma mensual en el periodo de enero a junio del 2022.

Finalmente, lo caracterizamos como un diseño longitudinal de tipo panel, en base a lo afirmado por Hernández (2014), en este diseño “los mismos casos o participantes son medidos u observados en todos los tiempos o momentos” (p.161), el estudio de la muestra (equipos de carguío), es constante en el periodo definido sin variación alguna, siendo el objetivo evaluar la evolución mensual del rendimiento.

### **3.2. Población y muestra de estudio**

La población corresponde a la operación de minado de la mina superficial del sur y sus procesos unitarios en general.

La muestra de estudio está conformada por datos del proceso unitario de carguío comprendida en el periodo de enero a junio de 2022, enfatizando al estudio y análisis de rendimiento de 6 palas eléctricas de cable y 2 cargadores frontales de alto tonelaje.

### **Características del muestreo**

El muestreo se categoriza como no probabilístico, puesto que la elección de elementos estudiados “no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador” (Hernández, 2014, p. 176), para este caso se eligió el periodo y muestra de estudio, considerando la relevancia técnica necesaria en el trabajo.

### **3.3. Equipos y materiales**

El equipo empleado para la recolección y el procesamiento de datos y redacción del presente trabajo es una laptop y memorias U.S.B, puesto que no se trata de una investigación que comprenda pruebas experimentales. Adicionalmente se empleó software especializado para el procesamiento y análisis de información como el paquete de Microsoft Office 2019 y el SPSS versión 25.

Los materiales empleados comprenden artículos de oficina para realizar anotaciones como hojas, archivadores, libretas, lapiceros y cuadernos de apunte.

### **3.4. Técnicas de recolección de datos**

#### **Técnica**

La recopilación de datos se realizó por medio de una técnica documental, la cual se extraerá por medio de consultas a la base de datos del sistema dispatch de la mina superficial del sur del Perú, bajo un muestreo no probabilístico elegido a conveniencia, se utilizaron instrumentos de consulta con periodos y parámetros fijados a criterio, para su posterior tratamiento.

#### **Instrumentos**

La investigación demandó la compilación de información con el apoyo de diversos instrumentos que permitieron una selección objetiva, ordenada y cuantificable de datos para su posterior procesamiento, los cuales se presentan a continuación.

#### **Formato de consulta cargas y descargas**

Se extrajo del sistema dispatch la información de todos los ciclos de carguío y acarreo, en el **anexo 3** se precisa el equipo de carguío, el tipo de material, tonelaje cargado, equipo y flota, tiempos, distancias recorridas y fecha.

### **Formato de consulta de estados de equipos**

Se detalla en el **anexo 4**, la consulta permitió consolidar la información de los estados de equipos, para su distribución y análisis de indicadores de gestión de tiempos, describe información consistente a la fecha, duración, clasificación de estado, turno y flota de cada unidad de carguío.

### **Formato de reporte de producción**

Tal y como se indica en el **anexo 5**, se consolidó los reportes mensuales de producción, contemplando los tonelajes minados diarios y mensualmente, necesarios para cuantificar la variable 2.

### **Formato de consumo eléctrico y costos totales**

Como se detalla en el **anexo 6** se compilaron los costos de carguío y consumo eléctrico, para el cálculo de indicadores de rendimiento de recursos.

## **3.5. Técnicas para el procesamiento de datos**

Las actividades realizadas en el tratamiento y análisis de datos fueron las siguientes:

### ***3.5.1. Tabulación de información***

Para iniciar el tratamiento de datos a partir de la consolidación de los 4 formatos anteriormente mencionados, se tabuló la información de cada equipo de

carguío de forma mensual, recalando que para facilidad tratamiento de datos y análisis de resultados se dividirá el tratamiento en rendimiento operativo y rendimiento de gestión de tiempo de los equipos de carguío.

Para el rendimiento operativo se tabuló la información de cada equipo de carguío en una hoja de cálculo, tal y como se aprecia en la Tabla 12, resumiendo el tonelaje, horas efectivas, n° de volquetes cargados, consumo eléctrico y costos totales para cada mes del periodo de estudio.

**Tabla 12**

*Tabla de datos ordenados para cálculo de KPI's de rendimiento operativo*

N°	Equipo	Mes	Tonelaje producido (t)	Horas efectivas (h)	N ° volquetes cargados	Consumo energía (KWh)	Costos totales (\$)
1	LT01	Enero	202 693	203	682	N.A.	226 917
2	LT02	Enero	640 900	453	2 053	N.A.	207 259
3	P01	Enero	814 971	536	2 589	334 705	229 369
4	P03	Enero	2 118 030	582	6 151	324 270	426 938
5	P04	Enero	1 445 075	585	4 471	342 670	221 497
6	P05	Enero	1 071 724	465	3 307	407 821	208 816
7	P06	Enero	2 944 965	587	8 004	376 579	215 293
8	P07	Enero	2 708 518	597	7 581	322 670	448 874
9	LT01	Febrero	159 308	173	539	N.A.	104 102
10	LT02	Febrero	651 000	419	2 095	N.A.	199 510
11	P01	Febrero	657 810	431	2 014	290 820	108 685
12	P03	Febrero	1 943 292	490	5 648	272 060	305 116
13	P04	Febrero	1 755 880	531	5 286	294 840	271 068
14	P05	Febrero	932 749	429	3 036	371 668	346 248
15	P06	Febrero	2 509 990	534	6 953	350 782	361 266

N°	Equipo		Tonelaje producido (t)	Horas efectivas (h)	N ° volquetes cargados	Consumo energía (KWh)	Costos totales (\$)
15	P06	Febrero	2 509 990	534	6 953	350 782	361 266
16	P07	Febrero	2 259 503	494	6 446	269 070	259 892
17	LT01	Marzo	334 899	342	1 148	N.A.	143 194
18	LT02	Marzo	854 149	533	2 544	N.A.	228 809
19	P01	Marzo	33 464	40	76	30 130	130 055
20	P03	Marzo	1 865 378	539	5 612	334 660	238 817
21	P04	Marzo	2 146 017	552	6 263	360 120	371 820
22	P05	Marzo	1 181 717	392	3 809	359 183	155 378
23	P06	Marzo	2 770 833	558	7 591	393 557	184 764
24	P07	Marzo	2 340 847	532	6 636	348 060	233 551
25	LT01	Abril	219 594	219	727	N.A.	113 661
26	LT02	Abril	599 022	404	1 766	N.A.	161 154
27	P01	Abril	214 833	127	691	56 330	79 936
28	P03	Abril	2 143 146	527	6 278	364 480	336 506
29	P04	Abril	912 784	334	2 796	238 520	222 066
30	P05	Abril	1 905 022	522	5 678	435 586	139 726
31	P06	Abril	2 274 490	558	6 414	416 434	145 934
32	P07	Abril	2 839 366	560	7 947	358 600	1 133 111
33	LT01	Mayo	489 663	383	1 633	N.A.	289 225
34	LT02	Mayo	776 499	520	2 315	N.A.	368 518
35	P01	Mayo	1 032 051	559	3 324	385 140	144 930
36	P03	Mayo	2 594 488	600	7 222	334 680	190 861
37	P04	Mayo	1 163 615	541	3 645	295 150	492 062
38	P05	Mayo	2 747 890	600	7 790	440 079	296 276
39	P06	Mayo	588 476	207	1 561	151 881	320 602
40	P07	Mayo	2 666 589	565	7 243	320 610	1 113 196
41	LT01	Junio	184 937	150	618	N.A.	91 571
42	LT02	Junio	584 427	404	1 797	N.A.	405 848
43	P01	Junio	751 543	475	2 440	311 125	126 431
44	P03	Junio	2 299 703	539	6 287	312 530	281 021
45	P04	Junio	1 146 561	483	3 695	280 030	474 074
46	P05	Junio	2 260 358	483	6 495	322 334	242 707
47	P06	Junio	1 829 778	550	5 122	374 706	157 558
48	P07	Junio	2 376 782	523	6 525	305 490	465 679

Fuente: Elaboración propia.

Para el rendimiento de gestión de tiempo, la información del anexo 4 se tabuló de acuerdo con la distribución de tiempo de la mina Superficial del sur del Perú en la siguiente tabla, permitiendo facilidad de procesamiento para el cálculo de KPI's realizado.

**Tabla 13***Tabla de datos ordenados para cálculo de KPI's de gestión de tiempo*

N°	Equipo	Mes	T. Efectivo	D. Operativa	D. No Operativa	Standby	S. Factor Externo	Mtto. Programado	Mtto. No Programado	M. Factor Externo	Total
1	LT01	Enero	203,5	15,3	26,5	379,6	2,9	11,3	32,2	72,8	744
2	LT02	Enero	453,2	50,7	39,2	119,5	5,7	42,7	32,9	0,3	744
3	P01	Enero	535,6	8,2	52,7	43,0	64,1	21,3	19,1	0,1	744
4	P03	Enero	581,7	31,1	41,1	29,9	5,1	23,1	28,2	3,7	744
5	P04	Enero	585,0	26,9	52,4	0,0	39,8	31,8	8,1	0,0	744
6	P05	Enero	465,2	11,2	41,3	79,8	124,0	9,6	12,8	0,0	744
7	P06	Enero	586,7	27,9	48,6	0,0	3,2	19,8	57,9	0,0	744
8	P07	Enero	596,8	38,5	57,5	1,2	3,3	24,6	22,1	0,0	744
9	LT01	Febrero	173,4	7,7	13,8	405,4	11,0	35,6	22,9	2,3	672
10	LT02	Febrero	419,0	31,2	33,2	94,1	24,5	44,3	25,6	0,0	672
11	P01	Febrero	430,7	7,8	32,7	0,0	178,0	12,4	10,4	0,0	672
12	P03	Febrero	490,3	21,0	40,0	1,0	15,6	41,5	60,9	1,8	672
13	P04	Febrero	531,4	21,5	41,7	17,5	29,9	21,6	8,4	0,0	672
14	P05	Febrero	429,5	6,6	33,0	19,0	156,0	23,8	4,1	0,0	672
15	P06	Febrero	533,7	19,7	42,0	1,2	11,2	21,8	42,4	0,0	672
16	P07	Febrero	493,7	28,3	44,5	1,3	10,8	71,3	22,0	0,0	672
17	LT01	Marzo	342,1	31,2	34,6	180,6	32,0	62,1	61,6	0,0	744
18	LT02	Marzo	533,4	33,1	51,0	31,1	33,8	46,5	13,0	2,1	744
19	P01	Marzo	40,1	1,0	0,6	0,0	700,2	2,0	0,0	0,0	744
20	P03	Marzo	538,8	19,5	38,9	2,6	46,5	13,7	84,0	0,0	744
21	P04	Marzo	552,0	33,2	50,0	15,5	49,9	27,7	13,0	2,8	744
22	P05	Marzo	392,0	37,1	36,1	110,4	50,1	102,1	16,2	0,0	744
23	P06	Marzo	558,0	34,4	51,2	0,0	42,0	22,2	36,0	0,3	744

N°	Equipo	Mes	T. Efectivo	D. Operativa	D. No Operativa	Standby	S. Factor Externo	Mtto. Programado	Mtto. No Programado	M. Factor Externo	Total
24	P07	Marzo	531,5	36,7	50,3	0,0	43,3	30,7	51,5	0,0	744
25	LT01	Abril	219,1	26,0	24,3	321,0	0,0	44,5	79,6	5,7	720
26	LT02	Abril	404,2	32,2	45,6	120,9	0,0	39,5	77,6	0,0	720
27	P01	Abril	127,1	5,6	9,4	12,4	529,9	30,4	5,2	0,0	720
28	P03	Abril	527,5	39,9	50,9	15,4	0,0	21,3	65,0	0,0	720
29	P04	Abril	334,3	22,1	30,0	68,2	55,1	11,5	198,7	0,0	720
30	P05	Abril	521,8	35,8	51,2	66,2	14,4	23,1	7,1	0,4	720
31	P06	Abril	558,2	34,5	45,4	20,9	0,0	16,5	44,5	0,0	720
32	P07	Abril	559,9	36,1	54,2	10,3	0,0	15,0	44,5	0,1	720
33	LT01	Mayo	382,9	34,7	33,9	10,7	15,9	42,2	223,2	0,6	744
34	LT02	Mayo	520,4	43,8	41,6	36,4	10,9	38,0	53,0	0,0	744
35	P01	Mayo	559,4	25,6	44,2	12,9	53,8	20,8	26,8	0,7	744
36	P03	Mayo	599,8	35,5	50,8	0,0	0,0	26,0	31,6	0,3	744
37	P04	Mayo	541,2	9,4	51,1	0,0	114,0	10,9	17,1	0,3	744
38	P05	Mayo	599,5	22,7	42,9	22,3	0,1	16,2	39,7	0,5	744
39	P06	Mayo	206,9	8,4	17,9	4,1	0,0	476,2	30,5	0,0	744
40	P07	Mayo	564,6	30,6	51,2	0,6	0,0	24,2	70,0	2,9	744
41	LT01	Junio	149,7	7,8	17,6	17,7	16,5	7,9	119,6	383,2	720
42	LT02	Junio	403,9	33,5	28,4	90,7	12,8	29,9	120,5	0,4	720
43	P01	Junio	475,0	14,0	39,2	5,4	131,5	20,3	33,7	0,9	720
44	P03	Junio	539,1	32,0	47,7	28,1	3,5	15,9	53,0	0,7	720
45	P04	Junio	483,4	18,9	45,6	7,4	118,9	22,6	22,9	0,3	720
46	P05	Junio	482,9	20,5	38,0	29,2	3,4	124,0	21,9	0,0	720
47	P06	Junio	550,3	15,1	48,4	50,1	3,3	21,6	30,1	1,0	720
48	P07	Junio	522,6	28,6	49,4	24,6	4,4	31,0	59,2	0,0	720

Fuente: Elaboración propia.

### 3.5.2. Cálculo de KPI's

#### 3.5.2.1. KPI's de rendimiento operativo

Una vez ordenados los datos se calcularon los indicadores clave mediante las fórmulas o relaciones descritas en el marco teórico, para el posterior análisis e interpretación de sus resultados.

##### 3.5.2.1.1. Rendimiento horario

#### Carguío horario (t/h)

Se realizó el cálculo del rendimiento de carguío horario para cada equipo, en función a las toneladas cargadas y las horas efectivas empleadas por equipo.

**Tabla 14**

*Rendimiento de carguío horario(t/h) enero a junio, 2022*

<b>Equipo</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Media-Eq.</b>	<b>Desv. Est.</b>
<b>LT01</b>	996	919	979	1 002	1 279	1 235	1 068	137
<b>LT02</b>	1 414	1 554	1 601	1 482	1 492	1 447	1 498	63
<b>P01</b>	1 522	1 527	834	1 691	1 845	1 582	1 500	318
<b>P03</b>	3 641	3 964	3 462	4 063	4 326	4 266	3 954	313
<b>P04</b>	2 470	3 304	3 888	2 730	2 150	2 372	2 819	599
<b>P05</b>	2 304	2 172	3 015	3 651	4 583	4 681	3 401	997
<b>P06</b>	5 020	4 703	4 966	4 074	2 844	3 325	4 155	829
<b>P07</b>	4 539	4 576	4 404	5 071	4 723	4 548	4 644	213
<b>Media-mes</b>	<b>2 738</b>	<b>2 840</b>	<b>2 894</b>	<b>2 971</b>	<b>2 905</b>	<b>2 932</b>	<b>2 880</b>	<b>-</b>

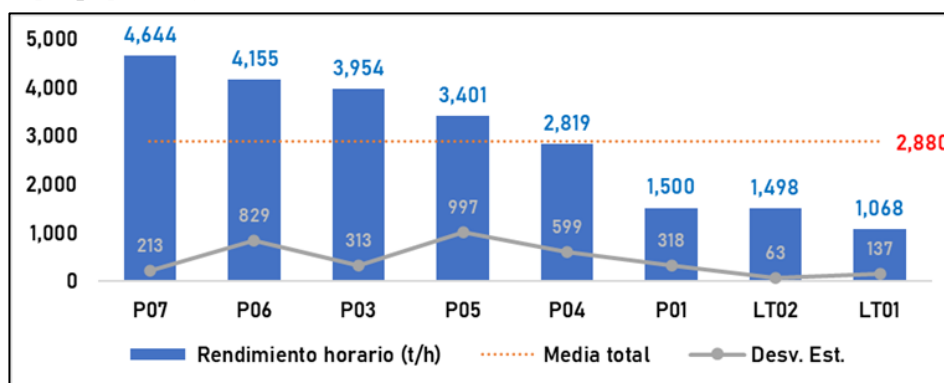
Fuente: Elaboración propia.

Se obtuvo un valor máximo de rendimiento de 5071 t/h para las palas y un mínimo de 2 818 t/h, respecto al análisis de variabilidad encontramos que P05 y P06 tienen los mayores niveles de desviación, debido a un rendimiento muy fluctuante durante el periodo de estudio. En atención a los cargadores frontales LT01 y LT02, poseen una media de 1 283 t/h para ambos equipos debido a su menor capacidad de carguío y cobertura de volquetes, es importante destacar que el cargador LT02 posee indicadores más estables respecto al grupo de equipos de carguío estudiados.

En la Figura 17, se presentan los equipos ordenados más y menos productivos, donde solo P07, P06, P03 y P05 sobrepasan la media general de rendimiento de 2 880 t/h, lo cual puede atender a diversos motivos entre los cuales podemos mencionar la utilización del tiempo disponible, disponibilidad mecánica, cobertura de volquetes, capacidad de cucharón, tiempos de ciclo de acarreo y otros.

**Figura 17**

*Top equipos mayor a menor rendimiento horario, 2022*



Fuente: Elaboración propia.

### **Cobertura horaria (volquetes cargados/h)**

Se realizó el cálculo del indicador de cobertura horaria para cada equipo, como resultado de la división del número de volquetes cargados y las horas efectivas.

**Tabla 15**

*Rendimiento de cobertura horaria (volquetes/h) enero a junio, 2022*

<b>Equipo</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Media-Eq,</b>	<b>Desv, Est,</b>
<b>LT01</b>	3,4	3,1	3,4	3,3	4,3	4,1	3,6	0,4
<b>LT02</b>	4,5	5,0	4,8	4,4	4,4	4,4	4,6	0,2
<b>P01</b>	4,8	4,7	1,9	5,4	5,9	5,1	4,7	1,3
<b>P03</b>	10,6	11,5	10,4	11,9	12,0	11,7	11,4	0,6
<b>P04</b>	7,6	9,9	11,3	8,4	6,7	7,6	8,6	1,6
<b>P05</b>	7,1	7,1	9,7	10,9	13,0	13,4	10,2	2,5
<b>P06</b>	13,6	13,0	13,6	11,5	7,5	9,3	11,4	2,3
<b>P07</b>	12,7	13,1	12,5	14,2	12,8	12,5	13,0	0,6
<b>Media-mes</b>	<b>8,0</b>	<b>8,4</b>	<b>8,4</b>	<b>8,7</b>	<b>8,4</b>	<b>8,5</b>	<b>8,4</b>	<b>-</b>

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 15, se puede evidenciar cómo se menciona con antelación algunos equipos con menor media de cobertura de volquetes por diversos motivos, siendo el principal la proporción en la distribución de flota en consideración de la planificación de minado, que en promedio considera una relación de desbroce de 3:1, así los equipos de zona de mineral (P01, P04, LT01, LT02) poseen una menor tasa de carguíos/h respecto a los de desbroce (P03, P05, P06, P07).

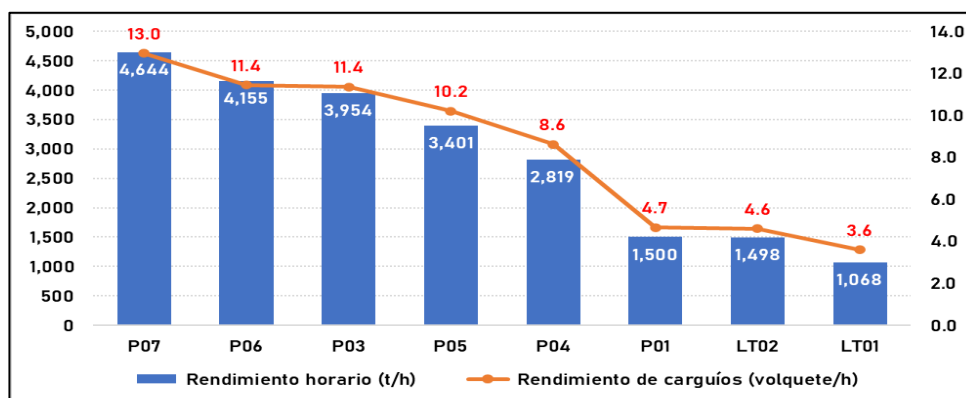
Otros criterios técnicos asociados a la planificación minera, son los siguientes:

- Algunos equipos suelen tener mayor cobertura por la eficiencia mecánica del equipo con relación a menores fallas.
- Condiciones óptimas de corte (fragmentación ideal) o prioridades de avance en el minado.

Destacamos P07 con la mayor cobertura, puesto que, al ser un equipo de alta prioridad, de mayor confiabilidad, moderno y de mayor capacidad de cucharón, en contraposición el LT01, se establece con última disposición de volquetes por su menor capacidad y mayor tasa de fallas mecánicas; lo anteriormente señalado se analizará a profundidad en el análisis de gestión de tiempos. Complementando la información de cobertura de volquetes y destacando su relación con la producción horaria, siendo directamente proporcional en la mayoría de los casos; es decir, los equipos con mayor cantidad de volquetes cargados por hora poseen un mejor rendimiento tal y como se aprecia en la Figura 18.

**Figura 18**

*Comparativa de rendimiento t/h y cobertura volquetes/h, 2022*



Fuente: Elaboración propia.

### 3.5.2.1.2. Rendimiento de recursos

#### Rendimiento energético (KWh/t)

Se calculó el KPI de rendimiento energético asociado al tonelaje cargado por las palas eléctricas, para un control de KWh invertidos para cada tonelada producida.

**Tabla 16**

*Rendimiento de consumo energético (Kwh/t), 2022*

<b>Equipo</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Media-Eq,</b>	<b>Desv, Est,</b>
<b>P01</b>	0,411	0,442	0,900	0,262	0,373	0,414	0,221	0,222
<b>P03</b>	0,153	0,140	0,179	0,170	0,129	0,136	0,020	0,053
<b>P04</b>	0,237	0,168	0,168	0,261	0,254	0,244	0,043	0,078
<b>P05</b>	0,381	0,398	0,304	0,229	0,160	0,143	0,109	0,117
<b>P06</b>	0,128	0,140	0,142	0,183	0,258	0,205	0,050	0,066
<b>P07</b>	0,119	0,119	0,149	0,126	0,120	0,129	0,011	0,045
<b>Media-mes</b>	<b>0,238</b>	<b>0,235</b>	<b>0,307</b>	<b>0,205</b>	<b>0,216</b>	<b>0,212</b>	<b>0,235</b>	<b>-</b>

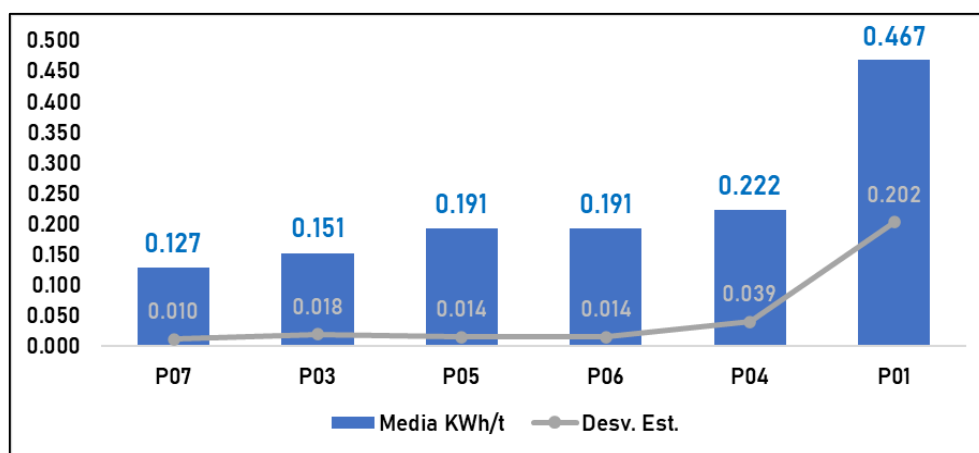
Fuente: Elaboración propia.

Se calculó una media de rendimiento general de 0,235 KWh/t entre todos los equipos, es importante hacer mención que cada equipo tiene igual alimentación eléctrica pero diferente consumo, el cual varía en función al tiempo utilizado, en demora o mantenimiento mecánico. Otro factor para justificar la variabilidad de rendimientos de consumo eléctrico, es la cantidad de asignaciones de unidades de acarreo, las cuales divergen para cada pala.

En la Figura 19, encontramos los equipos ordenados por su rendimiento energético por tonelada, así la P07 es la pala con mayor eficiencia de consumo eléctrico al necesitar menos KWh por tonelada minada y registra una menor variabilidad entre los 6 meses estudiados, en contraparte la P01 tiene una alta variabilidad de consumo, con la tendencia más alta de consumo eléctrico, siendo 0,900 Kwh/t el valor más alto del periodo de estudio, debido a las pocas toneladas cargadas por las constantes demoras de *stand by* en el mes de marzo.

**Figura 19**

*Top equipos mayor a menor rendimiento energético Kwh/t, 2022*



Fuente: Elaboración propia.

### 3.5.2.1.3. Rendimiento de costos

#### Costo de carguío por tonelada (\$/t)

Bajo la relación del costo total invertido entre el total de toneladas minadas, se obtuvo los costos de carguío mensuales de cada equipo para cada tonelada

cargada, estos costos involucran en su totalidad los costos de operación, mantenimiento y recursos empleados para el funcionamiento de cada equipo.

**Tabla 17**

*Costo de carguío por tonelada (\$/t), 2022*

<b>Equipo</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Media-Eq,</b>	<b>Desv, Est,</b>
<b>LT01</b>	1,120	0,653	0,428	0,518	0,591	0,495	0,634	0,229
<b>LT02</b>	0,323	0,306	0,268	0,269	0,475	0,694	0,389	0,153
<b>P01</b>	0,281	0,165	3,886	0,372	0,140	0,168	0,836	1,367
<b>P03</b>	0,202	0,157	0,128	0,157	0,074	0,122	0,140	0,039
<b>P04</b>	0,153	0,154	0,173	0,243	0,423	0,413	0,260	0,116
<b>P05</b>	0,195	0,371	0,131	0,073	0,108	0,107	0,164	0,100
<b>P06</b>	0,073	0,144	0,067	0,064	0,545	0,086	0,163	0,173
<b>P07</b>	0,166	0,115	0,100	0,399	0,417	0,196	0,232	0,129
<b>Media-mes</b>	<b>0,314</b>	<b>0,258</b>	<b>0,648</b>	<b>0,262</b>	<b>0,347</b>	<b>0,285</b>	<b>0,352</b>	<b>-</b>

Fuente: Elaboración propia.

De la Tabla 17, estimamos el costo promedio de un equipo de carguío en 0,352 \$/t, resaltamos el valor máximo de P01 cuyo valor es de 3,886 en marzo, el cual es elevado, puesto que los equipos ubicados en zona de mineral se encontraban en *stand by* por un conflicto social; en contraparte las palas de desbroce P03, P05, P06 y P07 ofrecen una relación menor en cuanto a costos debido a una mayor eficiencia operativa y aprovechamiento continuo a nivel de gestión de tiempo.

### **Costo de carguío horario(\$/h)**

Bajo la relación con el costo de operación total y las horas efectivas empleadas se calculó el costo de carguío horario para cuantificar el impacto

económico del aprovechamiento efectivo de la utilización en los equipos de carguío, que se presenta en la Tabla 18.

**Tabla 18**

*Costo de carguío por hora (\$/h), 2022*

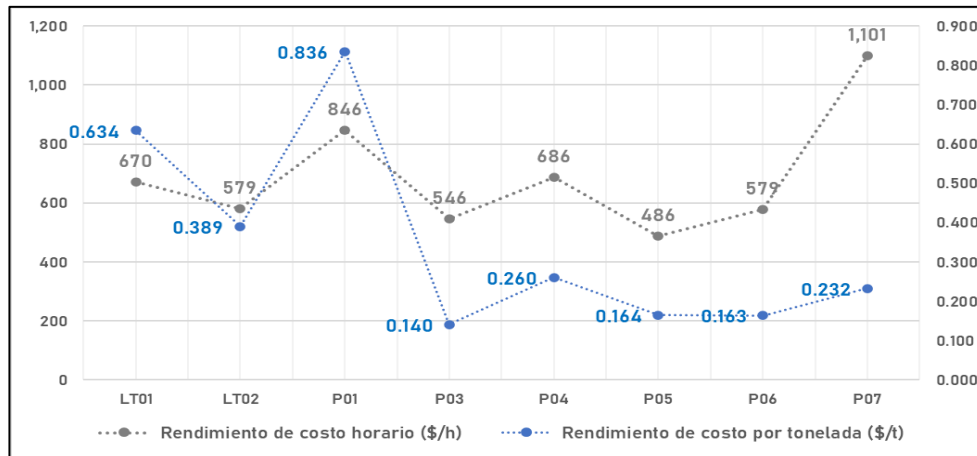
<b>Equipo</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Media-Eq,</b>	<b>Desv, Est,</b>
<b>LT01</b>	1,120	0,653	0,428	0,518	0,591	0,495	0,634	0,229
<b>LT02</b>	0,323	0,306	0,268	0,269	0,475	0,694	0,389	0,153
<b>P01</b>	0,281	0,165	3,886	0,372	0,140	0,168	0,836	1,367
<b>P03</b>	0,202	0,157	0,128	0,157	0,074	0,122	0,140	0,039
<b>P04</b>	0,153	0,154	0,173	0,243	0,423	0,413	0,260	0,116
<b>P05</b>	0,195	0,371	0,131	0,073	0,108	0,107	0,164	0,100
<b>P06</b>	0,073	0,144	0,067	0,064	0,545	0,086	0,163	0,173
<b>P07</b>	0,166	0,115	0,100	0,399	0,417	0,196	0,232	0,129
<b>Media-mes</b>	<b>0,314</b>	<b>0,258</b>	<b>0,648</b>	<b>0,262</b>	<b>0,347</b>	<b>0,285</b>	<b>0,352</b>	-

Fuente: Elaboración propia.

Al analizar los resultados encontramos que la variabilidad mensual de los costos horarios suele ser muy variable, independientemente del buen o mal desempeño en cuanto a la operatividad de cada equipo como en el caso de la poca utilización de P01 durante el periodo de estudio, siendo también afectado por altos costos de mantenimiento que incrementan este indicador, tal y como se puede apreciar en la elevación de costos de P07 los meses de abril y mayo debido a reparaciones correctivas con un elevado coste, es por ello que en la Figura 20 realizamos un análisis de ambos costos de carguío para evaluar los equipos con mayor y menor rendimiento a nivel de \$/t y \$/h y la relación entre ambos.

**Figura 20**

*Análisis de rendimiento de costos por equipo, 2022*



Fuente: Elaboración propia.

De la anterior gráfica obtenemos que no existe una relación establecida entre el rendimiento de costo por tonelada y costo horario de cada equipo, así tenemos equipos con valores de \$/h regulares como los cargadores LT, pero con costos \$/t elevados debido al ser equipos hidráulicos tienen mayor inversión económica sustentada en reparaciones constantes, abastecimiento de grasas y aditivos y el consumo de diésel que representa una fuente de energía más cara respecto a la electricidad.

Encontramos también equipos con tendencia estable como P03, P04, P05, y P06 con poca variabilidad mensual en ambos indicadores como se aprecia en la Figura 20. El caso de P07 atiende a gastos elevados por gastos reparación que incrementan el nivel de coste horario promedio en el periodo enero a junio de 2022,

sin embargo, a nivel de \$/t resultan moderadamente elevados por su gran producción en concordancia a la eficiencia mecánica y de operación.

Es preciso acotar que el control de costos se monitorea en periodos distintos, sin embargo, por el dinamismo de la operación los gastos involucrados tienden a cambiar continuamente en intervalos cortos como semanas, por lo que una adecuada planificación debe contemplar en primer plano el estado reciente de los equipos y el análisis general para los balances de mediano o largo plazo.

#### **3.5.2.2. KPI's de gestión de tiempo**

Se utilizaron las fórmulas de KPI's de gestión de tiempo en base al tiempo total: Utilización (U %), Demoras totales (D) y Demoras mecánicas (M); y el tiempo disponible: Disponibilidad física (D.F. %), Disponibilidad mecánica (D.M. %) y Uso de la disponibilidad física (U.D.F. %), cuyos resultados se consolidan en la Tabla 19.

**Tabla 19***KPI's de gestión de tiempo de equipos de carguío, 2022*

N°	Equipo	Mes	Tiempo total			Tiempo disponible		
			U. (%)	D. (%)	M. (%)	D.F. (%)	D.M. (%)	U.D.F. (%)
1	LT01	Enero	27 %	57 %	16 %	84 %	64 %	32 %
2	LT02	Enero	61 %	29 %	10 %	90 %	86 %	68 %
3	P01	Enero	72 %	23 %	5 %	95 %	93 %	76 %
4	P03	Enero	78 %	14 %	7 %	93 %	91 %	84 %
5	P04	Enero	79 %	16 %	5 %	95 %	94 %	83 %
6	P05	Enero	63 %	34 %	3 %	97 %	95 %	64 %
7	P06	Enero	79 %	11 %	10 %	90 %	88 %	88 %
8	P07	Enero	80 %	14 %	6 %	94 %	93 %	86 %
9	LT01	Febrero	26 %	65 %	9 %	91 %	74 %	28 %
10	LT02	Febrero	62 %	27 %	10 %	90 %	86 %	70 %
11	P01	Febrero	64 %	33 %	3 %	97 %	95 %	66 %
12	P03	Febrero	73 %	12 %	15 %	85 %	82 %	86 %
13	P04	Febrero	79 %	16 %	4 %	96 %	95 %	83 %
14	P05	Febrero	64 %	32 %	4 %	96 %	94 %	67 %
15	P06	Febrero	79 %	11 %	10 %	90 %	89 %	88 %
16	P07	Febrero	73 %	13 %	14 %	86 %	84 %	85 %
17	LT01	Marzo	46 %	37 %	17 %	83 %	73 %	55 %
18	LT02	Marzo	72 %	20 %	8 %	92 %	90 %	78 %
19	P01	Marzo	5 %	94 %	0 %	100 %	95 %	5 %
20	P03	Marzo	72 %	14 %	13 %	87 %	85 %	83 %
21	P04	Marzo	74 %	20 %	6 %	94 %	93 %	79 %
22	P05	Marzo	53 %	31 %	16 %	84 %	77 %	63 %
23	P06	Marzo	75 %	17 %	8 %	92 %	91 %	81 %
24	P07	Marzo	71 %	18 %	11 %	89 %	87 %	80 %
25	LT01	Abril	30 %	52 %	18 %	82 %	63 %	37 %
26	LT02	Abril	56 %	28 %	16 %	84 %	78 %	67 %
27	P01	Abril	18 %	77 %	5 %	95 %	78 %	19 %
28	P03	Abril	73 %	15 %	12 %	88 %	86 %	83 %
29	P04	Abril	46 %	24 %	29 %	71 %	61 %	66 %
30	P05	Abril	72 %	23 %	4 %	96 %	94 %	76 %
31	P06	Abril	78 %	14 %	8 %	92 %	90 %	85 %
32	P07	Abril	78 %	14 %	8 %	92 %	90 %	85 %
33	LT01	Mayo	51 %	13 %	36 %	64 %	59 %	80 %
34	LT02	Mayo	70 %	18 %	12 %	88 %	85 %	80 %

N°	Equipo	Mes	Tiempo total			Tiempo disponible		
			U. (%)	D. (%)	M. (%)	D.F. (%)	D.M. (%)	U.D.F. (%)
35	P01	Mayo	75 %	18 %	6 %	94 %	92 %	80 %
36	P03	Mayo	81 %	12 %	8 %	92 %	91 %	87 %
37	P04	Mayo	73 %	23 %	4 %	96 %	95 %	76 %
38	P05	Mayo	81 %	12 %	8 %	92 %	91 %	87 %
39	P06	Mayo	28 %	4 %	68 %	32 %	29 %	87 %
40	P07	Mayo	76 %	11 %	13 %	87 %	85 %	87 %
41	LT01	Junio	21 %	8 %	71 %	29 %	23 %	72 %
42	LT02	Junio	56 %	23 %	21 %	79 %	73 %	71 %
43	P01	Junio	66 %	26 %	8 %	92 %	90 %	71 %
44	P03	Junio	75 %	15 %	10 %	90 %	89 %	83 %
45	P04	Junio	67 %	26 %	6 %	94 %	91 %	72 %
46	P05	Junio	67 %	13 %	20 %	80 %	77 %	84 %
47	P06	Junio	76 %	16 %	7 %	93 %	91 %	82 %
48	P07	Junio	73 %	15 %	13 %	87 %	85 %	83 %

Fuente: Elaboración propia.

Calculados los indicadores de tiempos encontramos que los equipos de la fase de mineral LT01, LT02, P01 y P04 tienen utilización baja y gran cantidad de demoras *stand by* como consecuencia de la inhabilitación de la chancadora primaria temporalmente durante varios periodos del primer semestre de 2022, producto de conflictos sociales, sin embargo también atienden debido a demoras mecánicas, pues tanto los LT y P01 tienen alta recurrencia en fallas de motor y componentes de cucharón debido a que al ser equipos moderadamente antiguos han perdido confiabilidad mecánica debido al desgaste continuo. En contraparte los equipos de desbroce de preparación P03, P06, P07 y P05 que a partir de abril fue trasladada de una fase de mineral a una de material estéril, ofrecen una mayor cantidad de utilización, bajas demoras mecánicas principalmente por mantenimientos

programados y correctivos, y moderadas demoras totales producto principalmente de los cambios de guardia, ranchos y traslados de palas.

Adicionalmente, en la Tabla 20 se agruparon los datos por equipo para un análisis general del periodo de estudio comprendido entre enero y junio de 2022.

**Tabla 20**

*Distribución total de tiempo por equipo enero-junio, 2022*

Equipo	T. Efectivo	D. Operativa	D. No Operativa	Stand-by	S. Factor Externo	Mtto. Programado	Mtto. No Programado	M. Factor Externo	Total
LT01	1 470,6	122,6	150,6	1315,0	78,2	203,5	539,1	464,5	4 344
LT02	2 734,0	224,4	239,0	492,6	87,7	240,9	322,6	2,8	4 344
P01	2 167,8	62,3	178,7	73,7	1657,5	107,2	95,2	1,6	4 344
P03	3 277,0	179,0	269,4	77,0	70,7	141,5	322,8	6,5	4 344
P04	3 027,3	132,0	270,9	108,6	407,6	126,1	268,2	3,4	4 344
P05	2 890,9	133,8	242,5	327,0	348,0	298,8	101,9	0,9	4 344
P06	2 993,8	140,1	253,5	76,3	59,7	578,0	241,3	1,3	4 344
P07	3 269,1	198,8	307,1	37,9	61,8	196,9	269,4	3,0	4 344
<b>Total</b>	<b>21 831</b>	<b>1 193</b>	<b>1 912</b>	<b>2 508</b>	<b>2 771</b>	<b>1 893</b>	<b>2 160</b>	<b>484</b>	<b>34 752</b>

Fuente: Elaboración propia.

Se calcularon los KPI's de gestión de tiempos en el periodo de estudio.

**Tabla 21**

*KPI's de gestión de tiempos de equipos de carguío enero-junio, 2022*

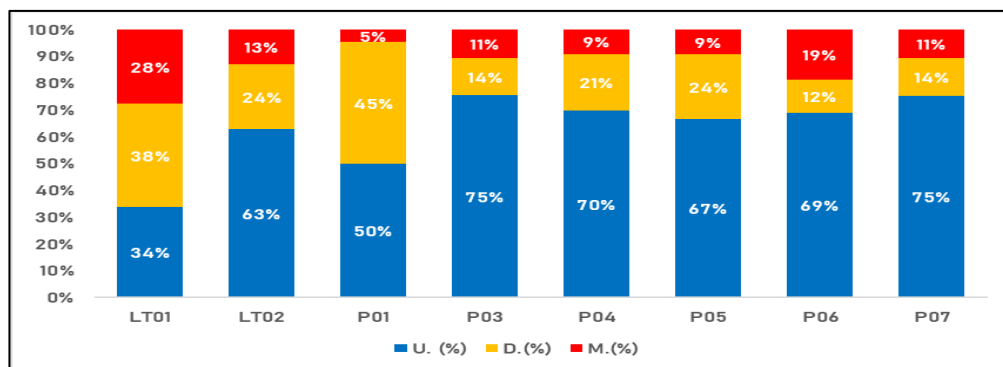
Equipo	Tiempo total			Tiempo disponible		
	U. (%)	D. (%)	M. (%)	D.F. (%)	D.M. (%)	U.D.F. (%)
LT01	34 %	38 %	28 %	72 %	55 %	47 %
LT02	63 %	24 %	13 %	87 %	83 %	72 %
P01	50 %	45 %	5 %	95 %	91 %	52 %
P03	75 %	14 %	11 %	89 %	87 %	85 %
P04	70 %	21 %	9 %	91 %	88 %	77 %
P05	67 %	24 %	9 %	91 %	88 %	73 %
P06	69 %	12 %	19 %	81 %	78 %	85 %
P07	75 %	14 %	11 %	89 %	87 %	84 %
<b>Total</b>	<b>63 %</b>	<b>24 %</b>	<b>13 %</b>	<b>87 %</b>	<b>83 %</b>	<b>72 %</b>

Fuente: Elaboración propia.

Al analizar los KPI's de la Tabla 21 encontramos que en cuanto a Utilización (U %) de las horas efectivas de carguío, el promedio de enero a junio es de 63 %, este último se ve afectado por los otros indicadores, que son las Demoras totales (D %) y Demoras mecánicas (M %), cuya variabilidad atienden a razones diversas que se explican a continuación.

**Figura 21**

*Análisis de KPI's de tiempo total en equipos de carguío, 2022*



Fuente: Elaboración propia.

La Figura 21 nos permite analizar gráficamente el comportamiento de cada equipo en el aprovechamiento de tiempo total, los equipos de zona de mineral poseen utilización baja debido a los tiempos en *stand by* de equipos por el conflicto social y mantenimientos de chancadora, fallas mecánicas y constantes traslados debido al posicionamiento en polígonos específicos para el plan diario. Por otro lado, las palas de zona de desbroce P03 y P07 tienen características similares en cuanto a la U % que llega hasta el 75 %, estos equipos poseen *stand by* mínimos y prioridad de trabajo alta por su rendimiento horario elevado y constante. Los valores

de utilización presentados para este análisis global del periodo de estudio son de carácter referencial pues los niveles varían de forma diaria, semanal y mensual como producto del dinamismo propio de las operaciones en mina. Gráficamente notamos que los equipos que adoptan un carácter moderado en cuanto a sus demoras, es por ello que revisión de las Tablas 29 y 30 nos permite un mejor detalle de los principales motivos de las mismas, sus horas acumuladas y tiempo promedio por evento.

Si nos enfocamos en demoras totales notamos que oscilan entre 12 % y 38 % y que al integrar las demoras operativas como traslados y demoras por disparo, demoras no operativas como los cambios de guardia y tiempos de rancho notamos que también se presentan tiempos *stand by* externos imposibles de controlar como la falta de chancadora o el clima adverso en periodos de lluvia también presenta estados de *stand by* por falta de operador y falta de volquetes que llegan a acumular 1 418 y 156 horas respectivamente, en donde concluimos que la gestión no es la adecuada, en medida que los equipos no pueden parar por este tipo de situaciones, siendo de suma importancia evitar reducir horas efectivas por los motivos mencionados.

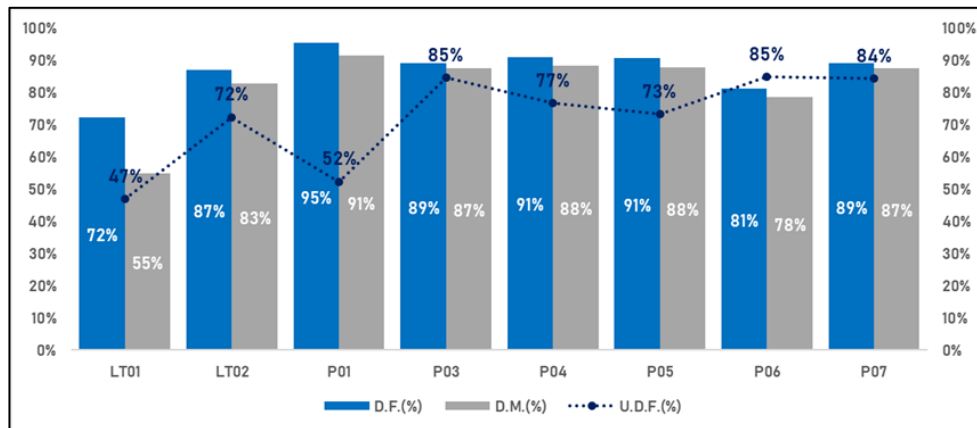
Respecto a las pérdidas por mantenimiento mecánico, de acuerdo con la Tabla 22 los valores se sitúan en un 13 % en promedio, las demoras en reparaciones son constantes en la operación producto del desgaste de componentes en el

cucharón, sistema eléctrico o hidráulico, bastidores, cabina, cambios de cables, pluma entre otros a tal punto que se puede establecer que solo una planificación y ejecución óptima de los mantenimientos planificados de forma preventiva y predictiva, así como el buen cumplimiento de los procedimientos seguros en un entorno de condiciones estándar para evitar accidentes tendrá influencia en la reducción de mantenimientos correctivos no planificados. Para complementar la información anteriormente descrita es necesario hacer mención que los *overhaul's* tienen un gran impacto en el aumento de horas de mantenimiento programado por su duración amplia que abarca semanas de inoperatividad del equipo, pero contempla carácter obligatorio.

Se evaluaron los indicadores de tiempo disponible en la Figura 22, encontrándose principalmente que la Disponibilidad Física (D.F. %) y Disponibilidad mecánica (D.M. %) es alta en las palas y en promedio superior al 85 %, siendo un indicador positivo en cuando a eficiencia del área mecánica, cuyo aprovechamiento se evidencia en el Uso de la Disponibilidad Física (U.D.F. %), clave para la optimización del rendimiento horario y a su vez la producción total de cada equipo de carguío.

**Figura 22**

*Análisis de KPI's de tiempo disponible en equipos de carguío, 2022*



Fuente: Elaboración propia.

Al realizar el análisis de Uso del tiempo, los resultados de U.D.F.% promedio para cada equipo de carguío atienden su variabilidad a la de las demoras previamente estudiadas, por tal motivo al evaluar que solo P03 y P05 llegan al 85 %, indica que debemos tener un mayor control de las mismas; al margen de tener situaciones externas incontrolables como conflictos sociales o factores climáticos, la reducción de demoras operativas, no operativas y tiempos *stand by* tiene directa influencia en el aumento de la utilización de un tiempo disponible, dado que las falencias mecánicas son latentes e imprevisibles, cualquier ahorro de tiempos en procesos de operación tendrá gran impacto en el rendimiento de tiempos. Por último, es conveniente acotar que es posible elevar los índices de utilización del tiempo disponible con una adecuada planificación a nivel del plan de minado y de gestión del mantenimiento que evite retrasos previsibles en la operación o reparación de los equipos estudiados en la mina Superficial del sur.

### ***3.5.3. Tratamiento y análisis estadístico de datos***

Con motivo de contrastar la hipótesis planteada en este estudio, resultó necesario un análisis de correlación que permitió medir la relación entre ambas variables de estudio y evaluar su significancia de acuerdo con un nivel de confianza adecuado, mediante la cual se acepta o rechaza la hipótesis nula, lo que significa aceptar la alternativa, como se detalla a continuación.

Hipótesis estadísticas de correlación para el contraste de hipótesis:

Hipótesis nula ( $H_0$ ): No existe relación directa entre el rendimiento de equipos de carguío y la producción obtenida.

$$H_0: r_{12}=0$$

Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Existe una relación directa entre el rendimiento de los equipos de carguío y la producción obtenida.

$$H_1: r_{12}>0$$

Donde  $r_{12}$  es la relación entre las variables de estudio 1 y 2.

$V_1$ : Rendimiento de equipos (t/h, U.D.F. %)

$V_2$ : Producción obtenida (tonelaje cargado en t)

Por lo expresado, se realizarán dos pruebas de correlación mediante la selección de sus KPI's más representativos, una para evaluar el rendimiento operativo basado en el carguío horario (t/h) y otra para evaluar el rendimiento de gestión de tiempo mediante el indicador U.D.F. % de cada equipo.

En la Tabla 22, se ordenó la información mensual de producción obtenida y KPI's asociados a cada variable, calculados en el periodo de estudio ordenados por equipo y mes los cuales serán tratados en el software estadístico SPSS v.25.

**Tabla 22**

*Datos para análisis estadístico, 2022*

N°	Equipo	Mes	Producción obtenida (t)	Rendimiento (t/h)	Rendimiento U.D.F. (%)
1	LT01	Enero	202 693	996	32 %
2	LT02	Enero	640 900	1 414	68 %
3	P01	Enero	814 971	1 522	76 %
4	P03	Enero	2 118 030	3 641	84 %
5	P04	Enero	1 445 075	2 470	83 %
6	P05	Enero	1 071 724	2 304	64 %
7	P06	Enero	2 944 965	5 020	88 %
8	P07	Enero	2 708 518	4 539	86 %
9	LT01	Febrero	159 308	919	28 %
10	LT02	Febrero	651 000	1 554	70 %
11	P01	Febrero	657 810	1 527	66 %
12	P03	Febrero	1 943 292	3 964	86 %
13	P04	Febrero	1 755 880	3 304	83 %
14	P05	Febrero	932 749	2 172	67 %
15	P06	Febrero	2 509 990	4 703	88 %
16	P07	Febrero	2 259 503	4 576	85 %
17	LT01	Marzo	334 899	979	55 %
18	LT02	Marzo	854 149	1 601	78 %
19	P01	Marzo	33 464	834	5 %
20	P03	Marzo	1 865 378	3 462	83 %
21	P04	Marzo	2 146 017	3 888	79 %

N°	Equipo	Mes	Producción obtenida (t)	Rendimiento (t/h)	Rendimiento U.D.F. (%)
22	P05	Marzo	1 181 717	3 015	63 %
23	P06	Marzo	2 770 833	4 966	81 %
24	P07	Marzo	2 340 847	4 404	80 %
25	LT01	Abril	219 594	1 002	37 %
26	LT02	Abril	599 022	1 482	67 %
27	P01	Abril	214 833	1 691	19 %
28	P03	Abril	2 143 146	4 063	83 %
29	P04	Abril	912 784	2 730	66 %
30	P05	Abril	1 905 022	3 651	76 %
31	P06	Abril	2 274 490	4 074	85 %
32	P07	Abril	2 839 366	5 071	85 %
33	LT01	Mayo	489 663	1 279	80 %
34	LT02	Mayo	776 499	1 492	80 %
35	P01	Mayo	1 032 051	1 845	80 %
36	P03	Mayo	2 594 488	4 326	87 %
37	P04	Mayo	1 163 615	2 150	76 %
38	P05	Mayo	2 747 890	4 583	87 %
39	P06	Mayo	588 476	2 844	87 %
40	P07	Mayo	2 666 589	4 723	87 %
41	LT01	Junio	184 937	1 235	72 %
42	LT02	Junio	584 427	1 447	71 %
43	P01	Junio	751 543	1 582	71 %
44	P03	Junio	2 299 703	4 266	83 %
45	P04	Junio	1 146 561	2 372	72 %
46	P05	Junio	2 260 358	4 681	84 %
47	P06	Junio	1 829 778	3 325	82 %
48	P07	Junio	2 376 782	4 548	83 %

Fuente: Elaboración propia.

### ***3.5.3.1. Prueba de normalidad o simetría***

Previo a la prueba estadística, fue necesario evaluar la normalidad o simetría de cada variable para elegir el método de análisis de correlación, se importaron las 48 filas de datos al software SPSS v.25, donde se realizó la prueba para estimar el

grado de normalidad de las variables según su análisis de significancia, la muestra será de  $n=48$ , a razón de ello, elegiremos la prueba de Shapiro Wilk,:

- Si  $n > 50$ , se realiza la prueba de Kolmogórov-Smirnov.
- Si  $n \leq 50$ , se realiza la prueba de Shapiro-Wilk.

Donde  $n$  es el número de datos para análisis.

Para la prueba de normalidad se planteó una hipótesis de normalidad para las variables, que se someterán a análisis de significancia en base a los resultados de su significancia bilateral o p-valor.

- Hipótesis nula ( $H_0$ ): Los datos tienen una distribución normal.
- Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Los datos no tienen una distribución normal.

Tanto la prueba de normalidad y la de correlación se realizaron con un intervalo de confianza del 95 %, por lo que tienen una significancia o margen de error de 5 % o 0.05 para un análisis bilateral, por ser uno de los más usados en pruebas estadísticas.

Posteriormente se realizó el análisis de significancia del p-valor o sig. Bilateral, donde:

- Si  $p\text{-valor} < \alpha$ , se rechaza la  $H_0$  y se acepta la  $H_1$
- Si  $p\text{-valor} \geq \alpha$ , se acepta la  $H_0$

i) Para las variables del análisis de **rendimiento operativo**, realizamos la prueba de normalidad.

-  $V_1$ : Rendimiento operativo de carguío (t/h)

-  $V_2$ : Producción obtenida (tonelaje producido en t)

**Tabla 23**

*Prueba de normalidad para el rendimiento operativo*

<b>Variable</b>	<b>Estadístico</b>	<b>n</b>	<b>Sig.</b>
Rendimiento (t/h)	0,902	48	0,001
Producción obtenida (t)	0,920	48	0,003

Fuente: Elaboración propia.

Dado que el nivel de significancia es  $\alpha=0,05$ , entonces como apreciamos en la Tabla 23, según la prueba de Shapiro – Wilk, en la variable 1 el p-valor es de 0,001 y en la variable 2, es de 0,003.

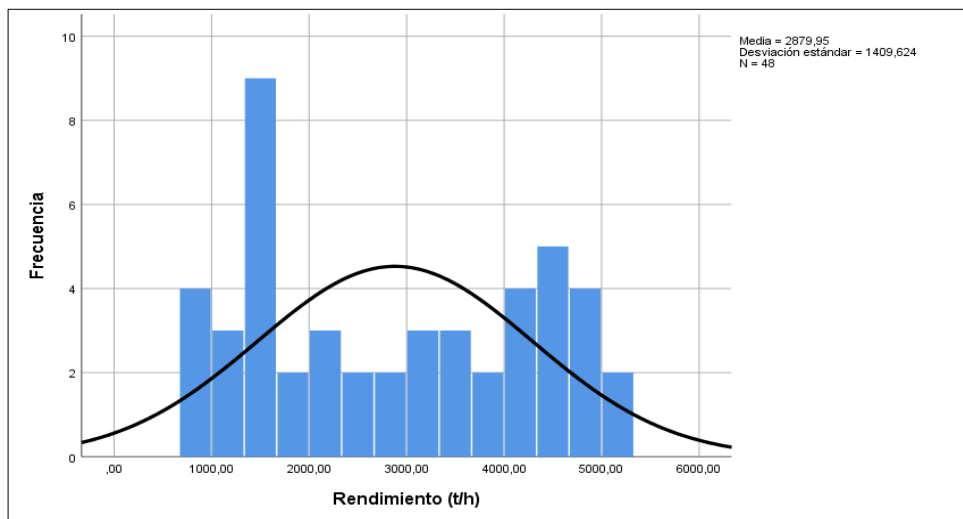
- Para  $V_1$ , se realizó el análisis estadístico en donde  $0,001 < 0,05$ , entonces la variable no tiene distribución normal tal y como se aprecia gráficamente en la Figura 23.

- Para  $V_2$ , se realizó el análisis estadístico en donde  $0,003 < 0,05$ , entonces la variable no tiene distribución normal tal y como se aprecia gráficamente en la Figura 24.

Se concluyó en que las dos variables no tienen distribución normal y ameritan un análisis de correlación no paramétrico de Rho de Spearman.

**Figura 23**

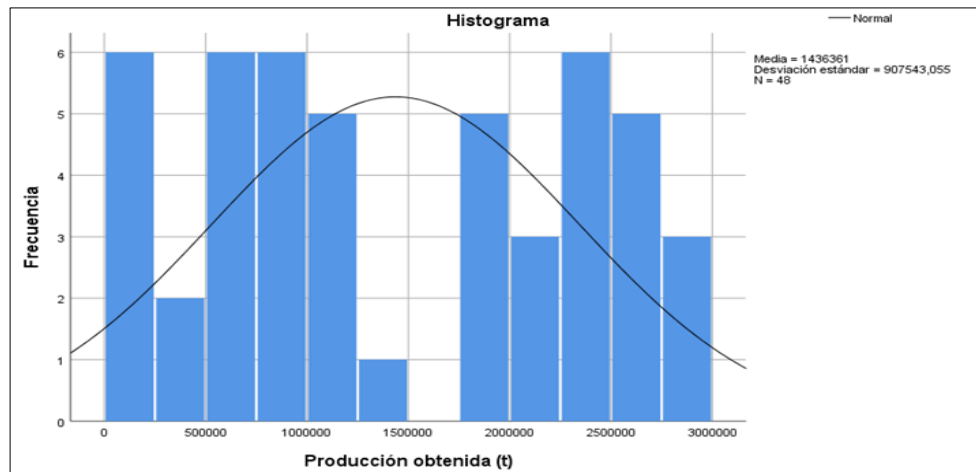
*Gráfica de normalidad de la variable rendimiento de carguío*



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 24**

*Gráfica de normalidad de la variable producción obtenida*



Fuente: Elaboración propia.

ii) Para del análisis de las variables de **rendimiento de gestión de tiempo**, realizamos la prueba de normalidad.

- V<sub>1</sub>: Rendimiento de gestión de tiempo (U.D.F %)
- V<sub>2</sub>: Producción obtenida (tonelaje producido en t)

**Tabla 24**

*Resultado de prueba de normalidad para el rendimiento de gestión de tiempo*

Variable	Estadístico	n	Sig.
Rendimiento U.D.F. (%)	0,734	48	5,592E-8
Producción obtenida (t)	0,920	48	0,003

Fuente: Elaboración propia.

Dado que el nivel de significancia es  $\alpha=0,05$ , entonces como apreciamos en la Tabla 24 según la prueba de Shapiro – Wilk, en la variable 1 el p-valor es de  $5,592E^{-8}$  y la variable 2 ya fue analizada en la prueba de normalidad anterior.

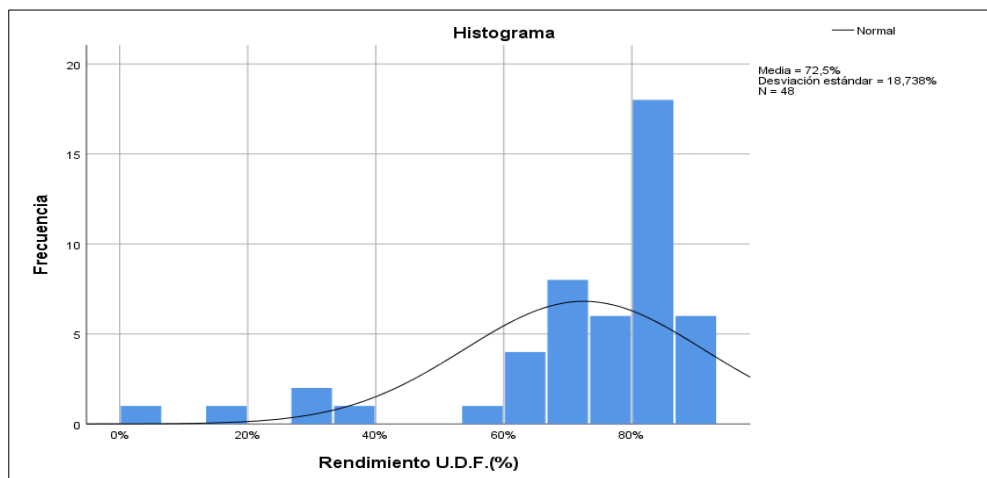
Si  $p\text{-valor} < \alpha$ , se rechaza la  $H_0$  y se acepta la  $H_1$

- Para  $V_1$ , realizamos la prueba estadística, en donde  $5,592E^{-8} < 0,05$ , entonces la variable no tiene distribución normal tal y como se aprecia gráficamente en la Figura 25.
- Para  $V_2$  encontramos el mismo valor realizado para la prueba de normalidad de rendimiento operativo, por lo que tampoco posee una distribución normal.

Concluimos en que las dos variables no tienen distribución normal y ameritan un análisis de correlación no paramétrico de Rho de Spearman para estimar el grado de relación entre ambas variables de acuerdo con un intervalo de confianza y nivel de significancia establecido.

**Figura 25**

*Gráfica de normalidad de la variable rendimiento de gestión de tiempo*



Fuente: Elaboración propia.

### ***3.5.3.2. Análisis de correlación***

Una vez definidas nuestras variables de estudio no poseen una distribución normal, por lo que se procedió a realizar las dos pruebas de correlación para el rendimiento operativo y de tiempos de los equipos de carguío respectivamente, en cuanto a la producción obtenida por los mismos.

Para el tratamiento, teniendo los datos importados en el SPSS realizamos un análisis bivariado, obteniendo como resultado un coeficiente Rho de Spearman, con una significancia bilateral o p-valor que se pondrá a prueba con un nivel de confianza de 95 %, permitiendo una significancia o nivel de error de 0,05, para cada prueba la cual servirá para el análisis estadístico que permita aceptar o rechazar la hipótesis nula en cada caso.

Adicionalmente fue posible obtenerlos diagramas de dispersión que permiten visualizar gráficamente el grado y tipo de correlación estimado entre las variables analizadas (Figuras 26 y 27).

#### ***3.5.3.2.1. Correlación para el rendimiento operativo en equipos de carguío***

Los resultados obtenidos del análisis en el software SPSS, detallados en la Tabla 25 determinaron un coeficiente de correlación Rho de Spearman de valor elevado 0,961, asimismo el p-valor es de  $2,840E^{-27}$  para los 48 datos analizados.

**Tabla 25**

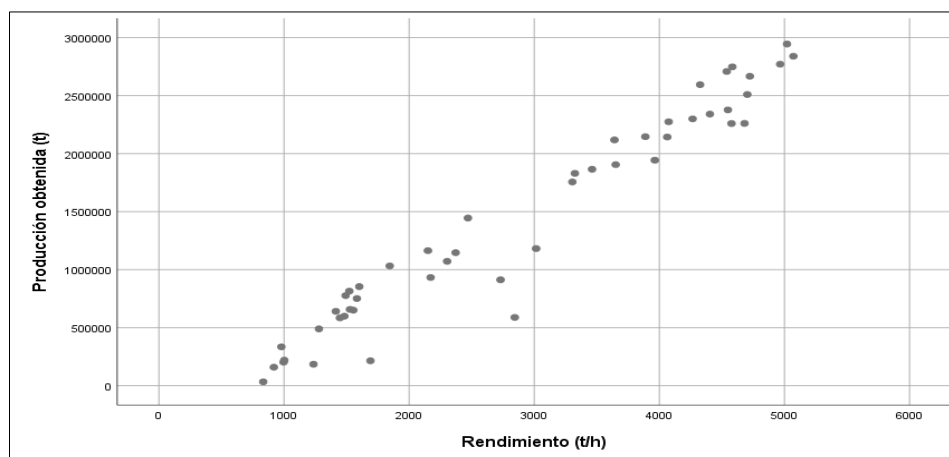
*Resultados de la correlación entre rendimiento operativo (t/h) y la producción obtenida (t)*

Variable	Análisis	Rendimiento (t/h)	Producción obtenida (t)
Rendimiento (t/h)	Coef. Correlación	1,000	0,961
	Sig (Bilateral)	,	2,840E-27
	n	48	48
Producción obtenida (t)	Coef. Correlación	0,961	1,000
	Sig (Bilateral)	2,84E-24	,
	n	48	48

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 26**

*Gráfica de dispersión entre rendimiento operativo (t/h) y la producción obtenida (t)*



Fuente: Elaboración propia.

**3.5.3.2.2. Correlación para el rendimiento de gestión de tiempo en equipos de carguío**

Los resultados obtenidos del análisis en el software SPSS, detallados en la Tabla 26 determinaron un coeficiente de correlación Rho de Spearman de 0,796, asimismo el p-valor es de  $1,2960E^{-11}$  para los 48 datos analizados.

**Tabla 26**

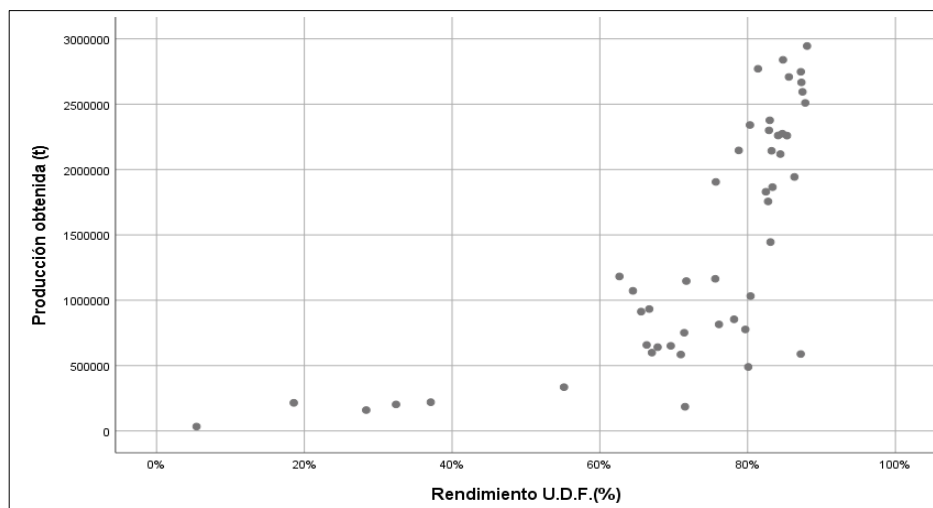
*Resultados de la correlación entre rendimiento de tiempos (U.D.F. %) y la producción obtenida (t)*

Variable	Análisis	Rendimiento (t/h)	Producción obtenida (t)
Rendimiento (t/h)	Coef. Correlación	1	0,796
	Sig (Bilateral)	,	1,29E-11
	n	48	48
Producción obtenida (t)	Coef. Correlación	0,796	1,000
	Sig (Bilateral)	1,29E-11	,
	n	48	48

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 27**

*Gráfica de dispersión entre rendimiento de tiempos (U.D.F.) y la producción obtenida (t)*



Fuente: Elaboración propia.

### 3.5.3.3. Estadística de prueba

#### 3.5.3.3.1. *Correlación para el rendimiento operativo en equipos de carguío*

i) Se plantearon las hipótesis estadísticas de correlación para la prueba de hipótesis:

- Hipótesis nula ( $H_0$ ): No existe relación directa entre el rendimiento operativo de equipos de carguío y la producción obtenida.

$$H_0: r_{12}=0$$

- Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Existe una relación directa entre el rendimiento operativo de los equipos de carguío y la producción obtenida.
- $H_1: r_{12}>0$

Donde  $r_{12}$  es la relación entre las variables de estudio 1 y 2.

- $V_1$ : Rendimiento operativo de equipos de carguío (t/h)
- $V_2$ : Producción obtenida (tonelaje cargado en t)

ii) Establecemos un nivel de confianza de 95 % y significancia de 0,05.

iii) Se realizó el análisis de significancia del p-valor o sig. Bilateral, donde:

- Si p-valor  $< \alpha$ , se rechaza la  $H_0$  y se acepta la  $H_1$

- Si  $p\text{-valor} \geq \alpha$ , se acepta la  $H_0$

En base a un nivel de significancia de 0,05 y un p-valor  $2,840E^{-27}$  se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y se acepta la alterna  $H_1$  estableciendo una relación directa y positiva entre las variables analizadas.

#### ***3.5.3.3.2. Correlación para el rendimiento de gestión de tiempo en equipos de carguío***

- i) Se plantearon las hipótesis estadísticas de correlación para la prueba de hipótesis:
  - Hipótesis nula ( $H_0$ ): No existe relación directa entre el rendimiento de gestión de tiempo de equipos de carguío y la producción obtenida.

$$H_0: r_{12}=0$$

- Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): Existe una relación directa entre el rendimiento de gestión de tiempo de los equipos de carguío y la producción obtenida.

$$H_1: r_{12}>0$$

Donde  $r_{12}$  es la relación entre las variables de estudio 1 y 2.

- $V_1$ : Rendimiento de gestión de tiempo de equipos de carguío (U.D.F. %)
  - $V_2$ : Producción obtenida (tonelaje cargado en t)
- ii) Establecemos un nivel de confianza de 95 % y significancia de 0,05.
- iii) Se realizó el análisis de significancia del p-valor o sig. Bilateral, donde:
- Si  $p\text{-valor} < \alpha$ , se rechaza la  $H_0$  y se acepta la  $H_1$
  - Si  $p\text{-valor} \geq \alpha$ , se acepta la  $H_0$

Considerando un nivel de significancia de 0,05 y un p-valor de  $1,2960E^{-11}$  se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  y se acepta la alterna  $H_1$  estableciendo una relación directa y positiva entre las variables.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1. Presentación y análisis de los resultados**

##### ***4.1.1. Para el rendimiento operativo en equipos de carguío***

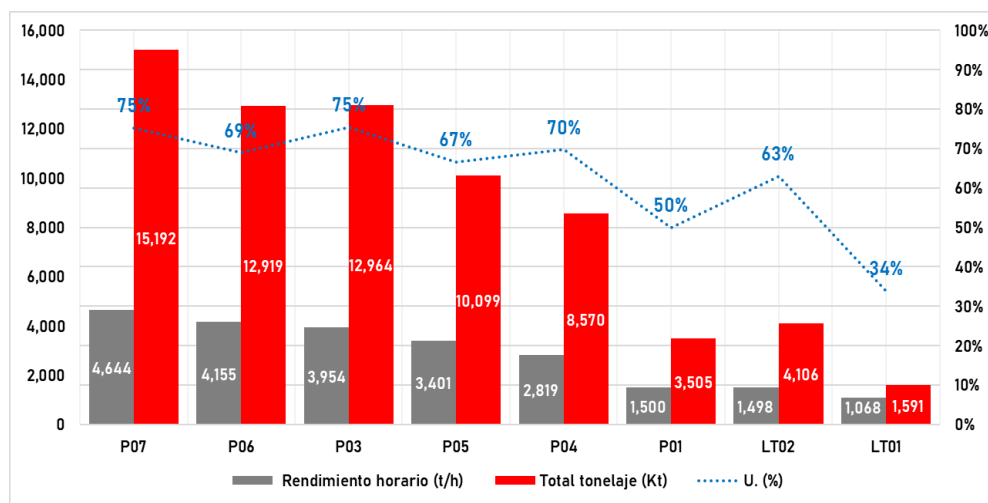
Se interpretan los resultados para el rendimiento operativo de equipos de carguío encontramos una correlación directa positiva de coeficiente Rho de Spearman de 0,961 siendo de magnitud muy alta, tal y como se indica la Tabla 25, lo que permite evaluar y aceptar nuestra hipótesis alternativa propuesta que señala la existencia de dicha asociación entre ambas variables de estudio con un nivel de confianza de 95 %, margen de error de 0,05 y gran consistencia gráfica como de evidencia en la Figura 26.

En adición a lo anteriormente mencionado, en la Figura 28 podemos apreciar que se compara el tonelaje producido por pala en el periodo de estudio y su rendimiento horario, notándose una tendencia marcada en cuanto a la interacción entre ambas, resulta importante destacar el comportamiento de algunos equipos como P01 y el LT02 en donde el primero tiene un mayor rendimiento, pero menor tonelaje

producido en comparación del otro, lo cual atiende principalmente a que el segundo posee una mayor utilización del tiempo.

**Figura 28**

*Gráfica comparativa de rendimiento, tonelaje producido y utilización*



Fuente: Elaboración propia.

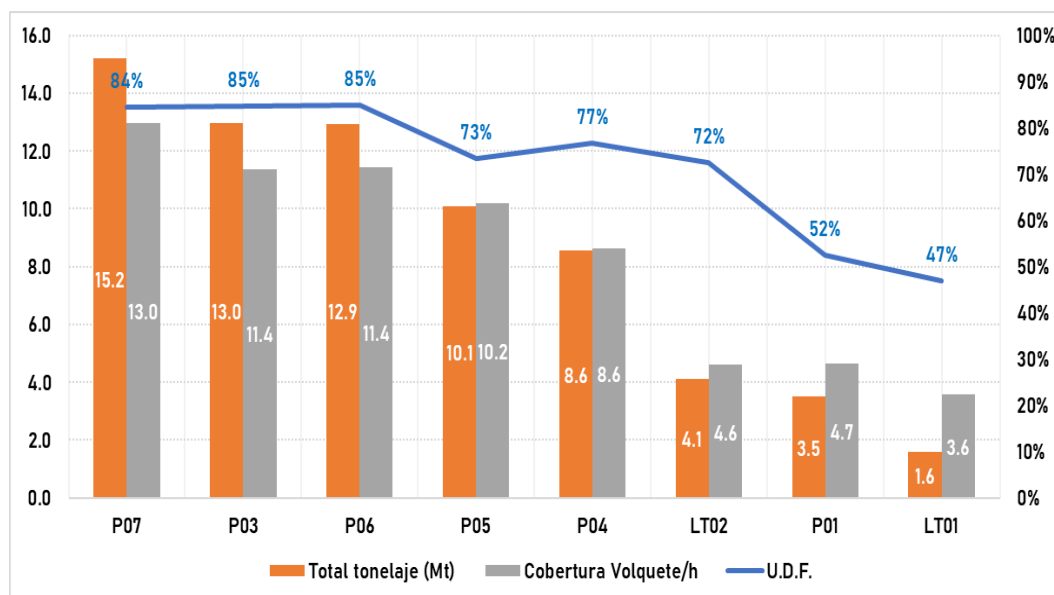
#### **4.1.2. Para el rendimiento de gestión de tiempos en equipos de carguío**

Se interpretan los resultados para el rendimiento de gestión de tiempo en equipos de carguío encontramos coeficiente Rho de Spearman de 0,796 siendo de magnitud alta tal y como se indica en la Tabla 26, permitiendo aceptar nuestra hipótesis alternativa propuesta que indica la correlación directa positiva entre ambas variables de estudio con un nivel de confianza de 95 %, margen de error de 0,05 y moderada consistencia gráfica como de evidencia en la Figura 27.

Resulta necesario destacar que la relación anteriormente comprobada en los equipos ofrece comportamientos atípicos como podemos apreciar en la Figura 29, la P07 posee mayor producción que la P06 pero con un menor U.D.F, lo cual podemos inferir se debe principalmente a la cobertura de volquetes/hora que es mayor en el primer equipo por razones que ya se explicaron en este informe; otras razones que explican esta disociación atienden a la cantidad de horas efectivas, condiciones del carguío como el corte o tipo de minado (perfilado, minado a nivel o en rampa), entre otros que atienden a cuestiones operativas principalmente.

**Figura 29**

*Gráfica comparativa de tonelaje producido, cobertura y U.D.F %*



Fuente: Elaboración propia.

### 4.1.3. Equipos más y menos productivos en base a los KPI's calculados

#### 4.1.3.1. Según el rendimiento operativo

En la Tabla 27 se presenta los equipos ordenados en base a su rendimiento operativo involucrando el rendimiento horario (t/h), cobertura (volquetes/h), consumo eléctrico (KWh/t), costo por tonelada cargada (\$/t) y costo horario (\$/h).

**Tabla 27**

*Equipos de carguío ordenados en base a sus KPI's de rendimiento operativo*

Según KPI	Tiempo				Recursos			Costos		
	t/h	volquetes/h		KWh/t	\$/t		\$/h			
Orden	Eq.	Valor prom.	Eq.	Valor prom.	Eq.	Valor prom.	Eq.	Valor prom.	Eq.	Valor prom.
1	P07	4 644	P07	13,0	P07	0,127	P03	0,140	P05	486
2	P06	4 155	P06	11,4	P03	0,151	P06	0,163	P03	546
3	P03	3 954	P03	11,4	P06	0,176	P05	0,164	P06	579
4	P05	3 401	P05	10,2	P04	0,222	P07	0,232	LT02	579
5	P04	2 819	P04	8,6	P05	0,269	P04	0,260	LT01	670
6	P01	1 500	P01	4,7	P01	0,467	LT02	0,389	P04	686
7	LT02	1 498	LT02	4,6	LT02	N.A.	LT01	0,634	P01	846
8	LT01	1 068	LT01	3,6	LT01	N.A.	P01	0,836	P07	1 101
<b>Promedio</b>	-	<b>2 880</b>	-	<b>8,4</b>	-	<b>0,235</b>	-	<b>0,352</b>	-	<b>687</b>

Fuente: Elaboración propia.

Identificamos como equipos más productivos son los de desbroce que incluyen a P07, P06, P03 y P05 con fundamento en mayor capacidad de carguío y menores costos por tonelada, podemos inferir en base al análisis previo de los cálculos y resultados obtenidos que distintos indicadores se relacionan entre sí y la gestión operativa del equipo también involucra una gran incidencia en la

productividad; es por ello que P04, P01, y los cargadores LT tienen un menor rendimiento en cuanto a tonelaje cargado en atención a su poca cobertura de volquetes debido a cumplimiento de plan, utilización mermada por factores externos como la falta de chancadora e incremento de costos por su elevado consumo de recursos.

#### 4.1.3.2. Según el rendimiento de gestión de tiempo

En la siguiente tabla se detalla los equipos ordenados en base a su rendimiento de gestión de tiempo considerando la Utilización (U. %), Demoras totales (D. %), Demoras mecánicas (M. %), Disponibilidad física (D.F. %), Disponibilidad mecánica (D.M %) y Uso de la disponibilidad física (U.D.F. %).

**Tabla 28**

*Equipos de carguío ordenados en base a sus KPI's de gestión de tiempo*

Según KPI	Tiempo Total						Tiempo Disponible					
	U. (%)		D. (%)		M. (%)		D.F. (%)		D.M. (%)		U.D.F. (%)	
Orden	Eq.	Valor prom.	Eq.	Valor prom.	Eq.	Valor prom.	Eq.	Valor prom.	Eq.	Valor prom.	Eq.	Valor prom.
1	P03	75 %	P06	12 %	P01	5 %	P01	95 %	P01	91 %	P06	85 %
2	P07	75 %	P03	14 %	P04	9 %	P04	91 %	P04	88 %	P03	85 %
3	P04	70 %	P07	14 %	P05	9 %	P05	91 %	P05	88 %	P07	84 %
4	P06	69 %	P04	21 %	P07	11 %	P07	89 %	P07	87 %	P04	77 %
5	P05	67 %	LT02	24 %	P03	11 %	P03	89 %	P03	87 %	P05	73 %
6	LT02	63 %	P05	24 %	LT02	13 %	LT02	87 %	LT02	83 %	LT02	72 %
7	P01	50 %	LT01	39 %	P06	19 %	P06	81 %	P06	78 %	P01	52 %
8	LT01	34 %	P01	45 %	LT01	28 %	LT01	72 %	LT01	55 %	LT01	47 %
<b>Promedio</b>	-	<b>63 %</b>	-	<b>24 %</b>	-	<b>13 %</b>	-	<b>87 %</b>	-	<b>82 %</b>	-	<b>72 %</b>

Fuente: Elaboración propia.

Del cuadro anterior resaltamos que no existe correspondencia entre los equipos con mayor U. % y U.D.F. % debido a su disponibilidad variable, la utilización en general no excede a 75 % y en los equipos con mayor rendimiento de este indicador tienen un porcentaje de demoras totales moderado y de mantenimiento mecánico menor a 10 % lo que sucede en el incremento de horas efectivas y en contraparte los equipos con mayor cantidad de demoras disminuyen su utilización.

En adición a lo anteriormente mencionado, al analizar el U.D.F. % encontramos que no tiene vínculo directo con la U. %, pero sí con las D % por lo que P06, P03 y P07 poseen un mejor aprovechamiento de la disponibilidad, asociado a una menor cantidad de demoras totales, pues como fue mencionado anteriormente la D.F. % considera al equipo para su utilización o no, siendo netamente su variabilidad debido a la gestión adecuada que permite reducir las demoras operativas, no operativas y tiempos *stand by* en el funcionamiento de los equipos.

#### ***4.1.4. Factores que más afectan a la U % y U.D.F. %***

En vista de que previamente se evaluó que la utilización es afectada en conjunto por las demoras totales y mecánicas por su implicancia en la reducción horas efectivas a nivel total, en la Tabla 29 se presenta el top de demoras en base a su cantidad de horas acumuladas y el promedio de duración por evento.

**Tabla 29***Top 10 de estados por demoras totales*

N°	Estado	Categoría	Horas	Prom.
1	Falta chancadora	S. Factor Externo	2 346	4,1
2	Falta de operador	Standby	1 418	3,7
3	Cambio guardia	D. No Operativa	1 061	0,3
4	Standby programado	Standby	934	3,4
5	Rancho noche	D. No Operativa	598	0,8
6	Clima adverso	S. Factor Externo	332	1,0
7	Traslado de pala corto	D. Operativa	315	0,1
8	Traslado de equipo	D. Operativa	275	0,7
9	Rancho día	D. No Operativa	253	0,5
10	Falta de volquetes	Standby	156	2,1

Fuente: Elaboración propia.

De los factores presentados en la tabla anterior identificamos algunos estados que pueden ser controlados, especialmente los tiempos *stand by* por falta de operador y falta de volquetes, que principalmente se debe por la indisponibilidad del número de trabajadores requerido, una alternativa de solución al problema descrito es mediante la presencia de operadores en *stand by*. Si bien las cuestiones climáticas, mantenimiento de chancadora y ranchos son estados de gran cantidad de demora a los que no se le puede dar tratamiento, es posible reducir tiempos en el cambio de guardia mediante la realización de un “cambio caliente”, el cual permitiría reducir este tiempo que en promedio genera pérdidas de 18-30 minutos por turno y reducen la ratio de producción de dicha hora.

En la siguiente tabla se consolidan los 10 principales estados debido a mantenimientos mecánicos de los equipos, siendo de carácter programado y no programado principalmente.

**Tabla 30***Top 10 de estados por demoras mecánicas*

N°	Estado	Categoría	Horas	Prom.
1	Mantenimiento preventivo	M. Programado	1 180	8,1
2	Overhaul	M. Programado	475	11,9
3	Falta de repuesto mecánico	M. Factor Externo	383	12,0
4	Gets: base- uña- sep y protector	M. No Programado	168	1,0
5	Tambor	M. No Programado	168	10,5
6	Motor tracción eléctrico	M. No Programado	141	9,4
7	Sistema de control	M. No Programado	114	1,4
8	Componente mecánico programado	M. Programado	103	7,9
9	Sistema de propulsión	M. No Programado	91	3,5
10	Barretón espada	M. No Programado	90	0,5

Fuente: Elaboración propia.

En base a los análisis anteriormente realizados, recalamos que las reparaciones y mantenimientos correctivos suelen ser de carácter inopinado, sin embargo, es relevante realizar un seguimiento a las principales causas de estos que puede ser atribuida a imprecisiones en su mantenimiento u operación, para de algún modo disminuir su frecuencia. En adición a los mencionado garantizar condiciones de trabajo propicias y un entrenamiento adecuado de operadores ayudará a preservar los componentes y evitar accidentes que incurran en reparaciones no planificadas.

Los mantenimientos preventivos, predictivos y *overhaul's* muchas veces se ven afectados por la falta de repuestos mecánicos de carácter externo, por lo es importante que el área logística tenga monitoreada dichos componentes y planificar su stock, pues como encontramos resulta la tercera demora con mayor cantidad de

horas perdidas. Todas las sugerencias planteadas fueron formuladas a razón de incrementar las horas de utilización, con un sustento de mayor aprovechamiento operativo y económico que permita el incremento de la productividad.

#### 4.2. Contrastación de hipótesis

En la Tabla 31, se presentan los resultados de las hipótesis planteadas para el análisis estadístico inferencial anteriormente realizado, necesario para validar nuestra hipótesis general, asimismo se evaluó la magnitud de la correlación obtenida en base a una escala establecida por Gamarra y otros (2015), que se presenta en la Figura 30.

**Tabla 31**

*Resultados del análisis estadístico para prueba de hipótesis*

Hipótesis aceptada	Nivel de confianza	Nivel de significancia	Coefficiente de correlación Rho	Tipo	Magnitud
Existe relación entre el rendimiento operativo y la producción obtenida.	95 %	0,05	0,961	Positiva y directa	Muy alta
Existe relación entre el rendimiento de gestión de tiempos y la producción obtenida.	95 %	0,05	0,796	Positiva y directa	Alta

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 30**

*Escala de magnitud de la correlación en base a un coeficiente de Pearson o Spearman*

<b>Rangos</b>	<b>Magnitud</b>
<b>0.81 a 1.00</b>	<b>Muy alta</b>
<b>0.61 a 0.80</b>	<b>Alta</b>
<b>0.41 a 0.60</b>	<b>Moderada</b>
<b>0.21 a 0.40</b>	<b>Moderada</b>
<b>0.01 a 0.20</b>	<b>Muy baja</b>

Fuente: Adaptado del libro *Estadística y aplicaciones en SPSS* de Gamarra y otros (2015).

Dado que ambas pruebas de correlación arrojaron resultados satisfactorios respecto a la validación de nuestras hipótesis estadísticas, podemos concluir que de forma general el rendimiento de equipos de carguío tiene una relación directa en la producción obtenida por los mismos, asimismo podemos afirmar con certeza que es explícita la relación constante del rendimiento operativo y de gestión de tiempos, pues al estar en constante interacción durante la operación del equipo tienen estrecho vínculo en el desempeño uno del otro, lo que sugiere tener control constante de cada variable de los KPI's anteriormente estudiados para optimizar la calidad y cantidad del minado en términos de operación, costos y maximización del aprovechamiento de recursos.

## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN

#### 5.1. Aplicación de la tecnología encontrada.

El presente trabajo permite corroborar la importancia de mantener un control eficiente sobre el rendimiento de los equipos de carguío, así también el identificar los aspectos de mayor relevancia dentro de la gestión de éstos para maximizar la productividad e incrementar las ratios de producción.

En adición a lo mencionado encontramos importante la aplicación y evaluación de los KPI's calculados y analizados para:

- Ajuste adecuado de la planificación de minado en base a que un incremento del rendimiento general de los equipos tiene influencia directa en el cumplimiento de los planes proyectados y a su vez en la reducción de los costos involucrados.
- Mejora en la gestión operativa en la supervisión de campo y a través de la administración del sistema dispatch, configuración de flotas y match factor ideal para la reducción de tiempos controlables por demora, *stand by* y de factor externo.

- Generar un impacto económico positivo en el aprovechamiento eficiente de recursos como el suministro eléctrico, desgaste de componentes, combustibles y principalmente la utilización efectiva de los equipos que involucra costos de operación elevados en el ciclo de minado.
- Realizar análisis estadísticos y técnicos de forma periódica para el seguimiento a la identificación de relaciones entre indicadores y oportunidades de mejora operacional.

## **5.2. Contraste con trabajos de investigación similares.**

En consideración del trabajo de Casas (2018), con relación a los KPI's promedio calculados para los equipos estudiados, y su relación con su producción, se realizó el contraste que se detalla en el cuadro de la Figura 31, encontrándose una semejanza en lo expresado por ambos autores, debido a que coinciden en una relación entre el rendimiento y la producción; sin embargo, se encuentran resultados discrepantes en cuanto a los KPI's de gestión de tiempo promedio calculados pues nuestra investigación presenta índices moderadamente inferiores en cuanto a disponibilidad y utilización de los equipos de estudio. Asimismo, se logró identificar diferencias en la identificación de principales demoras que afectan la U % y U.D.F. %.

**Figura 31***Contraste de resultados con la investigación de Casas (2018)*

Ítem	Casas (2018)	Resultado obtenido
Relación de los KPI y la producción	Los indicadores clave de desempeño KPI's tienen una relación directa con el rendimiento y la productividad, en el momento que los valores son elevados, la productividad mejora como lo hace el rendimiento.	En base al análisis de KPI's es posible establecer una relación directa y positiva entre el rendimiento de equipos de carguío y su producción obtenida.
Resultados de KPI's de gestión de tiempo calculados	Se encontraron niveles del KPI control de tiempos en los equipos: Disponibilidad física: 93,7 % Disponibilidad mecánica: 98,8 % Utilización: 54,7 % Uso de la disponibilidad física: 76,6 %	Los KPI promedio de gestión de tiempo de equipos son los siguientes: Disponibilidad física: 86,9 % Disponibilidad mecánica: 82,8 % Utilización: 62,8 % Uso de la disponibilidad física: 72,3 %
Principales demoras en U % y U.D.F. %	Falta de frente de trabajo.	Demoras totales: Falta de chancadora y falta de operador. Demoras mecánicas: Mantenimiento preventivo y overhaul.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, nuestra investigación comprende de forma adicional los KPI's promedio de rendimiento horario de carguío en 2 880 t/h en base a una cobertura de 8,4 volquetes/h para los equipos de carguío en general y un consumo eléctrico de 0,235 KWh/t en el caso de las palas eléctricas.

Teniendo en cuenta el trabajo de Huarocc (2014), con relación a los KPI's como una herramienta para optimizar los procesos unitarios en mina, se realizó el contraste que se detalla en el cuadro de la Figura 32.

**Figura 32***Contraste de resultados con la investigación de Huarocc (2014)*

Ítem	Huarocc (2014)	Resultado obtenido
Importancia de los KPI's dentro de la operación	Los indicadores clave de desempeño KPI's tienen relevancia en el control, planeación y optimización de procesos de la mina de estudio.	Los KPI's constituyen una herramienta esencial en el monitoreo de la eficiencia de operaciones de minado, cumplimiento de objetivos y mejora de procesos en general.
Costos unitarios calculados	Costo de minado por tonelada: 0,44 \$/t para el carguío.	Costo unitario por tonelada minada: 0,352 \$/t Costo unitario horario de operación: 687 \$/h
Oportunidades de mejora encontradas	Capacitación en la organización de toda la mina. Implementar herramientas de control de calidad.	Reducción de demoras en base a mejor planificación, capacitación y proyectos de mejora operacional. Implementar dashboard en tiempo real.

Fuente: Elaboración propia.

De lo expresado por Huarocc (2014), es notable el aporte de los KPI's dentro de las operaciones mineras a nivel de control y monitoreo de procesos, ya que nos permiten identificar los defectos operativos, los mismos que constituyen una herramienta para establecer oportunidades de mejora, para efectos del análisis comparativo, ambos autores coinciden en que la capacitación y planificación de la gestión del capital humano y material (equipos) tendrá como consecuencia un aumento en los índices de productividad y producción obtenida.

En contraparte, resulta necesario expresar que se obtuvieron valores divergentes en cuanto a los costos de minado unitario calculados, debido a que este

indicador deriva de la gestión, equipos y características propias de cada mina de estudio.

Es preciso indicar que cuantificar el cumplimiento de procesos e identificar oportunidades de mejora mediante el uso de KPI's dentro de las operaciones mineras, garantiza el elevar el nivel de calidad y competitividad a nivel interno y externo como parte de una estrategia para consagrarse como una empresa líder en el rubro.

## CONCLUSIONES

En base a los resultados de las pruebas no paramétricas de correlación de Rho de Spearman aplicadas para los KPI representativos que fueron analizados estadísticamente, se obtuvo un coeficiente de 0,961 a nivel operativo (t/h) y 0,796 para la gestión de tiempo (U.D.F. %), con una estadística de prueba que permitió respaldar las hipótesis planteadas, por lo que es posible concluir que existe una relación directa y positiva entre el rendimiento de los equipos de carguío y su producción obtenida, analizada con un intervalo de confianza de 95 % para las operaciones de minado en una mina superficial del sur del Perú comprendidas entre enero a junio de 2022.

Se calculó y evaluó los KPI's de los equipos cuyos resultados presentan cierta tendencia de mayor eficiencia operativa (carguío horario, consumo eléctrico y costos) y de gestión de tiempos (utilización de tiempo total y disponible) en la zona de desbroce para los equipos de P03, P05, P06 y P07 en comparación de la fase de explotación de mineral que comprende la P01, P04, LT01 y LT02 como consecuencia de razones externas, mecánicas y de planificación.

En relación con lo anteriormente planteado se identificaron los factores de mayor incidencia en los índices de U % y U.D.F. % dentro de las demoras totales y mecánicas que atienden a aspectos controlables: como las demoras operativas, no operativas, tiempos stand by y mantenimientos planificados, y no controlables: como la indisponibilidad de la chancadora por mantenimientos o conflictos sociales, clima adverso y mantenimientos correctivos.

Se logró identificar relaciones entre los KPI's calculados de forma directa como en el rendimiento de carguío horario (t/h) y utilización o inversa como en el U.D.F. % y las demoras totales, por lo que el presente trabajo es un aporte futuro, para temas de investigación que contemplen un profundo análisis de los indicadores estudiados, con el propósito de optimizar la operación de carguío y el minado en general.

Los indicadores clave de desempeño KPI constituyen una herramienta estratégica importante en el seguimiento continuo de la eficiencia de los equipos e incremento de los índices de productividad, por lo que su aplicación y análisis es constante.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda planificar efectivamente las operaciones para que los equipos de carguío reduzcan sus tiempos perdidos por cambio o falta de operador o de volquetes, por lo que es necesario contar con operadores en stand by, asimismo realizar un seguimiento a la frecuencia de los mantenimientos correctivos realizados.

Se recomienda presentar alternativas de mejora operacional, con el fin de minimizar el nivel de demoras mediante proyectos como el cambio de guardia en “caliente”, modificación de guardias o evaluar el paso a la automatización de los procesos unitarios, que hoy en día se encuentra en proceso de establecimiento progresivo en operaciones modernas.

Es aconsejable contar con herramientas “dashboard” que representen los KPI’s en forma ordenada, concisa y actualizada para realizar un control en tiempo real de los procesos en mina y así tomar las mejores alternativas que permitan un tratamiento eficaz de los equipos.

Se sugiere realizar monitoreos en el desempeño del recurso humano con el propósito de identificar puntos mejorables en materia de capacitación, seguridad y cumplimiento de procedimientos establecidos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Caballero G. (2013). *KPI's fundamentales para la gestión del área productiva de una minera de mediana producción de cátodos de cobre en Chile*. [Tesis de maestría, Universidad de Chile]. Repositorio académico de la Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/142706>
- Casas D. (2018). *Indicadores clave de desempeño de equipo pesado para control de rendimiento y productividad*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio institucional UNC. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/2536>.
- Córdova F. (2019). *Determinación de los KPI's de la flota de camiones para la optimización del acarreo de lastre en la mina Pierina 2017*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Repositorio institucional UNASAM. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/3580>
- Espinoza C. (2014). *Metodología de la investigación tecnológica pensando en sistemas*. Universidad nacional del Centro del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/1148>.
- Gamarra G. y otros (2015). *Estadística e investigación con aplicaciones de SPSS (2ª ed.)*. Editorial San Marcos.
- Huaroc P. (2014). *Optimización del carguío y acarreo de mineral mediante el uso de indicadores claves de desempeño U.M. Chuco II de la E. M. Upkar*

*Mining S.A.C.* [ Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio institucional UNCP.  
<http://hdl.handle.net/20.500.12894/1337>.

P&H Mining Equipment. (2007). *Manual de Operador de pala eléctrica minera P&H Centurión (Versión 6.)*. Peak Services.

Pauca E. y Herrera N. (2022). *Caracterización geológica del intrusivo del sector norte del Yacimiento de Cuajone*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa]. Repositorio institucional UNSA.  
<http://hdl.handle.net/20.500.12773/14454>.

Pérez C. (2021). *Optimización de la fragmentación mediante el uso de doble iniciación electrónica en roca Toba Cristal de la Fase 8 en la Unidad Minera Cuajone - 2019*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. Repositorio institucional UNJBG.  
<http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/4444>

Quiroga P. (2016). *Diseño de herramienta computacional para control de KPI de operadores de carguío y transporte - Mina Los Bronces*. [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio académico de la Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/142772>.

Sampieri R. (2014). *Metodología de la investigación (6.ª ed.)*. Interamericana Editores.

## **ANEXOS**

ANEXO 01: Matriz de consistencia

ANEXO 02: Matriz de operacionalización de variables

ANEXO 03: Formato de consulta de cargas y descargas

ANEXO 04: Formato de consulta de estados de equipos

ANEXO 05: Formato de reporte de producción

ANEXO 06: Formato de reporte de consumo eléctrico y costos totales

## ANEXO 01: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES
<p><b>PROBLEMA GENERAL:</b></p> <p>¿Será posible establecer una relación entre el rendimiento de carguío y su producción obtenida, mediante el análisis de KPI's en la mina superficial del sur del Perú, en 2022?</p> <p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS:</b></p> <p>1. ¿El análisis de KPI's de equipos permitiría evaluar el rendimiento operativo e identificar los equipos más y menos productivos?</p> <p>2. ¿Calcular los indicadores de gestión de tiempo permitirá conocer los factores de mayor influencia en la utilización y uso de la disponibilidad física?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL:</b></p> <p>Estimar la relación entre el rendimiento de equipos de carguío y su producción obtenida, mediante el análisis de KPI's en la mina superficial del sur del Perú, en 2022.</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</b></p> <p>1. Calcular y analizar los KPI's de equipos para evaluar el rendimiento operativo e identificar los equipos más y menos productivos.</p> <p>2. Identificar los factores de mayor influencia en la utilización y uso de disponibilidad física de los equipos de carguío.</p>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL:</b></p> <p>De acuerdo análisis de KPI's existe una relación directa entre el rendimiento de los equipos de carguío y su producción obtenida, en la mina superficial del sur del Perú en 2022.</p> <p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:</b></p> <p>1. Mediante el análisis de KPI's es posible conocer el rendimiento operativo de cada equipo de carguío y establecer los más y menos productivos.</p> <p>2. Las demoras totales y mecánicas influyen en la utilización y uso de la disponibilidad física de los equipos.</p>	<p><b>VARIABLE 1</b></p> <p><b>Rendimiento de equipos de carguío</b></p> <p><b>Indicadores</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rendimiento horario (t/h, volquetes/h).</li> <li>▪ Rendimiento de recursos (Kwh/t).</li> <li>▪ Rendimiento de costos (\$/t, \$/h).</li> <li>▪ Utilización (%).</li> <li>▪ Uso de la disponibilidad física (%)</li> </ul> <p><b>VARIABLE 2</b></p> <p><b>Producción obtenida</b></p> <p><b>Indicadores</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tonelaje total minado (t).</li> <li>▪ Tonelaje total movido (t).</li> <li>▪ Cumplimiento de plan de producción (%).</li> <li>▪ Variación de la producción (%).</li> </ul>
MÉTODO Y DISEÑO	POBLACIÓN Y MUESTRA	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	
<p><b>TIPO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Básica</li> </ul> <p><b>NIVEL</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Correlacional</li> </ul> <p><b>DISEÑO</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ No experimental</li> </ul>	<p><b>POBLACIÓN</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Operación de minado en la mina superficial del sur y sus procesos unitarios.</li> </ul> <p><b>MUESTRA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Proceso unitario de carguío comprendido en el periodo de enero a junio de 2022, enfatizando en 6 palas eléctricas de cable y 2 cargadores frontales de alto tonelaje.</li> </ul>	<p><b>TÉCNICAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Documental</li> </ul> <p><b>INSTRUMENTOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Formato de consulta cargas y descargas</li> <li>▪ Formato de consulta de estados de equipos</li> <li>▪ Formato de reporte de producción</li> <li>▪ Formato de reporte de consumo eléctrico y costos totales</li> </ul>	

**ANEXO 02: Matriz de operacionalización de variables**

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICA	INSTRUMENTO
<b>Variable 1:</b> Rendimiento de equipos de carguío	El rendimiento hace referencia a la relación entre el trabajo realizado por el equipo y un recurso involucrado en la realización de este, con el objetivo de evaluar constantemente el nivel de aprovechamiento y maximizar su producción.	Indicadores clave de rendimiento (KPI's)	Rendimiento operativo de equipos en función a tiempo, recursos utilizados y costos.  Rendimiento de gestión de tiempos de equipos de carguío.	- Rendimiento horario (t/h, volquetes/h). -Rendimiento de consumo de recursos (Kwh/t). - Rendimiento de costos (\$/t, \$/h).  - Utilización (%). -Disponibilidad física (%) - Uso de la disponibilidad física (%)	Documentación de data extraída de sistema dispatch.	- Formato de consulta cargas y descargas.  - Formato de consulta de estados de equipos.  -Formato de reporte de consumo eléctrico y costos totales.
<b>Variable 2:</b> Producción obtenida	La producción involucra el tonelaje movido desde un punto de carga a uno de descarga fuera de tajo con fines diversos como alimentación a chancadora, descarga en stocks, desbroce o mantenimiento de vías/ depósitos. No considera tonelajes input o remanejados.	Reportes de producción	Tonelaje cargado y acarreado.	- Tonelaje total minado (t). - Tonelaje por pala (t). - Cumplimiento de plan de producción (%). - Variación de la producción (%).	Documentación de reportes de producción.	- Formato de reporte de producción.





**ANEXO 05: Formato de reporte de producción**

REAL VS PLAN ANUAL	DIA				MES				AÑO A LA FECHA			
	Real	Plan	Var	%	Real	Plan	Var	%	Real	Plan	Var	%
Metros perforados												
Total Material Minado												
Mineral												
Ley de Cu en Mineral												
Ley de Mo en Mineral												
Índice de Dureza de Roca WI												
Lixiviable												
Ley de Cu en Lixiviable												
Desmonte (Tepetate)												
Relacion Desbroce (descapote) D/(M+L)												
Relacion Desbroce (descapote) (D+L)/M												
<b>PRODUCCIÓN POR PALA</b>	<b>Real</b>	<b>UE</b>	<b>Var</b>	<b>%</b>	<b>Real</b>	<b>UE</b>	<b>Var</b>	<b>%</b>	<b>Real</b>	<b>UE</b>	<b>Var</b>	<b>%</b>
LT01												
LT02												
P01												
P03												
P04												
P05												
P06												
P07												

Fuente: Instrumento documentado de la superintendencia de operaciones de la mina de estudio.

**ANEXO 06: Formato de reporte de consumo eléctrico y costos totales**

Consumo energía (KWh)						
Equipo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
LT01						
LT02						
P01						
P03						
P04						
P05						
P06						
P07						
Costos totales (\$)						
Equipo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
LT01						
LT02						
P01						
P03						
P04						
P05						
P06						
P07						

Fuente: Instrumento documentado de la superintendencia de planeamiento de la mina de estudio.