

**UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



Tesis

Optimización de KPI's de carguío y acarreo para incrementar la productividad de palas eléctricas y camiones del tajo Ferrobamba, Mina Las Bambas, Cotabambas – 2023.

Presentado por:

Renso Javier Silva Quispe

Para optar el Título de Ingeniero de Minas

Abancay, Perú

2023



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

Facultad de Ingeniería

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas



“TESIS”

“Optimización de KPI’s de carguío y acarreo para incrementar la productividad de palas eléctricas y camiones del tajo Ferrobamba, Mina Las Bambas, Cotabambas – 2023”

Presentado por **Renso Javier Silva Quispe**, para optar el Título de: **Ingeniero de Minas**

Sustentado y aprobado el 05 de octubre de 2023 ante el jurado evaluador:

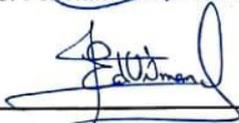
Presidente:

  
\_\_\_\_\_  
*Dr. Walquer Huacani Calsin*

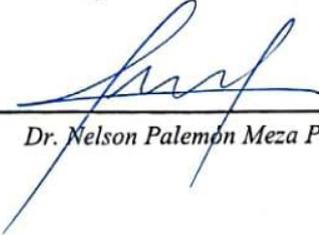
Primer Miembro:

  
\_\_\_\_\_  
*Mstro. Feliciano Escobedo Silva*

Segundo Miembro:

  
\_\_\_\_\_  
*Dr. Edgar Zenon Vilca Mansilla*

Asesor:

  
\_\_\_\_\_  
*Dr. Nelson Palemon Meza Peña*

## **Agradecimiento**

*Agradezco, en primer lugar, a la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac esta institución me ha proporcionado una sólida formación académica que ha sido clave en mi desarrollo profesional. En segundo lugar, deseo agradecer a MMG Las Bambas, por permitirme realizar esta investigación y brindarme el apoyo necesario para llevarla a cabo.*

*Finalmente, quiero expresar mi gratitud a mi asesor de tesis, el Ing. Nelson Meza Peña, por su orientación, dedicación y conocimientos brindados durante todo el proceso de investigación. Sus consejos y comentarios fueron fundamentales para el éxito de esta tesis.*



## **Dedicatoria**

*Este logro no hubiera sido posible sin el amor y apoyo de mis queridos padres Javier Silva Arcega y Domitila Quispe Montejo, gracias por todo el apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de mi vida. Sus sacrificios, esfuerzos y amor han sido fundamentales para mi formación académica y personal.*

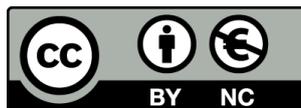
*A mis queridas hermanas, quienes han sido una gran motivación en mi vida, su amor, paciencia y confianza en mí me han impulsado a ser una mejor persona cada día.*



“Optimización de KPI’s de carguío y acarreo para incrementar la productividad de palas eléctricas y camiones del tajo Ferrobamba, Mina Las Bambas, Cotabambas – 2023”

Línea de investigación: Minería y Procesamiento de minerales

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



## ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>2</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>4</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>4</b>
1.1 Descripción del problema.....	4
1.1.2 Datos generales de la Unidad Minera Las Bambas.....	5
1.2 Enunciado del Problema.....	7
1.2.2 Problema general.....	7
1.2.3 Problemas específicos.....	7
1.2.4 Justificación de la investigación.....	8
<b>OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....</b>	<b>9</b>
2.1 Objetivos de la investigación.....	9
2.2.1 Objetivo general.....	9
2.2.2 Objetivos específicos.....	9
2.2 Hipótesis de la investigación.....	9
2.2.3 Hipótesis general.....	9
2.2.4 Hipótesis específicas.....	9
2.3 Operacionalización de variables.....	10
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>11</b>
<b>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</b>	<b>11</b>
3.1 Antecedentes.....	11
3.2 Marco teórico.....	14
3.2.1 KPI's (Key Performance Indicator).....	14
3.2.1.1 Optimización del sistema de carguío y acarreo.....	15
3.2.1.2 La Productividad de los equipos como KPI.....	15
3.2.1.3 El tiempo como KPI en la operación minera.....	16
3.2.2 Carguío.....	17
3.2.2.1 Equipos de carguío.....	18
3.2.2.2 Selección de equipos de carguío.....	19
3.2.3 Palas Excavadoras.....	20
3.2.3.1 Palas eléctricas o de cables.....	21
3.2.3.2 Factores para la selección de palas eléctricas.....	22
3.2.3.3 Especificaciones técnicas.....	23
3.2.3.4 Componentes principales.....	25
3.2.3.5 Proceso de carguío de las palas.....	28

3.2.4 Acarreo.....	31
3.2.4.1 Camiones de acarreo fuera de carretera.....	31
3.2.4.2 Camiones con descarga trasera.....	33
3.2.4.3 Características generales y de diseño.....	33
3.2.4.4 Especificaciones técnicas de un camión minero.....	35
3.2.4.5 Tiempos de ciclo del carguío y acarreo.....	37
3.2.4.6 Productividad en el proceso de carguío y acarreo.....	40
3.2.4.6.1 Productividad de palas eléctricas.....	40
3.2.4.6.2 Factores para una excavación productiva.....	41
3.2.4.7 Productividad de camiones.....	44
3.3 Marco conceptual.....	47
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>49</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>49</b>
4.1 Tipo y nivel de investigación.....	49
4.2 Diseño de la investigación.....	49
4.3 Población y muestra.....	49
4.4 Procedimiento.....	50
4.5 Técnica e instrumentos.....	86
4.6 Análisis estadístico.....	86
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>92</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>	<b>92</b>
5.1 Análisis de resultados.....	92
5.1.1 Velocidad de camiones (cargado y vacío).....	92
5.1.2 Carga útil (payload).....	97
5.1.3 Tiempo de ciclo.....	99
5.1.4 Productividad de Palas.....	105
5.1.5 Productividad de Camiones.....	106
5.1.6 Contrastación de hipótesis.....	112
5.2 Discusión.....	117
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>120</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>120</b>
6.1 Conclusiones.....	120
6.2 Recomendaciones.....	121
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>122</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>125</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 — Vías de acceso a la Unidad Minera Las Bambas.....	5
Tabla 2 — Operacionalización de variables.....	10
Tabla 3 — Características más importantes de las palas eléctricas.....	21
Tabla 4 — Ciclo de excavación de la pala.....	29
Tabla 5 — Palas eléctricas de la mina Las Bambas.....	50
Tabla 6 — Equipos de acarreo de la mina Las Bambas.....	51
Tabla 7 — Velocidades de los camiones según PETS de la mina Las Bambas.....	55
Tabla 8 — Velocidades según condición climática.....	55
Tabla 9 — Velocidad de camiones vacíos por operador, 2022.....	56
Tabla 10 — Velocidad de camiones cargados por operador, 2022.....	59
Tabla 11 — Carga útil según modelo de camiones.....	63
Tabla 12 — Tiempo de carguío – 2022.....	69
Tabla 13 — Tiempo de cuadrado por operador de camión, 2022.....	73
Tabla 14 — Tiempo de descarga por operador de camión, 2022.....	76
Tabla 15 — Velocidad de camiones cargados por operador, 2023.....	93
Tabla 16 — Velocidad de camiones vacíos por operador, 2023.....	95
Tabla 17 — Tiempo de cuadrado por operador de camión, 2023.....	100
Tabla 18 — Tiempo de descarga por operador de camión, 2023.....	102
Tabla 19 — Productividad por modelo de camiones.....	105
Tabla 20 — Productividad de camiones por operador de camión, 2022.....	106
Tabla 21 — Productividad de camiones por operador de camión, 2023.....	107
Tabla 22 — Grado de correlación en la productividad de camiones.....	115
Tabla 23 — Grado de correlación en la productividad de palas.....	116
Tabla 24 — Matriz de consistencia.....	134



## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i> — Especificaciones técnicas de pala eléctrica P&H 4100XPC.....	23
<i>Figura 2</i> — Especificaciones operativas de pala eléctrica P&H 4100XPC.....	24
<i>Figura 3</i> — Ciclo de excavación de una pala eléctrica.....	28
<i>Figura 4</i> — Fase de giro.....	29
<i>Figura 5</i> — Especificaciones técnicas del camión Caterpillar 797F.....	35
<i>Figura 6</i> — Especificaciones técnicas operativas del camión Caterpillar 797F.....	36
<i>Figura 7</i> — Tiempos de carguío y acarreo.....	37
<i>Figura 8</i> — Arco de giro y productividad de pala.....	40
<i>Figura 9</i> — Ángulo de inclinación por tipo de roca.....	41
<i>Figura 10</i> — Posición de pala para obtener el mejor rendimiento de excavación.....	41
<i>Figura 11</i> — Carguío por ambos lados de una pala eléctrica.....	42
<i>Figura 12</i> — Factor de llenado según la dificultad de excavación y llenado de balde “raso” de una pala eléctrica.....	43
<i>Figura 13</i> — Cálculo del EFH.....	44
<i>Figura 14</i> — Sección típica de un camino minero con doble carril.....	45
<i>Figura 15</i> — Recolección de datos con el sistema Dispatch.....	50
<i>Figura 16</i> — Agrupación de datos del año 2022 con Excel.....	52
<i>Figura 17</i> — Datos ordenados según KPI.....	54
<i>Figura 18</i> — Gráfico de caja de carga útil KOM 390-4SE – 2022.....	54
<i>Figura 19</i> — Top ten de velocidades en vacío del año 2022.....	57
<i>Figura 20</i> — Top ten de velocidades en vacío del año 2022 según plan establecido.....	57
<i>Figura 21</i> — Velocidades en vacío del año 2022.....	58
<i>Figura 22</i> — Top ten de operadores con menor velocidad cargado en el año 2022.....	60
<i>Figura 23</i> — Top ten de operadores con mejor velocidad cargada en el año 2022.....	60
<i>Figura 24</i> — Velocidad cargado por mes en el 2022.....	61
<i>Figura 25</i> — Monitoreo en tiempo real de las velocidades de camión.....	62
<i>Figura 26</i> — Payload de los camiones CAT 797F por mes en el año 2022.....	63
<i>Figura 27</i> — Payload de los camiones KOM 980E por mes en el año 2022.....	64
<i>Figura 28</i> — Carga útil de los camiones KOM 930E-4SE por mes en el año 2022.....	64
<i>Figura 29</i> — Payload por tipo de material.....	65
<i>Figura 30</i> — Formato de control de Payload por operador en el año 2022.....	66
<i>Figura 31</i> — Payload por operador de pala CAT 797F del año 2022.....	67
<i>Figura 32</i> — Payload por operador de pala KOM 980E del año 2022.....	67

<i>Figura 33</i> — Payload por operador de pala CAT 930E-4SE del año 2022.....	68
<i>Figura 34</i> — Reporte en tiempo real de la carga útil.....	68
<i>Figura 35</i> — Tiempo de carguío por material.....	70
<i>Figura 36</i> — Formato de control de tiempo de carguío por operador.....	71
<i>Figura 37</i> — Tiempo de carguío por operador del 2022.....	72
<i>Figura 38</i> — Reporte en tiempo real de tiempos de carguío.....	72
<i>Figura 39</i> — Plan de acción para mejorar el tiempo de cuadrado de camiones.....	74
<i>Figura 40</i> — Top ten en tiempos de cuadrado en el 2022.....	75
<i>Figura 41</i> — Top ten en tiempos de cuadrado por operador en el 2022.....	75
<i>Figura 42</i> — Tiempo de descarga en el 2022.....	77
<i>Figura 43</i> — Tiempo de descarga con menor tiempo en el 2022.....	77
<i>Figura 44</i> — Tiempo de cola de los camiones en el carguío en el 2022.....	78
<i>Figura 45</i> — Tiempo de espera de los camiones en el 2022.....	79
<i>Figura 46</i> — Reporte en tiempo real del queue y hang.....	79
<i>Figura 47</i> — Módulo MineGraphics del Dispatch.....	81
<i>Figura 48</i> — Módulo HaulRoute.....	82
<i>Figura 49</i> — Monitoreo en tiempo real de algunos indicadores en el HaulRoute.....	82
<i>Figura 50</i> — Limpieza de piso de pala.....	83
<i>Figura 51</i> — Ampliación de zona de descarga de desmonte.....	84
<i>Figura 52</i> — Lastrado en las vías de tránsito de los camiones.....	84
<i>Figura 53</i> — Test de normalidad de la velocidad cargado del año 2022 y 2023.....	86
<i>Figura 54</i> — Test de normalidad de la velocidad vacío del año 2022 y 2023.....	86
<i>Figura 55</i> — Test de normalidad de la carga útil del camión KOM 930E del año 2022 y 2023.....	87
<i>Figura 56</i> — Test de normalidad de la carga útil de camiones KOM 980E del año 2022 y 2023.....	87
<i>Figura 57</i> — Test de normalidad de la carga útil de camiones CAT 797F del año 2022 y 2023.....	88
<i>Figura 58</i> — Test de normalidad de los tiempos de carguío del año 2022 y 2023.....	88
<i>Figura 59</i> — Test de normalidad de tiempos de cuadrado del año 2022 y 2023.....	89
<i>Figura 60</i> — Test de normalidad de tiempos de descarga del año 2022 y 2023.....	89
<i>Figura 61</i> — Test de normalidad de tiempos de cola del año 2022 y 2023.....	90
<i>Figura 62</i> — Test de normalidad de tiempos de espera del año 2022 y 2023.....	90
<i>Figura 63</i> — Top ten de velocidades en vacío del año 2023.....	91
<i>Figura 64</i> — Top ten de velocidades en vacío del año 2023 según plan establecido.....	92



<i>Figura 65</i> — Comparación de las velocidades de los camiones cargados.....	92
<i>Figura 66</i> — Top ten de velocidad vacío.....	94
<i>Figura 67</i> — Top ten de velocidad vacío.....	94
<i>Figura 68</i> — Velocidades de camiones vacíos por mes.....	95
<i>Figura 69</i> — Promedio anual de la carga útil de camiones CAT 797F.....	96
<i>Figura 70</i> — Promedio anual de la carga útil de camiones KOM 980E.....	96
<i>Figura 71</i> — Promedio anual de la carga útil de camiones KOM 930E.....	97
<i>Figura 72</i> — Promedio anual del tiempo de carguío.....	97
<i>Figura 73</i> — Promedio anual del tiempo de cuadrado con mayor tiempo.....	98
<i>Figura 74</i> — Promedio anual de tiempo de cuadrado del top de operadores con mejores tiempos de cuadrado.....	98
<i>Figura 75</i> — Promedio anual de tiempo de descarga del top de operadores de camión con mayor tiempo de cuadrado.....	98
<i>Figura 76</i> — Promedio anual de tiempo de descarga del top de operadores de camión con menor tiempo de cuadrado.....	99
<i>Figura 77</i> — Promedio anual de tiempo de espera.....	101
<i>Figura 78</i> — Promedio anual de tiempo de cola.....	101
<i>Figura 79</i> — Promedio anual de la productividad de los operadores de pala eléctrica.....	104
<i>Figura 80</i> — Top ten de operadores con menor productividad promedio en el año 2022.....	104
<i>Figura 81</i> — Top ten de operadores con menor productividad promedio en el año 2023.....	104
<i>Figura 82</i> — Productividad por modelo de camión en el año 2022.....	108
<i>Figura 83</i> — Productividad por modelo de camión en el año 2023.....	108
<i>Figura 84</i> — Waterfall productividad de palas eléctricas, donde se compara el año 2022 versus el año 2023.....	109
<i>Figura 85</i> — Waterfall productividad de palas eléctricas, donde se compara el año 2022 versus el año 2023.....	109
<i>Figura 86</i> — Waterfall productividad de los camiones, donde se compara el año 2023 frente al 2022.....	110
<i>Figura 87</i> — Productividad de camiones y sus KPS´s.....	110
<i>Figura 88</i> — Correlación Velocidad vs productividad del camión.....	112
<i>Figura 89</i> — Correlación Carga útil de cada tipo de camión vs productividad del camión.....	112
<i>Figura 90</i> — Correlación Tiempo de ciclo vs productividad del camión.....	113
<i>Figura 91</i> — Correlación Carga útil vs productividad del camión.....	113
<i>Figura 92</i> — Correlación Tiempo de carguío vs productividad de pala.....	114
<i>Figura 93</i> — Correlación Tiempo de cuadrado vs productividad de pala.....	114



<i>Figura 94</i> — Correlación Tiempo de espera vs productividad de pala.....	114
<i>Figura 95</i> — Pala eléctrica cargando a un camión Komatsu 930E-4SE.....	125
<i>Figura 96</i> — Pala eléctrica P&H 4100XPC cargando camiones por ambos lados.....	125
<i>Figura 97</i> — Camión Komatsu 980E registrando su carga útil (payload).....	126
<i>Figura 98</i> — Camiones cuadrándose para ser cargados.....	126
<i>Figura 99</i> — Camiones en cola (queue) esperando a ser cargados.....	127
<i>Figura 100</i> — Pala eléctrica P&H 4100XPC esperando camiones para cargar (hang).....	127
<i>Figura 101</i> — Camiones mineros acarreado material.....	128
<i>Figura 102</i> — Camiones mineros acarreado material.....	128
<i>Figura 103</i> — Camión minero descargando su material en el botadero.....	129
<i>Figura 104</i> — Equipo auxiliar (Tractor sobre orugas) conformando la zona de descarga.....	129
<i>Figura 105</i> — Motoniveladora realizando mantenimiento de las vías de acarreo.....	130
<i>Figura 106</i> — Investigador visitando pala eléctrica para monitoreo.....	130
<i>Figura 107</i> — Plano de vías del Tajo Ferrobamba.....	132
<i>Figura 108</i> — Plano de ubicación de la Mina Las Bambas.....	133



## INTRODUCCIÓN

En la industria minera, la optimización de los indicadores clave de rendimiento (KPI's) relacionados con el carguío y acarreo de palas eléctricas y camiones es fundamental para mejorar la eficiencia y aumentar la productividad de las operaciones. En este contexto, el presente estudio se realizó en el tajo Ferrobamba de la mina Las Bambas, ubicada en Cotabambas y tiene como objetivo principal analizar el impacto de los KPI's de carguío y acarreo en la productividad de palas eléctricas y camiones durante el año 2023, con datos recopilados durante el año 2022 a través del sistema de gestión de flotas Dispatch.

La presente investigación se basará en un enfoque de investigación cuantitativa. Se recopilarán datos numéricos relacionados con los KPI's de carguío y acarreo, así como la productividad de palas eléctricas y camiones en el tajo Ferrobamba de la mina Las Bambas. Estos datos serán sometidos a un análisis estadístico para evaluar la relación entre los KPI's y la productividad, así como el impacto específico de la velocidad de acarreo, la carga útil de los camiones y los tiempos de ciclo de minado. Con la aplicación de esta metodología, se espera obtener resultados significativos que permitan proponer recomendaciones y estrategias efectivas para optimizar los KPI's de carguío y acarreo, contribuyendo así a un aumento en la productividad de palas eléctricas y camiones en el tajo Ferrobamba de la mina Las Bambas, en el año 2023.

Para todo lo mencionado, en dicha investigación se desarrollan los siguientes capítulos:

Primero Capítulo I, referido al planteamiento del problema y la justificación de la investigación, segundo Capítulo II, concerniente a los objetivos e hipótesis de la investigación así como la operacionalización de las variables, tercero Capítulo III, desarrolla el marco teórico referencia y marco conceptual, cuarto Capítulo IV, se describe la metodología usada, la población, muestra, técnicas , herramientas, con la que se trabaja en la investigación, quinto Capítulo V, se muestran los resultados y discusiones, sexto Capítulo VI, referente a las conclusiones y recomendaciones.



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como propósito lograr la optimización los principales KPI's (Key Performance Indicator) o Indicadores Clave de Rendimiento, de los procesos de carguío y acarreo en la Unidad Minera Las Bambas, la investigación se centra principalmente en los siguientes indicadores: Carga útil, velocidad de los camiones (vacío y cargado) y tiempos de ciclo (tiempo de carguío, tiempo de cuadrado, tiempo de espera, tiempo de cola y tiempo de descarga), todo esto con el fin de incrementar la productividad de las palas eléctricas y camiones mineros, para ello se realizó trabajos en gabinete y campo. La metodología a seguir fue principalmente el estudio de tiempos, velocidades y tonelaje cargado a los camiones por las palas eléctricas, luego se siguió con el análisis cuantitativo-descriptivo, incluyendo el análisis estadístico necesario para determinar los puntos de mejora, involucrando principalmente a los operadores seleccionados tanto de las palas eléctricas como de los camiones, supervisores de campo e instructores de equipos de mina. Para todo ello, inicialmente se procedió con la selección de la muestra de operadores de toda la Unidad Minera (10 operadores de pala y 67 operadores de camión), luego, se recopiló información del año 2022 de los indicadores mencionados con el fin de elaborar estadísticos que muestren los puntos a mejorar. Una vez analizado los datos del año 2022, se procedió al reentrenamiento, control y monitoreo de los operadores con el fin de que mejoren sus indicadores para este año 2023. Los resultados obtenidos hasta la presentación de esta investigación fueron alentadores y óptimos, pues se logró incrementar la productividad de las palas eléctricas en un 141,45% y de los camiones en 119,90%, también se pudo determinar que el principal indicador que afecta a la productividad de las palas y camiones es la carga útil, seguida por la velocidad. Como conclusión podemos mencionar que, lograr optimizar los KPI's dependerá en gran medida de la experiencia de los operadores, condiciones de la operación y soporte de la supervisión.

**Palabras clave:** *Productividad, optimización, palas, camiones, KPI.*



## ABSTRACT

The purpose of this research work is to achieve the optimization of the main Key Performance Indicators (KPIs) for the loading and hauling processes at Las Bambas Mining Unit. The research primarily focuses on the following indicators: payload, truck speed (empty and loaded), and cycle times (loading time, queuing time, waiting time, queue time, and unloading time). All of this is aimed at increasing the productivity of electric shovels and mining trucks. To achieve this, work was conducted both in the office and in the field. The methodology followed mainly involved the study of times, speeds, and tonnage loaded onto trucks by electric shovels. This was followed by quantitative-descriptive analysis, including the necessary statistical analysis to determine improvement points. This process mainly involved selected operators from both the electric shovels and trucks, field supervisors, and mine equipment instructors. To do all this, the initial step was the selection of a sample of operators from the entire Mining Unit (10 shovel operators and 67 truck operators). Then, information from the year 2022 regarding the mentioned indicators was collected in order to generate statistics that highlight areas for improvement. After analyzing the data from 2022, operator retraining, control, and monitoring were carried out to improve their indicators for the year 2023. The results obtained up to the presentation of this research were encouraging and optimal, as it was possible to increase the productivity of electric shovels by 141.45% and trucks by 119.90%. It was also determined that the primary indicator affecting the productivity of shovels and trucks is payload, followed by speed. In conclusion, optimizing the KPIs will depend to a great extent on the experience of the operators, operational conditions, and supervision support.

**Keywords:** *Productivity, optimization, shovels, trucks, KPI.*



## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Descripción del problema

Dentro de la explotación de minas a tajo abierto se tiene varios procesos, también conocidos como actividades unitarias y dentro de ello se tiene al carguío y acarreo que son las actividades que representan aproximadamente el 40% al 60% del costo total de toda la actividad minera, es por ello que la presente investigación se centra en dichas actividades operativas, específicamente en el análisis de algunos KPI's y cómo es que influyen estos en la productividad de los equipos de carguío y acarreo y su importancia en la operación, estos KPI's son los siguientes: Carga útil (payload), velocidad de acarreo (vacío y cargado), tiempo de carguío, tiempo de cuadrado, tiempo de descarga, tiempo de espera (hang), tiempo de cola (queue).

Teniendo en cuenta los KPI's mencionados se pudo observar en la operación minera Las Bambas, que se tiene oportunidades de mejora para incrementar la productividad de los equipos de carguío y acarreo a través de estos indicadores clave de rendimiento, para ello se hará uso de los datos recolectados por el sistema de gestión de flotas Dispatch en tiempo real, el cual nos da una visión completa de la operación y sus actividades; además de lo observado en la operación minera se puede mencionar que durante el año 2022 respecto a los KPI's de carguío como son: La carga útil, el tiempo de carguío y tiempo de espera, no se pudo lograr el plan establecido, esto principalmente ligado a la experiencia y capacidad de los operadores de carguío, condiciones del frente de minado, características del material, condiciones mecánicas de los equipos y otros. Respecto a los KPI's de acarreo como son las velocidades (vacío y cargado), tiempo de cuadrado, tiempo de descarga, tiempo de cola, en algunos de ellos no se alcanzaron a cumplir tampoco el plan establecido, a causa de las mismas condiciones que en el caso de los equipos de carguío, sumados a las condiciones de las vías de acarreo, zonas de descarga, entre otros. Al no llegar a cumplir el plan establecido, no se obtiene la productividad requerida de los equipos, así como el uso óptimo de los activos, lo que conlleva a una menor producción y ganancia para la compañía. Por otro lado, es clave indicar que existe una relación directa entre la productividad de las palas y los camiones, suponiendo se mejore en este año 2023 un KPI de carguío este afectara directamente a la productividad no solo del equipo de carguío sino también al de acarreo.



### 1.1.2 Datos generales de la Unidad Minera Las Bambas

#### a) Ubicación

La mina Las Bambas se encuentra en los Andes en la zona centro-sur del Perú a 75 km al suroeste de la ciudad del Cusco. Las Bambas está situada en los distritos de Challhuahuacho, Coyllurqui y Tambobamba de la provincia de Cotabambas y en el distrito de Progreso de la provincia de Grau, en el departamento de Apurímac. El centro de la mina Las Bambas se encuentra en las coordenadas 790450 E y 8442424 N (Proyección UTM, Zona 18S, Datum WGS84).

#### b) Accesibilidad

La manera de llegar a la unidad minera desde Lima es tanto por vía aérea como terrestre, con un vuelo a la ciudad de Cusco y después continuar viajando por tierra.

**Tabla 1 — Vías de acceso a la Unidad Minera Las Bambas.**

Ciudad	Vía	Distancia (km)	Tiempo aproximado (hr)
Lima – Cusco	Aérea	573	1.5
Cusco – U.M. Las Bambas	Terrestre (Afirmado)	207	6.5
Lima - Abancay	Terrestre (Asfaltado)	931	16
Abancay – U.M. Las Bambas	Terrestre (Afirmado)	249	6.5

#### c) Geología regional

La mina Las Bambas se encuentra en la zona de depósitos de minerales skarn de cobre (Cu) con presencia de molibdeno (Mo) y oro (Au), asociados con sistemas geológicos tipo pórfido, está situado en la región sureste de Perú. Esta área geológica está influenciada por el batolito de Andahuaylas-Yauri, que se formó durante el período Eoceno-Oligoceno. Este batolito se ha colocado en capas de rocas sedimentarias del Mesozoico, siendo la formación Ferrobamba del Cretácico inferior al superior la más relevante en este contexto. La interacción entre las rocas intrusivas del batolito y las capas de caliza de Ferrobamba dio lugar a procesos de metamorfismo de contacto y, en algunas zonas, la formación de cuerpos de minerales skarn que contienen cobre, molibdeno y oro.



La ubicación del batolito Andahuaylas-Yauri es al sur de la "Deflexión de Abancay", y su emplazamiento ha dado origen a una serie de alineaciones geológicas con direcciones predominantes en el sentido noroeste-sureste, noreste-suroeste y otras, que se generaron en su mayoría debido a los movimientos geológicos relacionados con la Orogenia Andina.

#### **d) Geología local**

El depósito de Las Bambas contiene una variedad de rocas que abarcan desde composiciones ácidas, como la granodiorita, hasta intermedias, como la monzonita. Estas rocas se introducen en las formaciones sedimentarias y atraviesan incluso la capa de caliza del Cretácico inferior al superior, conocida como la Formación Ferrobamba.

Dentro de este contexto geológico, los depósitos de skarn son cuerpos irregulares que consisten en minerales como granate, piroxeno y magnetita. Las monzonitas presentes en los yacimientos de Ferrobamba, Chalcobamba, Charcas, SulFOBamba y Azulccacca experimentan alteraciones características. En la zona de mayor temperatura, se observa una transformación potásica que involucra la formación de biotita secundaria, feldespato potásico y magnetita. A medida que nos desplazamos hacia los bordes de estas zonas, la alteración progresa hacia una alteración propilítica que incluye minerales como la epidota, clorita, piritita y pequeñas cantidades de calcopiritita. Estas intrusiones siguen un patrón estructural que se alinea en dirección noroeste-sureste, en consonancia con el "trend" del batolito Andahuaylas-Yauri, que también muestra una orientación similar en dirección noroeste-sureste.

#### **e) Clima**

El clima se caracteriza por la presencia de sequías, heladas y lluvias intensas, las cuales se manifiestan de manera distinta en los diversos niveles de altitud conocidos como pisos ecológicos. Las temperaturas están influenciadas por la altitud y la topografía, presentando un rango promedio entre 6 °C y 16 °C, pero durante las heladas que ocurren entre junio y agosto la temperatura está por debajo de 0 °C.

Las lluvias en la zona de Las Bambas se originan debido a la llegada de masas de aire húmedo provenientes de la cuenca Amazónica, siendo transportadas



principalmente por vientos que soplan desde el Oeste. Estas masas de aire húmedo en su trayecto se topan con la Cordillera de los Andes, lo que provoca su ascenso forzado y la precipitación en esa área, como resultado los registros pluviométricos pueden variar anualmente en un rango de 500 a 2000 mm.

**f) Flora**

La flora que predomina en esta área corresponde a la de las zonas altas y frías, compuesta principalmente por el Ichu (conocido como paja brava) y el Quikuyo (pastos autóctonos de la región andina). Además, se pueden encontrar ejemplares de plantas cactáceas, como la corotilla, así como musgos que crecen en las márgenes de los riachuelos. Además, es notable la actividad agrícola de los habitantes locales, quienes cultivan una variedad de cultivos adaptados a las condiciones, como papa, quinua, cañihua, cebada, alfalfa, olluco y otras especies.

**g) Fauna**

En el área de Las Bambas, es posible observar una amplia diversidad y abundancia de fauna autóctona, que incluye especies como vizcachas, perdices, wallatas, patos silvestres, zorros y venados. Además, coexisten animales domésticos como ganado vacuno, ovejas y auquénidos.

## **1.2 Enunciado del Problema**

### **1.2.2 Problema general**

¿En qué medida los KPI's de carguío y acarreo influye en la productividad de las palas eléctricas del tajo Ferrobamba en la mina Las Bambas, Cotabambas - 2023?

### **1.2.3 Problemas específicos**

- ¿De qué manera afecta la velocidad de acarreo en la productividad de palas eléctricas y camiones del tajo Ferrobamba en la mina Las Bambas, Cotabambas - 2023?
- ¿En qué medida influye la carga útil de camiones en la productividad de palas eléctricas y camiones del tajo Ferrobamba en la mina Las Bambas, Cotabambas - 2023?



- ¿Cómo influye los tiempos de ciclo en la productividad de palas eléctricas y camiones del tajo Ferrobamba en la mina Las Bambas, Cotabambas - 2023?

#### 1.2.4 Justificación de la investigación

La presente investigación surge debido a los constantes desafíos que enfrenta la operación Minera Las Bambas, especialmente en el ámbito social, lo que conlleva a significativas pérdidas de producción. Por este motivo, se busca maximizar la productividad de las palas eléctricas y camiones para que se refleje directamente en el rendimiento de la mina, esto a través de la optimización de los KPI's como son: Carga útil, velocidad de acarreo y tiempos de minado.

Por otro lado, dentro de la actividad minera a tajo abierto las operaciones unitarias de carguío y acarreo son los de mayor costo (entre el 40% a 60% del costo total) por el consumo de insumos como combustible y neumáticos principalmente, esto hace que siempre se busque la máxima eficiencia tanto en el carguío como en el acarreo.

Para la viabilidad de la presente investigación se dispone de un Sistema de Gestión de Flotas, así como la base de datos que esta genera en tiempo real, de esta forma se puede monitorear los principales KPI's y trasladarlos a la operación donde los operadores sean los ejecutores de los planes de acción y los supervisores los que monitoreen y controlen los procesos. De esta manera, se espera optimizar los KPI's mencionados y los resultados se vean reflejados en el incremento de la producción de la mina con ello se benefician tanto la compañía, sus colaboradores y el estado peruano en general.

Por consiguiente, el presente trabajo pretende contribuir a los estudios que se realizan a nivel nacional y en particular dentro de la compañía Minera Las Bambas, sobre la importancia de los siguientes KPI's: Carga útil, velocidad de acarreo (cargado y vacío) y tiempos de minado (Tiempo de carguío, tiempo de cuadrado, tiempo de descarga, tiempo de espera, tiempo de cola), como elementos esenciales para el incremento de la productividad de las palas eléctricas y camiones de mina.



## CAPÍTULO II

### OBJETIVOS E HIPÓTESIS

#### 2.1 Objetivos de la investigación

##### 2.2.1 Objetivo general

Identificar la medida en que los KPI's de carguío y acarreo influyen en la productividad de palas eléctricas y camiones del tajo Ferrobamba en la mina Las Bambas, Cotabambas – 2023

##### 2.2.2 Objetivos específicos

- Identificar la manera en que afecta la velocidad de acarreo en la productividad de palas eléctricas y camiones del tajo Ferrobamba en la mina Las Bambas, Cotabambas – 2023.
- Evaluar la manera en la que influye la carga útil de los camiones en la productividad de palas eléctricas y camiones del tajo Ferrobamba en la mina Las Bambas, Cotabambas – 2023.
- Analizar cómo influye los tiempos de ciclo en la productividad de palas eléctricas y camiones del tajo Ferrobamba en la mina Las Bambas, Cotabambas – 2023.

#### 2.2 Hipótesis de la investigación

##### 2.2.3 Hipótesis general

Los KPI's de carguío y acarreo influyen significativamente en la productividad de palas eléctricas y camiones del tajo Ferrobamba en la mina Las Bambas, Cotabambas – 2023.

##### 2.2.4 Hipótesis específicas

- La velocidad de acarreo afecta en gran medida en la productividad de palas eléctricas y camiones del tajo Ferrobamba en la mina Las Bambas, Cotabambas – 2023.



- La carga útil de los camiones influye considerablemente en la productividad de palas eléctricas y camiones del tajo Ferrobamba en la mina Las Bambas, Cotabambas – 2023.
- Los tiempos de ciclo influyen notablemente en la productividad de palas eléctricas y camiones del tajo Ferrobamba en la mina Las Bambas, Cotabambas – 2023.

### 2.3 Operacionalización de variables

Tabla 2 — Operacionalización de variables.

Tipo de Variable	Nombre de Variable	Dimensiones	Indicadores	Medidas
Variable independiente	KPI	Carguío Acarreo	Tiempo de carguío Tiempo de espera Tiempo cuadrado Tiempo de cola Velocidad cargado Velocidad vacío Tiempo de descarga Carga útil	min min min min km/hr km/hr min ton
Variable dependiente	Productividad	Palas eléctricas  Camiones	Productividad de palas  Productividad de camiones.	ton/hr  ton/hr



## CAPÍTULO III

### MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 3.1 Antecedentes

##### 3.1.1 Antecedentes internacionales

- a) Molina (2021), en su trabajo de investigación “Modelo de optimización de un sistema pala-camión en una mina de carbón a cielo abierto” de la Universidad Nacional de Colombia, que tiene como objetivo la optimización de los tiempos muertos a través de un modelo determinista y usando metodología de enfoque cuantitativo y cualitativo o mixto para el análisis de los datos recolectados, nos indica la importancia de establecer valores óptimos a los tiempos de ciclo con los cuales medir la operación, por ejemplo determina que para los tiempos de espera 3 minutos son óptimos para su caso de estudio, concluyendo que a través de algoritmos se puede obtener tiempos de ciclos óptimos.
  
- b) Belete, Severo & Diéguez (2015), en su investigación “Rendimiento del equipamiento minero de arranque-carga-transporte de la empresa Comandante Ernesto Guevara” de la Universidad Nacional de Colombia, donde desarrolla criterios sobre el rendimiento de los equipos de mina y su productividad que considere la sincronización de equipos de arranque-carga-transporte, usando metodología con enfoque cuantitativo, puesto que realizaron mediciones en campo de tiempos de ciclo y cargas, encontrando como resultado que las distancias de acarreo afectan significativamente a la productividad de los equipos de carguío y las prestaciones de los equipos, concluyendo que para un rendimiento óptimo debe haber sincronización entre los equipos de arranque-carga-transporte tanto en tipo y capacidades y que tengan relación con las distancias de acarreo.
  
- c) Quiroga (2016), en su investigación “Diseño de herramienta computacional para control de KPI de operadores de carguío y transporte – Mina Los Bronces” de la Universidad de Chile, que tiene como propósito mejorar las prácticas operacionales de los operadores a través de una herramienta computacional, aplicando métodos estadísticos para el análisis de datos recolectados por Dispatch, donde concluye la importancia de monitorear en tiempo real los KPI’s de los operadores a través de herramientas computacionales que faciliten el análisis de datos recolectados por Dispatch.



- d) Escamilla, Meza & Llamas (2011), en su investigación “Estudio de productividad del equipo de carga en una mina de mineral de hierro a cielo abierto” del Instituto Tecnológico de Colima, el cual tiene como propósito determinar los factores que afectan la productividad de los equipos de carga de la unidad minera que es caso de estudio, utilizando técnicas y herramientas estadísticas para recopilar información relevante para la investigación, dando como resultado que se debe incrementar lo máximo posible la utilización neta o el uso de disponibilidad de los equipos, concluyendo que mientras la utilización neta sea baja también la productividad será baja, también se debe considerar el número de camiones óptimos con los que se debe trabajar.
- e) Poblete (2010), en su tesis “Costo de oportunidad en la utilización de los sistemas de despacho en minería a cielo abierto” de la Universidad de Chile, donde describe y evidencia las oportunidades de los sistemas de despacho y administración minera, utilizando como procedimiento metodológico el cálculo de costo previo a la utilización de sistemas de despacho y comparando con el cálculo del costo posterior a la implementación del sistema de despacho, obteniendo resultados favorables para la implementación de sistemas de despacho puesto que estos apoyan a optimizar los recursos de la operación y de esta manera lograr disminuir los costos operativos.

### 3.1.2 Antecedentes nacionales

- a) Saldaña (2013), en su tesis “Productividad en el ciclo de carguío y acarreo en el tajo Chaquicocha bajo clima severo – minera Yanacocha” de la Universidad Nacional de Ingeniería, que tiene como finalidad presentar la metodología para lograr que los factores que perjudican la productividad en clima severo disminuyan, haciendo el uso de métodos estadísticos para el análisis de datos recolectados por el sistema Dispatch, dando como resultados que se puede incrementar la productividad de los equipos sin comprometer la seguridad a través de la administración minera con el soporte de campo, para ello se debe tener una metodología correcta para trabajar en equipo que involucre a los operadores y supervisores.



- b) Huarocc (2014), en su tesis de pregrado “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.” de la Universidad Nacional del Centro del Perú, que tiene como objetivo determinar los mecanismos para optimizar las actividades unitarias de carguío y acarreo, utilizando indicadores de desempeño y métodos estadísticos que permitan observar las variaciones de los datos recolectados, dando como resultado que al implementar indicadores de desempeño se puede incrementar la producción de la mina ya que gracias a ellos se puede monitorear y controlar las operaciones unitarias para de esta manera reducir los costos que conllevan.
- c) Chircca (2010), en su informe de competencia profesional “Control de las actividades de carguío y acarreo en minería superficial, caso: minera Yanacocha S.R.L.” de la Universidad Nacional de Ingeniería, que tiene como finalidad describir las operaciones unitarias claves como perforación y voladura, drenaje de mina, medio ambiente, gestión mina, mantenimiento, planeamiento, geología, entre otros que garantizan el correcto desarrollo de las actividades de carguío y acarreo, concluyendo que es vital la sinergia entre cada una de estas áreas para un buen desempeño de los equipos que intervienen en el carguío y acarreo.
- d) Dominguez (2001), en su tesis de pregrado “Optimización del carguío y acarreo por Züblin Chile caso minera Yanacocha” de la Universidad Nacional de Ingeniería, que tiene como propósito determinar los planes de acción a seguir por la contratista Züblin y mejorar los procesos de carguío y acarreo, identificando que la buena comunicación entre los distintos actores y en todos los niveles se ve reflejado en la mejora del carguío y acarreo, por otro lado, menciona que se debe mejorar el trabajo en equipo, por último, se debe contar con parámetros de orden y control en la operación que ayuden a optimizar el movimiento de tierras.
- e) De la Cruz (2018), en su tesis de pregrado “Optimización de los ciclos de carguío y acarreo para reducir los costos operativos en una empresa minera” de la Universidad Cesar Vallejo, que busca reducir los costos operativos de las áreas de carguío y acarreo mediante la aplicación de estándares operativos, a través del método deductivo y la observación en campo, nos menciona que, se debe tener un adecuado cálculo del número de equipos tanto de carguío como acarreo para evitar



gastar insumos de forma innecesaria que puedan elevar el costo operativo, para ello sugiere hacer del uso del sistema Dispatch en operaciones mineras de gran envergadura.

### 3.1.3 Antecedentes regionales

- a) Valenzuela (2022), en su tesis de pregrado “Gestión del ciclo de acarreo para optimizar la productividad operacional del tajo Ferrobamba del proyecto minero Las Bambas, 2016” de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, que busca identificar y mejorar las condiciones de acarreo y de esta forma dinamizar el ciclo de minado para lograr optimizar la productividad operacional del tajo Ferrobamba, usando una metodología descriptiva – explicativa y de análisis estadístico de datos recabados en campo, menciona que, se debe evaluar de forma periódica a los operadores tanto en el aspecto teórico como en el práctico para lograr optimizar los tiempos relacionados a los operadores, también se debe mantener un diseño geométrico regular en función al tamaño del camión más grande de mina con el fin de mejorar el desempeño máximo de los equipos.

## 3.2 Marco teórico

### 3.2.1 KPI's (Key Performance Indicator)

Para Caron (2018), en su artículo “Monitoreo de KPI en la industria minera”, explica que los KPI's o Indicadores Claves de Rendimiento son un conjunto de medidas cuantificables que las empresas usan para monitorear y controlar su desempeño con sus objetivos operativos. Estos indicadores ayudan a establecer los puntos de referencia para poder medir y hacer seguimiento de las actividades u operaciones unitarias de una compañía minera, con el fin de identificar las áreas problemáticas y actuar de manera anticipada y evitar pérdidas.

Como se mencionó los KPI son herramientas potentes de gestión que se usan ampliamente en las empresas del sector minero, para poder medir y evaluar su desempeño de sus actividades y/o procesos, de esta manera cumplir con los objetivos planteados en el plan estratégico y operacional.

La selección de estos indicadores depende básicamente del rumbo de la empresa, dicha selección es a través de la observación del funcionamiento de los procesos, por



ejemplo, si se desea mejorar el uso de disponibilidad de los equipos, se deben definir KPI que ayuden a medir y monitorear dichos aspectos, como puede ser el registro de los tiempos muertos a través de un ranking.

Por otro lado, los KPI's deben proporcionar una inteligencia empresarial oportuna, para de esta manera nos ayuden a reducir los costos y así aumentar la producción, mejorar la seguridad, maximizar el uso de los activos y mucho más. Por otra parte, la selección cuidadosa de los KPI nos garantizará la identificación temprana de problemas, los riesgos asociados a la operación tanto en producción como en seguridad, el enfoque en los más importante, rendir cuentas a los supervisores y rangos superiores, control de tiempos, para de esta manera obtener una ventaja competitiva.

### **3.2.1.1 Optimización del sistema de carguío y acarreo**

Según Peter (2001), en su libro “Tópicos de Ingeniería en Minas a Rajo Abierto”, indica que el proceso de optimización de los sistemas de carguío y acarreo equipos implica la búsqueda de la solución más eficiente entre varias opciones disponibles. Esto se logra al encontrar el enfoque óptimo para ajustar y coordinar las tareas, con el objetivo de reducir costos y minimizar el tiempo necesario. La optimización de estos procesos se centra en dos aspectos clave: el costo involucrado y el tiempo requerido. La flexibilidad está ligada a la capacidad del proceso para adaptarse y modificar ambas variables según sea necesario.

### **3.2.1.2 La Productividad de los equipos como KPI.**

Según Alfaro (2003), en su artículo de investigación “Diseño e implementación de un Sistema de Gestión de Despacho para el control de equipos en la Unidad Minera Summa Gold Corporation”, menciona que, la productividad de los equipos tiene que establecerse como un indicador de eficiencia que vincule el volumen de la producción con el porcentaje que se logra alcanzar, también puede considerarse como la capacidad de mayor producción con el uso mínimo de recursos, lo que resulta en bajos costos al usar menor cantidad de equipos tanto de carguío como acarreo para producir la misma cantidad que se requiera según el plan.

(1)



$$\frac{\$}{\text{ton}} = \frac{\$/\text{hr}}{\text{ton/hr}} = \frac{\text{Costo horario}}{\text{Productividad}}$$

La ecuación 1 representa el rendimiento económico de la operación, lo que significa cuanto se gasta para producir una tonelada de mineral.

### 3.2.1.3 El tiempo como KPI en la operación minera

Según Saldaña (2013), en su tesis de licenciatura “Productividad en el ciclo de carguío y acarreo en el tajo Chaquicocha bajo clima severo – Minera Yanacocha”, indica que, el tiempo es uno de los principales indicadores para medir la operación en cualquier etapa de la mina, es por ello por lo que su tratado es minucioso y amplio, a continuación, se presenta un resumen de los principales tiempos adoptados en la operación minera:

- **Horas totales (HT):** Se refiere al total de las 24 horas diarias, los 365 días del año que deben ser adoptados por cada equipo.
- **Horas disponibles (HD):** Horas de jornada de trabajo de los equipos.
- **Horas malogradas (HM):** Son las horas que los equipos pueden estar en mantenimiento o en reparaciones.
- **Horas operativas (HR):** Horas de operaciones normales de trabajo sin que influya ningún contratiempo.
- **Demoras Operativas (DO):** Tiempo en que los equipos no producen, pero están operativos.
- **Demoras no Operativas (DNO):** Es el tiempo en que el equipo está disponible mecánicamente en stand by y descansos.
- **Disponibilidad Mecánica (DM):** Porcentaje de tiempo total disponible para realizar funciones, es una métrica de la efectividad de mantenimiento controlado por estos.

Cabe destacar que cada operación minera desarrolla su propio modelo de tiempos tomando como referencia lo mencionado anteriormente, estos modelos de tiempos nacen a partir de las necesidades particulares de cada operación, puesto que no es lo mismo una mina en la costa, sierra o selva, ya que las condiciones siempre serán distintas.



### 3.2.1.4 KPI's de gestión operativa y eficiencia de la operación

#### a) Utilización

Indica el porcentaje que el equipo estuvo operativo con respecto al tiempo total disponible para el uso del equipo, se representa por la siguiente ecuación:

$$Utilización = \frac{Horas\ disponibles}{Horas\ totales} \quad (2)$$

#### b) Usaje

Porcentaje de tiempo de producción en relación con el total tiempo mecánicamente disponible, se relaciona con la efectividad de la utilización de los recursos y la responsabilidad de operaciones.

$$Usaje = \frac{Horas\ efectivas}{Horas\ operativas} \quad (3)$$

#### c) Rendimiento

Indicador que fija las toneladas producidas en un lapso de tiempo.

$$Rendimiento \left( \frac{ton}{hr} \right) = \frac{Toneladas\ producidas\ (ton)}{Intervalo\ de\ tiempo\ (hr)} \quad (4)$$

#### d) Velocidad

Indicador que determina la velocidad a la cual recorre cada camión.

$$Velocidad \left( \frac{km}{hr} \right) = \frac{Distancia\ (km)}{Tiempo\ (hr)} \quad (5)$$

### 3.2.2 Carguío

La operación unitaria de carguío consiste básicamente en retirar y cargar el material volado o fragmentado del frente de minado y dispuesto en los equipos de acarreo como son los camiones mineros.

Por otro lado Ttito (2015), en su tesis de pregrado titulada “Gestión de la operación de la operación de equipos de movimiento de tierras para mejorar el rendimiento de carguío y acarreo en la mina Antapaccay”, menciona que, en esta fase del proceso de movimiento de tierra, se estableció las áreas de carga (frentes de minado) y las direcciones de carga (posición de equipos de carguío y niveles de piso), y según el

material que se mine, el destino de éste sea chancadora primaria, botaderos, stock de mineral, entre otros.

### 3.2.2.1 Equipos de carguío

En operaciones mineras a cielo abierto, existe una gran variedad de equipos para el carguío de materiales, desde equipos accionados hidráulicamente hasta eléctricos, de pequeñas capacidades y de gran tonelaje.

Para López (2012) en su libro “Diseño de operaciones mineras a cielo abierto”, indica que, la elección adecuada de los equipos para la carga depende de la conexión operativa del equipo y de los cálculos que lleven a dicha selección. Por lo tanto, es importante conocer y comprender los criterios básicos del movimiento de tierra. Ciertos de los factores para considerar en las unidades mineras de explotación a cielo abierto, serían:

- Escalas de producción.
- Posibilidad de cambiar de método de explotación de superficial a subterráneo o viceversa.
- El tipo de mineralización, decremento de ley y calidad de ésta.
- Necesidad de incremento de la productividad.
- Incrementar la recuperación de minado.

A lo largo de los años de las operaciones mineras superficiales han sido significativo, el empleo de grandes unidades de equipos tanto de carguío como de acarreo, por el incremento continuo de la capacidad volumétrica de la operación y a la par está el desarrollo de motores más potentes que cumplan dichas expectativas.

Por otro lado, tanto los equipos de excavación como los de carguío han experimentado un aumento simultáneo con los equipos de acarreo, lo cual se puede ver en la evolución significativa que va desde las palas, excavadoras hidráulicas y eléctricas de una capacidad de 8 metros cúbicos y las palas gigantes que poseen baldes que van desde los 25 hasta los 45 metros cúbicos (López, 2012).



### 3.2.2.2 Selección de equipos de carguío

Para una correcta selección de equipos del proceso de carguío u otro, inicialmente se tiene en cuenta el personal administrativo de ingeniería con el que se dispone, puesto que contar con el personal adecuado, con experiencia y capacitado va a ser clave al momento de realizar dicha selección, éste personal tendrá que estar a la par de las nuevas actualizaciones, mejoras de las máquinas y equipos, además de tener claro lo que la operación necesite, tal que posibiliten seleccionar los equipos que mejor resuelvan los problemas de la actividad minera. Deberán reunir y estudiar todos los eventos posibles, desde la disponibilidad de refacciones hasta los equipos auxiliares adicionales que se vayan a necesitar para una correcta operación de carguío.

López (2012), menciona que, para la elección de la capacidad de un equipo de carguío se debe tener presente tres factores básicos:

#### a) Costo por tonelada cargada

Para el caso de la estimación del costo por tonelada excavada y cargada, se toma en cuenta los siguientes aspectos:

- Tamaño de las operaciones y volumen a minar.
- Costos directos, transporte del equipo a la operación y ensamblado.
- Costo de inversión.
- Costos de depreciación del equipo.
- Costo de mano de obra por caja tonelaje producido.
- El tiempo de operación de los equipos de gran capacidad ya sea por turno o por día debe ser igual al tiempo disponible del equipo.

#### b) Condiciones en las cuales debe trabajar el equipo

Respecto a las condiciones de trabajo del equipo, se toma en cuenta los siguientes aspectos:

- Altura de banco
- El material que va a excavar y la granulometría de los fragmentos, productos de la voladura.
- Para planes con tonelajes altos se debe contar con equipos de gran capacidad de carga.



- Dureza del material, si el material presenta dificultad de excavación, el cucharón del equipo debe contar con un poder de excavación mayor.
- Densidad de material, en caso se tenga un material muy denso se selecciona un equipo que posee un cucharón de menor volumen.
- Compatibilidad de equipos, este debe estar ligado al equipo de acarreo y auxiliar que esté disponible en el mercado.
- Se debe tener en cuenta las condiciones de trabajo en relación con la altitud, especialmente para equipos diesel, ya que por cada 305 metros (1000 pies) de altitud sobre el nivel del mar, se pierde un 3% de la potencia en motores de cuatro tiempos. En el caso de motores de dos tiempos, se pierde un 1,33% hasta una altitud de 1828 metros sobre el nivel del mar y después de esa altura, se pierde un 3% por cada 305 metros adicionales.

### c) Disponibilidad y utilización del equipo

López (2012), indica que, estos indicadores son importantes para la selección de los equipos que va a la par de la fuerza de trabajo y personal especializado, con el fin de mantener a los equipos trabajando en rangos adecuados, para estos indicadores se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Disponibilidad mecánica:} \quad DM = \frac{W}{W+R} \quad (6)$$

$$\text{Disponibilidad física:} \quad DF = \frac{W+S}{T} \quad (7)$$

$$\text{Uso de disponibilidad física:} \quad UDF = \frac{W}{W+S} \quad (8)$$

$$\text{Utilización:} \quad U = \frac{W}{T} \quad (9)$$

Donde:

W: horas trabajadas (hr)

R: horas en reparación (hr)

S: horas en reserva (hr)

T: horas totales (hr)

### 3.2.3 Palas Excavadoras

Dentro de estas palas de excavación se tiene dos tipos de equipos muy distintos: Las palas hidráulicas y las palas eléctricas o de cables.



### 3.2.3.1 Palas eléctricas o de cables

Para Gómez et al., (1995) en su libro “Manual de arranque, carga y transporte en minería a cielo abierto” menciona que, estos equipos datan del año 1837 fabricado en Estados Unidos para la construcción de ferrocarriles que eran accionados a vapor, desde ese entonces su configuración básica cambió relativamente poco, aumentando su capacidad, de ser accionados por vapor a motores eléctricos, de poseer cadenas a cables y tener un tren de rodaje, gracias a las innovaciones tecnológicas estos equipos lograron obtener grandes mejoras como: Productividad elevada, costo unitario bajo, facilidad de mantenimiento y alta disponibilidad.

En lo que respecta a estas palas eléctricas con cables, existen en el mercado de diferentes marcas y estándares, sus pesos varían desde los 230 a 1520 toneladas y manejan una capacidad de balde de 7,6 a 61,2 m<sup>3</sup> (10 a 82 yd<sup>3</sup>) (López, 2012).

Las principales innovaciones que se tiene en fabricación de palas eléctricas de la actualidad son los mecanismos de monitoreo de frecuencia, haciendo que el ciclo de excavación sea mucho más rápido, mayor velocidad de levante, mejor aceleración respecto a la penetración, velocidad de giro y avance (propel), esto es notorio en la disminución en el ciclo total de carguío.

Comúnmente, las palas eléctricas o de cables son las más pedidas actualmente en operaciones mineras superficiales, aunque en minas que tienen una vida productiva relativamente corta es más recomendable las palas hidráulicas, ya sea por razones de constantes movimientos de equipos, la poca disponibilidad de abastecimiento de energía eléctrica o que se muevan toneladas menores.



**Tabla 3 — Características más importantes de las palas eléctricas**

Marca	Modelo	Radio de vaciado (m)	Capacidad cucharón (m <sup>3</sup> )	Peso (tons)	Altura de corte (m)	Altura de descarga (m)	Longitud de la pluma (m)
Bucyrus Erie	155 B	12.42	8.40	258.3	11.43	4.77	11.58
	195 B1	14.25	12.22	353.2	12.80	5.79	12.65
	290 B1	16.31	15.27	464.4	15.01	7.01	14.33
	295 B	16.15	19.10	575.2	14.63	7.01	15.24
	295 B1	16.61	20.62	603.4	13.79	7.16	15.24
	395 B	19.76	25.96	822.6	17.83	7.82	17.07
Clark diesel	2400 LS	12.93	8.40	230.6	13.06	5.36	12.19
P&h	1900 AL	15.85	11.45	370.0	12.95	5.79	12.19
	2100 BL	16.92	15.27	494.9	14.55	6.04	15.24
	2300	17.35	20.62	640.6	15.54	6.04	15.24
	2800	19.23	27.49	851.7	15.70	6.14	15.54
	5700	22.61	45.81	1,520.0	19.66	7.70	18.90
Marion	151 M	14.78	10.69	232.4	14.63	6.32	13.72
	191	16.08	11.45	460.8	13.82	6.71	14.33
	MHR	17.07	17.56	584.8	15.85	7.26	15.70
	201	18.67	22.91	628.8	15.24	7.77	.....
	MHR 204 M2						
North west	180 D	9.83	7.64	119.0	10.31	.....	8.53

Extraído de: López, 2012, p. 424.

### 3.2.3.2 Factores para la selección de palas eléctricas

De la Cruz (2018), considera los siguientes aspectos para la selección de las palas eléctricas frente a otros equipos de carguío:

- Se debe tener en cuenta la producción diaria requerida
- Tonelaje total por mover.
- Dimensiones operativas de la pala.
- Cantidad de zonas de minado.
- Dimensión más grande de la roca volada.
- Capacidad de las unidades de acarreo.
- Disponibilidad requerida.
- Tipo de material a cargar.
- La pala eléctrica no es tan versátil para constantes cambios de frente de minado.



- Requieren una inversión elevada, por lo que suelen ser utilizadas en minas con una vida útil mediana a larga, ya que la duración promedio de operación de una pala eléctrica es de entre 40000 a 50000 horas.
- Requieren de un óptimo diseño de sistema de distribución eléctrica, para evitar problemas relacionados al suministro de energía, su distribución y la disponibilidad de cables de alimentación.

En resumen, las palas eléctricas poseen las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas:

- Fabricación robusta
- Conveniente para labores pesadas de excavación y cargado
- Alta confiabilidad y eficiencia.
- Costos de funcionamiento reducidos en minas de gran escala.

Desventajas:

- Poco versátil para la movilidad y flexibilidad
- Alto costo de inversión
- No permite el carguío o arranque selectivo

Según Gómez et al., (1995), otras características generales y de diseño considerado son las siguientes:

- Las alturas de banco de excavación van desde los 10 hasta los 20 metros.
- Las alturas de descarga oscilan entre 6 y 12m.
- Son máquinas pesadas y robustas
- La excavación se logra a través del funcionamiento de la fuerza de empuje y la elevación.
- La operación se realiza con buena estabilidad y suavidad.
- Permiten la extracción directa de materiales densos, pero no es una opción muy recomendable debido a su baja eficiencia.

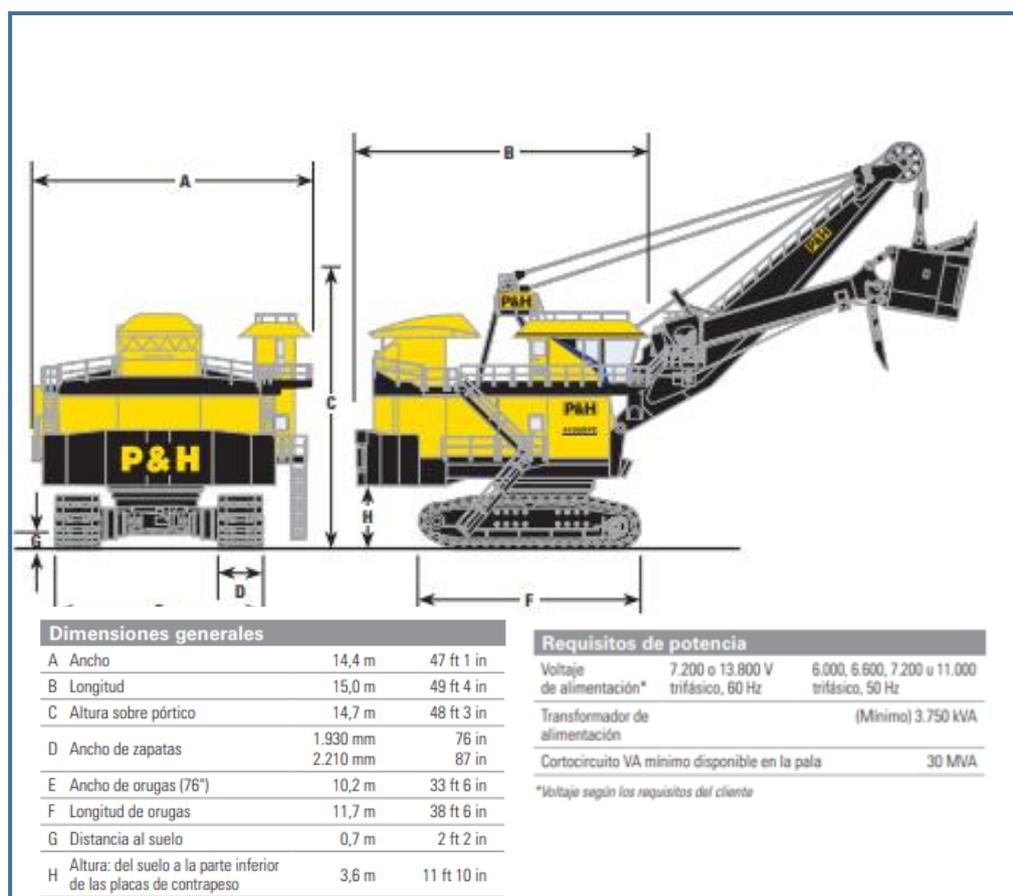
### 3.2.3.3 Especificaciones técnicas

Es crucial tener conocimiento de las características técnicas de los equipos a utilizar en cualquier tarea o trabajo, ya que es fundamental desde la etapa de selección hasta para realizar mantenimientos futuros. Se dispone de una

amplia gama de palas eléctricas en el mercado, como se ha mencionado anteriormente, entre las marcas más conocidas en el Perú se tiene a P&H que fue adquirida por Komatsu Mining y Caterpillar que también adquirió la Bucyrus, a continuación, algunas características de una pala eléctrica P&H, modelo 4100XPC:

**a) Especificaciones del equipo**

A continuación, se muestra las especificaciones de una pala P&H 4100XPC como ejemplo:



**Figura 1 — Especificaciones técnicas de pala eléctrica P&H 4100XPC**  
 Extraído de: Komatsu Mining.



b) Especificaciones de operación

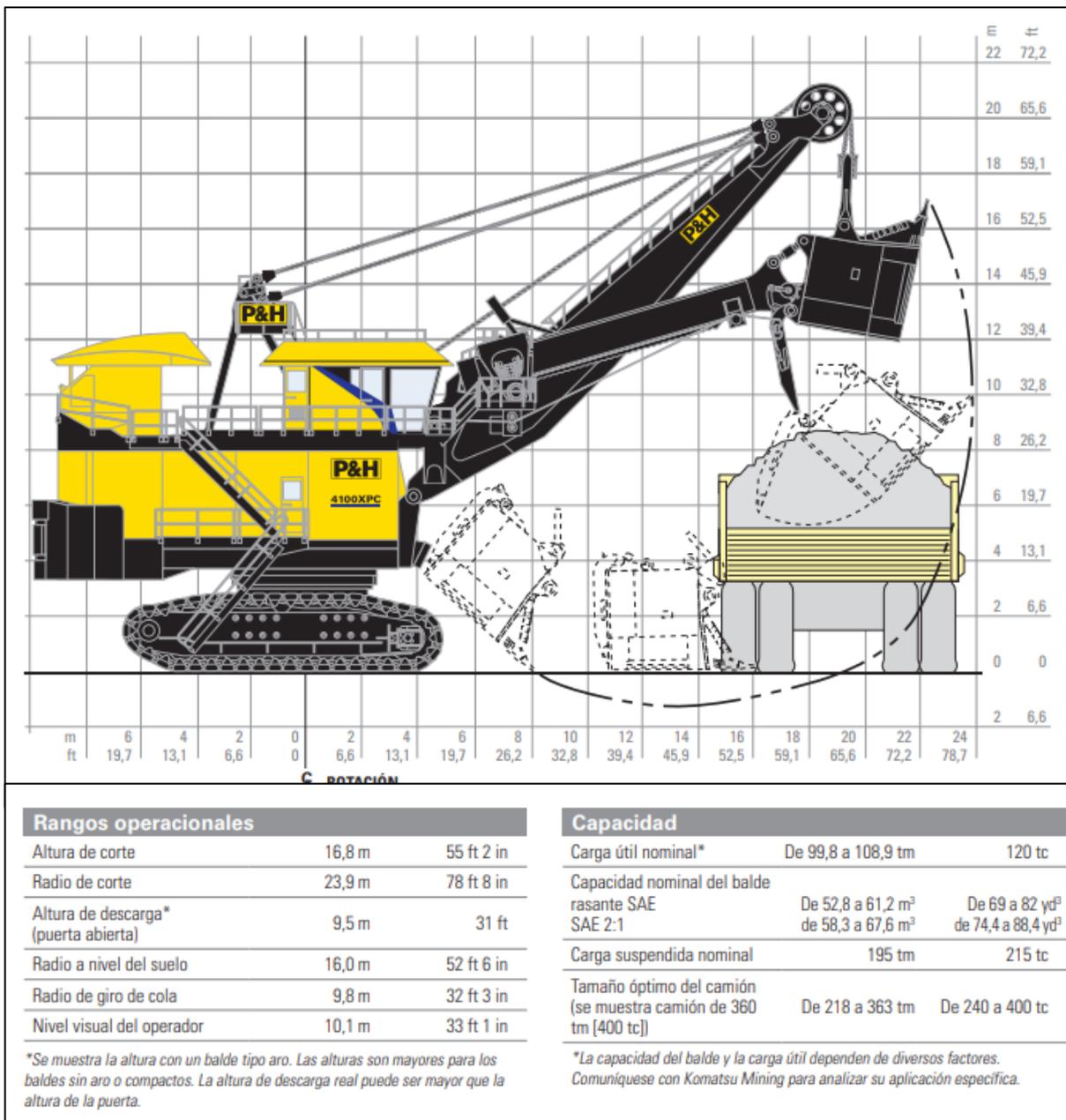


Figura 2 — Especificaciones operativas de pala eléctrica P&H 4100XPC

Fuente: Komatsu Mining.

3.2.3.4 Componentes principales

Según López (2012), los componentes de estas máquinas se dividen en tres áreas principales que están interconectadas, estas son: la superestructura, la infraestructura y el equipo de excavación frontal.

a) Sistema eléctrico

Dichas palas son accionadas por energía eléctrica, que son alimentadas a través de líneas de alta tensión desde una red trifásica que está distribuida en la operación, dicha red que va de los 15 a 45 kV al ser muy superior a



lo que necesita el equipo (3,3 a 7,2 kV), se necesita de una subestación que haga la transformación intermedia, y es desde este punto que se alimenta hacia los equipos eléctricos entre ellos las palas a través de un cable flexible.

Inicialmente cuando se introdujeron estos equipos alimentados con energía eléctrica por temas de rendimiento y costos, se hizo el uso de la corriente continua (DC) y ahora en la actualidad ya está disponible con motores que funcionan con corriente alterna (AC).

#### **b) Superestructura giratoria**

Es la base en la que se instalan todos los sistemas de control eléctrico para los diferentes componentes, incluyendo la inserción de los soportes de la pluma en la parte frontal, el soporte para la estructura principal de la máquina de excavación y el bastidor en forma de "A" que mantiene la posición de la pluma a través de cables de suspensión.

#### **c) Mecanismo de elevación**

Gómez et al., (1995), indicó que este sistema está formado por uno o dos motores eléctricos y un sistema de transmisión por medio de engranajes que alcanzan hasta el tambor de enrollamiento. La subida del cucharón de la pala se logra a través del uso de cables. Este mecanismo cuenta con un freno de zapata que se controla desde la cabina del operador a través de un sistema eléctrico y que está diseñado para bloquearse en caso de que se interrumpa la energía al equipo, lo cual evita la caída del cucharón.

#### **d) Sistema de empuje y retroceso del cucharón**

Hay diferentes mecanismos para el accionamiento del sistema de empuje del balde, entre ellos se tiene por piñón y cremallera o por cables. En el caso del brazo el mecanismo es único, que está constituido por un robusto tubo circular que gira libremente dentro del guiador.

Por ejemplo, en las minas del Perú en la actualidad se tiene las palas CAT 7495 que tienen el mecanismo accionado por cable, mientras que la P&H 4100XPC por piñón y cremallera.



**e) Sistema de giro**

Es el mecanismo que permite el movimiento de 360 grados, en cualquier dirección de la superestructura que está encima de la infraestructura la cual está sobre el suelo. Consta de uno o más motores y una transmisión proporcionada por engranajes rectos. Este desplazamiento rotacional se lleva a cabo sobre dos pistas circulares de giro y entre ambas existe una libre corona circular de rodillos locos que tiene la función de distribuir las cargas que genera la superestructura sobre la infraestructura.

**f) Mecanismo de traslación y dirección**

Esta doble función se realiza de forma independiente cada una, primero se acciona el mecanismo de elevación que da funcionamiento a la traslación a través de embragues de aire comprimido, y cuando el operador elige el conmutador correspondiente a la acción de desplazamiento se bloquea el sistema de elevación haciendo que el aire liberado se lleve a los embragues del mecanismo de traslación, que al mismo tiempo se bloquean automáticamente el sistema de giro, y los mismo aplica cuando se acciona el sistema de giro.

**g) Infraestructura y soporte de las orugas**

Se refiere a un marco robusto que sostiene toda la máquina, la cual está instalada en dos soportes de orugas. La pala se desplaza sobre esta estructura y también sobre ella se lleva a cabo el giro de la superestructura para efectuar la carga y descarga.

**h) Cables de maniobra o accionamiento**

Hay cables de suspensión que forman dos parejas para mantener la pluma en un ángulo de inclinación fijo e inmutable. Estos cables están conectados en la parte superior del bastidor o estructura en forma de "A" y en el extremo de la pluma. Es común que los cables de elevación se compongan de dos cables o dos parejas con un deflector central en la cuba y con los extremos enrollados en el tambor de enrollamiento. Por otro lado, tenemos los cables de retroceso y empuje que son dos cables independientes y también tienen un tambor de enrollamiento.



### i) Equipo frontal de excavación

Está formado por el balde, que se instala en el extremo del brazo de avance y retroceso y se levanta mediante cables que pasan por las poleas ubicadas en el extremo de la pluma. A continuación, se detalla los componentes:

- **Brazo:** Es el componente que transmite la fuerza de avance al balde, necesaria para penetrar el material a excavar y cargarlo.
- **Pluma:** Es la base que sostiene todo el equipo de excavación, la cual está sujeta en la parte frontal de la superestructura giratoria mediante orejetas y bulones y también está sostenida por cables de suspensión que están anclados a la estructura en forma de "A", los cuales fijan el ángulo de inclinación.
- **Balde o cucharón:** Están ubicados en el extremo del brazo y conectados a él mediante pernos para facilitar su reemplazo o cambio de inclinación. El diseño geométrico varía según los fabricantes y las necesidades del cliente, pero se deben considerar ciertos parámetros:
- **Ángulo de ataque:** En condiciones normales el ángulo es de 65 grados aproximadamente, este ángulo es el formado entre la intersección de la línea de eje de brazo y el eje que une la punta del diente con el talón del balde.
- **Ángulo de excavación:** Se refiere a la intersección entre el eje del brazo y la pendiente máxima del plano superior de los dientes, y suelen tener un ángulo de 45 grados.
- **Ancho de balde:** Medida a la altura del labio.
- **Altura del balde:** A menor altura el factor de esponjamiento del material afecta más el ciclo de llenado.
- **Profundidad del balde:** A menor profundidad mayor factor de llenado, cabe mencionar que estos factores van ligados con la densidad, fragmentación y excavabilidad del material a cargar.

### 3.2.3.5 Proceso de carguío de las palas

#### a) Ciclo de excavación

Para López (2012), los tiempos de ciclo de la pala para excavar y cargar depende de:

- Características del material
- Tiempo de levante de cucharón
- Dimensiones del equipo (pala eléctrica)



- Dimensión del balde
- Potencia de ataque
- Inserción del balde en el frente de minado

El tiempo de giro desde el lugar de llenado del balde hasta la posición de descarga en el camión y viceversa, depende de (López, 2012):

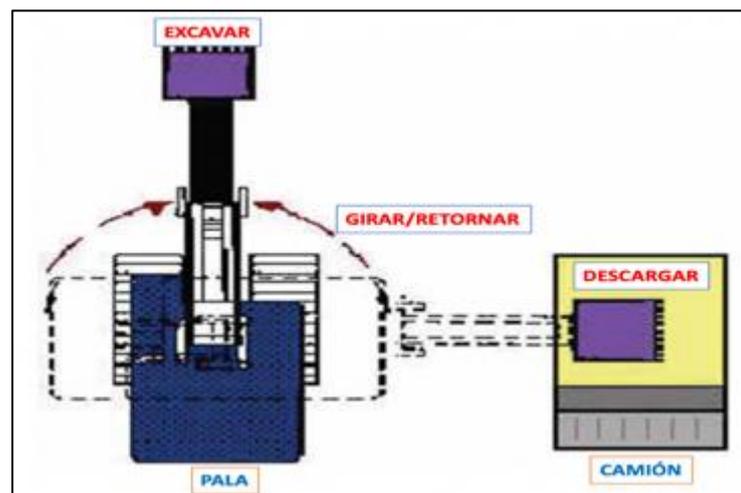
- Dimensión de la máquina
- Un ángulo de rotación inferior a  $100^\circ$  (ideal a  $90^\circ$ )
- Tamaño del balde
- Expertis del operario
- Par de giro

Según López (2012), el tiempo requerido para vaciar o descargar el balde en el remolque del camión está influenciado por:

- Tamaño del cucharón
- Capacidad y dimensiones de la tolva del camión

El tiempo de demoras depende de:

- Espera al camión para ser cargado (queue)
- Espera del cuadrado del camión
- Limpieza de la zona de carguío
- Otras demoras operativas

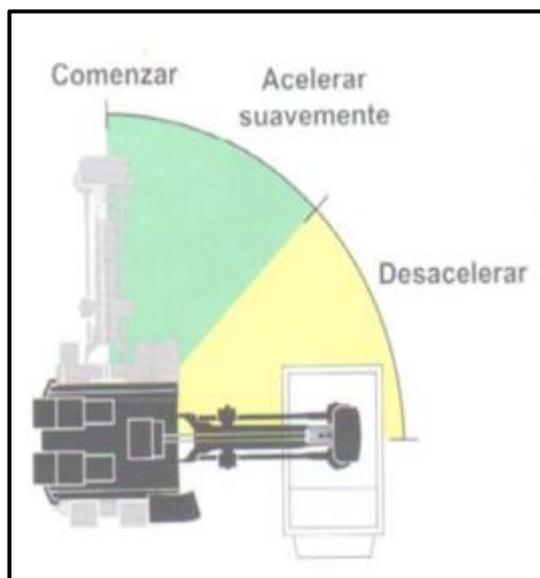


**Figura 3 — Ciclo de excavación de una pala eléctrica**  
Extraído de: Ttito, 2015.

**Tabla 4 — Ciclo de excavación de la pala**

Fase de excavación	Esta etapa comprende el empuje del cucharón en el banco de material, el proceso de elevación para llenarlo y la retractación del cucharón para cargar el camión.
Fase de giro	Comienza cuando se retira el balde del banco tanto de forma vertical como horizontal y se gira siguiendo una trayectoria hacia la tolva del camión manteniendo la altura necesaria para la descarga del material.
Fase de descarga	Consiste en la descarga del material en la tolva del camión en caso éste ya esté ubicado, caso contrario la etapa comienza cuando se detiene el giro del balde y se espera a que el camión se cuadre para descargar el material.
Fase de retorno	Incluye la rotación del bastidor hacia el banco y también el proceso de bajar el cucharón a una posición de retraída para cerrar la cuba y empezar nuevamente la excavación.

Extraído de: Tito, 2015.



**Figura 4 — Fase de giro**

Extraído de: Peak Performace, P&H MinePro Services, 2001.

El tiempo teórico del ciclo de carga de las palas en este caso hidráulicas varía entre 25 y 45 segundos, aunque es similar para las eléctricas, y está determinado por el tamaño del equipo. También se debe tener en cuenta que un arco de giro de 70 grados es considerado como estándar ya que con ello se



llega a un 100% del rendimiento óptimo de la pala, lo que quiere decir que, mientras el arco de giro sea mayor, menor será el rendimiento del equipo y caso contrario se incrementará el rendimiento (López, 2012).

### 3.2.4 Acarreo

Es el proceso de transportar el material de mina, ya sea este mineral o desmonte hacia sus destinos, estos son a la chancadora primaria, botaderos, presa de relaves, stock de mineral, entre otros.

López (2012), define que la finalidad principal del transporte es el desplazamiento desde el punto de carguío hasta el lugar de descarga, considerando los frentes de carguío y descarga de material estéril como zonas móviles y el único punto fijo la tolva de una chancadora primaria, en caso sea una estación fija.

En operaciones mineras a cielo abierto los principales equipos de transporte o acarreo están conformados por:

- Tipos de camiones fuera de carretera:
  - Con descarga en la parte trasera
  - Con descarga por el fondo
  - Tractor con caja articulada y descarga en la parte trasera
  - Tractor con caja articulada y descarga lateral
  - Tractor con caja articulada y descarga por el fondo
- Tipos de tractores-escrepas
  - Tractor-escrepa tradicional
  - Tractor-escrepa con poder en tándem
  - Tractor-escrepa con mecanismo de elevación (auto cargable)
- Bandas o fajas transportadoras
- Locomotoras y vagones

#### 3.2.4.1 Camiones de acarreo fuera de carretera

Durante la década de los 60, comenzó la evolución de los equipos fuera de carretera, con motores cada vez más poderosos, lo que los hizo desplazar a



las locomotoras en las operaciones de minería a cielo abierto. Esto se debió a la gran movilidad y flexibilidad para cambiar de áreas de trabajo, circular por pendientes pronunciadas y tener radios de curvatura más reducidos (López, 2012).

En el Perú las marcas más predominantes en las principales operaciones mineras se tienen a Komatsu y Caterpillar con su variedad de modelos y capacidades que necesite cada operación, por ejemplo, en Minera Las Bambas cuentan con los camiones Komatsu 930E (290 toneladas), 980E (360 toneladas) y el Caterpillar 797F (363 toneladas).

Gómez et al., (1995), indica que, las principales ventajas que presentan estos equipos tenemos:

- Es adaptable a diferentes distancias, generalmente entre 100 y 3000 metros.
- Tiene la capacidad de transportar una amplia variedad de materiales.
- Es fácilmente ajustable en cuanto a la producción, mediante la adición de más camiones.
- Requiere una infraestructura sencilla y asequible.
- Hay una amplia gama de modelos disponibles que se pueden ajustar a las condiciones específicas de la operación.
- El sistema es ampliamente reconocido por ser relativamente fácil de monitorear.
- Menor inversión inicial que otros sistemas de transporte.

Por el contrario, presenta las siguientes desventajas:

- El costo de operación es elevado y representa una proporción significativa del costo total de arranque, carga y transporte, con una estimación que va del 40% al 60%.
- Complicada supervisión y optimización cuando se tiene una operación con un alto número de camiones.
- Baja eficiencia cuando la distancia de transporte y la inclinación aumentan.



- Gran cantidad de mano de obra especializada en la operación y mantenimiento.

### 3.2.4.2 Camiones con descarga trasera

Para López (2012), los camiones de descarga trasera también conocidos como volquetes convencionales, estos equipos son los más usados en el movimiento de materiales en minería a cielo abierto. En estas unidades de transporte, los componentes mecánicos y eléctricos están montados en una estructura llamada chasis y la carga se descarga mediante pistones hidráulicos que permiten levantarla. Estos camiones con descarga en la parte trasera están disponibles en diferentes modelos con dos o tres ejes. Las cualidades más relevantes son:

- Pueden llevar cualquier tipo de material
  - Tienen una buena velocidad al transitar por vías inclinadas
  - Tienen buena adherencia al terreno
  - Buenos en caminos malos
  - Buenos en zonas de descarga reducidas
  - Buena maniobrabilidad por su radio de curvatura menor que oscila entre 1,1 y 1,2 veces la longitud total del volquete.
  - Relación entre carga útil y el peso neto es aproximadamente de 1,45 t/t
- Las capacidades van desde 30 hasta 400 toneladas, y se ofrecen opciones de transmisión mecánica y eléctrica.

### 3.2.4.3 Características generales y de diseño

#### a) Motores y transmisiones

En general, estos equipos (camiones mineros) están equipados con motores diesel turboalimentados y con enfriadores posteriores. El turbo aumenta el flujo de aire de entrada, lo que aumenta la alimentación de combustible, por lo tanto, la potencia. El enfriador posterior permite que la inyección de aire se realice a una temperatura adecuada, mejorando la eficiencia energética y aumentando la potencia del motor (Gómez et al.,1995).



Los camiones mineros usan motores de dos y cuatro tiempos que tienen una disminución de potencia en caso de los de cuatro tiempos de 3% por cada 305 metros de elevación y en caso de los de dos tiempos 1,33% por cada 305 metros hasta llegar a los 1830 msnm, ya después de esta altura el porcentaje de pérdida es la misma que el motor de cuatro tiempos.

#### **a.1) Transmisión mecánica**

Según Gómez et al., (1995), las principales características son:

- Transmisión automática que minimiza los impactos de línea de accionamiento para el mayor confort del operador.
- De tres a seis marchas hacia adelante y una en reversa.
- Tienen una vida útil de entre 5000 a 8000 horas antes de ser necesarias reparaciones o sustituciones.
- Cuentan con dispositivos de conversión de torque que son capaces de generar grandes pares de arranque.
- Ejes de mandos finales con una vida útil de 15000 a 18000 horas.
- Diferenciales con una duración de servicio superior a 12000 horas.

#### **a.2) Transmisión eléctrica**

Las principales ventajas son (Gómez et al., 1995):

- Aprovechamiento máximo de la potencia del motor a cualquier velocidad.
- Frenado eficiente.
- Operación simplificada.
- Confiabilidad superior.

#### **b) Bastidor**

El bastidor principal o chasis es la espina dorsal del camión, construido con materiales de alta resistencia capaces de soportar los esfuerzos de torsión, flexión e impactos de los numerosos ciclos de carga, acarreo y descarga (Gómez et al., 1995).

#### **c) Caja o tolva**



Las tolvas de los camiones están hechas de placas de acero de alto límite elástico (1300 MPa), lo que les confiere una alta resistencia a los impactos y al desgaste. El fondo de la tolva y su sección longitudinal tienen forma de "V", lo que permite mantener el centro de gravedad de la carga lo más bajo posible para aumentar la estabilidad (Gómez et al., 1995).

#### **d) Suspensión**

El objetivo del sistema de suspensión de un camión minero es mitigar las vibraciones y las oscilaciones generadas por las irregularidades del terreno y amortiguar los impactos durante la carga. Además, reparte el peso de la carga entre las ruedas para brindar estabilidad al vehículo y comodidad para el conductor (Gómez et al., 1995).

#### **e) Sistema de frenos**

El mecanismo de frenos es esencial, puesto que deben de soportar las frenadas prolongadas al bajar las pendientes negativas mientras están cargados, y ésta se componen de (Gómez et al., 1995):

- Freno de servicio
- Freno de emergencia
- Freno de parqueo
- Retardador

#### **f) Neumáticos**

Los neumáticos son los componentes que demandan el más alto costo de una operación minera, éste debe ser resistente al calor y cortes. Los neumáticos con estructura tipo E son los que mejor se ajustan a las condiciones de una operación a tajo abierto, ya que cumplen con las características necesarias.

### **3.2.4.4 Especificaciones técnicas de un camión minero**

A continuación, se muestra las especificaciones del camión minero CAT 797F:



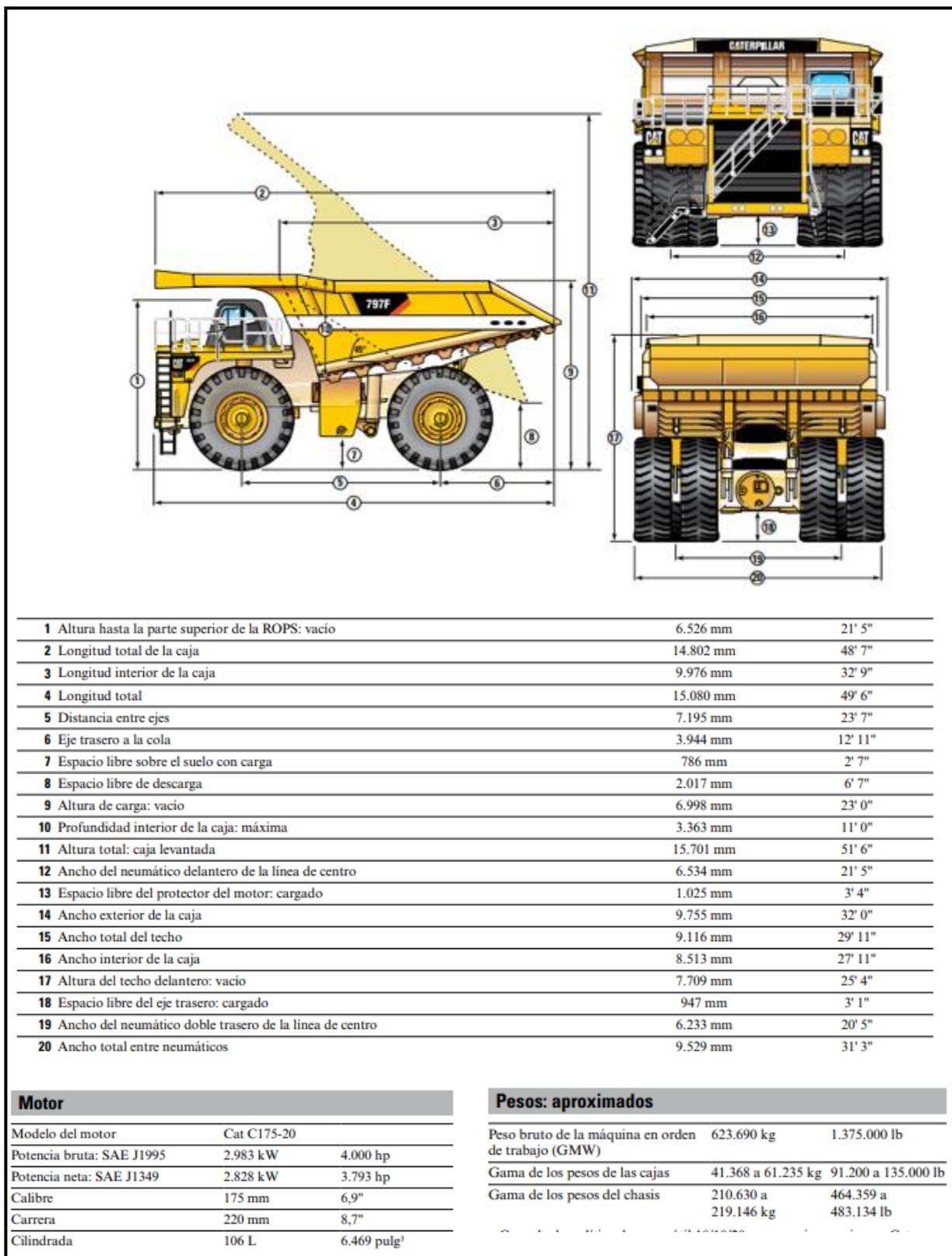


Figura 5 — Especificaciones técnicas del camión Caterpillar 797F.  
 Extraído de: Caterpillar Inc.

<b>Especificaciones de operación</b>		
Capacidad de carga útil nominal	363 tons métricas	400 tons EE.UU.
Capacidad colmada SAE (2:1)	240-267 m <sup>3</sup>	314-350 yd <sup>3</sup>
Velocidad máxima: cargado	67,6 km/h	42 mph
Ángulo de dirección	40 grados	
Diámetro de giro de espacio libre de la máquina	42 m	138'
<b>Transmisión</b>		
Avance 1	11,3 km/h	7 mph
Avance 2	15,2 km/h	9,5 mph
Avance 3	20,5 km/h	12,7 mph
Avance 4	27,7 km/h	17,2 mph
Avance 5	37,2 km/h	23,1 mph
Avance 6	50,3 km/h	31,2 mph
Avance 7	67,6 km/h	42 mph
Retroceso	11,9 km/h	7,4 mph
<b>Capacidad – MSD II – factor de llenado del 100 %</b>		
A ras	188-213 m <sup>3</sup>	246-290 yd <sup>3</sup>
Colmada (SAE 2:1)	240-267 m <sup>3</sup>	314-350 yd <sup>3</sup>
• Consulte con su distribuidor Cat local para obtener recomendaciones acerca de la caja del camión.		
<b>Capacidades de llenado de servicio</b>		
Tanque de combustible	3.785 L	1.000 gal EE.UU.
Sistema de enfriamiento	1.160 L	306 gal EE.UU.
Cárter	319 L	84 gal EE.UU.
Ruedas delanteras, cada una	61 L	16 gal EE.UU.
Mandos finales, cada una	185 L	49 gal EE.UU.
Diferenciales	1.176 L	311 gal EE.UU.
Tanque de dirección	254 L	67 gal EE.UU.
Sistema de dirección (incluye tanque)	355 L	94 gal EE.UU.
Tuberías hidráulicas de frenos/ dispositivo de levantamiento	830 L	219 gal EE.UU.
Sistema de frenos/dispositivo de levantamiento (incluye tanque)	1.600 L	441 gal EE.UU.
Tanque con frenos/dispositivo de levantamiento	770 L	203 gal EE.UU.
Sumidero del convertidor de par	303 L	80 gal EE.UU.
Convertidor de par/sistema de transmisión (incluye sumidero)	629 L	166 gal EE.UU.

**Figura 6 — Especificaciones técnicas operativas del camión Caterpillar 797F.**  
 Extraído de: Caterpillar Inc.

### 3.2.4.5 Tiempos de ciclo del carguío y acarreo

Durante la etapa de extracción en una mina a cielo abierto, es necesario llevar a cabo varios procesos en las operaciones de carga y transporte, los cuales están relacionados con la medición de tiempos, conocidos como los tiempos de ciclo de minado.



Según Ttito (2015), los tiempos empleados en la operación de carguío y acarreo están determinados por ciclos de trabajo que incluyen todo el tiempo requerido para completar un ciclo y están compuestos de diferentes etapas:

a) **Tiempo de carga:** El tiempo requerido para el proceso de carguío depende del equipo de carga y de la capacidad de la caja del camión. Por lo tanto, durante la planificación, se determinó la correspondencia entre el tamaño de la caja del camión y la capacidad del cucharón del equipo de carga.

Entonces, el tiempo de carguío en una operación a tajo abierto, inicia desde el primer pase o primera carga y termina hasta que se llena la tolva del camión de acuerdo con su capacidad establecida, este tiempo incluye los tiempos de ciclo del proceso de excavación del equipo de carguío como son el empuje, el levante, el giro y la descarga en la tolva.

b) **Tiempo de acarreo:** El tiempo de acarreo inicia cuando es llenado la tolva del camión a su capacidad indicada y este parte desde la zona de carguío hasta que llegue al lugar donde se descarga el material transportado.

c) **Tiempo de descarga y maniobras:** El tiempo de descarga comienza desde el momento en que el camión llega a la zona de descarga y el operador empieza a realizar las maniobras como el cuadrado en la zona de descarga y levante de tolva para descargar el material y termina cuando el operador del camión baja la tolva y empieza su destino hacia una pala o equipo de carguío.

d) **Tiempo de retorno:** Este tiempo inicia cuando el camión ya descargó el material y empieza su retorno a un equipo de carguío

e) **Tiempo de cuadrado o spot time:** Es el tiempo transcurrido desde que el camión llega a un equipo de carguío y éste le da la primera baldada o pase, en caso haya más camiones en el piso de pala, el tiempo de cuadrado transcurre desde que despacha a un camión la pala hasta que



inicia o da la primera baldada al siguiente camión, el tiempo ideal debe ser 50 segundos en caso de las palas (Saldaña, 2013).

- f) **Tiempo de espera de camiones o hang:** Es el tiempo que transcurre desde que el equipo de carguío se queda sin camiones hasta que llega un camión para ser cargado, se considera un hang ideal cuando este es menor a 15% del tiempo operativo (Saldaña, 2013).

$$\text{Hang (\%)} = \frac{\text{Tiempo esperando camiones (hr)}}{\text{Tiempo operativo (hr)}} \quad (10)$$

- g) **Tiempo de cola o queue time:** Es el tiempo en el cual los camiones están esperando a ser cargados en cola en la pala asignada, se considera un queue ideal cuando este es menor al 8% del tiempo operativo (Saldaña, 2013).

$$\text{Queue (\%)} = \frac{\text{Tiempo de camiones en cola (hr)}}{\text{Tiempo operativo (hr)}} \quad (11)$$

Entonces, podemos calcular el tiempo de ciclo de carguío y acarreo con la siguiente igualdad:

$$T_c = T_{\text{carguío}} + T_{\text{spot}} + T_{\text{queue}} + T_{\text{viajelleno}} + T_{\text{viajevació}} + T_{\text{descarga}} \quad (12)$$

Donde:

T<sub>c</sub>: tiempo de ciclo (hr)

T<sub>carguío</sub>: tiempo de carguío (hr)

T<sub>spot</sub>: tiempo de cuadrado del camión (hr)

T<sub>queue</sub>: tiempo de espera en pala o cola (hr)

T<sub>viajelleno</sub>: tiempo de viaje cargado del camión a su destino (hr)

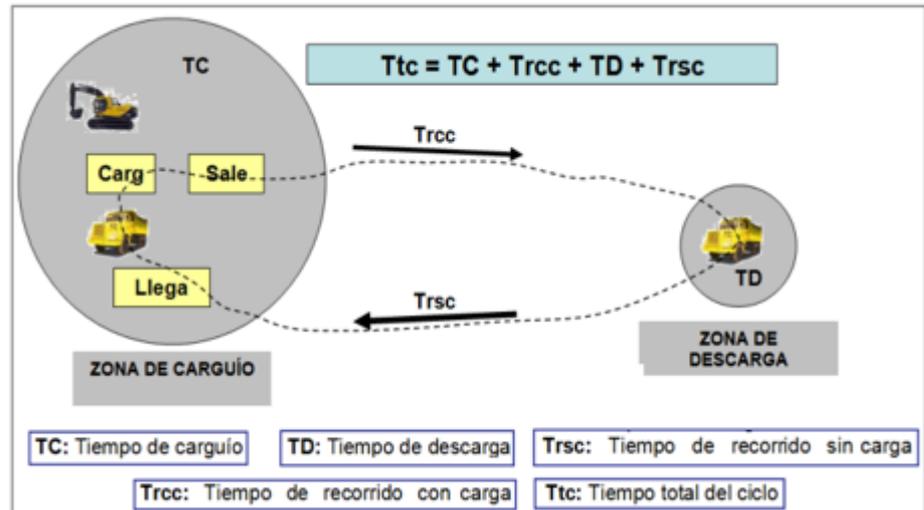
T<sub>viajevació</sub>: tiempo de retorno de camión a pala (hr)

T<sub>descarga</sub>: tiempo de descarga (hr)

Ttito (2015), también mencionó que, el tiempo de ciclo del sistema de carguío y acarreo es la suma de los tiempos de carga, de ida, de descarga y de retorno, además de que este proceso comprende dos tipos de tiempo: Tiempos fijos y variables. Los tiempos fijos corresponden a los tiempos



de maniobras, carga y descarga, mientras que los tiempos variables a los que emplea el equipo en acarrear el material.



**Figura 7 — Tiempos de carguío y acarreo**

Extraído de: Ttito, 2015.

### 3.2.4.6 Productividad en el proceso de carguío y acarreo

La productividad es una medida que relaciona el tonelaje nominal y el tiempo total productivo de las palas y camiones, de acuerdo con los indicadores de cada operación se tiene productividades horarias, por turno, por día, etc.

#### 3.2.4.6.1 Productividad de palas eléctricas

Para lograr la máxima productividad de las palas eléctricas, se requiere de la aplicación eficiente de las fuerzas de excavación en el borde o labio del balde, además de la habilidad del operador y complemento de las otras operaciones unitarias de la actividad minera, como una buena voladura, frentes de minado amplios, pisos de palas óptimos, entre otros (P&H MinePro Services, 2001).

La productividad horaria de una pala se calculó con la siguiente expresión:

$$Productividad \left( \frac{ton}{hr} \right) = \frac{Payload}{T_{hang} + T_{spot} + T_{carguío}} \quad (13)$$

Donde:

Productividad: Productividad de la pala (ton/hr).

Payload: Carga útil de camión (ton)



Thang: Tiempo de espera de pala a los camiones (hr).

Tspot: Tiempo de cuadrado de un camión (hr).

Tcarguío: Tiempo de carguío de la pala a un camión (hr).

### 3.2.4.6.2 Factores para una excavación productiva

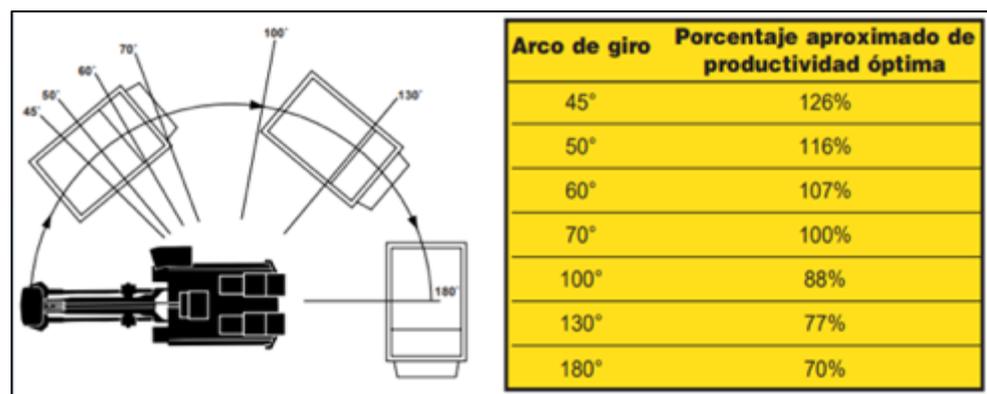
El primer paso es ubicar la pala en un lugar apropiado respecto al frente de minado y el cuadrado de los camiones, esto resulta en una disminución de los períodos de tiempo necesarios para completar un ciclo de trabajo (P&H MinePro Services, 2001).

#### a) Geometría de excavación

P&H MinePro Services (2001), indica que, el ángulo de la pluma, la longitud de la pluma, el punto de pivote del mango del balde y la longitud del mango son factores críticos en la entrega de las fuerzas de excavación máximas en el borde del balde.

#### b) Arco de giro

Se recomienda mantener un radio de giro estrecho para mejorar la eficiencia de la pala, ya que el tiempo empleado en esta fase es el que más impacta en la etapa de excavación (P&H MinePro Services, 2001).



**Figura 8 — Arco de giro y productividad de pala.**

Extraído de: Peak Performace, P&H MinePro Services, 2001.

#### c) Ángulo de inclinación del balde y de los dientes

Los factores clave para determinar el llenado del balde y el consumo de potencia durante la excavación son los ángulos correspondientes al del balde y los dientes, por eso se



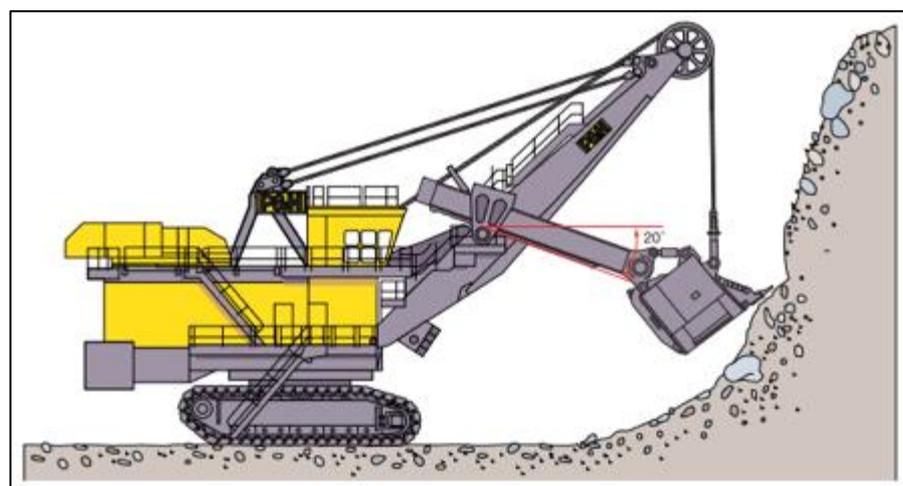
recomienda que el ángulo del balde sea de  $58.45^\circ$  y de los dientes  $41.45^\circ$ , pero también se debe tener en cuenta las características del material como se muestra en la siguiente tabla (P&H MinePro Services, 2001).

Puntos de partida que se recomiendan para ajustar los ángulos de dientes y de inclinación del balde		
	Excavación en piedra dura	Excavación media
Ángulo de dientes	$46^\circ$ - $48^\circ$	$48^\circ$ - $50^\circ$
Ángulo de inclinación	$57^\circ$ - $59^\circ$	$59^\circ$ - $61^\circ$

**Figura 9 — Ángulo de inclinación por tipo de roca**  
Extraído de: Peak Performace, P&H MinePro Services, 2001.

#### d) Posición de la pala

P&H MinePro Services (2001), recomienda no situar la pala demasiado lejos de la zona de carguío, ya que esto disminuirá su capacidad de excavación. Para mejorar la eficiencia, se recomienda posicionar la pala cerca al frente de carguío, con el frente de la oruga cerca al pie de banco. Como alternativa, el operador puede inclinar el mango  $20^\circ$  debajo de la posición horizontal, con el mango sobresaliendo 2 a 4 pies más allá del punto de pivote del mango (shipper shaft), y avanzar hasta que los dientes del balde casi toquen el banco.

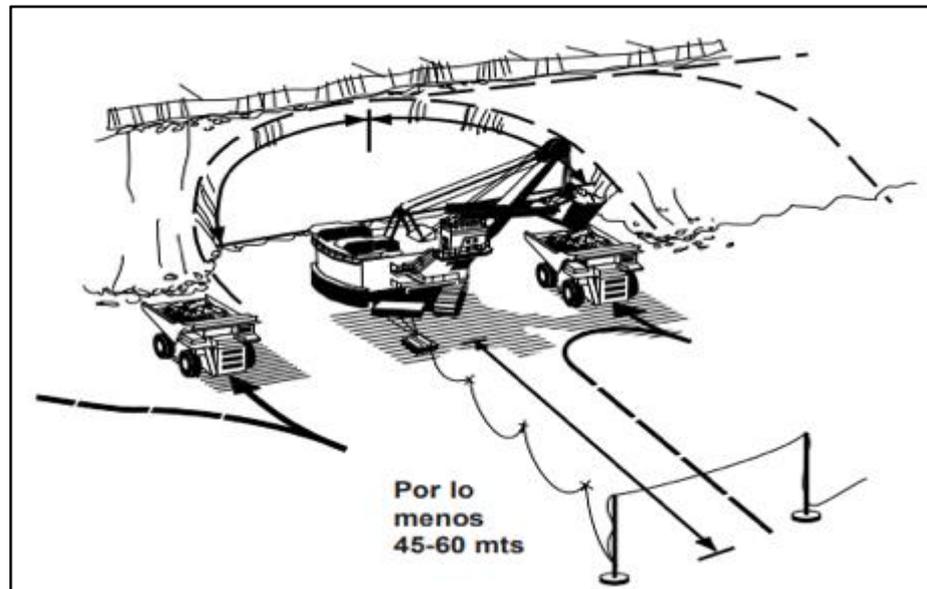


**Figura 10 — Posición de pala para obtener el mejor rendimiento de excavación.**

Extraído de: Peak Performace, P&H MinePro Services, 2001.

### e) Posición del camión a cargar

El tiempo de carga y descarga del material en la tolva del camión se optimiza si se usa el carguío por ambos lados, un camión cargando a un lado y en el otro esperando ya cuadrado, aunque por limitaciones de la mina se da casos del carguío por un solo lado, sea cual sea el caso, se sugiere que el eje central del camión esté situado bajo la ruta de giro de la pala. Por otro lado, es recomendable que las palas cuenten con banderines en la parte posterior que sirvan de referencia al cuadrado de los camiones, además de que la zona de carguío debe ser relativamente amplia para que los camiones puedan maniobrar con facilidad el proceso de cuadrado (P&H MinePro Services, 2001).



**Figura 11 — Carguío por ambos lados de una pala eléctrica.**  
Extraído de: Peak Performace, P&H MinePro Services, 2001.

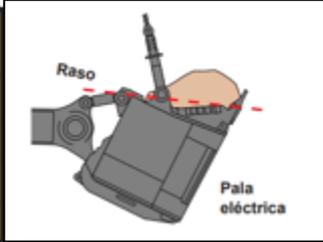
### f) Facilidad de excavación y factor de llenado

La complejidad de la extracción minera se mide por la oposición que ofrece el material a ser retirado durante el proceso de extracción en la fase de excavación y esto se ve influido por la dureza del material, su peso y densidad, los cuales pueden cambiar debido a la presencia de humedad y el tamaño de las partículas obtenido por las voladuras. Por otro lado, el factor de llenado se define como el volumen del material suelto en el balde comparado con el volumen raso del mismo, algunos baldes



diseños especialmente a pedido de los clientes que operan con material bien fragmentado pueden lograr factores de llenado de 100% hasta 120%, cabe mencionar que los fabricantes de palas eléctricas mencionan la capacidad de los baldes en metros cúbicos “rasas” (P&H MinePro Services, 2001).

Facilidad de Excavación (material)	Factor Aproximado de llenado del balde
Excavación fácil	1.05-1.20
Excavación media	1.00-1.15
Excavación difícil	0.90-1.00
Excavación muy difícil	0.80-0.90



**Figura 12 — Factor de llenado según la dificultad de excavación y llenado de balde “raso” de una pala eléctrica.**

Extraído de: Peak Performace, P&H MinePro Services, 2001.

### 3.2.4.7 Productividad de camiones

El rendimiento o productividad de un camión es la relación del tonelaje que transporta por hora operativa, dependiendo básicamente de sus tiempos de ciclo, la carga útil, velocidades y la configuración de la mina (vías, destinos de material, pendientes), también influyen indicadores como la disponibilidad y el uso de disponibilidad.

Este indicador se calculó a través de la siguiente igualdad:

$$Prod \left( \frac{ton}{hr} \right) = \frac{Payload}{Tvacío + Tqueue + Tspot + Tcarguío + Tcargado + Tdescarga} \quad (14)$$

Donde:

Prod: Productividad del camión (ton/hr).

Payload: Carga útil (ton).

Tvacío: Tiempo de viaje vacío del camión (hr).

Tqueue: Tiempo de cola del camión (hr).

Tspot: Tiempo de cuadrado del camión (hr).

Tcarguío: Tiempo de carguío de la pala (hr).

Tcargado: Tiempo de viaje cargado del camión (hr).

Tdescarga: Tiempo de descarga del camión (hr).



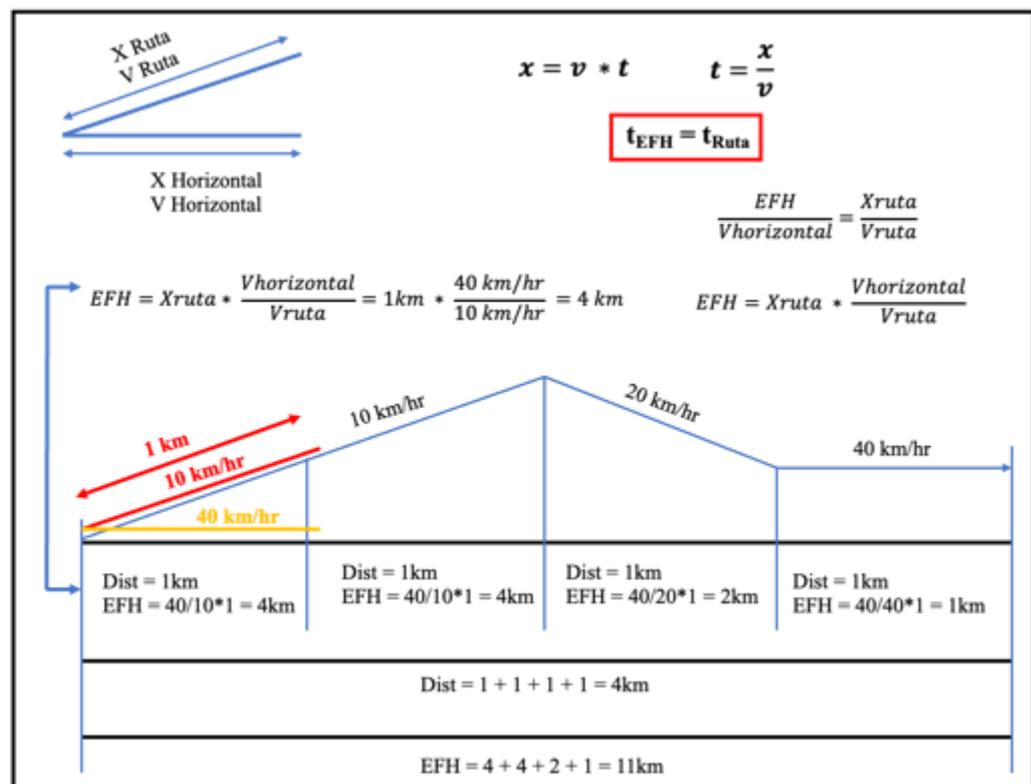
**a) Carga útil o payload**

La carga útil de un camión depende del tamaño seleccionado para la operación, actualmente muchas operaciones optan por diversificar su flota de camiones por el dinamismo de la actividad y por la variedad de equipos de carguío que poseen.

Según las políticas de Caterpillar indica que una carga aceptable se da entre los rangos de 90% al 110%, aunque son aceptables cargas hasta el 120%, esta política se conoce como el 10/10/20, ya las cargas que superan el 120% deben ser descargados en el mismo frente para evitar daños en la suspensión y neumáticos de los camiones (Saldaña, 2013).

**b) Distancia horizontal equivalente (EFH)**

Según Saldaña (2013), es la distancia horizontal que un camión puede recorrer en un mismo periodo de tiempo, independientemente de si la pendiente de la vía es positiva o negativa.



**Figura 13 — Cálculo del EFH**

Extraído de: Saldaña, 2013.

**c) Vías de acarreo**

Las vías o caminos mineros son componentes críticos y vitales dentro del proceso de producción de una mina, estos cambian con el paso del tiempo y

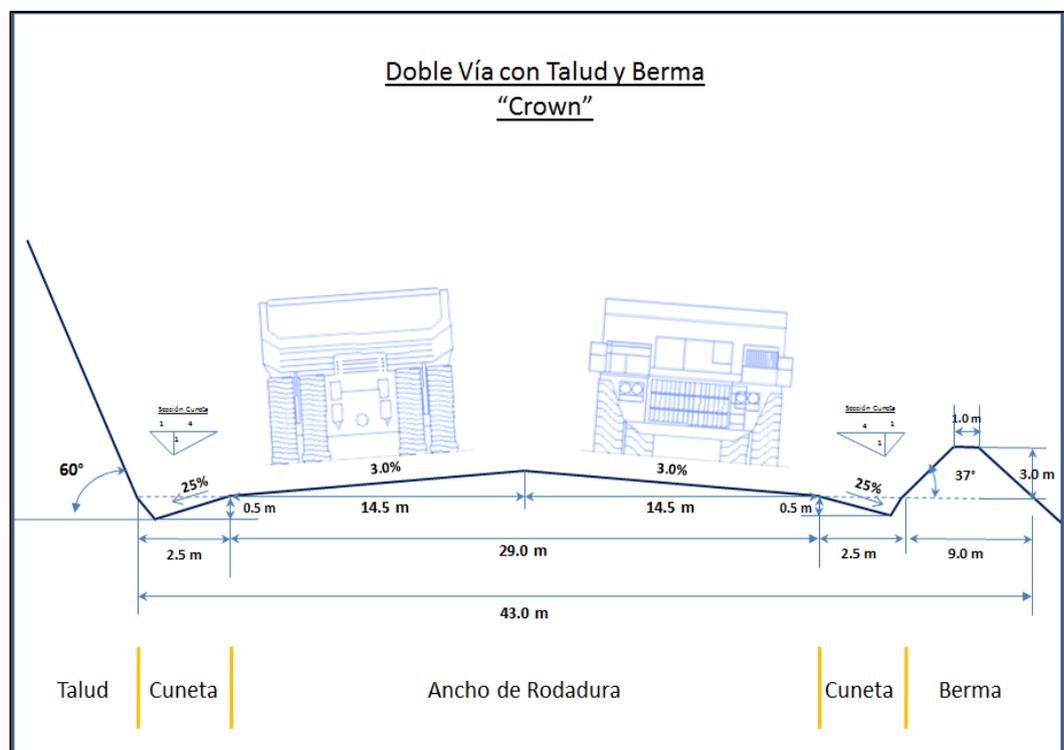


la profundización del tajo, lo que conlleva seguir un buen análisis desde el diseño hasta la ejecución de estas vías, respetando los anchos necesarios para el tránsito continuo de los equipos para mantener un rendimiento óptimo. Un camino minero bien construido permitirá que los camiones operen de manera segura y eficiente, además de presentar muchas ventajas significativas (Valenzuela, 2022):

- Provee condiciones seguras para el tránsito y reduce el peligro del tráfico.
- Disminución de los gastos de operación del camión, ciclos cortos y eficiencia más alta.
- Aumenta la duración útil de los neumáticos.
- Reduce el costo de mantenimiento de las vías, vida de servicio más larga, cuidado de los componentes del camión.

El diseño geométrico de las vías en minas de cielo abierto está definido por un tema económico y plan minero, una vez definido el diseño conceptual se lleva a cabo las actividades de construcción en el campo.

Para la construcción se toma como un factor el tamaño del camión más grande de mina, además de las especificaciones que requiera cada equipo, como pendientes máximas, distancias de frenado, radios de giro, peralte, entre otros.



**Figura 14** — Sección típica de un camino minero con doble carril  
Extraído de: Informe Plan de Minado Anual Las Bambas, 2022.

### 3.3 Marco conceptual

- a) **Pala Excavadora:** Maquinaria de grandes dimensiones y capacidades, los cuales se usan para el arranque y carguío de material en minería a cielo abierto. Estos pueden ser accionados por combustible diésel (Palas hidráulicas) o energía eléctrica (Palas eléctricas o de cables).
- b) **KPI (Key Performance Indicator):** Son indicadores clave de rendimiento que se utilizan para evaluar el éxito de las acciones y/o procesos en la medida en que estos contribuyen a la consecución de los objetivos, para determinar si están dando los frutos esperados o es necesario realizar correcciones.
- c) **Optimización:** Es la acción de desarrollar una actividad lo más eficientemente posible, es decir, con la menor cantidad de recursos y en el menor tiempo posible.
- d) **Carguío:** Es parte de la etapa de extracción en minería subterránea y minería a rajo abierto y su propósito consiste en retirar el material tronado del frente y depositarlo en maquinarias de transporte.
- e) **Acarreo:** Es el proceso de transporte, corresponde a la etapa en que se transporta el material extraído desde el punto de carguío hasta el chancador primario que da inicio al proceso de conminución o en su defecto a otros puntos como botaderos, entre otros.
- f) **Productividad:** Expresa la capacidad de producción de la flota por horas operativas. En el caso de equipos de carga y transporte se expresa en toneladas por horas operativas, en el caso de perforadoras se expresa en metros perforados por horas operativas, para equipos de empuje en metros cúbicos por horas operativas.
- g) **Carga útil:** Es la carga que un vehículo puede llevar, sin tomar en cuenta la tara del vehículo.
- h) **Dispatch:** Es un sistema de control y administración de minas de gran escala para minas a tajo abierto. Su principal función es proveer asignaciones automáticas optimizadas de camiones de acarreo hacia los equipos de carguío y sus destinos de carga.
- i) **Tonelaje:** Es la capacidad de producción de minerales que se da a diario en una actividad minera, esta puede ser de origen subterráneo o superficial.
- j) **Mina a cielo abierto:** Se conoce como minería a cielo abierto, minería a tajo (o rajo) abierto o cantera, a aquellos aprovechamientos o explotaciones mineras, que se desarrollan en la superficie del terreno, a diferencia de la mina subterránea o de perforación. La minería a cielo abierto se aplica cuando los depósitos comercialmente útiles se encuentran cerca de la superficie. Se emplean medios mecánicos o explosivos para remover los terrenos que recubren o rodean la formación geológica que forma al yacimiento o banco de materiales.

- k) **Ciclo de carguío:** Es el tiempo que invierte la máquina en cada ciclo de carguío, se mide fácilmente con ayuda de un cronómetro. Se debe medir el tiempo de varios ciclos para obtener el ciclo medio.
- l) **Ciclo de transporte:** Es el tiempo que transcurre desde el momento en que el volquete inicia su movimiento hacia el cargador para ser llenado, hasta que regresa al botadero y está lista para comenzar otro ciclo.
- m) **Uso de disponibilidad:** Corresponde al porcentaje del tiempo nominal en que el equipo se encuentra con operador asignado y listo para trabajar.
- n) **Velocidad de acarreo:** La velocidad de circulación de los camiones por los diferentes tramos de la ruta de transporte representa un factor fundamental para la determinación del tiempo de ciclo y depende directamente de las pendientes de los caminos a recorrer y de la resistencia a la rodadura, la cual indica la fricción entre las cubiertas y la superficie del camino que actúa en oposición al movimiento del camión
- o) **Botadero:** Es una pila de roca o mineral roto en la superficie de la tierra.
- p) **Chancadora de cono:** Es una máquina que se usa para reducir el tamaño del mineral a ser procesado, mediante la compresión continua entre un elemento fijo y uno móvil.
- q) **Mineral:** Sustancia homogénea que ocurre naturalmente y tiene propiedades físicas y composición química definida y que si se forma en condiciones favorables tiene una forma de cristal definida.
- r) **Desmunte:** Roca que no tiene suficiente ley ni otras características de mineral a minarse económicamente.
- s) **Camión minero:** Camión de acarreo pesado o Haul Truck: denominado así en inglés, es un vehículo todoterreno, de volteo, volquete de chasis rígido, específicamente diseñado para ser usado en la explotación minera a gran escala o para trabajos extremadamente pesados en construcción
- t) **Pala eléctrica:** Son los equipos más utilizados en las actividades mineras a cielo abierto debido a la productividad que pueden alcanzar en las operaciones de carga, respondiendo a la tendencia de las empresas mineras de mover una mayor cantidad de mineral (mineral y estéril).
- u) **Seguridad:** Es aquel entorno laboral apropiado con condiciones justas, permitiendo a los empleados realizar su labor con dignidad y brindándoles la oportunidad de participar en la mejora de las mismas, además de salvaguardar su salud y vida.

## CAPÍTULO IV

### METODOLOGÍA

#### 4.1 Tipo y nivel de investigación

##### 4.1.1 Tipo de Investigación

Según Murillo (2008), la presente investigación es de tipo aplicativo, también conocida como práctica o empírica, ya que se pone en práctica los conocimientos adquiridos en la Universidad y en el centro laboral; por otro lado, se identificó los problemas referentes a los KPI's de carguío y acarreo (carga útil, velocidades de acarreo y tiempos de ciclo) para poder plantear posibles soluciones y de esa forma optimizarlos e incrementar la productividad de las palas eléctricas y camiones en la Unidad Minera Las Bambas.

##### 4.1.2 Nivel de investigación

Según Espinoza, L. y Ochoa, J. (2020), la investigación es de nivel correlacional, ya que se evaluó el grado de relación y nivel de significancia existente entre los KPI's de carguío y acarreo frente a la productividad de las palas eléctricas y camiones, por otro lado, se describe el comportamiento de dichas variables.

#### 4.2 Diseño de la investigación

La presente investigación es de diseño no experimental, ya que se observa los fenómenos tal y como se dan para luego estudiarlos, donde inicialmente se analizaron los datos recolectados por el sistema de gestión de flotas (Dispatch) como los tiempos de ciclo, carga útil, velocidad de los camiones, productividad de palas eléctricas y camiones, seguidamente se evaluaron los parámetros óptimos y luego ser aplicados en la estandarización dentro de las operaciones unitarias de carguío y acarreo (Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P., 2001).

#### 4.3 Población y muestra

##### 4.3.1 Población

La población considerada es la Unidad Minera Las Bambas.



### 4.3.2 Muestra

La muestra está conformada por los operadores de palas eléctricas y camiones de mina de la Unidad Minera Las Bambas, y para seleccionar el número de muestra se usó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q} \quad (15)$$

Donde:

n: tamaño de la muestra

N: población total

Z<sub>α</sub>: 1.96 para un nivel de confianza seleccionado (para este caso 95%)

p: probabilidad de que ocurra el evento estudiado (50%)

q: 1-p, probabilidad de que no ocurra el evento estudiado (50%)

d: error de estimación máximo aceptado (en este caso se desea un 5%)

Para seleccionar la muestra de operadores de camión:

$$n = \frac{80 * 1.96^2 * 0.5 * 0.5}{0.05^2 * (80 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5} = 66.35 = 67$$

Para seleccionar la muestra de operadores de pala eléctrica:

$$n = \frac{10 * 1.96^2 * 0.5 * 0.5}{0.05^2 * (10 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5} = 9.77 = 10$$

De la aplicación de la fórmula para una población de 80 operadores de camión se calculó un total de 67 operadores y de la población de 10 operadores de palas eléctricas se trabajó con los 10 operadores.

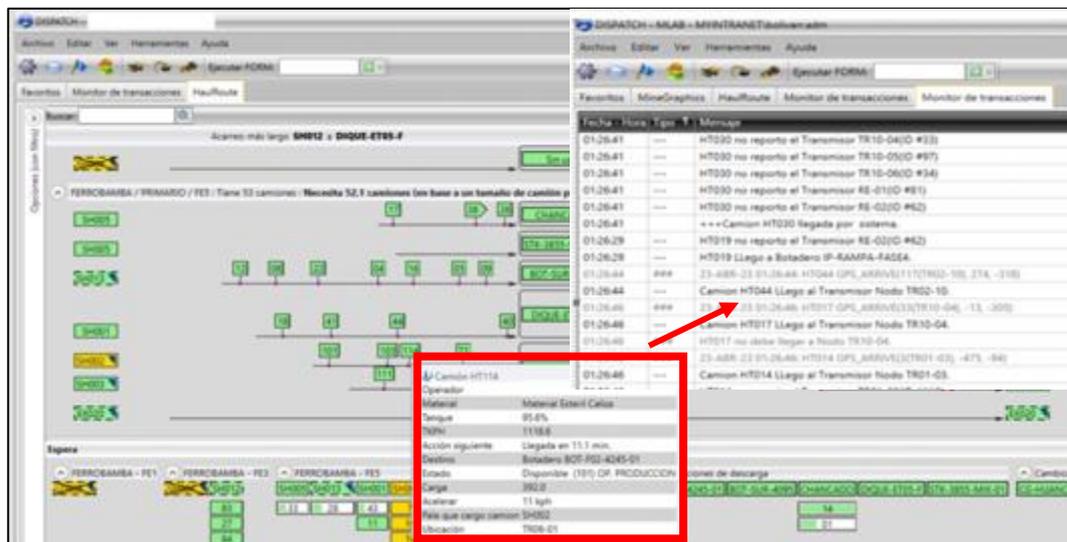
## 4.4 Procedimiento

El procedimiento desarrollado fue el siguiente:

### 4.4.1 Recolección de datos

Inicialmente se tomó los datos registrados por el Sistema de Gestión de Flotas del año 2022 para su posterior análisis, para los operadores según la muestra calculada. De igual forma para el año 2023 hasta la actualidad (abril), además del control y monitoreo.





**Figura 15 — Recolección de datos con el sistema Dispatch**  
 Fuente: Modular mining, Las Bambas, 2023.

#### 4.4.2 Agrupación de datos

Los datos se agruparon por operador, modelo de equipo, turno, día, mes y año, ya que como se puede apreciar en la Figura 15, el Dispatch recolecta los datos en forma general, para luego ser agrupados y ordenados en el software Excel. Para ello necesitamos conocer con los equipos que cuenta la mina y algunas de sus características, los cuales son:

##### a) Equipos de carguío

Actualmente minera Las Bambas cuenta con las siguientes palas eléctricas:

**Tabla 5 — Palas eléctricas de la mina Las Bambas.**

Código	Marca	Modelo	Capacidad (TM)
SH001	CATERPILLAR	CAT 7495 HR	109
SH002	CATERPILLAR	CAT 7495 HR	109
SH003	P&H	PH 4100XPC	109
SH004	P&H	PH 4100XPC	109
SH005	P&H	PH 4100XPC	109

## b) Equipos de acarreo

A la actualidad en la unidad minera se cuenta con 74 camiones mineros, de acuerdo con la tabla adjunta:

**Tabla 6 — Equipos de acarreo de la mina Las Bambas.**

Código	Marca	Modelo	Capacidad (TM)	Cantidad (Camiones)
HT001 a HT044	Komatsu	930E – 4SE	290	44
HT070 a HT084	Caterpillar	797F	360	15
HT101 a HT115	Komatsu	980E	360	15

Es importante mencionar que los equipos de soporte también son imprescindibles para el correcto funcionamiento de la operación, entre los principales se tiene:

- Motoniveladoras, los cuales se encargan del correcto mantenimiento de vías y zonas de descarga.
- Tractores sobre ruedas, los cuales son destinados al mantenimiento de pisos de los equipos de carguío, así como también soportan en el mantenimiento de vías.
- Tractores sobre orugas, equipos destinados a realizar la conformación de los botaderos y descreste de frentes de minado.
- Cisternas de agua, equipos destinados para el control de la polución ocasionada por los equipos de acarreo.
- Manipulador de cables, equipos que ayudan con el movimiento de cables de las palas eléctricas.

AÑO	MES	FECHA	TURNO	CREW	EXCAV_OP	TRUCK_OP	COD_PALA	EQUIPO	DESTINO	TONELAJE	MATERIAL	Tqueue	Thang	Tspot	Tcarguío	Tviajecargado	Tviajevacio	Tcolaycuad	Tdescarga	Velvacío	VelLleno	MODELO_CAM	MODELO_PALA
2022	1	5/01/22	D	D	BUSTAMAN	AQUINO TE	SH002	HT071	BOT-F02-4	416	Esteril	0	1.05	1.85	4.35	32.083333	22.15	1.716666	0.833333	16.62393	14.10078	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	D	D	TICONA SAI	AQUINO TE	SH002	HT071	BOT-F02-4	407	Esteril	0.45	0	6	2.983333	32.116666	31.25	0.7	0.7	15.77664	14.08614	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	N	C	GARCIA ME	MAGAÑO C	SH002	HT071	BOT-F02-4	384	Esteril	3.95	0	1.55	3.966666	32.816666	NULL	0	0.183333	null	13.78568	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	N	C	GARCIA ME	MAGAÑO C	SH002	HT071	BOT-F02-4	422	Esteril	0	1.95	0.95	3.316666	33.6	18.5	0.55	0.716666	24.83676	13.46429	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	N	C	GARCIA ME	RODRIGUEZ	SH002	HT070	BOT-F02-4	409	Esteril	0	0.35	0.916666	2.333333	35.4	23.066666	3	0.816666	26.35231	13.85763	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	D	D	TICONA SAI	OSORIO CO	SH002	HT070	BOT-F02-4	405	Esteril	1.25	0	2.833333	1.316666	30.6	14.9	3.433333	0.216666	51.52752	14.78431	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	D	D	TICONA SAI	OSORIO CO	SH002	HT070	BOT-F02-4	398	Esteril	0	5.55	3.85	1.066666	29.566666	15.916666	4.483333	0.016666	28.86785	15.30102	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	D	D	BUSTAMAN	Yucra Panil	SH002	HT070	BOT-F02-4	367	Esteril	0	4.816666	3.366666	2.75	32.783333	7.566666	0.883333	0.916666	17.83348	14.21332	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	D	D	TICONA SAI	Yucra Panil	SH002	HT070	BOT-F02-4	426	Esteril	0	0	1.516666	3.25	33.566666	NULL	0.716666	1.766666	null	13.47766	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	D	D	TICONA SAI	Yucra Panil	SH002	HT070	BOT-F02-4	413	Esteril	4.733333	0	4.083333	4.3	35.05	22.683333	3.533333	0.233333	20.25628	12.90728	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	N	C	GARCIA ME	BASTERES C	SH002	HT076	BOT-F02-4	392	Esteril	0	2	0	1.983333	34.416666	20.333333	0	0.9	16.11148	13.14479	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	D	D	TICONA SAI	FLORES OBI	SH002	HT076	BOT-F02-4	410	Esteril	1.866666	0	2.466666	2.583333	32.433333	5.766666	0	1	23.4	13.94861	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	D	D	TICONA SAI	CABALLERC	SH002	HT073	BOT-F02-4	386	Esteril	0	2.383333	2.85	2.633333	30.5	15.466666	0.7	0.816666	21.18104	14.83279	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	D	D	TICONA SAI	CABALLERC	SH002	HT073	BOT-F02-4	367	Esteril	0	5.65	2.85	2.833333	29.9	19.3	3.266666	0.833333	19.07876	15.13043	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	D	D	TICONA SAI	CABALLERC	SH002	HT073	BOT-F02-4	387	Esteril	2.3	0	1.733333	3.1	32.616666	19.733333	0	0.733333	22.92566	13.87021	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	N	C	GARCIA ME	CCACYA CU	SH002	HT073	BOT-F02-4	391	Esteril	1.766666	0	0.8	2.316666	34.933333	46.05	0	0.516666	13.50098	12.95038	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	N	C	GARCIA ME	ARARANJA	SH002	HT072	DIQUE-ETD	394	Esteril	0	1.7	0.433333	2.566666	19.716666	20.9	0.516666	0.766666	23.08995	16.61539	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	N	C	GARCIA ME	ARARANJA	SH002	HT072	BOT-F02-4	395	Esteril	1.75	0	0.85	2.3	39.35	13.833333	1.033333	0.833333	23.68193	11.69962	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	N	C	GARCIA ME	HUARACA T	SH002	HT072	BOT-F02-4	388	Esteril	0	1.85	0.733333	2.333333	30.5	18.3	0	0.75	24.72131	24.22426	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	N	C	GARCIA ME	HUARACA T	SH002	HT072	BOT-F02-4	413	Esteril	0.9	0	2.083333	2.516666	32.133333	18.45	0	0.816666	24.90407	18.53589	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	D	D	TICONA SAI	DURAND D	SH002	HT072	BOT-F02-4	388	Esteril	0	3.516666	1.233333	2.55	27.616666	18.733333	0	0.583333	27.81352	16.38141	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	D	D	TICONA SAI	ATENCIO S	SH002	HT079	BOT-F02-4	404	Esteril	0	4.266666	2.533333	2.75	34.766666	15.966666	1.2	0.8	20.51775	15.69434	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	D	D	TICONA SAI	FARIE NAP	SH002	HT079	BOT-F02-4	407	Esteril	0	0.533333	1.8	2.883333	35.133333	NULL	0	0.933333	null	12.87666	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	N	C	FALCON FLI	QUISPE MC	SH002	HT079	BOT-F02-4	362	Esteril	2.1	0	1.1	3.466666	34.55	20.5	0.666666	0.766666	18.58244	13.09407	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	N	C	FALCON FLI	TORRES LEC	SH002	HT078	BOT-F02-4	421	Esteril	0.316666	0	1.566666	2.916666	34.333333	1.65	1.733333	0.816666	6.836364	13.1767	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	N	C	SOLIS MUN	TORRES LEC	SH002	HT078	BOT-F02-4	394	Esteril	0	6.566666	1.633333	2.5	32.433333	30.583333	0.45	0.833333	17.38594	13.94861	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	D	D	TICONA SAI	PURIZACA I	SH002	HT078	BOT-F02-4	413	Esteril	0.866666	0	3.833333	2.516666	29.55	22.966666	0.616666	1.066666	24.16285	15.30964	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	N	C	NULL	TARIFA HUI	SH002	HT077	BOT-F02-4	395	Esteril	NULL	NULL	NULL	NULL	9.45	NULL	1.916666	0.866666	null	52.63492	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	D	D	TICONA SAI	TARRILLO A	SH002	HT077	BOT-F02-4	397	Esteril	1	0	1.883333	2.5	30.816666	6.433333	0	0.566666	20.97513	14.68037	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	N	C	SOLIS MUN	GARAY VAS	SH002	HT084	BOT-F02-4	384	Esteril	1.933333	0	0.966666	3.116666	31.05	24.8	1.283333	0.866666	23.72419	14.57005	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	N	C	GARCIA ME	ROMERO C	SH002	HT084	BOT-F02-4	390	Esteril	5.2	0	1.666666	2.383333	32.983333	23.9	0.666666	0.866666	21.56736	14.63103	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	D	D	TICONA SAI	CRISPIN HII	SH002	HT084	BOT-F02-4	403	Esteril	0	5.783333	3.65	3.016666	29.8	30.133333	1.066666	1.066666	36.31659	15.18121	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	N	C	GARCIA ME	BAUTISTA H	SH002	HT082	DIQUE-ETD	394	Esteril	1.983333	0	1.8	2.166666	22.216666	21.766666	0.85	0.966666	20.78407	14.74569	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	D	D	BUSTAMAN	BOLIVAR GI	SH002	HT082	BOT-F02-4	394	Esteril	0.183333	0	4.716666	1.316666	32.216666	17.5	1.333333	1	18.72	14.04242	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	N	C	GARCIA ME	RODRIGUEZ	SH002	HT082	BOT-F02-4	392	Esteril	0.25	0	1.133333	1.9	39.816666	17.083333	0	0.966666	21.55434	27.89134	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	N	C	GARCIA ME	CALCINA QI	SH002	HT081	BOT-F02-4	418	Esteril	0.183333	0	1.516666	2.15	35.683333	21.333333	1.333333	0.866666	25.67531	13.40458	CAT 797F	CAT 7495HR
2022	1	5/01/22	N	C	GARCIA ME	CALCINA QI	SH002	HT081	BOT-F02-4	410	Esteril	0.283333	0	2.216666	2.266666	36.533333	15.466666	0	2.066666	29.25	13.0927	CAT 797F	CAT 7495HR

Figura 16 — Agrupación de datos del año 2022 con Excel.  
 Extraído de: Gestión mina, Las Bambas, 2023

Como se aprecia en la Figura N° 16, los datos se ordenaron de la siguiente forma:

- Columna 1: Año
- Columna 2: Mes
- Columna 3: Fecha
- Columna 4: Turno
- Columna 5: Guardia
- Columna 6: Operador de pala
- Columna 7: Código de pala
- Columna 8: Código de camión
- Columna 9: Destino
- Columna 10: Carga útil
- Columna 11: Tipo de material
- Columna 12: Modelo de camión
- Columna 13: Modelo de pala

Y en las filas se encuentran los valores de cada ítem.

#### **4.4.3 Análisis de datos**

Una vez ordenados y agrupados los datos, estos se analizaron según métodos, técnicas y gráficos estadísticos, para el estudio y mejor visualización de los KPIs obtenidos por los operadores de la muestra durante el año 2022.

La cantidad de datos iniciales recolectados fueron de 643538 filas, los cuales contienen todos los datos referentes a los KPI's a revisar (Carga útil, velocidades, tiempos de ciclo, productividad, entre otros).

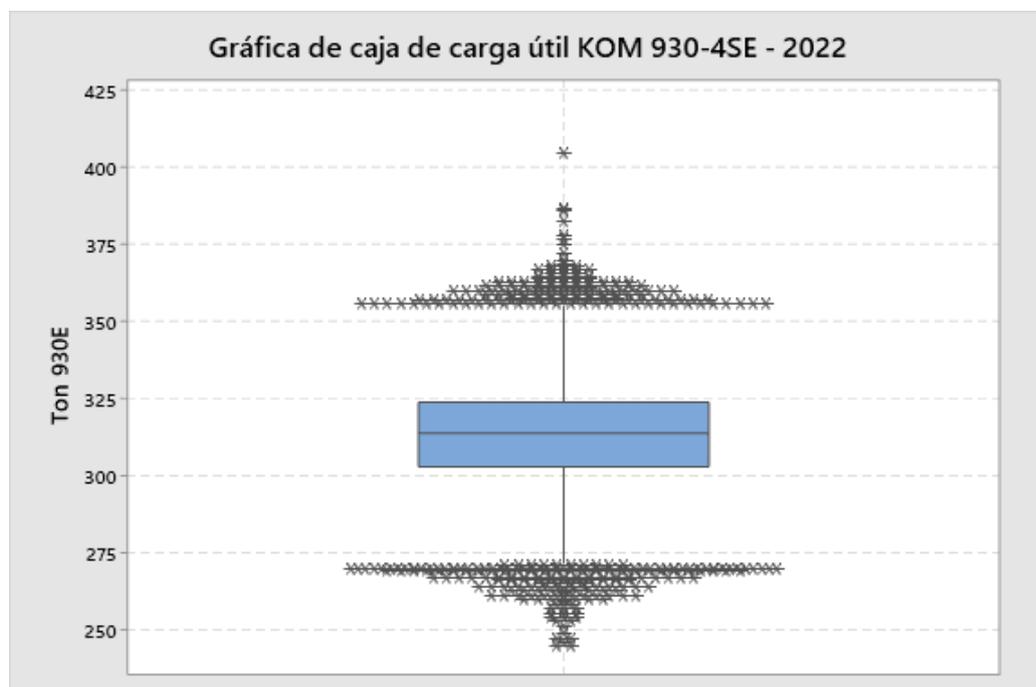
De esta data cruda total se ordena y distribuye según cada KPI a evaluar para generar otros archivos Excel para cada indicador: Carga útil, velocidades (Vacío y cargado), tiempo de carguío, tiempo de descarga, queue, hang:

Nombre	Fecha de ...	Tipo	Tamaño
 Payload_2022	25/07/202...	Hoja de cálculo d...	7,458 KB
 Productividad_Camiones_2022	25/07/202...	Hoja de cálculo d...	32,606 KB
 Productividad_Palas_2022	25/07/202...	Hoja de cálculo d...	468 KB
 Tiempo_Carguio_2022	25/07/202...	Hoja de cálculo d...	8,799 KB
 Tiempo_descarga_2022	25/07/202...	Hoja de cálculo d...	5,316 KB
 Tiempo_Hang_2022	25/07/202...	Hoja de cálculo d...	10,132 KB
 Tiempo_Queue_2022	25/07/202...	Hoja de cálculo d...	9,051 KB
 Tiempo_Spot_2022	25/07/202...	Hoja de cálculo d...	5,262 KB
 Velocidad cargado 2022	25/07/202...	Hoja de cálculo d...	11,146 KB
 Velocidad_Vacio_2022	25/07/202...	Hoja de cálculo d...	9,491 KB

**Figura 17 — Datos ordenados según KPI**

Extraído de: Gestión mina, Las Bambas, 2023.

Una vez distribuido los datos se procede con la eliminación de datos atípicos para cada indicador haciendo uso del software Minitab con un diagrama de cajas y el rango intercuartil.



**Figura 18 — Gráfico de caja de carga útil KOM 390-4SE - 2022**

Fuente: Gestión mina, Las Bambas, 2023.

Por ejemplo, en caso del análisis de carga útil como se puede apreciar en la Figura 19, nos indica que para la carga útil del camión KOM 930E-4SE los valores mayores a 350 toneladas deberían eliminarse y como límite inferior se debe considerar 275 toneladas, claro que estos valores no son determinantes puesto que se debe tomar en consideración las políticas de la compañía, así como recomendación de los fabricantes y experiencia de la operación.

#### 4.4.4 Elaboración de gráficos y cuadros estadísticos de los datos del año 2022

##### 4.4.4.1 Velocidad de camiones

La velocidad a la que circulan los camiones mineros depende de la experiencia del operador principalmente, pero también se tiene otros factores como el estado de las vías, las pendientes de las vías, el mismo diseño de las vías, el estado mecánico del equipo o camión, las condiciones climáticas y entre otros factores.

Cabe recalcar que dentro del Procedimiento Escrito de Trabajo Seguro (PETS) de la operación de un camión minero de Minera Las Bambas, se establece límites máximos de velocidad de los camiones según condiciones de diseño de las vías y condiciones climáticas, que se detalla a continuación.

**Tabla 7 — Velocidades de los camiones según PETS de la mina Las Bambas.**

Condiciones	Terreno	Velocidad Máxima Cargado (km/hr)	Velocidad Máxima Vacío (km/hr)
Normales	Plano	45,00	55,00
	Pendiente Negativa	32,00	40,00
Adversas	En general	15,00	15,00

Por otra parte, se considera para las mejoras el cumplimiento del plan propuesto por la compañía para las velocidades, que a continuación se detalla:

**Tabla 8 — Velocidades según condición climática.**

Velocidad	Temporada Seca (km/hr)	Temporada Lluviosa (km/hr)	Promedio (km/hr)



<b>Vacío</b>	29,00	26,00	27,50
<b>Cargado</b>	15,50	14,50	15,00

A partir de los valores considerados tanto en los PETS y el plan, analizamos las velocidades de acarreo de los camiones vacíos y cargados, para ello tomamos los promedios anuales de los operadores muestreados.

#### a) Velocidad de camiones vacíos

**Tabla 9 — Velocidad de camiones vacíos por operador, 2022.**

OPERADOR	Velocidad Vacío (km/h)	OPERADOR	Velocidad Vacío (km/h)
OPERADOR C01	23,79	OPERADOR C35	20,95
OPERADOR C02	24,68	OPERADOR C36	24,51
OPERADOR C03	20,77	OPERADOR C37	25,61
OPERADOR C04	25,19	OPERADOR C38	21,21
OPERADOR C05	27,88	OPERADOR C39	25,17
OPERADOR C06	23,06	OPERADOR C40	24,49
OPERADOR C07	22,79	OPERADOR C41	27,01
OPERADOR C08	25,62	OPERADOR C42	25,41
OPERADOR C09	23,05	OPERADOR C43	24,29
OPERADOR C10	24,53	OPERADOR C44	22,10
OPERADOR C11	24,07	OPERADOR C45	26,77
OPERADOR C12	22,48	OPERADOR C46	25,38
OPERADOR C13	22,18	OPERADOR C47	23,18
OPERADOR C14	19,39	OPERADOR C48	24,26
OPERADOR C15	26,63	OPERADOR C49	24,28
OPERADOR C16	27,70	OPERADOR C50	22,62
OPERADOR C17	25,59	OPERADOR C51	26,33
OPERADOR C18	21,95	OPERADOR C52	27,08
OPERADOR C19	20,34	OPERADOR C53	24,19
OPERADOR C20	27,45	OPERADOR C54	24,81
OPERADOR C21	24,91	OPERADOR C55	26,76
OPERADOR C22	24,75	OPERADOR C56	22,86
OPERADOR C23	23,88	OPERADOR C57	24,57
OPERADOR C24	25,11	OPERADOR C58	25,02
OPERADOR C25	24,53	OPERADOR C59	25,52
OPERADOR C26	25,68	OPERADOR C60	23,50
OPERADOR C27	25,60	OPERADOR C61	24,17
OPERADOR C28	24,89	OPERADOR C62	21,78
OPERADOR C29	24,19	OPERADOR C63	27,05
OPERADOR C30	21,59	OPERADOR C64	22,97
OPERADOR C31	25,59	OPERADOR C65	24,10
OPERADOR C32	23,45	OPERADOR C66	27,13
OPERADOR C33	22,75	OPERADOR C67	23,94
OPERADOR C34	22,67	<b>Promedio General</b>	<b>24,52</b>

De la tabla podemos ver que el promedio de velocidad vacío es de 24,52 km/hr de la muestra total, comparando con el valor máximo establecido en el PETS se ubica cerca a la mitad de la velocidad permitida en condiciones normales, lo que significa que ese valor se puede incrementar en la medida

en que la operación y las condiciones lo permitan, trabajando principalmente en los operadores que tienen las velocidades más bajas. Es de esta manera, que de la tabla 17, tomamos a los 10 operadores que tienen las velocidades más bajas para el reentrenamiento, control y monitoreo para la prueba piloto y poder replicar en el resto de los operadores y también a los 10 mejores operadores que son de apoyo en dicho proceso.

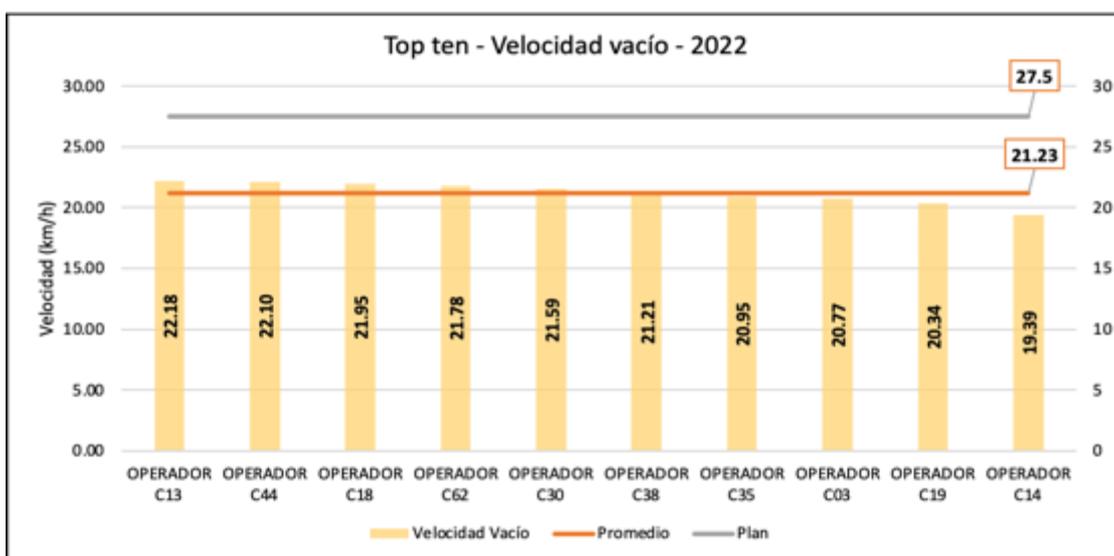
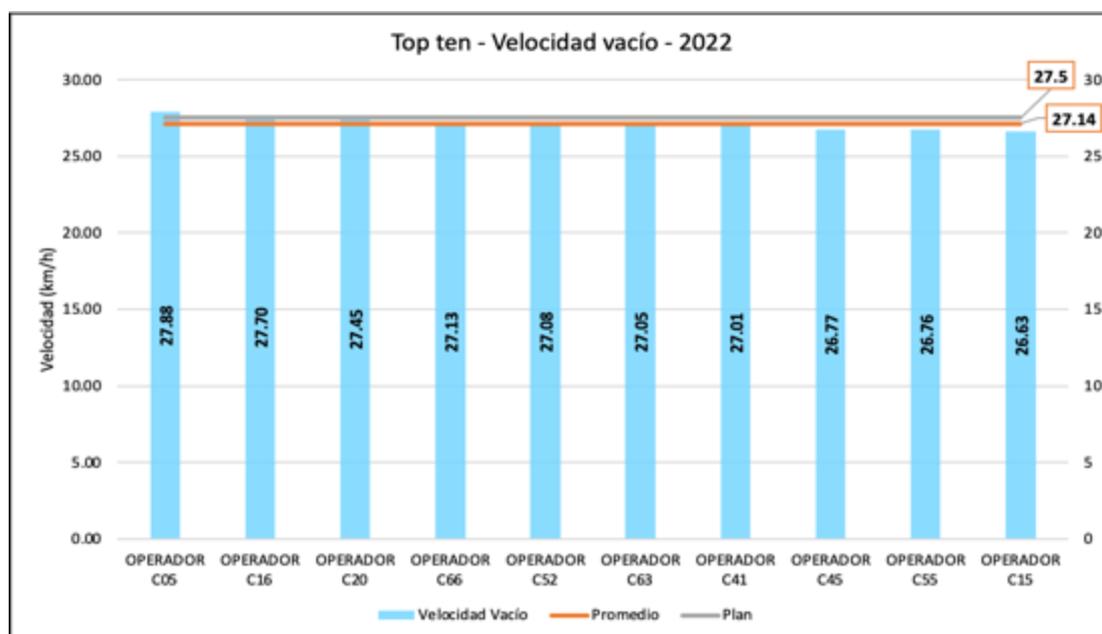


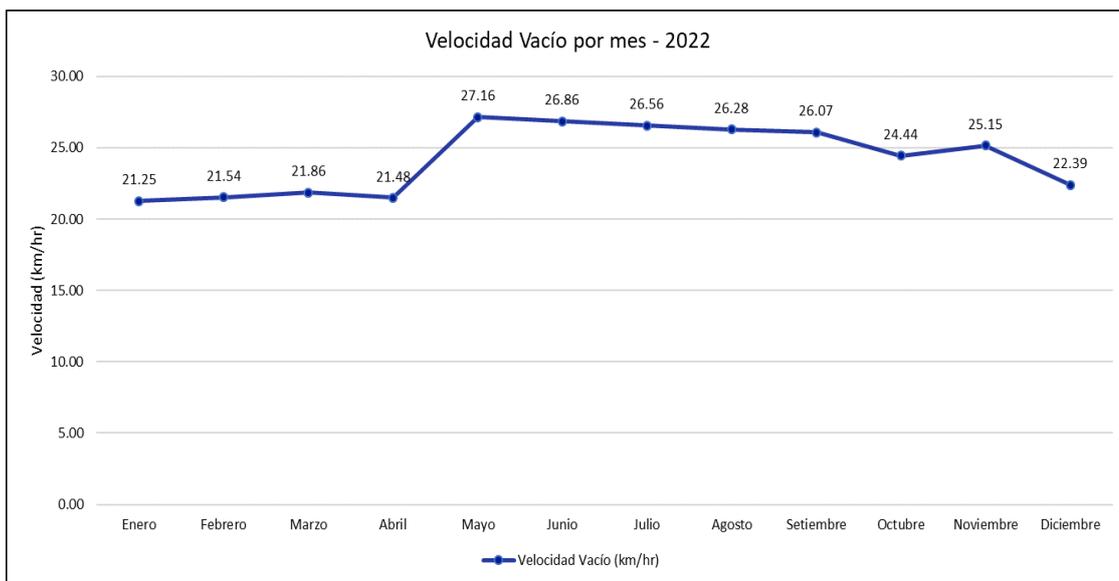
Figura 19 — Top ten de velocidades en vacío del año 2022.

La figura 20 nos muestra el top ten de los operadores que obtuvieron las peores velocidades en vacío durante el año 2022 y logrando un promedio de 21,23 km/hr, también se puede observar que ninguno de los operadores del top ten pudo llegar al plan establecido que es 27,5 km/hr, habiendo una diferencia entre el promedio y el plan de 6,27 km/hr.



**Figura 20 — Top ten de velocidades en vacío del año 2022 según plan establecido.**

Por otra parte, tenemos al top 10 de los operadores con mejores velocidades de la muestra total como se muestra en la figura 27, que tienen una media de 27,14 km/hr, pero tampoco cumpliendo con el plan establecido de 27,5 km/hr, solo dos de los operadores (OPERADOR C05 y OPERADOR C16) del top ten lograron pasar el plan.



**Figura 21 — Velocidades en vacío del año 2022.**

La figura 22, muestra los promedios mensuales de las velocidades de los camiones en vacío, donde se evidencia que en los meses lluviosos las velocidades son menores respecto a los meses secos, de igual forma el plan promedio considerando tanto meses lluviosos como secos es de 27,5 km/hr y comparando con el mes a mes se puede apreciar que ninguno de los meses se llega a cumplir el plan establecido por la compañía minera.

#### **b) Velocidad de camiones cargados**

De igual forma se analiza las velocidades de los camiones cargados de forma general puesto que todos los camiones tienen las mismas prestaciones técnicas respecto a la velocidad, para el análisis también se elabora una tabla con los promedios anuales de los operadores de la muestra y poder elaborar los rankings y trabajar de forma más específica.



Tabla 10 — Velocidad de camiones cargados por operador, 2022.

Operador de Camión	Velocidad Cargado (km/h)	Operador de Camión	Velocidad Cargado (km/h)
OPERADOR C01	14,93	OPERADOR C35	15,38
OPERADOR C02	15,98	OPERADOR C36	18,65
OPERADOR C03	14,51	OPERADOR C37	16,06
OPERADOR C04	18,09	OPERADOR C38	14,43
OPERADOR C05	16,01	OPERADOR C39	18,04
OPERADOR C06	15,49	OPERADOR C40	17,99
OPERADOR C07	15,61	OPERADOR C41	15,53
OPERADOR C08	18,99	OPERADOR C42	17,95
OPERADOR C09	15,24	OPERADOR C43	15,07
OPERADOR C10	18,48	OPERADOR C44	15,06
OPERADOR C11	18,08	OPERADOR C45	18,33
OPERADOR C12	14,85	OPERADOR C46	18,38
OPERADOR C13	14,83	OPERADOR C47	17,95
OPERADOR C14	14,50	OPERADOR C48	17,96
OPERADOR C15	19,74	OPERADOR C49	15,65
OPERADOR C16	18,12	OPERADOR C50	15,56
OPERADOR C17	18,79	OPERADOR C51	18,21
OPERADOR C18	15,98	OPERADOR C52	19,40
OPERADOR C19	14,51	OPERADOR C53	15,00
OPERADOR C20	18,33	OPERADOR C54	18,15
OPERADOR C21	15,55	OPERADOR C55	16,05
OPERADOR C22	15,66	OPERADOR C56	15,12
OPERADOR C23	15,40	OPERADOR C57	18,56
OPERADOR C24	18,22	OPERADOR C58	16,00
OPERADOR C25	15,44	OPERADOR C59	15,66
OPERADOR C26	17,98	OPERADOR C60	15,62
OPERADOR C27	18,14	OPERADOR C61	18,15
OPERADOR C28	18,22	OPERADOR C62	15,07
OPERADOR C29	18,45	OPERADOR C63	20,17
OPERADOR C30	14,49	OPERADOR C64	15,38
OPERADOR C31	18,03	OPERADOR C65	15,51
OPERADOR C32	15,59	OPERADOR C66	18,90
OPERADOR C33	14,92	OPERADOR C67	15,04
OPERADOR C34	15,30	<b>Promedio general</b>	<b>16,66</b>

La tabla 19 muestra el promedio anual del año 2022 de las velocidades de los camiones cargados, donde el promedio general de la muestra es de 16,66 km/hr superando el plan de 15,0 km/hr, pero para la propuesta de mejora es necesario ver el ranking de los que mejores velocidades tienen y de los que no.

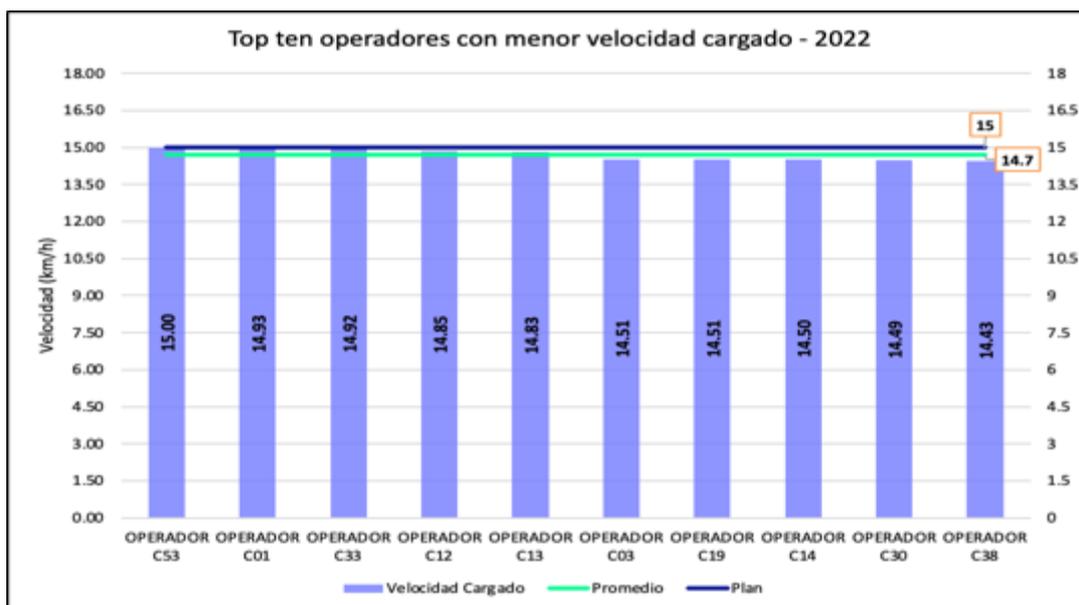


Figura 22 — Top ten de operadores con menor velocidad cargado en el año 2022.

La figura 23 es el top ten del año 2022 de los operadores que obtuvieron las velocidades cargados más bajas, podemos ver que el promedio general de los 10 operadores es de 14,7 km/hr no llegando a cumplir con el plan establecido.

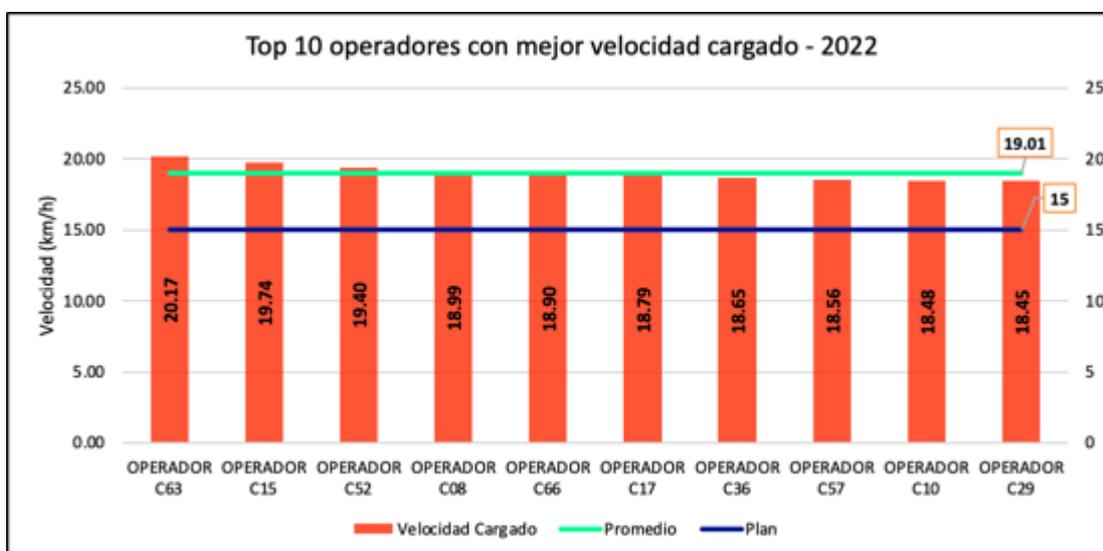
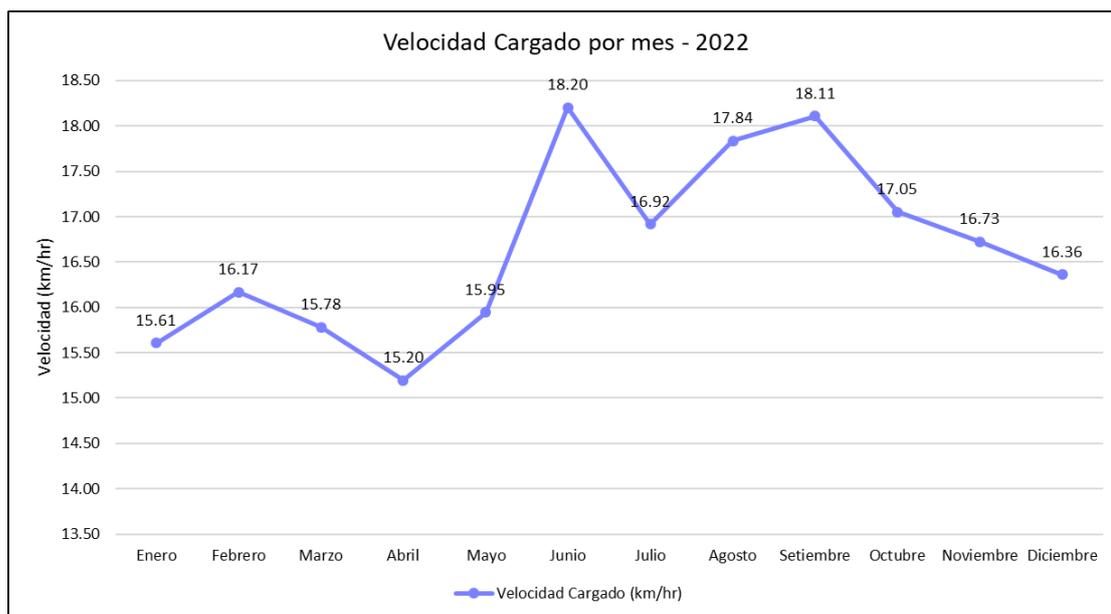


Figura 23 — Top ten de operadores con mejor velocidad cargada en el año 2022.

La figura 24, muestra el top ten de los operadores con mejor velocidad cargado del año 2022, logrando un promedio de 19,01 km/h superando el plan en 3,99 km/h.





**Figura 24 — Velocidad cargado por mes en el 2022.**

La figura 25, muestra los promedios mensuales de las velocidades cargados del año 2022, de igual forma que la velocidad en vacío, se puede apreciar que los menores valores están en los meses lluviosos y los más altos en los meses secos.

Finalmente, para poder controlar y monitorear las velocidades se hizo a través una herramienta computacional con la que cuenta la empresa minera, el cual resume los datos obtenidos por Dispatch.



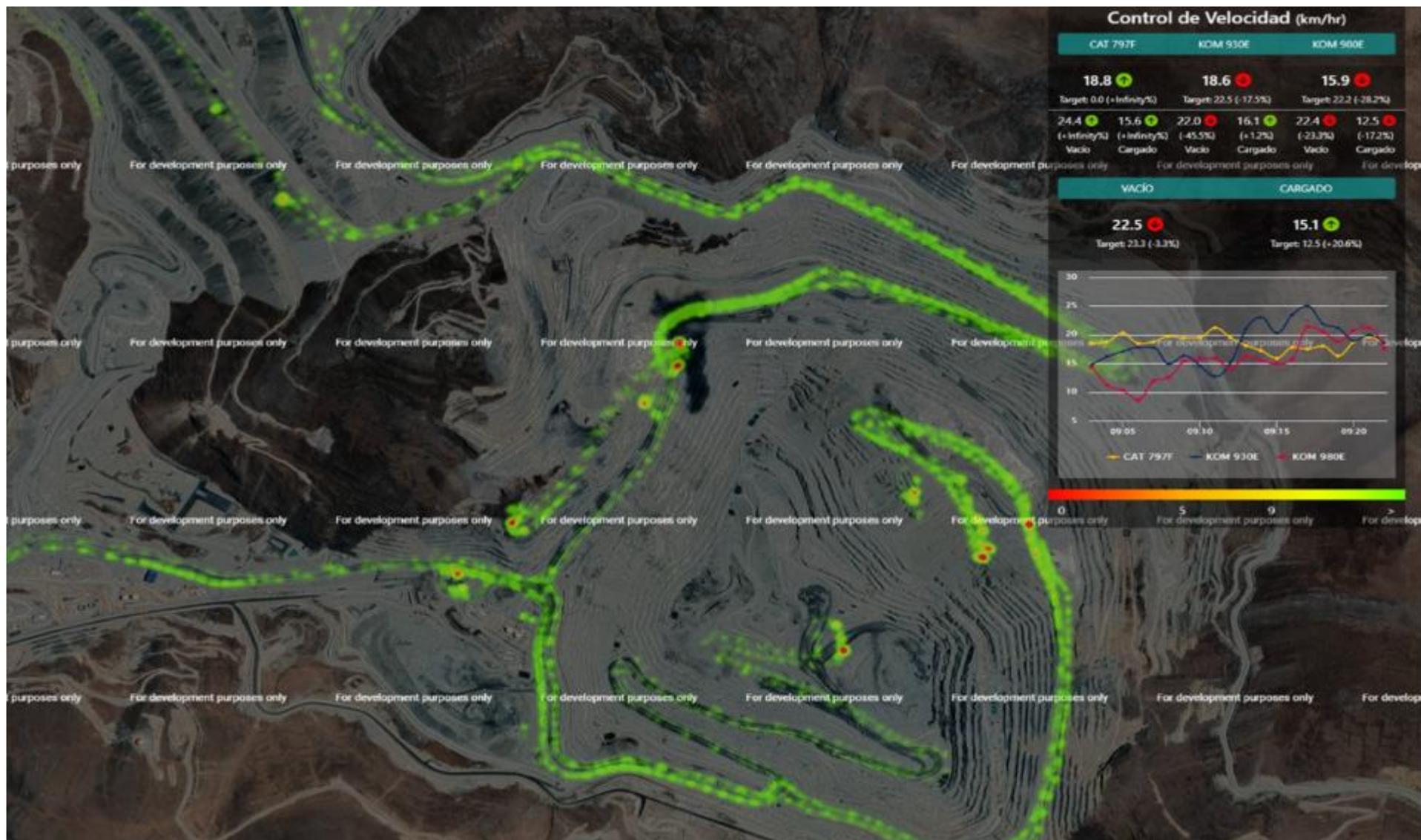


Figura 25 — Monitoreo en tiempo real de las velocidades de camión

Extraído de: Gestión mina, Las Bambas, 2023.

La figura N°25 muestra el reporte que monitorea en tiempo real las velocidades de los camiones, los puntos verdes representan que se está cumpliendo el plan, mientras que los puntos rojos nos indican que las velocidades son menores al plan, con este reporte podemos actuar de forma inmediata en las zonas o tramos de la mina y tomar acción del porque no se cumple el plan.

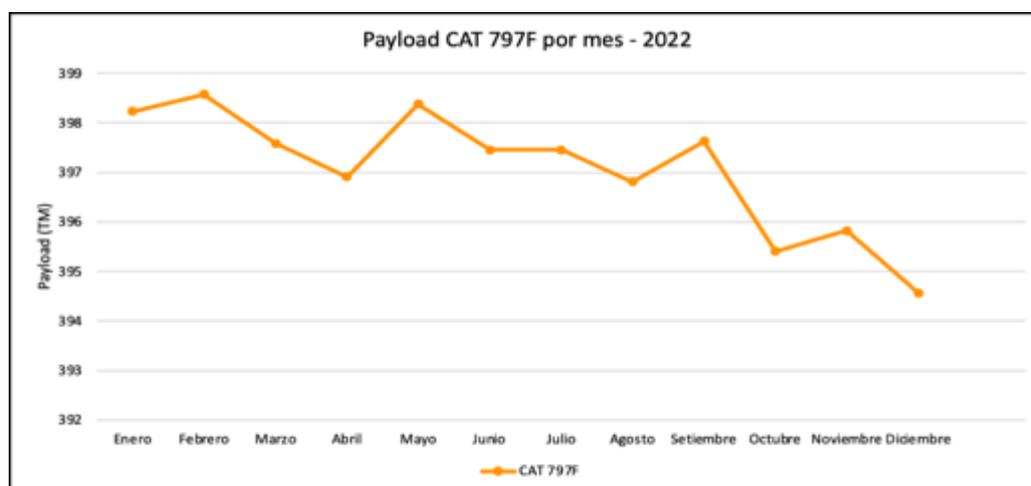
#### 4.4.4.2 Carga útil (Payload)

La carga útil de los camiones mineros es variable ya que depende del modelo y del tonelaje que estos pueden cargar por recomendación del fabricante, en caso de La mina Las Bambas, cuenta con 3 modelos de camión, además debemos entender que el payload o carga útil depende en gran medida del operador de pala quien tiene el control de dicho tonelaje, para ello se elaboró los siguientes gráficos que nos muestren los detalles significativos del análisis del payload:

**Tabla 11 — Carga útil según modelo de camiones.**

Modelo	Tonelaje Seco (t)	Tonelaje Humedo (t) 3% Humedad
Cat 797F	394	406
Komatsu 980E	383	395
Komatsu 930E-4SE	305	314

Empezamos con el análisis de la humedad para ver si es un factor determinante en la carga útil o payload:



**Figura 26 — Payload de los camiones CAT 797F por mes en el año 2022.**



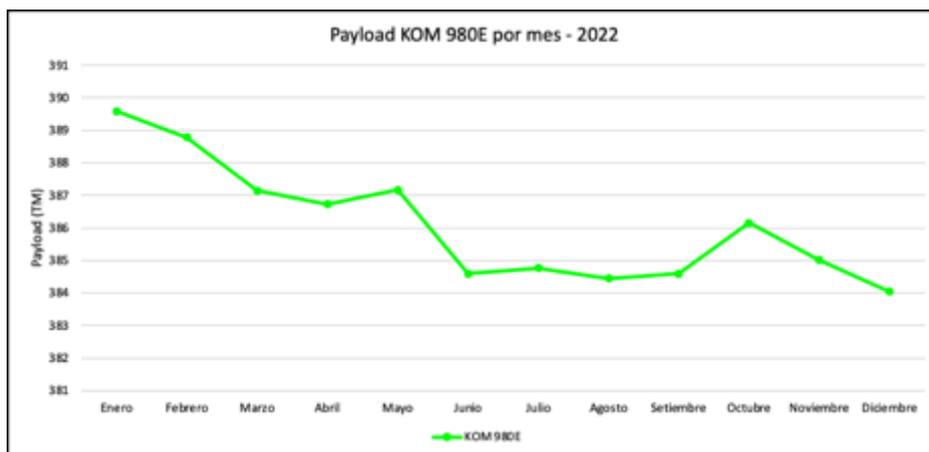


Figura 27 — Payload de los camiones KOM 980E por mes en el año 2022.

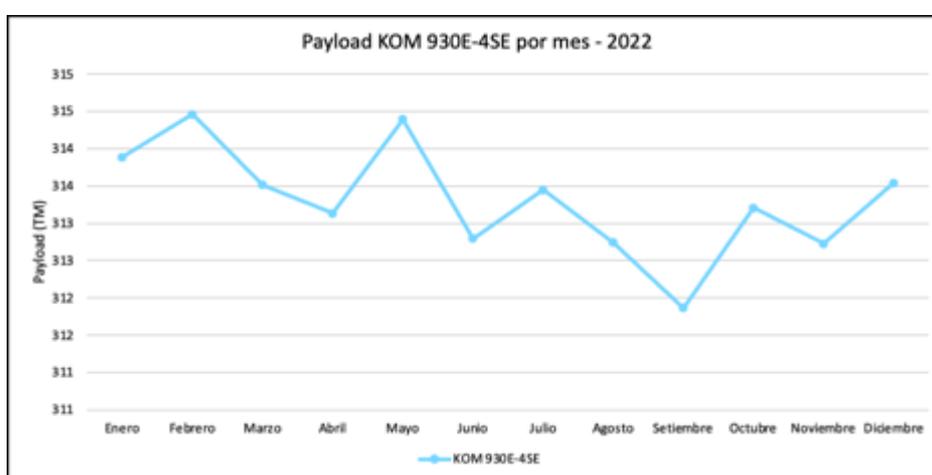
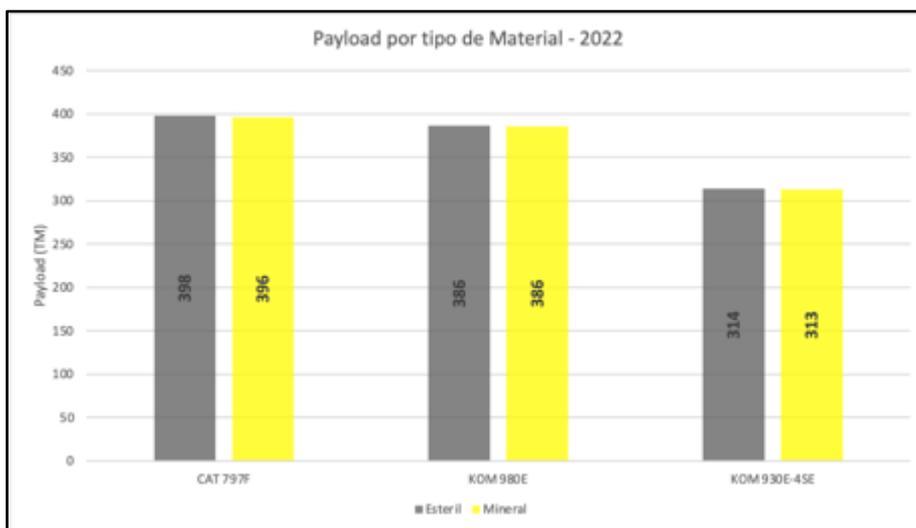


Figura 28 — Carga útil de los camiones KOM 930E-4SE por mes en el año 2022.

Como se aprecia en las figuras 27, 28 y 29, hay una clara tendencia a la baja, el mes de enero (mes lluvioso) se arranca con un buen payload y de mes en mes va bajando con ligeras subidas en algunos meses, para el caso de los tres modelos de camiones. Si la humedad fuera un factor determinante se vería que los meses húmedos tengan los valores más bajos y los meses secos con los más altos tonelajes, cosa que no se puede apreciar ello. En los gráficos se aprecian en los camiones CAT 797F y KOM 980E que los meses con más bajas cargas son noviembre y diciembre, por el contrario, en los camiones KOM 930E es en el mes de setiembre, viendo que no hay una clara tendencia de caída por humedad, recordemos que en la zona donde se ubica la mina los meses más húmedos y lluviosos empiezan en diciembre llegando a su pico máximo en marzo.



Por otro lado, se analizó la carga útil (payload) por tipo de material, como muestra la figura siguiente:



**Figura 29 — Payload por tipo de material**

En la figura 29, se aprecia que cuando se carga material estéril es donde se gana más tonelaje cuando debería ser lo contrario por la densidad y factor de esponjamiento, ya que se sobreentiende que el material mineral es el de mayor densidad. Por lo cual, no se tendría problemas para elevar en ambos tipos de materiales el payload.

Considerando la humedad, la densidad como principales factores que intervienen en el payload, del análisis realizado con los datos obtenidos del año 2022 vemos que no son determinantes a la hora de incrementarlos, por lo que nos centraremos en la experiencia de los operadores, sin dejar de lado dichos factores mencionados, así como las condiciones de los frentes de minado, fragmentación del material entre otros que puedan afectar directa o indirectamente el payload.

Por otra parte, los datos de carga útil del año 2022 se resumieron en promedios mensuales por operador de pala eléctrica, con el fin de entregarles un formato donde muestre los valores que obtuvieron en dicho año y puedan mejorar para el año 2023, a continuación, el ejemplo del formato entregado a los operadores de pala.



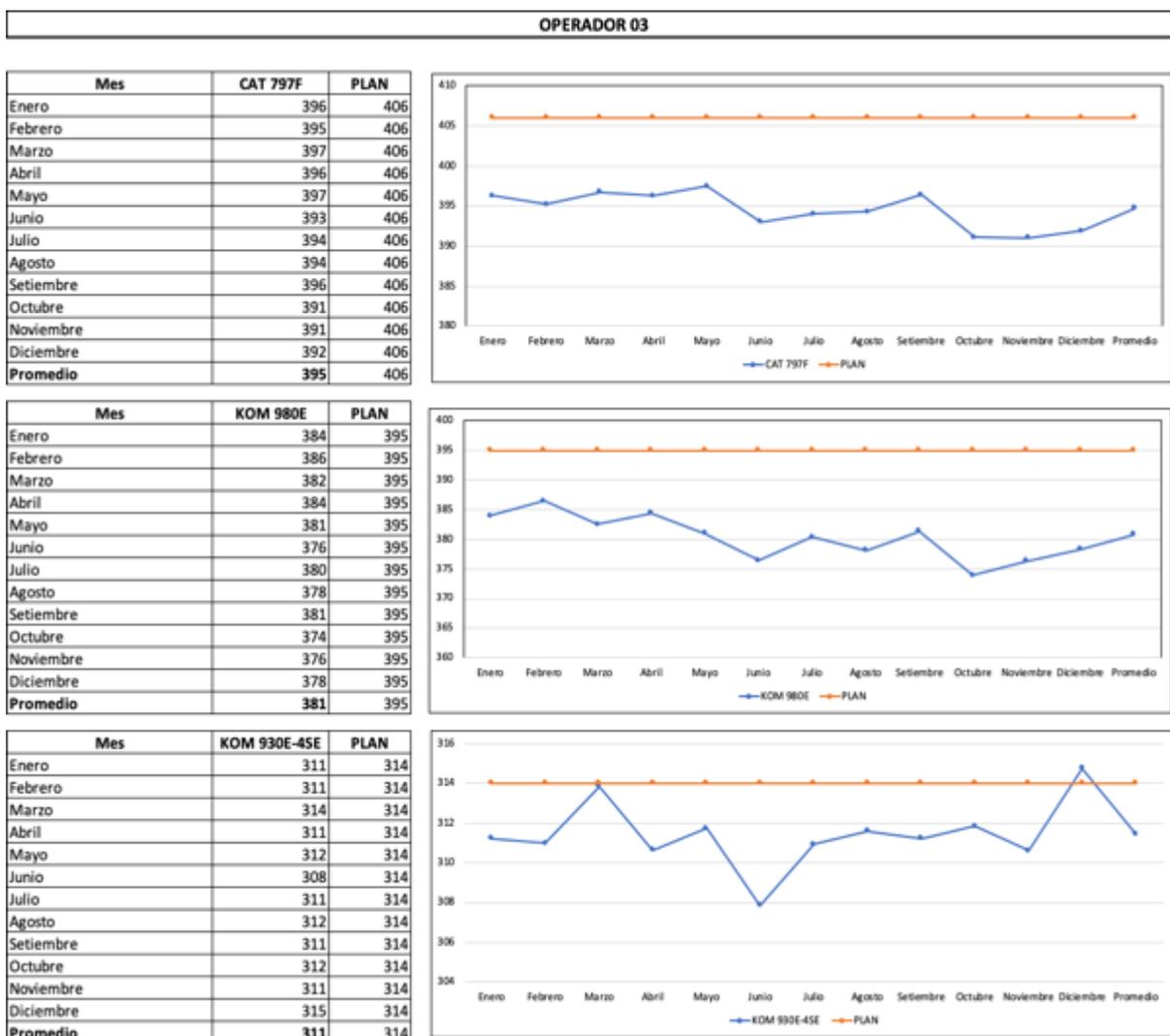


Figura 30 — Formato de control de payload por operador en el año 2022.

Fuera de ello se elaboró el ranking de los operadores de las palas eléctricas con los datos de la carga útil del año 2022, con la finalidad de conocer que paleros cargan mejor y quienes no y de esta manera centrar los esfuerzos, pero para ello se analizó por modelo de camión como se muestra a continuación:



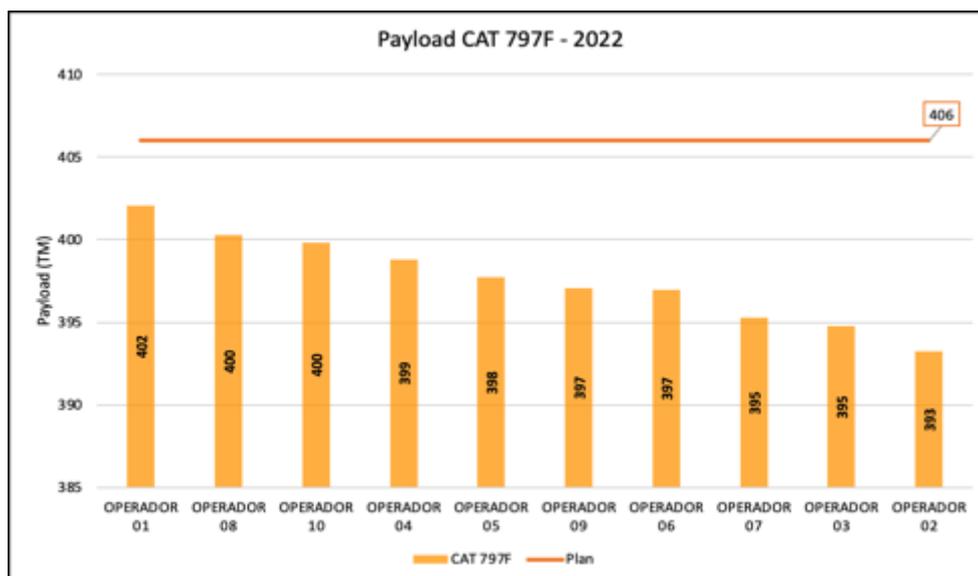


Figura 31 — Payload por operador de pala CAT 797F del año 2022.

La figura 31, muestra el promedio del año 2022 de la carga útil de los camiones Caterpillar 797F, y como se puede ver nadie pudo cumplir el plan que son 406 toneladas.

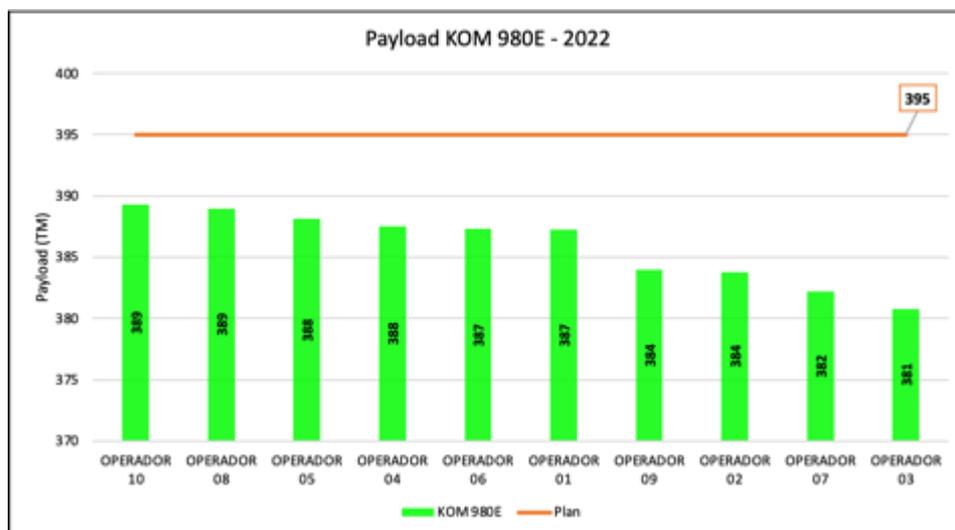


Figura 32 — Payload por operador de pala KOM 980E del año 2022.

En la figura 32, se muestran el ranking con las barras que son el promedio anual 2022 de la carga útil de los camiones Komatsu 980E, acá tampoco ningún operador cumplió la meta de 395 toneladas.

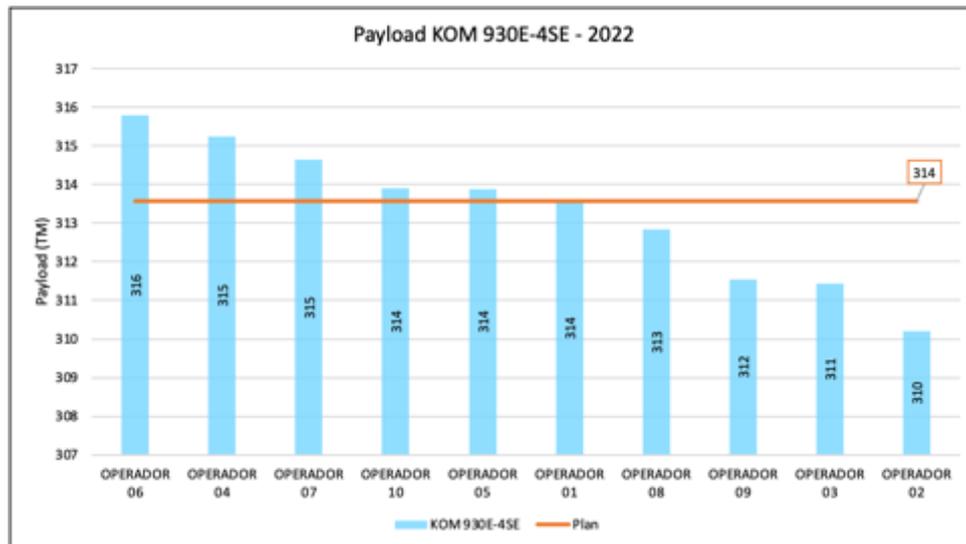


Figura 33 — Payload por operador de pala CAT 930E-4SE del año 2022.

La figura 33, es el ranking de los operadores de pala con sus promedios anuales del 2022 de la carga útil de los camiones Komatsu 930E-4SE, donde se aprecia que el 60% de los operadores pudo cumplir el plan de 314 toneladas.

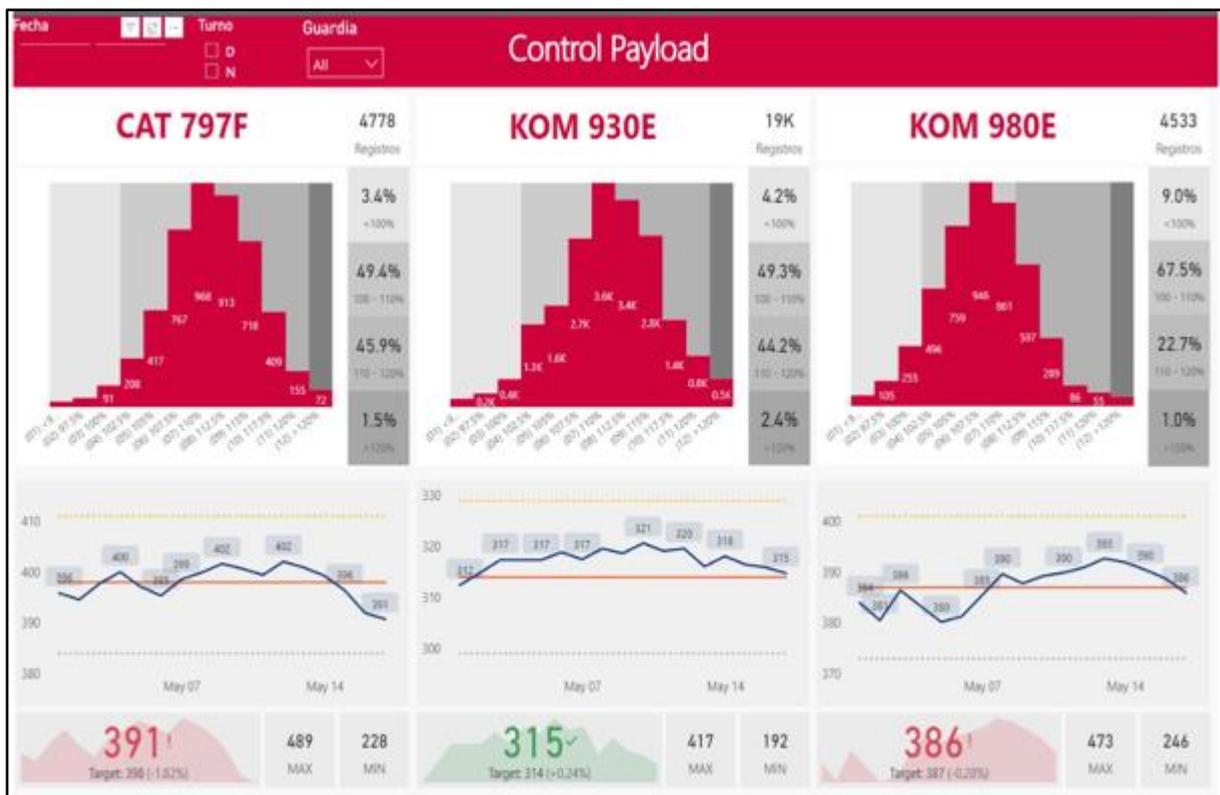


Figura 34 — Reporte en tiempo real de la carga útil  
 Extraído de: Gestión Mina, Las Bambas, 2023.

La figura 34, es un reporte en tiempo real que ayuda al control y monitoreo de la carga útil, con esta ayuda también se puede tomar acción inmediata si hay demasiada variación respecto al plan.

#### 4.4.4.3 Tiempos de ciclo

##### a) Tiempo de carguío

De igual forma se hizo los gráficos estadísticos que nos muestren los tiempos que logran los operadores de pala al cargar un camión indistintamente del modelo, cabe mencionar que los operadores son multifuncionales lo que significa que operan ambos modelos de las palas eléctricas que tiene minera Las Bambas, Caterpillar 7495H y P&H 4100XPC, ambas palas de similares prestaciones en capacidad de balde de 109 toneladas métricas, también mencionar que con las palas eléctricas se cargan de forma aleatoria tanto camiones CAT 797F, KOM 980E y KOM 930E-4SE, por lo que todos los operadores de la muestra deberían tener la misma capacidad de carguío.

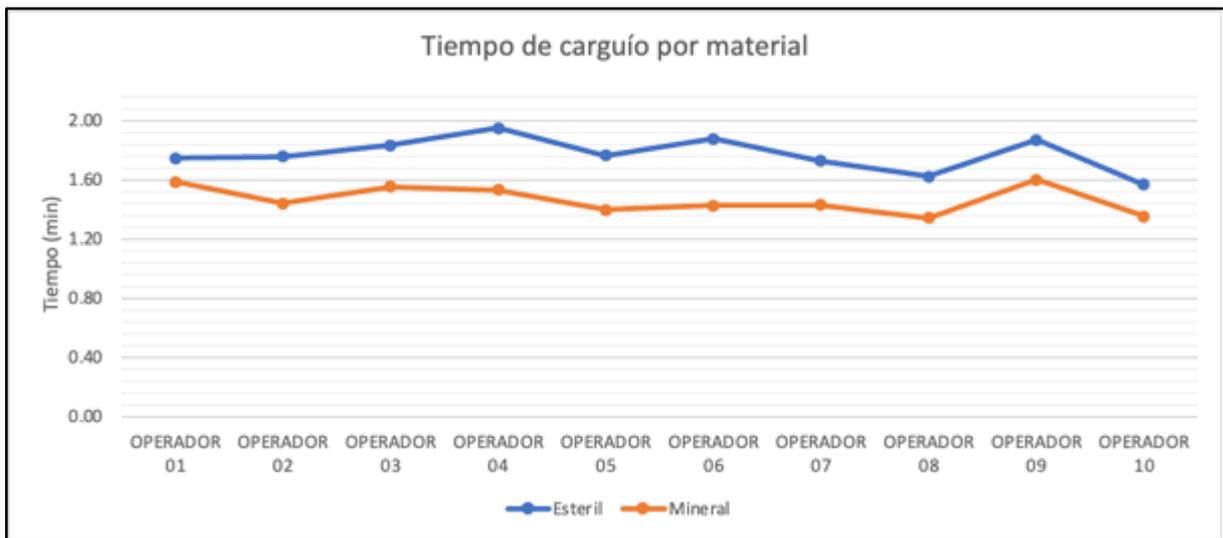
Tabla 12 — Tiempo de carguío - 2022.

Tiempo de Carguío - 2022			
OPERADOR	CAT 797F (min)	KOM 980E (min)	KOM 930E-4SE (min)
OPERADOR DE PALA 01	2,05	1,99	1,43
OPERADOR DE PALA 02	1,95	1,99	1,34
OPERADOR DE PALA 03	2,05	2,04	1,44
OPERADOR DE PALA 04	2,39	2,27	1,50
OPERADOR DE PALA 05	2,04	2,04	1,37
OPERADOR DE PALA 06	2,13	2,17	1,53
OPERADOR DE PALA 07	1,94	1,91	1,34
OPERADOR DE PALA 08	1,86	1,84	1,21
OPERADOR DE PALA 09	2,23	2,18	1,53
OPERADOR DE PALA 10	1,76	1,81	1,23
<b>PROMEDIO</b>	<b>2,03</b>	<b>2,02</b>	<b>1,39</b>

La tabla 12, muestra los valores de los promedios anuales del tiempo de carguío de los operadores de pala del año 2022 por modelo de camión, de esto lo que más nos interesa es el promedio general ya que como se mencionó dichas palas cargan indistintamente del modelo de camión, el promedio general que lograron en el año 2022 fue de 1,66 minutos.

Por otro lado, como dato adicional se hizo el análisis del tiempo de carguío por tipo de material, para determinar si es relevante cuando un operador de pala trabaja en mineral o estéril y que tanto afecta este factor.



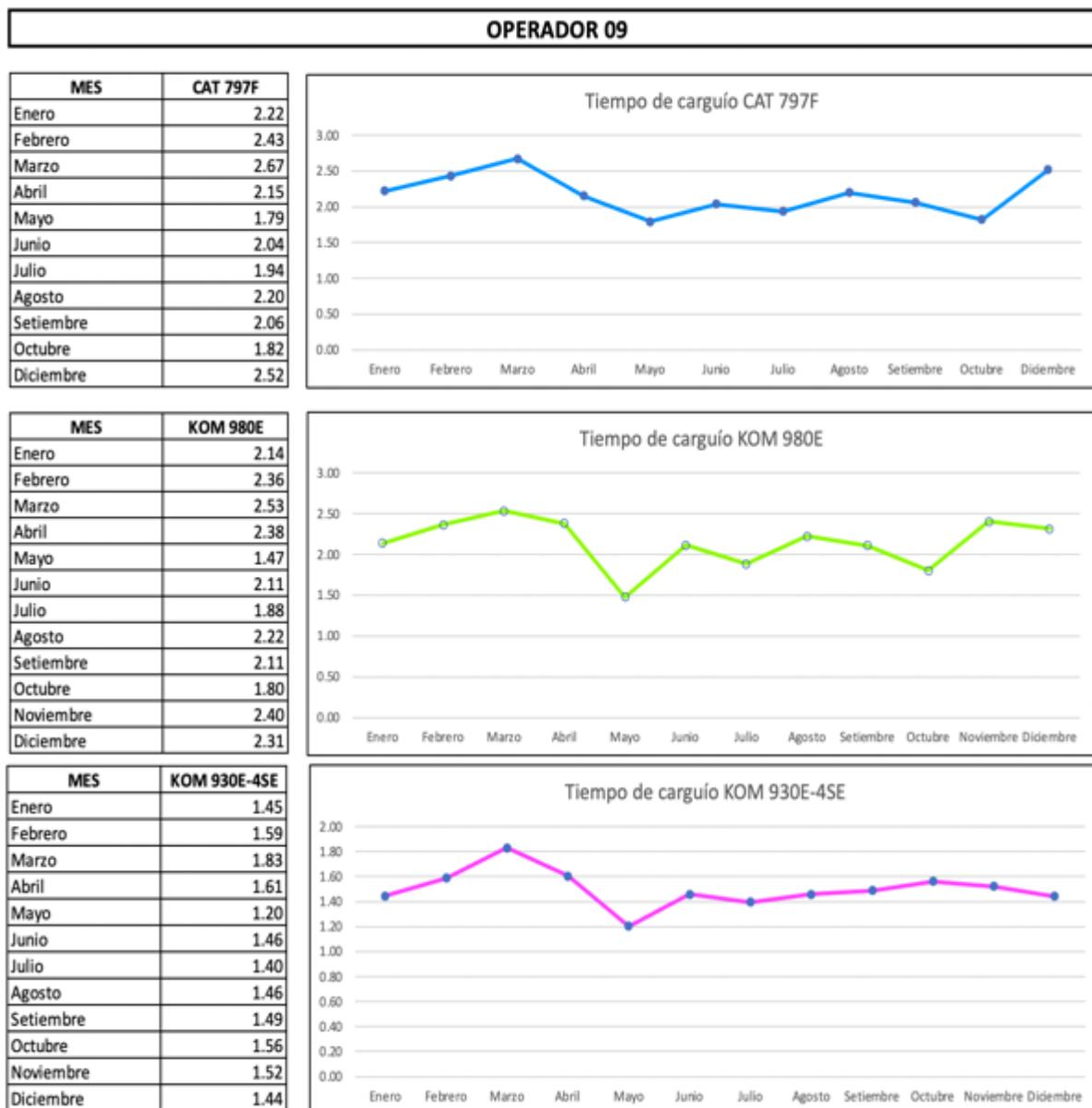


**Figura 35 — Tiempo de carguío por material.**

La figura 35, muestra la tendencia del tiempo de carguío en mineral y desmonte y podemos decir que el tiempo de carguío es menor cuando se trabaja en mineral, esto puede ir ligado principalmente a la densidad del material y la fragmentación del mismo, puesto que el mineral posee mayor densidad frente al desmonte lo que hace que el operador de pala reduzca la cantidad de baldadas al cargar el camión, además de que el mineral tiene una mayor fragmentación lo que lo hace un material más fácil a cargar. Con ello podemos mencionar que cada vez que un operador de pala trabaje en frente de mineral logre disminuir lo mayor que pueda sus tiempos de carguío.

De lo detallado anteriormente, la propuesta principalmente fue el control y monitoreo de los operadores con mayor tiempo, en algunos casos el reentrenamiento, para ello se les dio a los operadores de pala eléctrica sus promedios mensuales de tiempo de carguío del año 2022, como se muestra a continuación.





**Figura 36 — Formato de control de tiempo de carguío por operador.**

La figura 36, es el formato inicial que se les expuso a los operadores de pala con sus promedios mensuales del año 2022 referente a sus tiempos de carguío, con la finalidad de que conozcan donde pueden mejorar.



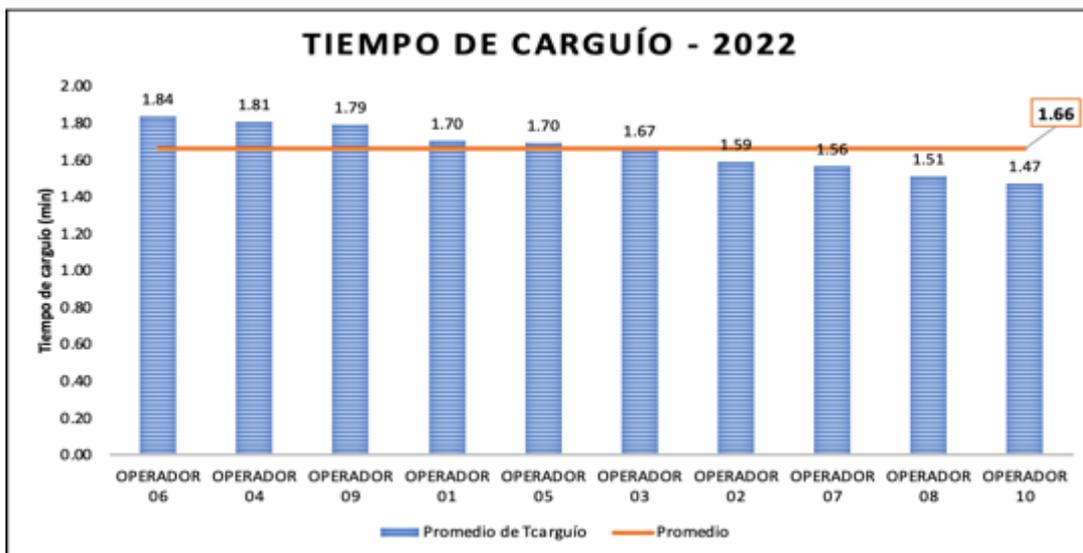


Figura 37 — Tiempo de carguío por operador del 2022.

Por otro lado, la figura 37, muestra el ranking de los operadores de pala eléctrica con mayor tiempo de carguío en el año 2022, logrando un promedio general de 1,66 minutos.

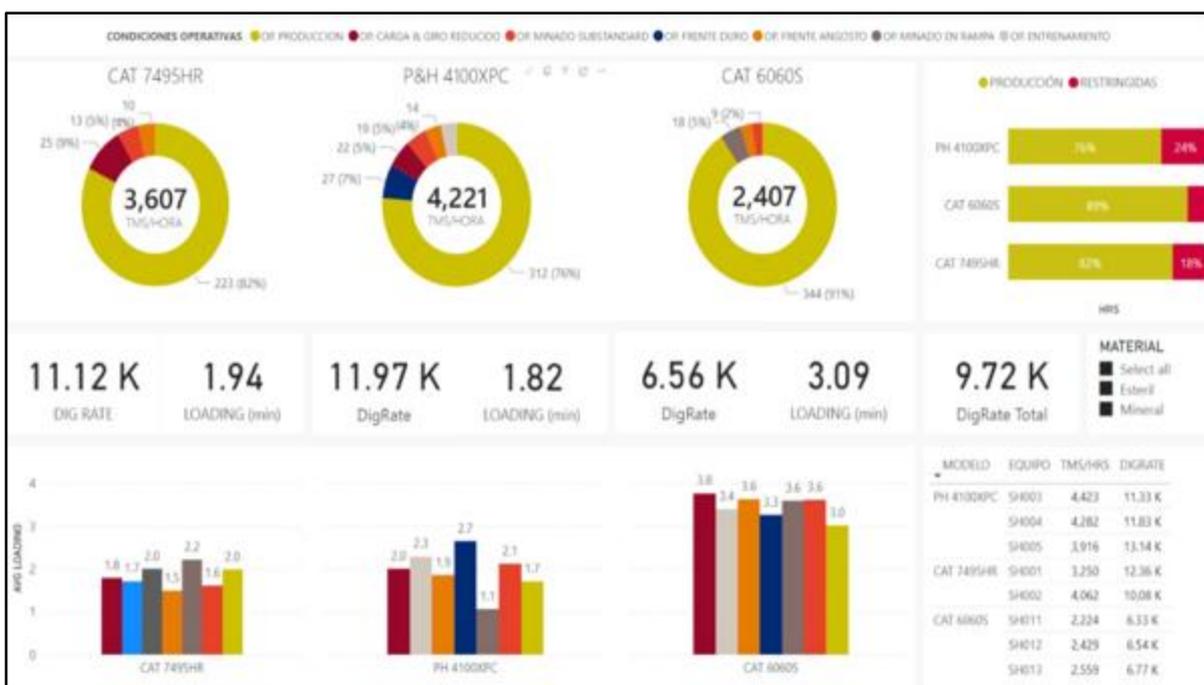


Figura 38 — Reporte en tiempo real de tiempos de carguío.

Fuente: Gestión Mina, Las Bambas, 2023.

Y para el control y monitoreo se usó el reporte en tiempo real de los tiempos de carguío por palas como muestra la figura 39, este reporte nos ayuda a identificar las condiciones del frente de minado y con ello gestionar de mejor manera la flora de acarreo.

### b) Tiempo de cuadrado o aculatamiento

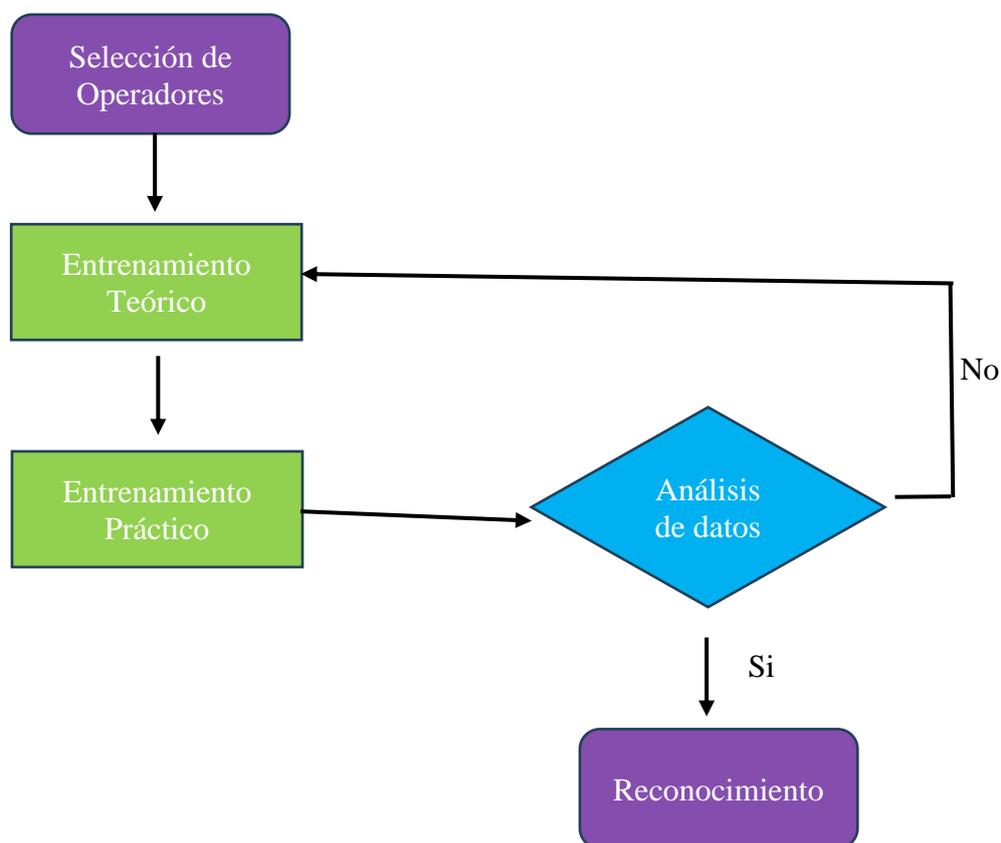
Para esto se trabajó con los 67 operadores de camión, de los cuales se hizo un ranking de 10 operadores con los mejores tiempos y 10 operadores con los peores tiempos y focalizar el esfuerzo de control y monitoreo y si fuese necesario reentrenamiento. Esto también en conjunto con la supervisión de campo quienes son los encargados de dar las condiciones para un mejor cuadrado de los camiones en los frentes de minado. Para tener referencia se tomó en cuenta el plan que es de 0,9 minutos establecido por Minera Las Bambas.

**Tabla 13 — Tiempo de cuadrado por operador de camión, 2022.**

OPERADOR DE CAMIÓN	Tiempo Cuadrado (min)	OPERADOR DE CAMIÓN	Tiempo Cuadrado (min)
OPERADOR C01	1,22	OPERADOR C35	1,08
OPERADOR C02	1,03	OPERADOR C36	1,06
OPERADOR C03	1,22	OPERADOR C37	1,03
OPERADOR C04	0,99	OPERADOR C38	1,15
OPERADOR C05	1,23	OPERADOR C39	1,16
OPERADOR C06	1,09	OPERADOR C40	1,12
OPERADOR C07	0,95	OPERADOR C41	0,99
OPERADOR C08	1,19	OPERADOR C42	1,13
OPERADOR C09	1,19	OPERADOR C43	1,41
OPERADOR C10	1,00	OPERADOR C44	1,10
OPERADOR C11	1,39	OPERADOR C45	1,13
OPERADOR C12	1,06	OPERADOR C46	1,16
OPERADOR C13	1,35	OPERADOR C47	1,15
OPERADOR C14	1,46	OPERADOR C48	1,10
OPERADOR C15	1,30	OPERADOR C49	1,11
OPERADOR C16	1,35	OPERADOR C50	1,15
OPERADOR C17	1,21	OPERADOR C51	1,26
OPERADOR C18	1,00	OPERADOR C52	1,22
OPERADOR C19	1,13	OPERADOR C53	1,15
OPERADOR C20	1,19	OPERADOR C54	1,07
OPERADOR C21	1,17	OPERADOR C55	1,03
OPERADOR C22	1,20	OPERADOR C56	1,17
OPERADOR C23	1,18	OPERADOR C57	1,20
OPERADOR C24	1,18	OPERADOR C58	1,22
OPERADOR C25	1,18	OPERADOR C59	1,21
OPERADOR C26	1,34	OPERADOR C60	1,02
OPERADOR C27	1,13	OPERADOR C61	1,42
OPERADOR C28	1,34	OPERADOR C62	1,12
OPERADOR C29	1,32	OPERADOR C63	1,34
OPERADOR C30	1,12	OPERADOR C64	1,15
OPERADOR C31	1,23	OPERADOR C65	1,16
OPERADOR C32	1,04	OPERADOR C66	1,29
OPERADOR C33	1,16	OPERADOR C67	1,23
OPERADOR C34	1,27	Promedio	1,16

De la siguiente tabla obtenida según base de datos del año 2022, se puede apreciar que ningún operador llega al plan establecido por la compañía que es de 0,90 minutos y que llegaron a un promedio general anual de 1,16 minutos, dicho esto se diseñó el siguiente plan de acción:

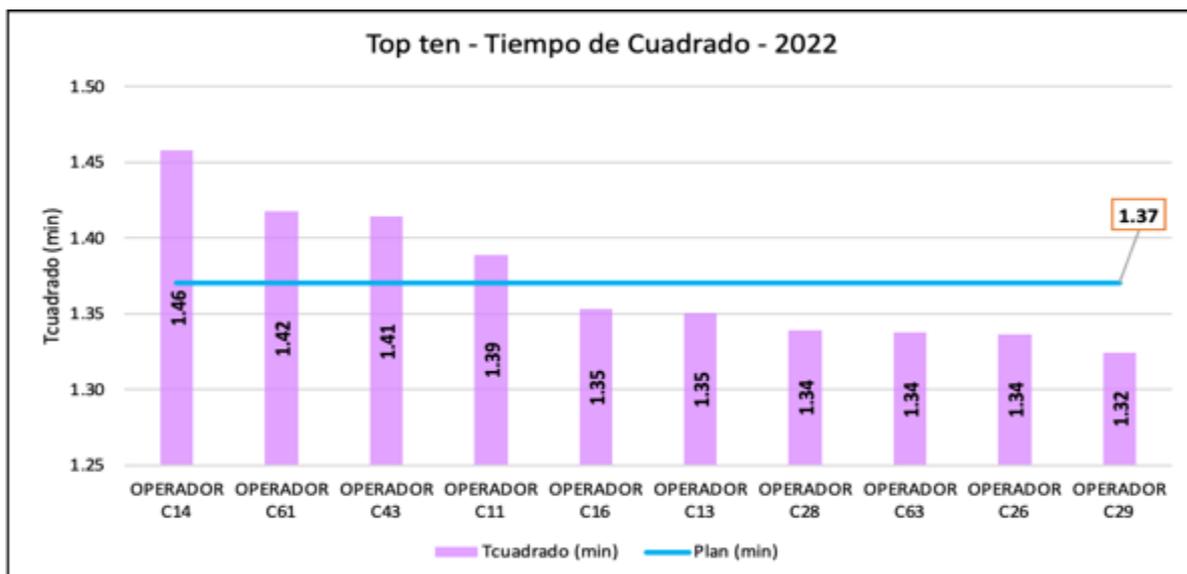
- Selección de los 10 mejores operadores con los tiempos más bajos
- Reentrenamiento teórico con apoyo de los instructores (duración 2 días)
- Reentrenamiento práctico con apoyo de los instructores (duración 5 días)
- Monitoreo y control por supervisor de despacho y supervisión de campo.
- Análisis de los datos obtenidos después del tiempo de reentrenamiento
- Reconocimiento



**Figura 39 — Plan de acción para mejorar el tiempo de cuadrado de camiones.**

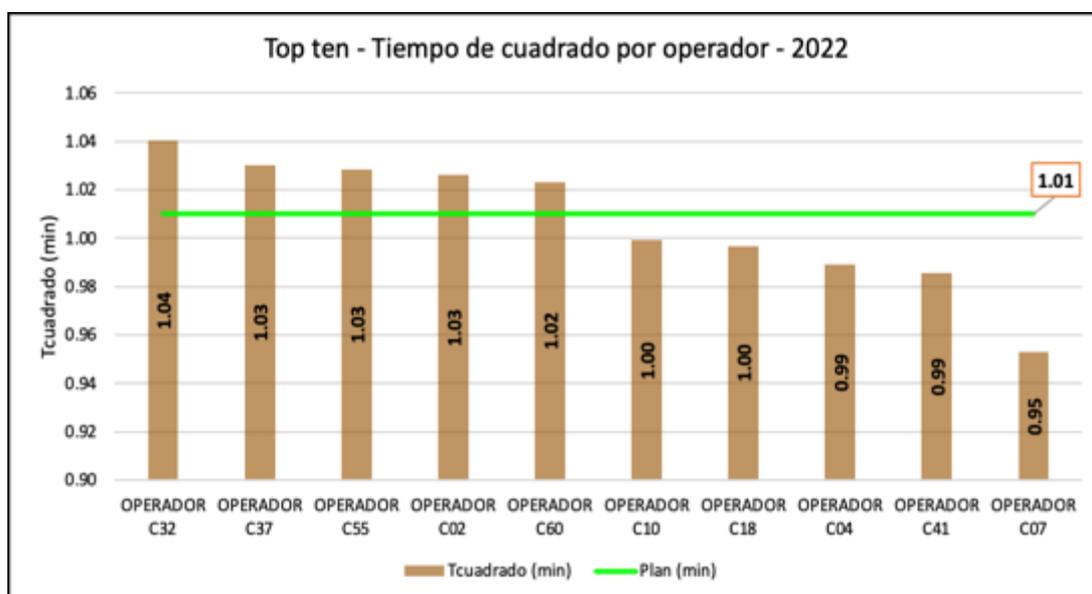
El diagrama muestra el proceso que debe seguir cada operador para lograr optimizar su tiempo de cuadrado, el objetivo es que cada operador sea parte del proceso de cambio y futuro operador guía, esto con el fin de que sea sostenible en el tiempo y no se dependa del área de entrenamiento.





**Figura 40 — Top ten en tiempos de cuadrado en el 2022.**

La figura 40, es el top ten de los operadores que mayor tiempo de cuadrado tuvieron en el año 2022, logrando un promedio de 1,37 minutos, estando muy lejos del plan establecido por la empresa.



**Figura 41 — Top ten en tiempos de cuadrado por operador en el 2022.**

La figura 41, muestra el top ten de los operadores que mejor tiempo de cuadrado obtuvieron durante el año 2022, logrando un promedio de 1,01 minutos, también no cumplieron el plan establecido.



### c) Tiempo de descarga

El tiempo de descarga planificado en Minera Las Bambas es de 0,80 minutos y este valor queda como referencia de mejora.

**Tabla 14 — Tiempo de descarga por operador de camión, 2022.**

OPERADOR DE CAMION	Tiempo de descarga (min)	OPERADOR DE CAMION	Tiempo de descarga (min)
OPERADOR C01	1,14	OPERADOR C35	1,08
OPERADOR C02	1,04	OPERADOR C36	1,08
OPERADOR C03	1,08	OPERADOR C37	1,01
OPERADOR C04	0,86	OPERADOR C38	1,03
OPERADOR C05	1,11	OPERADOR C39	1,07
OPERADOR C06	0,91	OPERADOR C40	1,06
OPERADOR C07	0,73	OPERADOR C41	0,85
OPERADOR C08	1,01	OPERADOR C42	1,09
OPERADOR C09	1,15	OPERADOR C43	1,12
OPERADOR C10	1,23	OPERADOR C44	1,06
OPERADOR C11	1,01	OPERADOR C45	0,89
OPERADOR C12	1,00	OPERADOR C46	1,17
OPERADOR C13	1,04	OPERADOR C47	1,00
OPERADOR C14	1,12	OPERADOR C48	1,04
OPERADOR C15	1,03	OPERADOR C49	0,97
OPERADOR C16	0,98	OPERADOR C50	0,71
OPERADOR C17	0,99	OPERADOR C51	1,17
OPERADOR C18	1,06	OPERADOR C52	1,01
OPERADOR C19	1,06	OPERADOR C53	1,03
OPERADOR C20	0,99	OPERADOR C54	1,04
OPERADOR C21	1,06	OPERADOR C55	0,99
OPERADOR C22	1,06	OPERADOR C56	1,04
OPERADOR C23	1,03	OPERADOR C57	1,04
OPERADOR C24	1,11	OPERADOR C58	0,99
OPERADOR C25	0,81	OPERADOR C59	1,01
OPERADOR C26	0,96	OPERADOR C60	1,06
OPERADOR C27	0,94	OPERADOR C61	1,00
OPERADOR C28	0,90	OPERADOR C62	1,28
OPERADOR C29	1,02	OPERADOR C63	1,08
OPERADOR C30	1,30	OPERADOR C64	1,20
OPERADOR C31	0,98	OPERADOR C65	1,10
OPERADOR C32	1,01	OPERADOR C66	1,00
OPERADOR C33	1,04	OPERADOR C67	1,07
OPERADOR C34	1,03	<b>Promedio</b>	<b>1,03</b>

La tabla 14, muestra los promedios anuales de los tiempos de descarga de los operadores de la muestra en el año 2022, logrando un promedio general de 1,03 minutos que demoran en descargar el material en su destino, muy alejado de lo planificado, para ello nos centramos en la experiencia de los operadores de la muestra, ya que también existen otros factores que pueden ayudar a reducir dicho tiempo como: Equipo auxiliar en zonas de descarga, constante supervisión, condiciones climáticas, condiciones mecánicas del equipo de acarreo, entre otros.

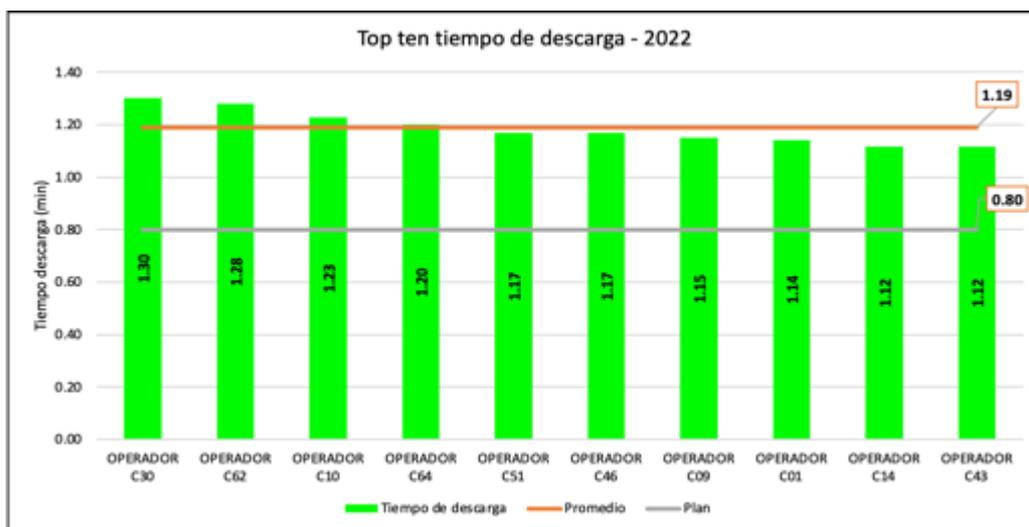


Figura 42 — Tiempo de descarga en el 2022.

La figura 42, muestra el top ten de los operadores con mayor promedio anual en 2022 en tiempo de descarga, obteniendo un promedio general de 1,19 minutos, lejos del plan establecido, este top ten nos ayudará en primera instancia a trabajar con los operadores seleccionados.

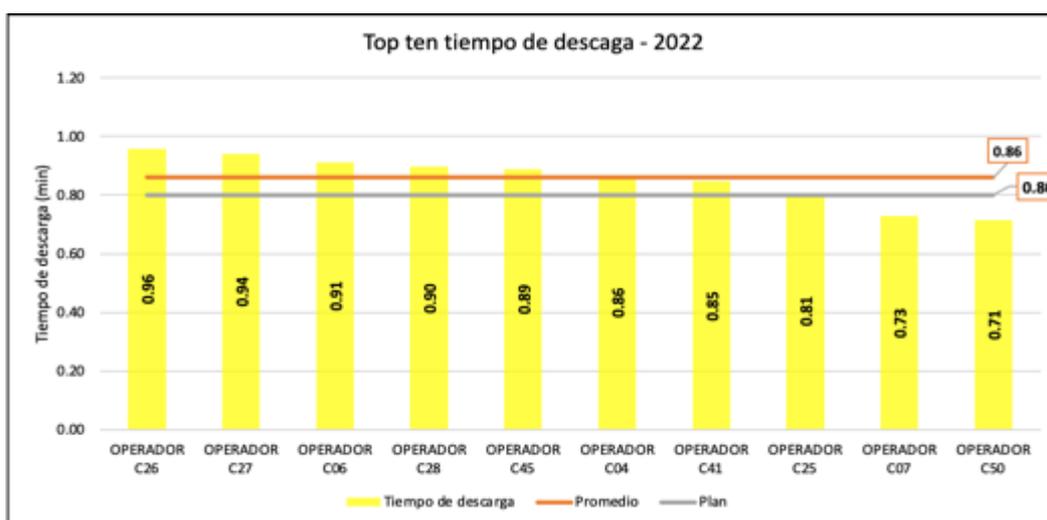


Figura 43 — Tiempo de descarga con menor tiempo en el 2022.

La figura 43, muestra el top ten de los operadores de camión y sus promedios anuales del 2022 del tiempo de descarga, logrando un promedio de 0,86 minutos muy cerca del plan, con este top ten podremos identificar a los mejores operadores de camión respecto al cuadrado y a futuro sean apoyo para sus compañeros.

**d) Tiempo de espera o cola (queue)**

Este indicador depende significativamente de la gestión del supervisor de despacho y de la distribución de la flota de acarreo en las palas, es así como

también el plan para este KPI es de 1,3 minutos como máximo en Minera Las Bambas.

Básicamente lo que tiene que hacer el supervisor de despacho es trasladar la información brindada por campo (supervisores y operadores) y plasmarlos en el sistema de gestión de flotas “Dispatch Modular Mining”, condiciones de frente, condiciones del equipo, rutas de acarreo, entre otros y mantener el equilibrio para que tanto los equipos de carguío no esperen demasiado a los camiones (Hang) como los camiones no esperen demasiado a ser cargados por las palas (Queue).

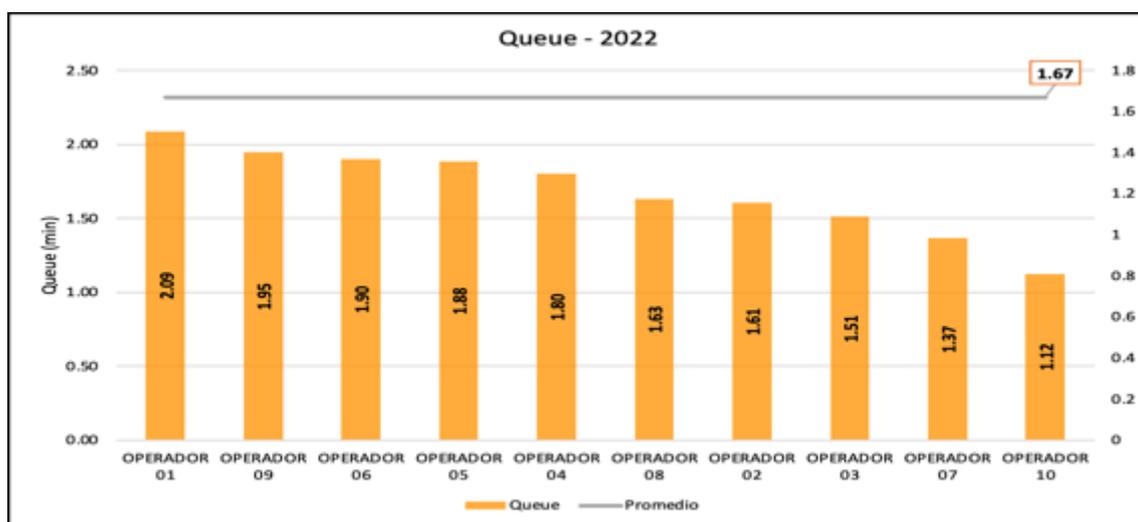


Figura 44 — Tiempo de cola de los camiones en el carguío en el 2022.

La figura 44, muestra el ranking del promedio de cola de camiones por operador de pala eléctrica en el año 2022, logrando un promedio de 1,67 minutos, este ranking nos ayuda a identificar si el operador de pala que más cola tiene es el que más rápido carga que debería ser lo más lógico caso contrario se debería redistribuir mejor la flota de camiones.

**e) Tiempo de espera de pala (hang)**

El tiempo de espera de la pala a un camión o hang va directamente relacionado al control y monitoreo del supervisor de despacho, quien es el encargado de gestionar la flota de carguío y acarreo, en otras palabras, el supervisor de despacho es quien distribuye los camiones hacia las palas según las condiciones que se tienen en campo y las prioridades de minado.

Según plan de Minera Las Bambas el hang no debería exceder más de 1,3 minutos por pala para que dichos equipos logren la mayor productividad



posible. Aunque en la práctica sea más complicada de lo que parece, el objetivo es tratar de mantener un equilibrio para que no se exceda el plan objetivo. De igual forma se hizo el análisis de los tiempos de espera para identificar que operadores de palas son los que más tiempo esperan camiones y se pueda gestionar de mejor forma la distribución del acarreo.

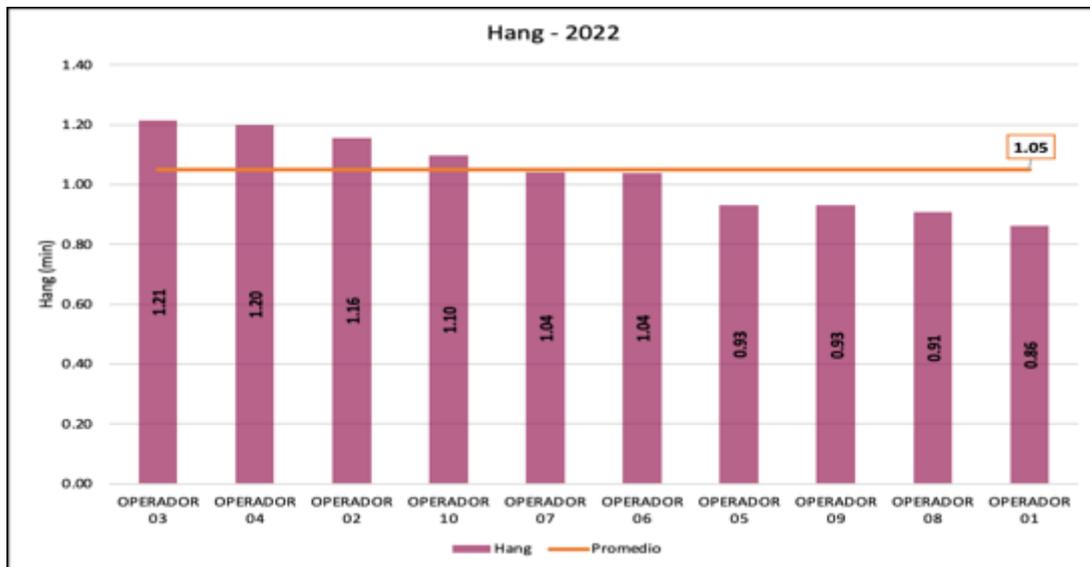


Figura 45 — Tiempo de espera de los camiones en el 2022.

La figura 45, detalla el ranking con el promedio anual del tiempo de espera de la pala (operadores de palas) a los camiones en el año 2022, logrando un promedio de 1,05 minutos, con este ranking podremos identificar si el operador de pala que más tiempo espera camiones es el que más rápido carga o lo contrario para poder gestionar mejor la flota de acarreo.



Figura 46 — Reporte en tiempo real del queue y hang.



La figura 46, es un reporte en tiempo real el cual ayuda a controlar y monitorear el queue y el hang hora a hora, además de otros indicadores como la disponibilidad de las palas, número de camiones requeridos en la operación y la integridad de los datos recolectados por Dispatch.

#### **4.4.5 Control y monitoreo**

Con los datos obtenidos y analizados del año 2022 y sabiendo los planes establecidos por la empresa minera, el plan de acción principal es la gestión de la operación a través del control y monitoreo constante de los KPI's que se están investigando, esto con la ayuda principal del Sistema de Gestión de Flotas y la reportabilidad generada por esta, también se considera el apoyo de la supervisión de campo, instructores de equipo y los demás involucrados.

##### **4.4.5.1 Sistema de Gestión de Flotas (FMS)**

En el mercado existen diferentes sistemas para gestionar la flota de carguío y acarreo, así como de los equipos auxiliares, esto con el fin principal de optimizar los tiempos, insumos, monitoreo en tiempo real de eventos mecánicos y otros. En minera Las Bambas se cuenta con el sistema de la empresa Modular Mining que es el Dispatch, es a través de este sistema que se pretende optimizar los KPI's que son la razón de ser de esta presente investigación. Para ello se detalla un poco lo que viene a ser el Dispatch.

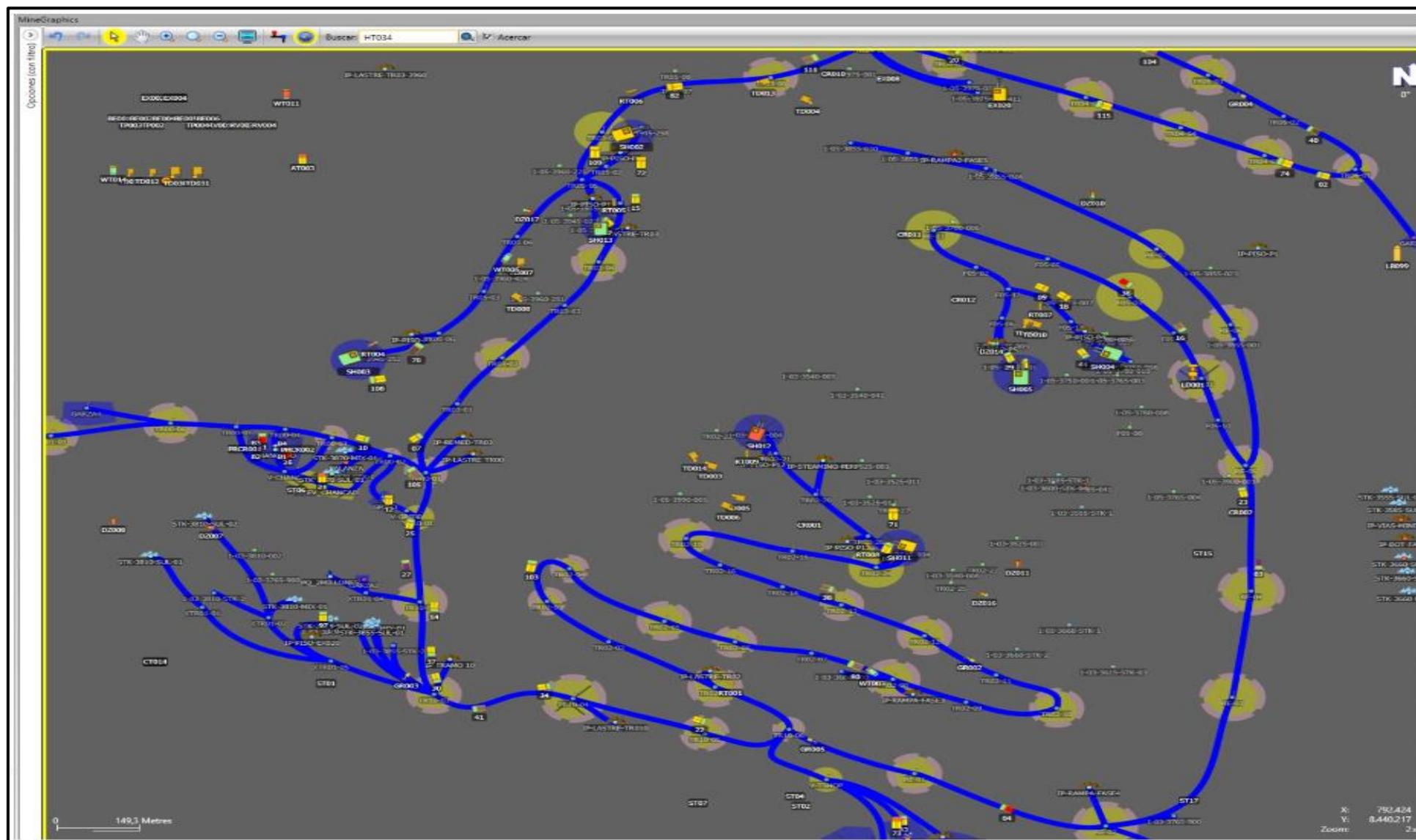


Figura 47 — Módulo MineGraphics del Dispatch.

La figura 47, muestra el módulo MineGraphics del Dispatch, a través del cual se monitorea en tiempo real la flota de carguío y acarreo, ya que estos equipos tienen instalados un GPS.

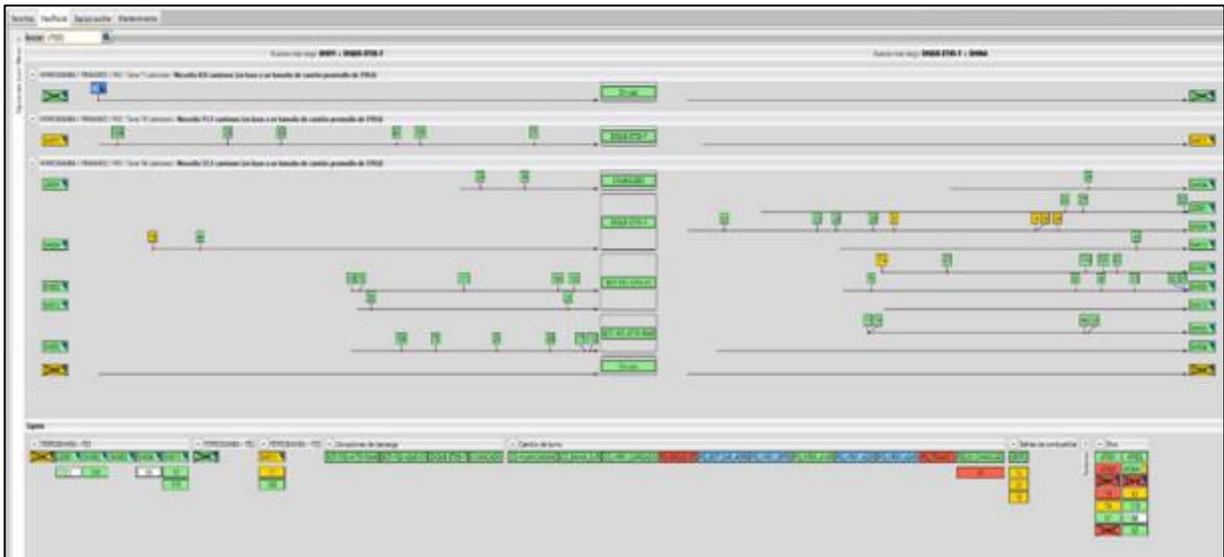


Figura 48 — Módulo HaulRoute

La figura 48, es el módulo HaulRoute, a través del cual se visualiza y controla los orígenes y destinos de la flota de carguío y acarreo.

En el Minegraphics y en el HaulRoute también se puede monitorear en tiempo real los estados de los equipos, las velocidades, carga útil, pendientes, consumo de combustible, TKPH y otros.

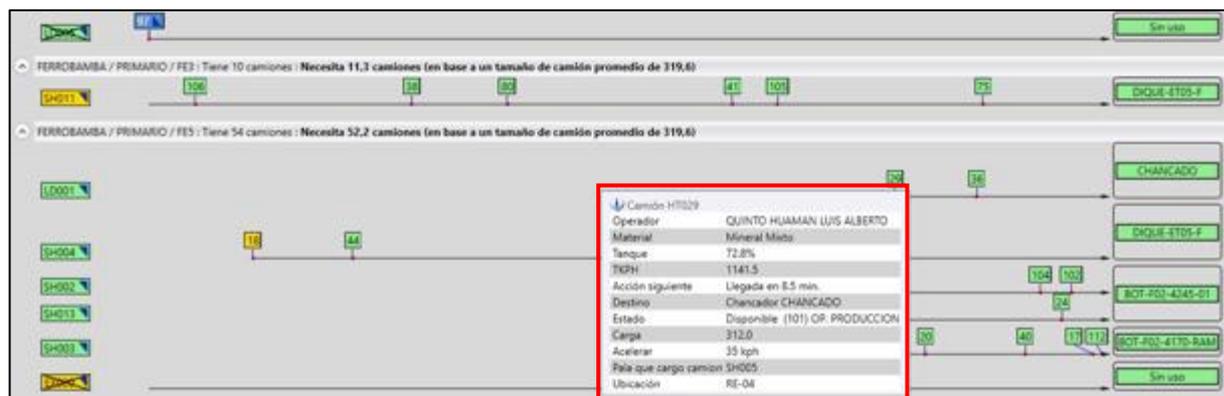


Figura 49 — Monitoreo en tiempo real de algunos indicadores en el HaulRoute

La figura 49, es un ejemplo del monitoreo en tiempo real de algunos indicadores en el HaulRoute, en el cuadro en rojo se puede ver los siguientes datos: Nombre del operador, material que lleva cargado el camión, porcentaje



de combustible, TKPH, ciclo de acarreo, destino de acarreo, estado, carga útil, velocidad, pala en la que cargó el camión.

De esta manera y gracias al sistema Dispatch es que se espera mejorar los KPI's de estudio, considerando también los otros factores anteriormente mencionados.

#### 4.4.6 Soporte de campo

Para lograr los objetivos de la presente investigación que es la optimización de los KPI's de carguío y acarreo e incrementar la productividad de las palas eléctricas y de los camiones, fuera del control y monitoreo que se realiza con el Sistema Dispatch, se necesita el soporte constante de los supervisores de campo, puesto que ellos son los que dan las condiciones operativas como son: Amplios frentes de minado, pisos de pala estables, verificación del mantenimiento de las vías de acarreo, verificación de las zonas de descarga. Por otro lado, se tiene a los instructores de los equipos, ellos se encargan de dar retroalimentación a los operadores en técnicas, maniobras y fortalecer sus capacidades para operar los equipos.



**Figura 50 — Limpieza de piso de pala.**

La figura 50, muestra a un tractor sobre ruedas realizando la limpieza y arreglo del piso de pala, para evitar cortes en neumáticos o atollamiento de camiones o la misma pala.



**Figura 51 — Ampliación de zona de descarga de desmonte.**

La figura 51, nos muestra a un tractor sobre orugas conformando y ampliando la zona de descarga de desmonte para evitar demoras de los camiones en dicha zona.



**Figura 52 — Lastrado en las vías de tránsito de los camiones.**

La figura 52, muestra una motoniveladora lastrando las vías de acarreo para un normal tránsito de los camiones y para evitar cortes en los neumáticos.

Estos son algunos trabajos que gestionan los supervisores de campo para darle continuidad y dinamismo a la operación con el apoyo de los equipos auxiliares.



## 4.5 Técnica e instrumentos

### 4.5.1 Técnicas

Las técnicas que se usaron para el desarrollo de la presente investigación fueron la observación directa y recolección de datos, tanto a través del sistema de gestión de flotas Dispatch y obtenidos en campo, ambos como reportes generados en softwares especializados y cuadernos de apuntes.

### 4.5.2 Instrumentos

Los instrumentos que se usó son los siguientes:

- Cuaderno de campo
- Cámara fotográfica
- Sistema Dispatch
- Excel
- Minitab 17
- Reportes de mina
- Informes

## 4.6 Análisis estadístico

Para el estudio de las variables y sus dimensiones se hizo el análisis estadístico descriptivo, haciendo uso de programas como IBM SPSS Statistics, Minitab 17 y Excel, lo que concierne a las pruebas de normalidad para determinar que estadístico de correlación se debe usar y con ello validar las hipótesis de la investigación.

### 4.6.1 Prueba de normalidad de datos

La prueba de normalidad nos apoyará para poder determinar que estadístico de correlación usar para poder contrastar las hipótesis de la investigación el cual se detallará en las conclusiones, en este apartado solo se determinará la normalidad o no de los datos con los que se trabajó:

- $H_0$ : Los datos tienen una distribución normal
- $H_a$ : Los datos no tienen una distribución normal

El criterio de decisión:

- $P < 0,05$  Rechazamos la  $H_0$  y se acepta la  $H_a$
- $P \geq 0,05$  se acepta la  $H_0$  y se rechaza la  $H_a$

Para dicha prueba se hizo el uso de la herramienta informática MINITAB 19.



### 4.6.1.1 Velocidad cargado y vacío

#### a) Velocidad cargado

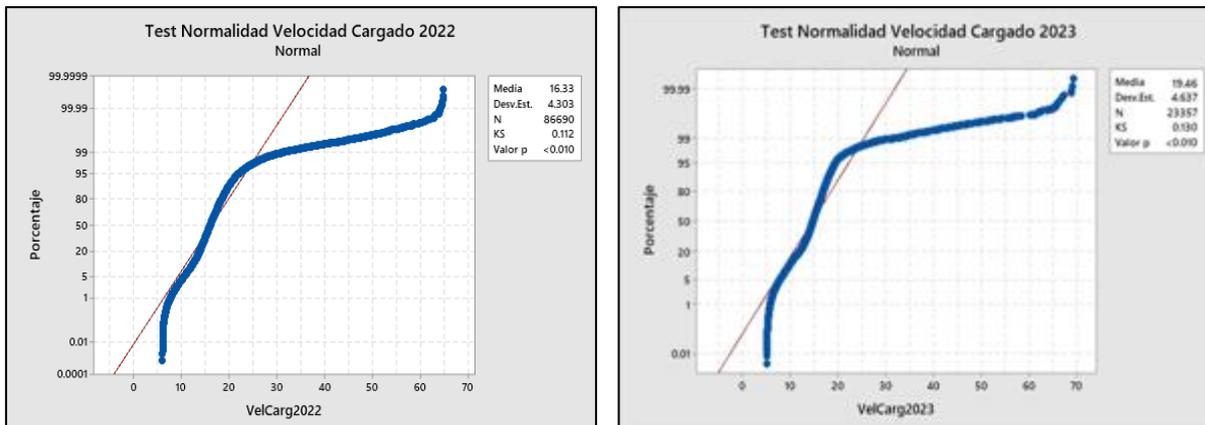


Figura 53 — Test de normalidad de la velocidad cargado del año 2022 y 2023.

De las figuras 53, podemos observar que el valor p es menor a 0.05, lo que hace que rechacemos la hipótesis nula y se acepte la hipótesis alterna, por lo que los datos de las velocidades cargados no tienen una distribución normal.

#### b) Velocidad vacío

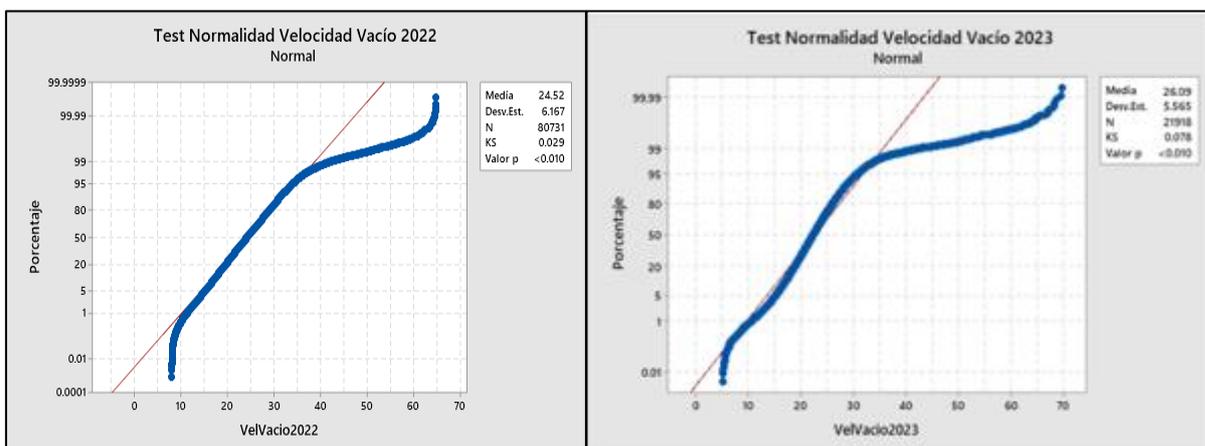


Figura 54 — Test de normalidad de la velocidad vacío del año 2022 y 2023.

De las figuras 54, se observa que para ambos años el valor p es menor a 0,05 con lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alterna, lo cual indica que los datos no siguen una distribución normal.



### 4.6.1.2 Carga útil o payload

#### a) Carga útil de camiones Komatsu 930E-4SE

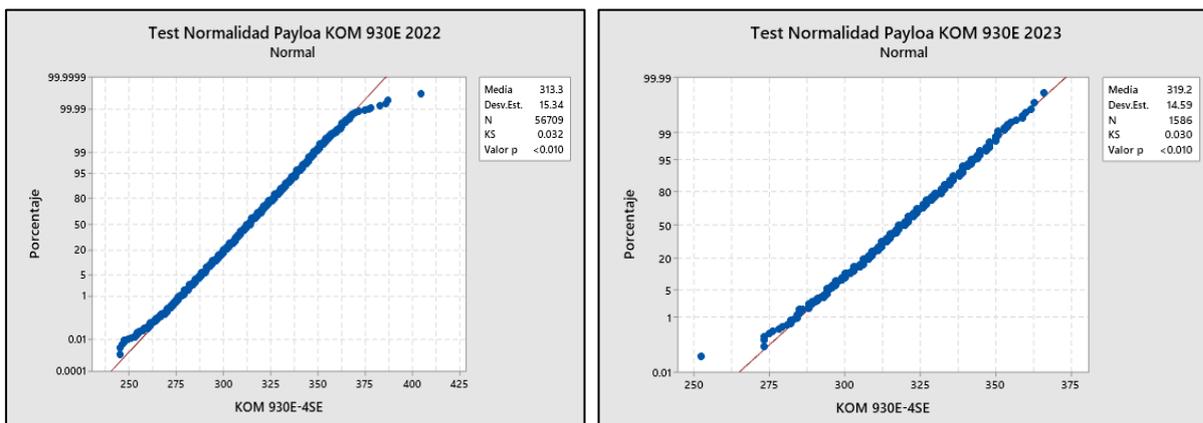


Figura 55 — Test de normalidad de la carga útil del camión KOM 930E del año 2022 y 2023.

De las figuras 55, se observa que el valor p es menor que 0,05, lo que indica rechazar la hipótesis nula y aceptar la alterna, que nos dice que los datos no siguen una distribución normal.

#### b) Carga útil de camiones Komatsu 980E

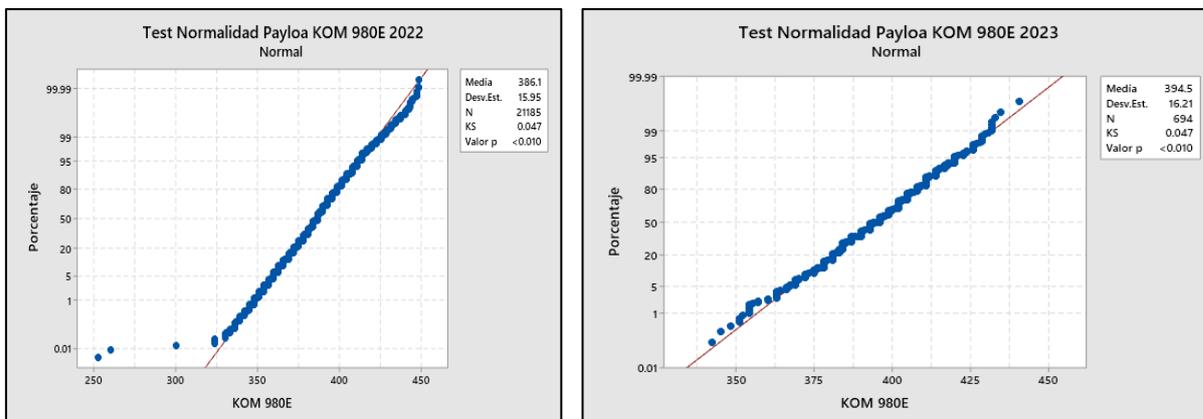


Figura 56 — Test de normalidad de la carga útil de camiones KOM 980E del año 2022 y 2023.

De las figuras 56, igual se aprecia el valor p menor a 0,05, lo que indica que los datos no siguen una distribución normal.



### c) Carga útil de camiones Caterpillar 797F

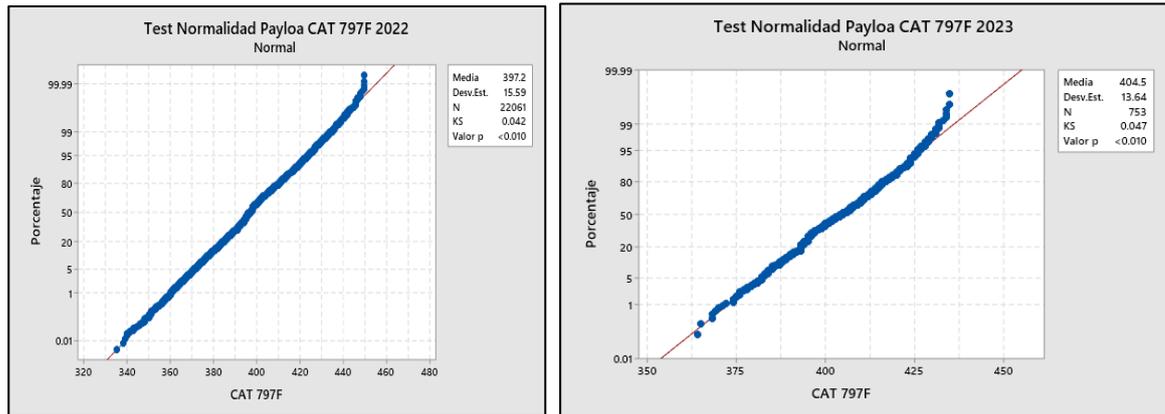


Figura 57 — Test de normalidad de la carga útil de camiones CAT 797F del año 2022 y 2023.

En las figuras 57, se ve que los valores p son menores a 0,05 lo que indica que los datos no siguen una distribución normal.

#### 4.6.1.3 Tiempos de ciclo

##### a) Tiempo de carguío

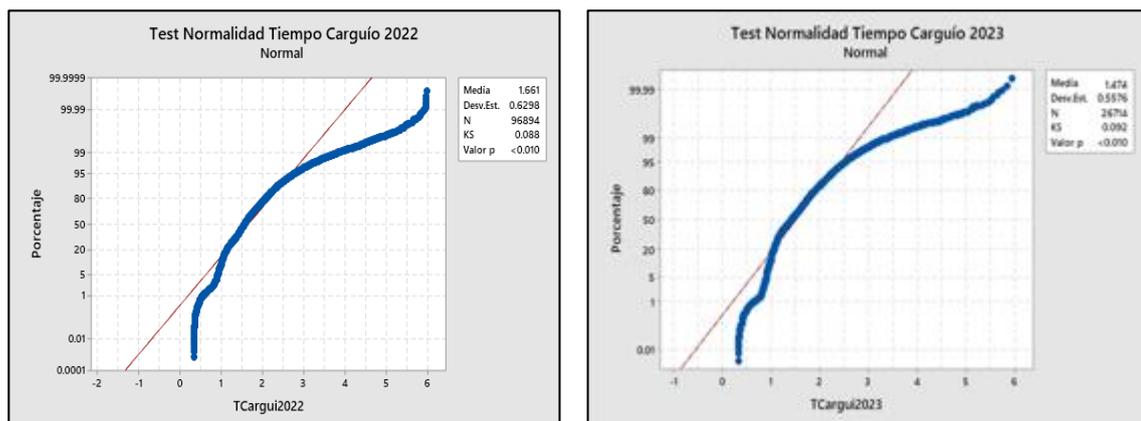


Figura 58 — Test de normalidad de los tiempos de carguío del año 2022 y 2023.

De las figuras 58, se puede observar que los valores p son menor a 0,05, lo que indica que los datos no siguen una distribución normal.

### b) Tiempo cuadrado

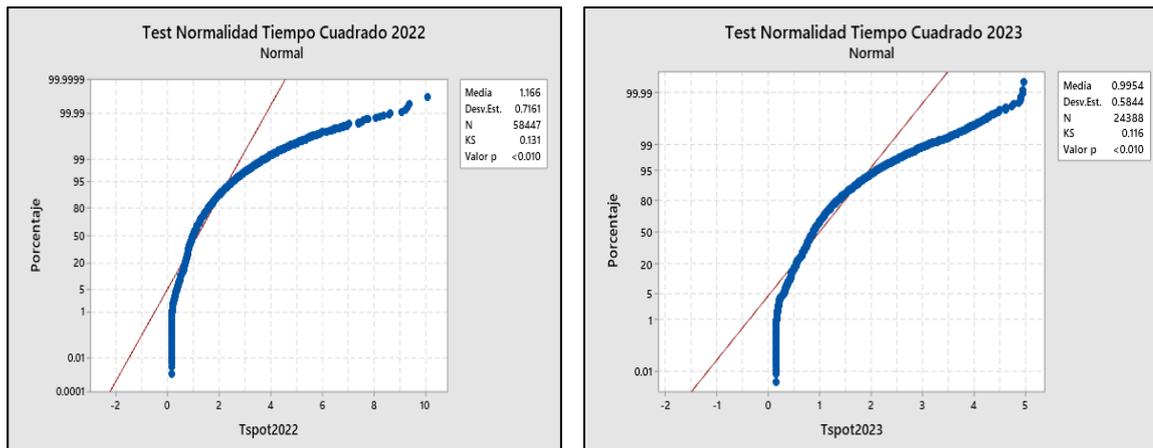


Figura 59 — Test de normalidad de tiempos de cuadrado del año 2022 y 2023.

De la misma manera para este caso de las figuras 59, se observa que los valores p son menores a 0,05, indicando que los datos no siguen una distribución normal.

### c) Tiempo de descarga

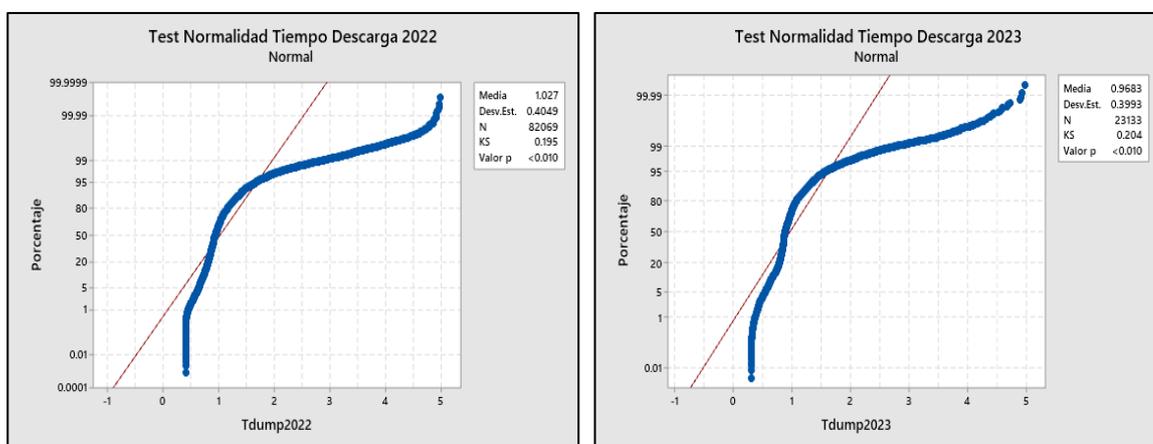
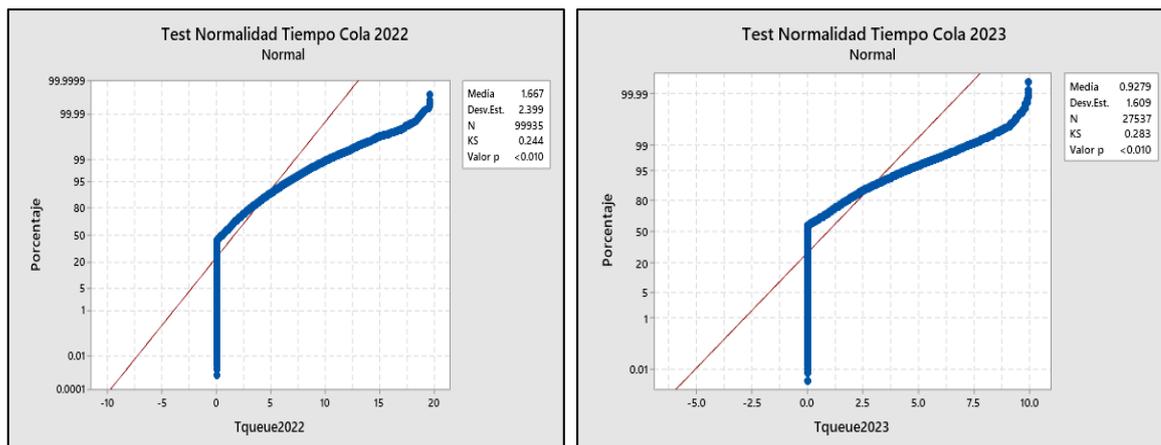


Figura 60 — Test de normalidad de tiempos de descarga del año 2022 y 2023.

Para el caso de los tiempos de descarga tampoco existe normalidad, pues los valores p son menores a 0,05, como se ve en las figuras 60.



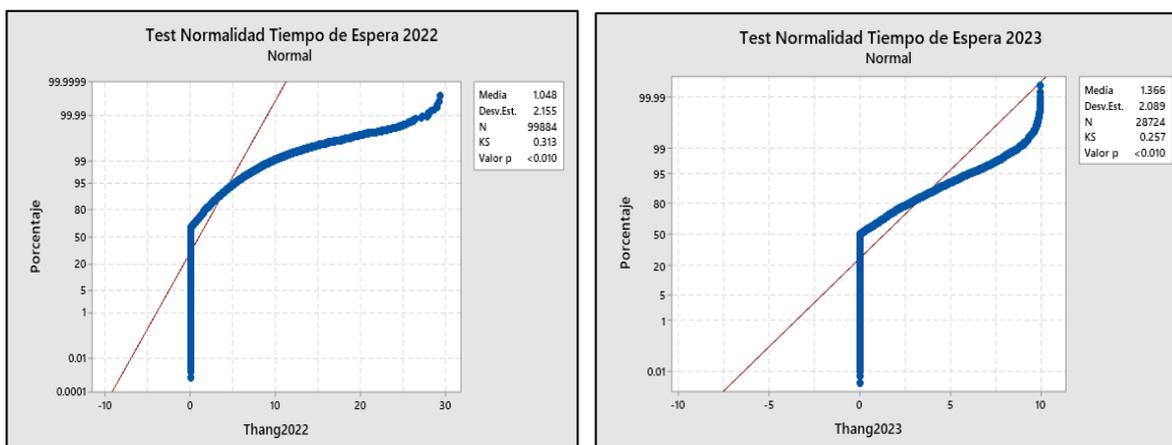
**d) Tiempo de cola o queue**



**Figura 61 — Test de normalidad de tiempos de cola del año 2022 y 2023.**

Los tiempos de cola o queue tampoco presentan normalidad, los valores p son menores a 0,05 como se ve en las figuras 61.

**e) Tiempo de espera o hang**



**Figura 62 — Test de normalidad de tiempos de espera del año 2022 y 2023.**

De la misma manera para los tiempos de espera o hang no existe normalidad ya que los valores p son menores a 0,05, como se ve en las figuras 62.

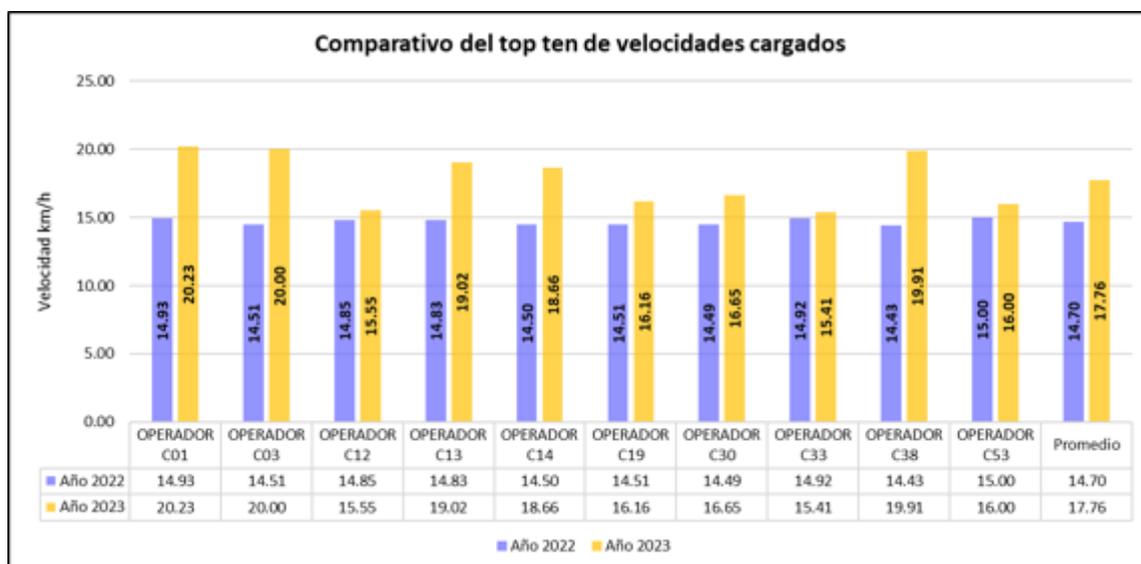
## CAPÍTULO V RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 5.1 Análisis de resultados

En esta sección se muestra los resultados obtenidos para este año 2023 hasta el mes de abril después del control y monitoreo a través del Sistema de Gestión de Flotas Dispatch y con el soporte de la supervisión de campo e instructores, para con ello determinar si efectivamente los KPI's mencionados tienen impacto en la productividad de las palas eléctricas y camiones de minera Las Bambas, el cual sigue la siguiente secuencia: 5.1.1 Velocidad de los camiones (cargado y vacío), 5.1.2 Carga útil (payload), 5.1.3 Tiempos de ciclo (Tiempo de carguío, tiempo de cuadrado, tiempo de descarga, tiempo de cola o queue, tiempo de espera o hang), 5.1.4 Productividad de palas, 5.1.5 Productividad de camiones y 5.1.6 Análisis de correlación.

#### 5.1.1 Velocidad de camiones (cargado y vacío)

##### a) Velocidad de camiones cargados



**Figura 63 — Top ten de velocidades en vacío del año 2023.**

La figura 63, muestra el comparativo del top ten de los operadores que se seleccionaron a partir de sus datos del año 2022 frente a cómo van durante este año 2023, como se puede apreciar todos los operadores tuvieron un incremento en sus velocidades, si vemos los promedios, en el año 2022 lograron un promedio



de 14,70 km/h y en este año 2023 (hasta abril) están con un promedio de 17,76 km, un incremento del 3,06 km/h.

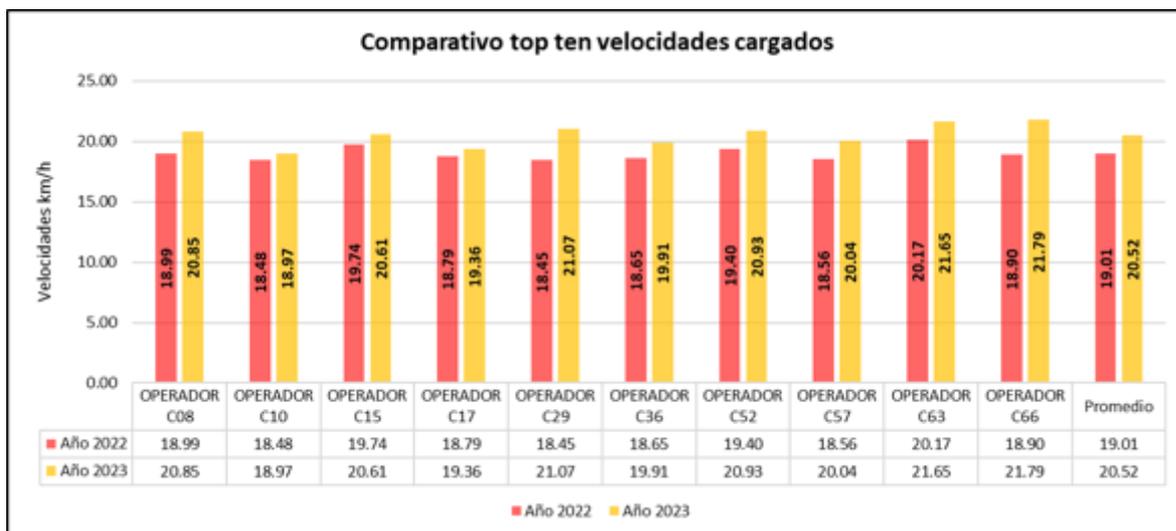


Figura 64 — Top ten de velocidades en vacío del año 2023 según plan establecido.

Por otro lado, la figura 65, muestra el comparativo del top ten de operadores con mejores velocidades cargados en el año 2022 frente a este año 2023 (hasta abril), de ello se puede ver que todos los operadores incrementaron sus velocidades, en el año 2022 en promedio llegaron a una velocidad de 19,01 km/h y en 2023 están en 20,52 km/h un incremento de 1,51 km/h.

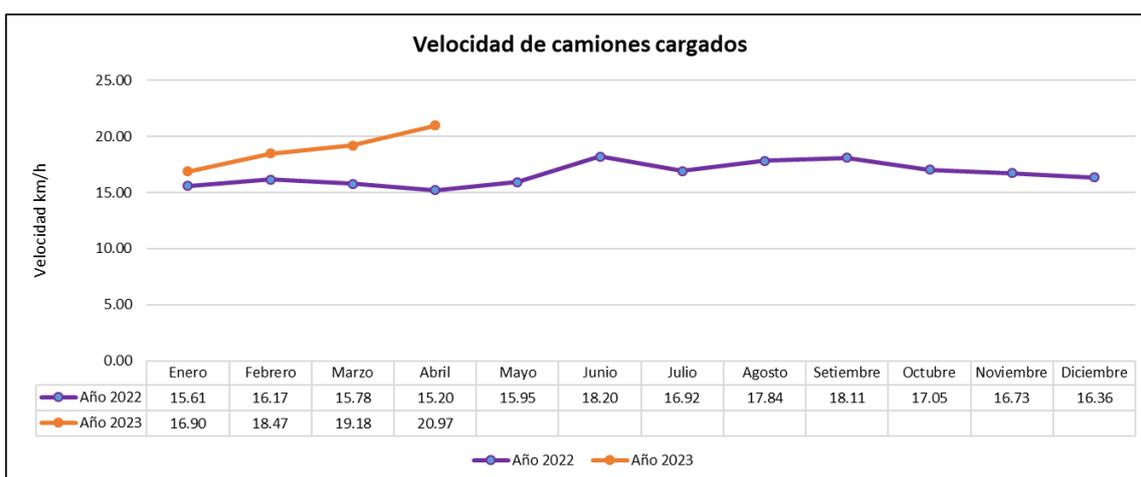


Figura 65 — Comparación de las velocidades de los camiones cargados.

La figura 65, muestra una comparativa de la evolución de las velocidades de los camiones cargados por mes durante el año 2022 y 2023, donde se aprecia una clara tendencia a la mejora en este año 2023 (línea anaranjada).

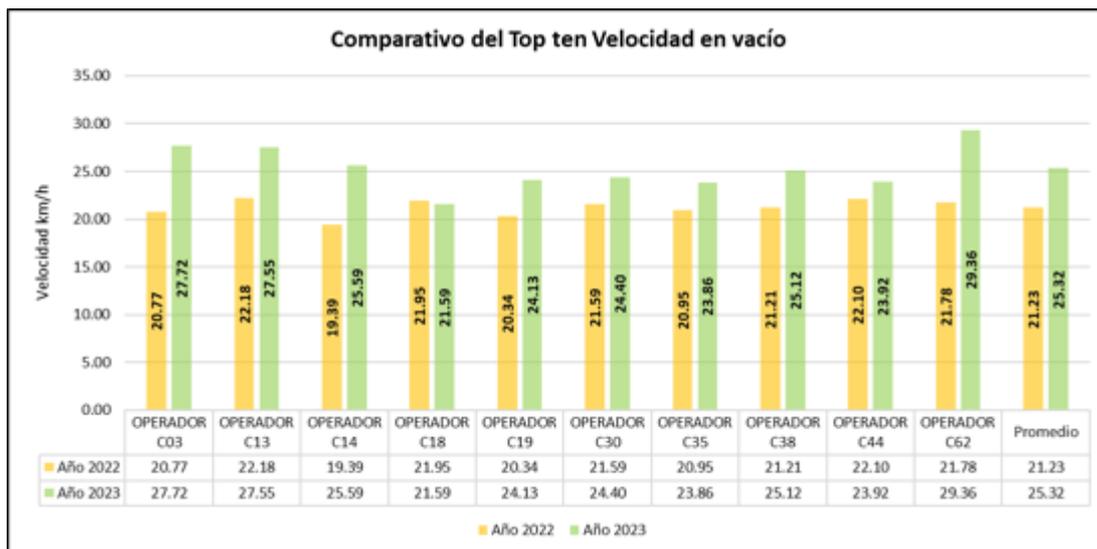


Tabla 15 — Velocidad de camiones cargados por operador, 2023.

OPERADOR DE CAMIÓN	Velocidad Cargado (km/h)	OPERADOR DE CAMIÓN	Velocidad Cargado (km/h)
OPERADOR C01	20,23	OPERADOR C35	16,51
OPERADOR C02	21,91	OPERADOR C36	19,91
OPERADOR C03	20,00	OPERADOR C37	15,55
OPERADOR C04	21,03	OPERADOR C38	19,91
OPERADOR C05	20,56	OPERADOR C39	24,25
OPERADOR C06	23,99	OPERADOR C40	19,02
OPERADOR C07	19,46	OPERADOR C41	20,10
OPERADOR C08	20,85	OPERADOR C42	21,35
OPERADOR C09	20,33	OPERADOR C43	25,64
OPERADOR C10	18,97	OPERADOR C44	26,15
OPERADOR C11	16,70	OPERADOR C45	21,84
OPERADOR C12	15,55	OPERADOR C46	21,07
OPERADOR C13	19,02	OPERADOR C47	24,77
OPERADOR C14	18,66	OPERADOR C48	21,74
OPERADOR C15	20,61	OPERADOR C49	19,10
OPERADOR C16	20,91	OPERADOR C50	20,21
OPERADOR C17	19,36	OPERADOR C51	17,34
OPERADOR C18	16,92	OPERADOR C52	20,93
OPERADOR C19	16,16	OPERADOR C53	17,00
OPERADOR C20	24,59	OPERADOR C54	17,70
OPERADOR C21	16,85	OPERADOR C55	16,49
OPERADOR C22	15,90	OPERADOR C56	19,50
OPERADOR C23	18,83	OPERADOR C57	20,04
OPERADOR C24	18,96	OPERADOR C58	18,50
OPERADOR C25	22,32	OPERADOR C59	20,26
OPERADOR C26	16,92	OPERADOR C60	16,30
OPERADOR C27	17,89	OPERADOR C61	16,52
OPERADOR C28	17,63	OPERADOR C62	16,89
OPERADOR C29	21,07	OPERADOR C63	21,65
OPERADOR C30	16,65	OPERADOR C64	22,80
OPERADOR C31	16,26	OPERADOR C65	19,81
OPERADOR C32	18,76	OPERADOR C66	21,79
OPERADOR C33	15,41	OPERADOR C67	20,71
OPERADOR C34	20,28	<b>Promedio Total</b>	<b>19,57</b>

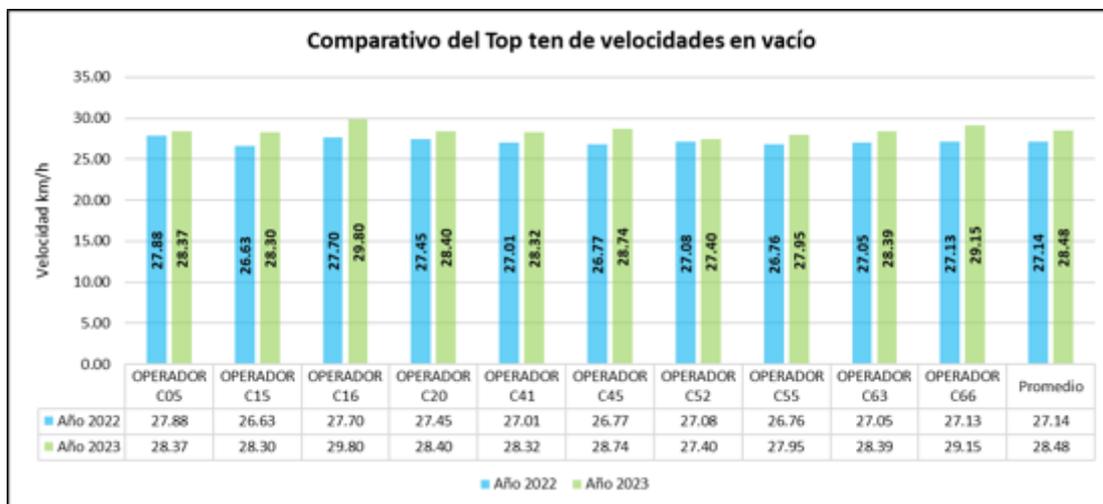
La tabla 15, muestra los promedios de las velocidades cargados de los operadores de la muestra de este año 2023 (abril), logrando un promedio general de 19,57 km/h, si vemos la tabla 13 del año 2022 el promedio fue de 16,66 km/h, apreciándose un incremento de 2,91 km/h.

**b) Velocidad de los camiones en vacío**



**Figura 66 — Top ten de velocidad vacío.**

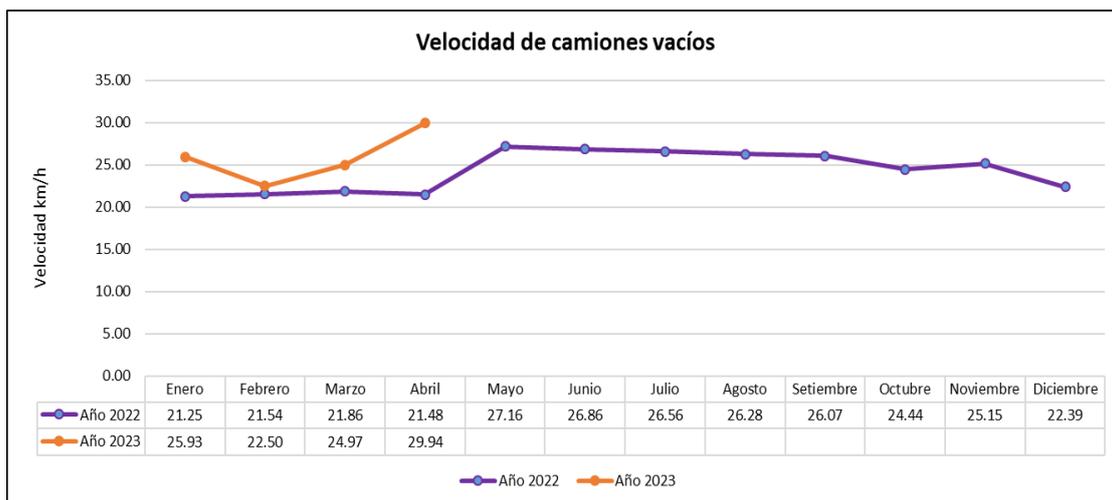
La figura 66, muestra el comparativo del top ten de los operadores con bajas velocidades en vacío en el año 2022 frente al año 2023 (abril), de ello se puede ver que 9 de los operadores incrementaron su velocidad, solo el OPERADOR C18 bajó ligeramente, pero en promedio se ve que en el año 2022 llegaron a 21,23 km/h y en 2023 están en 25,32 km/h, un incremento de 4,09 km/h.



**Figura 67 — Top ten de velocidad vacío.**

Por otro lado, la figura 67, muestra un comparativo del top ten de los operadores con mejores velocidades en el año 2022 frente al año 2023 (abril), como se aprecia todos los operadores incrementaron sus velocidades respecto al año 2022, en promedio durante el año 2022 llegaron a 27,14 km/h y en 2023 están en 28,48 km/h, un incremento de 1,34 km/h.





**Figura 68 — Velocidades de camiones vacíos por mes.**

La figura 68, muestra una comparativa de las velocidades de los camiones vacíos por mes, durante el año 2022 y 2023, donde se aprecia una clara mejora en el mes a mes hasta la fecha (abril) durante este año 2023.

**Tabla 16 — Velocidad de camiones vacíos por operador, 2023.**

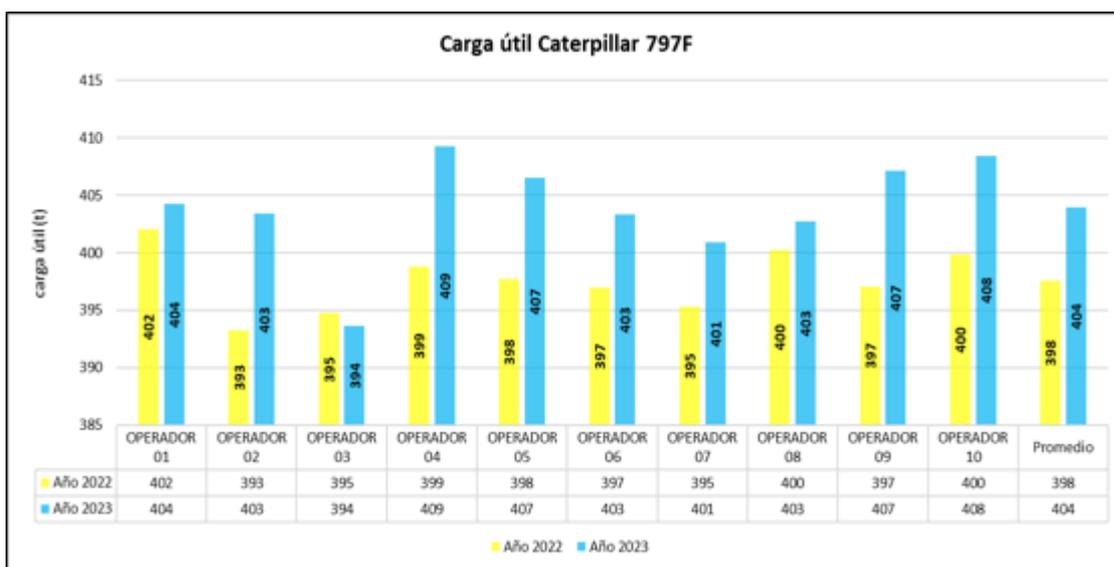
OPERADOR DE CAMIÓN	Velocidad Vacío (km/h)	OPERADOR DE CAMIÓN	Velocidad Vacío (km/h)
OPERADOR C01	27,38	OPERADOR C35	23,86
OPERADOR C02	28,27	OPERADOR C36	23,67
OPERADOR C03	27,72	OPERADOR C37	26,28
OPERADOR C04	23,84	OPERADOR C38	25,12
OPERADOR C05	28,37	OPERADOR C39	27,32
OPERADOR C06	32,52	OPERADOR C40	28,03
OPERADOR C07	27,38	OPERADOR C41	28,32
OPERADOR C08	26,69	OPERADOR C42	24,07
OPERADOR C09	24,76	OPERADOR C43	24,60
OPERADOR C10	27,21	OPERADOR C44	23,92
OPERADOR C11	25,26	OPERADOR C45	28,74
OPERADOR C12	26,54	OPERADOR C46	31,99
OPERADOR C13	27,55	OPERADOR C47	22,34
OPERADOR C14	25,59	OPERADOR C48	26,76
OPERADOR C15	28,30	OPERADOR C49	23,44
OPERADOR C16	29,80	OPERADOR C50	22,54
OPERADOR C17	20,23	OPERADOR C51	24,34
OPERADOR C18	21,59	OPERADOR C52	27,40
OPERADOR C19	24,13	OPERADOR C53	23,32
OPERADOR C20	28,40	OPERADOR C54	25,15
OPERADOR C21	25,86	OPERADOR C55	27,95
OPERADOR C22	24,84	OPERADOR C56	26,41
OPERADOR C23	24,87	OPERADOR C57	26,17
OPERADOR C24	23,16	OPERADOR C58	22,99
OPERADOR C25	33,05	OPERADOR C59	26,73
OPERADOR C26	24,38	OPERADOR C60	22,32
OPERADOR C27	31,31	OPERADOR C61	21,73
OPERADOR C28	27,08	OPERADOR C62	29,36
OPERADOR C29	28,49	OPERADOR C63	28,39
OPERADOR C30	24,40	OPERADOR C64	23,22
OPERADOR C31	27,50	OPERADOR C65	23,74
OPERADOR C32	24,58	OPERADOR C66	29,15
OPERADOR C33	24,99	OPERADOR C67	22,97
OPERADOR C34	26,97	<b>Promedio general</b>	<b>26,05</b>



La tabla 16, muestra los promedios anuales de las velocidades en vacío de los operadores de la muestra en el año 2023, logrando un promedio general de 26,05 km/h, el promedio general el año 2022 fue de 24,52 km/h, habiendo un incremento de 1,53 km/h.

### 5.1.2 Carga útil (payload)

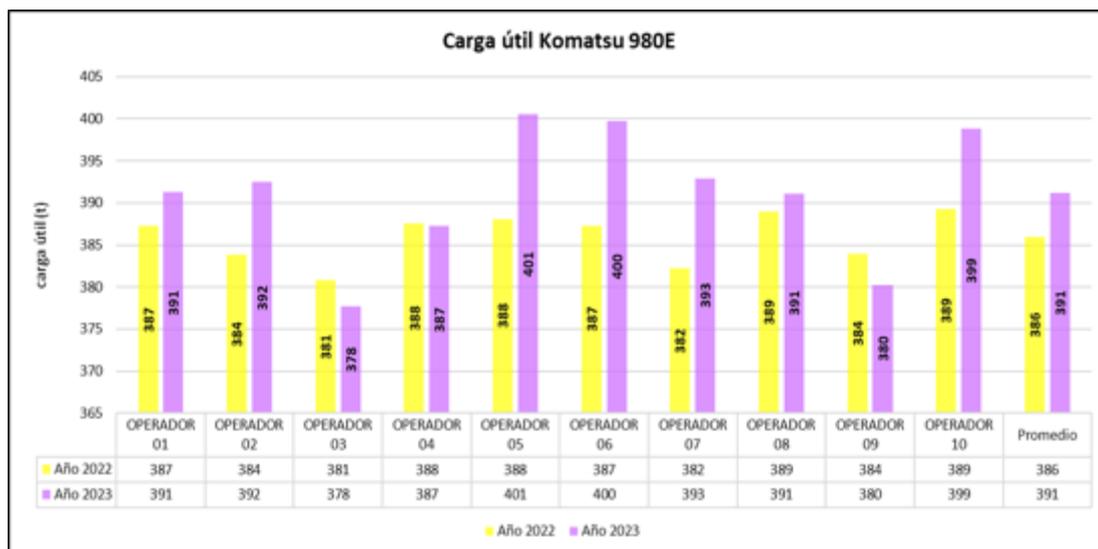
La carga útil de los camiones mineros es variable ya que depende del modelo y del tonelaje que estos pueden cargar por recomendación del fabricante, en caso de La mina Las Bambas, cuenta con 3 modelos de camión, además debemos entender que el payload o carga útil depende en gran medida del operador de pala quien tiene el control de dicho tonelaje, para ello se elaboró los siguientes gráficos que nos muestren los detalles significativos del análisis del payload:



**Figura 69 — Promedio anual de la carga útil de camiones CAT 797F.**

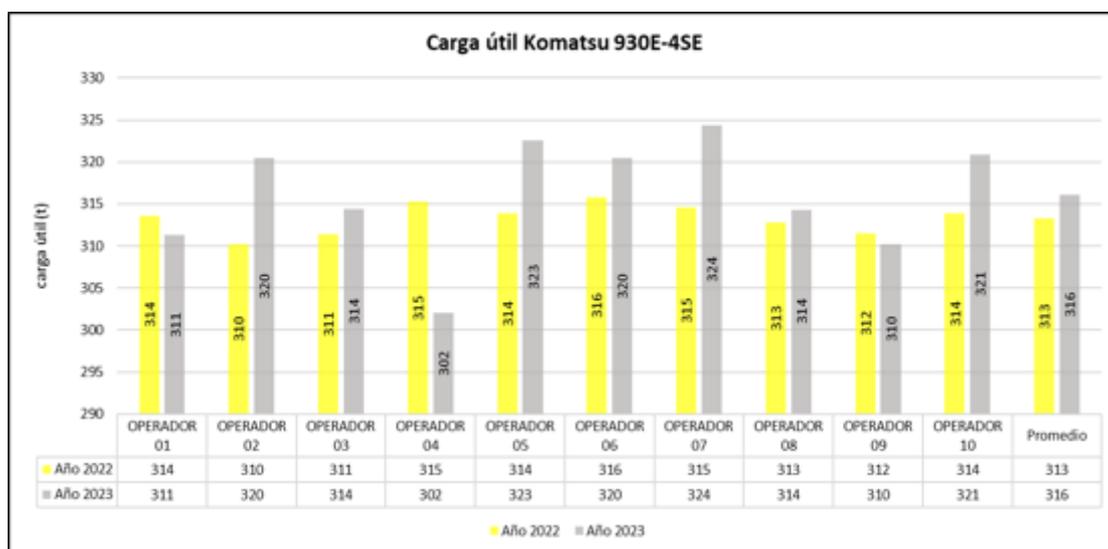
La figura 69, muestra los promedios anuales de carga útil en camiones Caterpillar 797F que lograron los operadores de pala durante el año 2022 y 2023, en esta comparativa se aprecia que de los 10 operadores de pala solo el OPERADOR 03 no logró superar su valor del año 2022, mientras que los otros 9 operadores si, viendo los promedios totales se ve que en el año 2022 lograron 398 toneladas y a la fecha (abril 2023) tienen un promedio de 404 toneladas, un incremento de 6 toneladas para este año 2023.





**Figura 70 — Promedio anual de la carga útil de camiones KOM 980E**

La figura 70, es una comparativa de los promedios anuales de carga útil de los camiones Komatsu 980E que cargaron los operadores de pala tanto en el año 2022 y 2023, de ello se puede ver que de los 10 operadores de pala, 2 de ellos no lograron superar su año 2022 (OPERADOR 03 y OPERADOR 09), pero los otros 8 si y de manera sustancial, se aprecia que en promedio en el año 2022 lograron 386 toneladas de carga útil y en el año 2023 (hasta abril) una carga útil de 391 toneladas, un incremento de 5 toneladas por camión.



**Figura 71 — Promedio anual de la carga útil de camiones KOM 930E**

La figura 71, muestra los promedios anuales de la carga útil de los camiones Komatsu 930E-4SE durante el año 2022 y 2023, donde se aprecia que solo el OPERADOR 04 no logró superar su promedio del año 2022 este 2023 hasta la fecha (abril), sin



embargo, en promedio general durante el año 2022 lograron llegar a 313 toneladas, mientras que para este 2023 están en 316 toneladas, un incremento de 3 toneladas por camión.

### 5.1.3 Tiempo de ciclo

#### 5.1.3.1 Tiempo de carguío

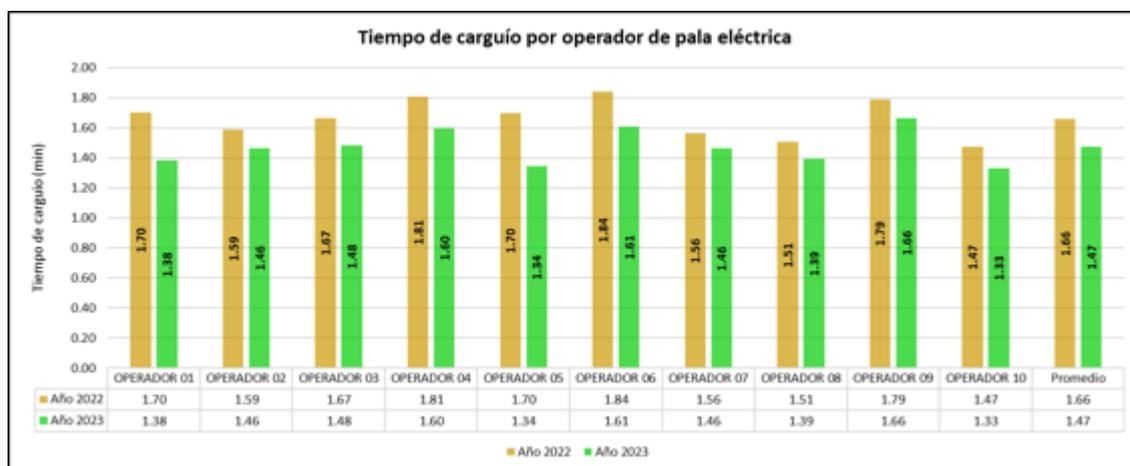


Figura 72 — Promedio anual de la carga útil de camiones KOM 930E

La figura 72, muestra los promedios anuales del tiempo de carguío por operador de pala eléctrica durante el año 2022 y 2023, si se compara los dos años se puede ver que todos los operadores de pala eléctrica lograron disminuir sus tiempos de carguío este año 2023 (hasta abril) respecto al año 2022, por otro lado, viendo los promedios totales se ve que en el año 2022 lograron un tiempo promedio de 1,66 minutos y para 2023 hasta la fecha (abril) están en 1,47 minutos, una reducción de 0,19 minutos en promedio.

#### 5.1.3.2 Tiempo de cuadrado o aculatamiento

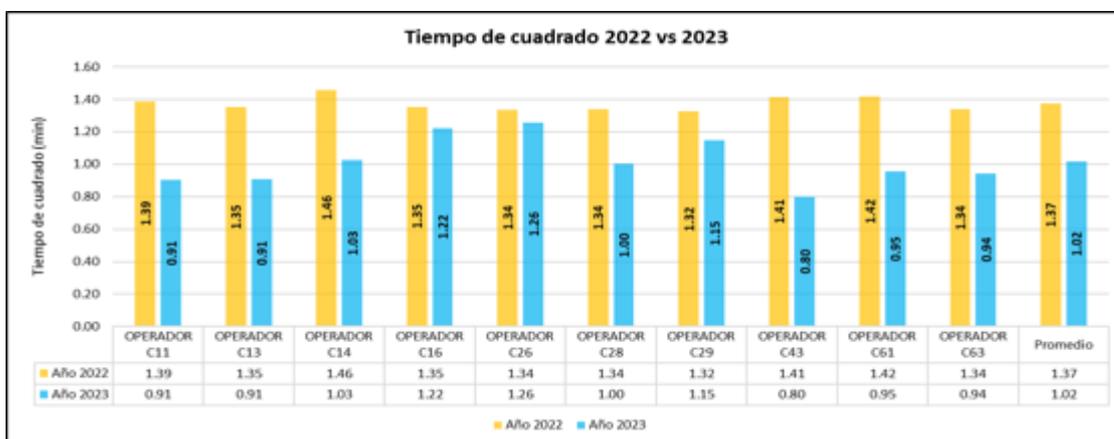
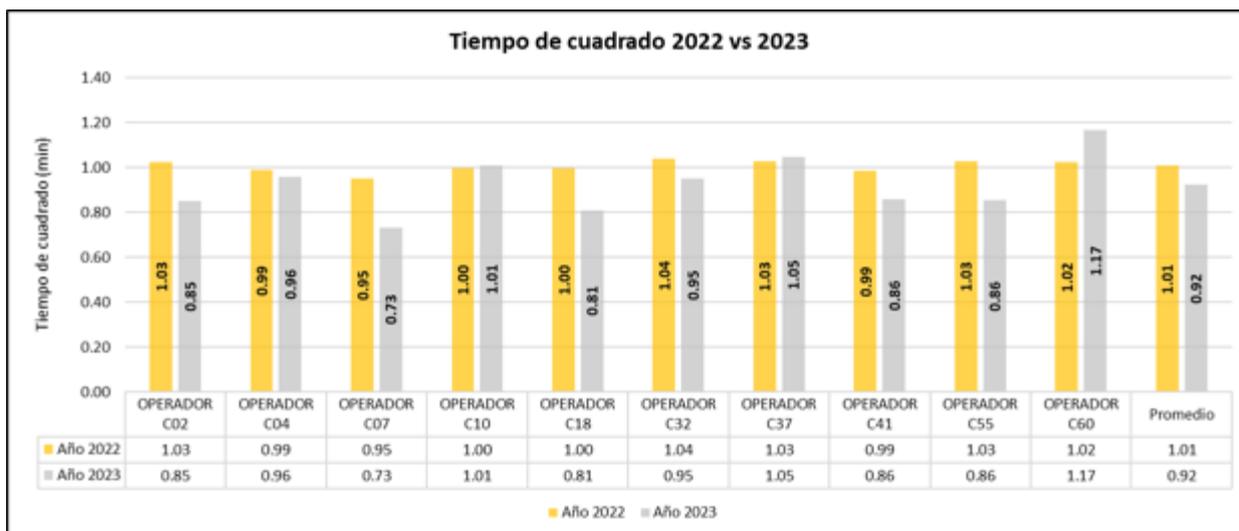


Figura 73 — Promedio anual del tiempo de cuadrado del top ten de operadores con mayor tiempo.



La figura 73, muestra los promedios anuales del tiempo de cuadrado del top ten de los operadores con mayor tiempo durante el año 2022 y comparado de cómo van este año 2023 (hasta abril), de ello se ve que todos los operadores redujeron su tiempo de cuadrado, viendo el promedio en el año 2022 era de 1,37 minutos y ahora en 2023 están en 1,02 minutos, una reducción de 0,35 minutos en promedio por operador.



**Figura 74 — Promedio anual de tiempo de cuadrado del top de operadores con mejores tiempos de cuadrado**

La figura 74, muestra los promedios anuales del tiempo de cuadrado del top ten de los operadores con mejores tiempos de cuadrado durante el año 2022 y su comparativa de cómo van este año 2023 (hasta abril), de la figura se aprecia que 3 operadores de camión (OPERADOR C10, C37 y C60) incrementaron su tiempo de cuadrado pero los otro 7 lograron disminuir, por otro lado, se ve que en el año 2022 tenían un promedio general de 1,01 minutos mientras que este año 2023 están en 0,92 minutos, una reducción de 0,09 minutos.

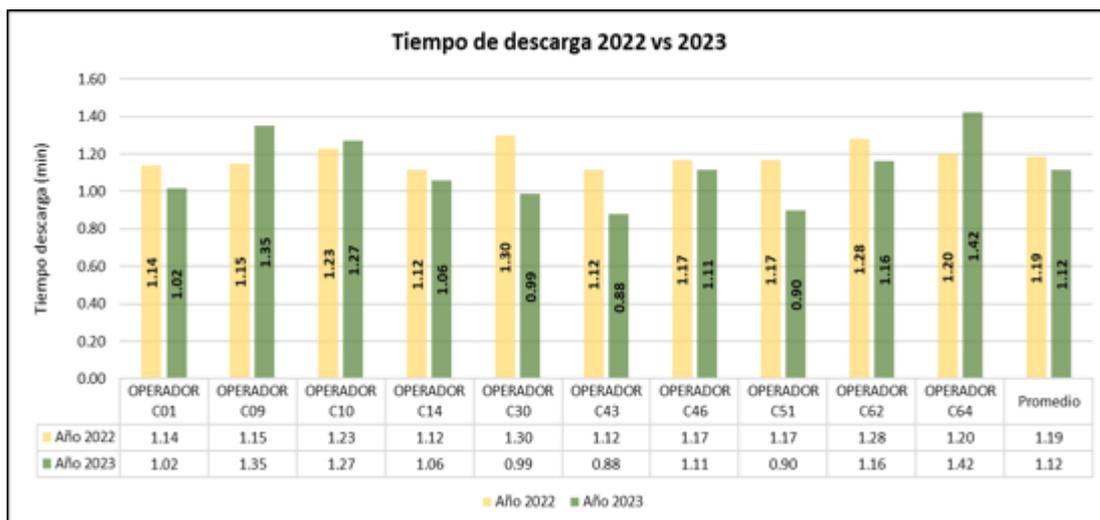


Tabla 17 — Tiempo de cuadrado por operador de camión, 2023.

OPERADOR DE CAMION	Tiempo de Cuadrado (min)	OPERADOR DE CAMION	Tiempo de Cuadrado (min)
OPERADOR C01	0,99	OPERADOR C35	1,25
OPERADOR C02	0,85	OPERADOR C36	0,85
OPERADOR C03	1,06	OPERADOR C37	1,05
OPERADOR C04	0,96	OPERADOR C38	1,00
OPERADOR C05	1,05	OPERADOR C39	1,02
OPERADOR C06	1,09	OPERADOR C40	0,98
OPERADOR C07	0,73	OPERADOR C41	0,86
OPERADOR C08	0,96	OPERADOR C42	1,17
OPERADOR C09	1,06	OPERADOR C43	0,80
OPERADOR C10	1,01	OPERADOR C44	0,96
OPERADOR C11	0,91	OPERADOR C45	0,90
OPERADOR C12	0,93	OPERADOR C46	1,03
OPERADOR C13	0,91	OPERADOR C47	1,04
OPERADOR C14	1,03	OPERADOR C48	0,96
OPERADOR C15	0,96	OPERADOR C49	1,10
OPERADOR C16	1,22	OPERADOR C50	0,97
OPERADOR C17	0,96	OPERADOR C51	0,77
OPERADOR C18	0,81	OPERADOR C52	1,11
OPERADOR C19	1,08	OPERADOR C53	1,12
OPERADOR C20	0,91	OPERADOR C54	1,04
OPERADOR C21	1,20	OPERADOR C55	0,86
OPERADOR C22	0,95	OPERADOR C56	0,93
OPERADOR C23	1,12	OPERADOR C57	1,13
OPERADOR C24	0,90	OPERADOR C58	0,97
OPERADOR C25	1,01	OPERADOR C59	1,15
OPERADOR C26	1,26	OPERADOR C60	1,17
OPERADOR C27	0,95	OPERADOR C61	0,95
OPERADOR C28	1,00	OPERADOR C62	0,96
OPERADOR C29	1,15	OPERADOR C63	0,94
OPERADOR C30	1,03	OPERADOR C64	0,91
OPERADOR C31	1,14	OPERADOR C65	1,09
OPERADOR C32	0,95	OPERADOR C66	1,11
OPERADOR C33	0,94	OPERADOR C67	1,05
OPERADOR C34	1,09	<b>Promedio</b>	<b>0,99</b>

La tabla 17, muestra los promedios anuales del tiempo de cuadrado de los operadores de camión durante el año 2023 (hasta abril), de ello se ve que el promedio general del tiempo de cuadrado es de 0,99 para este año 2023, si comparamos con la tabla 13 del año 2022 el tiempo era de 1,16 minutos, por lo que se aprecia una reducción en el tiempo de cuadrado de 0,17 minutos en promedio para la muestra de operadores de camión.

### 5.1.3.3 Tiempo de descarga



**Figura 75 — Promedio anual de tiempo de descarga del top de operadores de camión con mayor tiempo de descarga**

La figura 76, muestra los promedios anuales del top ten de los operadores de camión con mayor tiempo de descarga de los operadores de camión durante el año 2022 en comparativa con este año 2023 (hasta abril), de ello se puede ver que de los 10 operadores 3 (OPERADOR C09, C10 y C64) de ellos incrementaron más su tiempo, mientras que los otros 7 operadores lograron disminuirlos, viendo el promedio general, durante el año 2022 llegaron a 1,19 minutos y para este 2023 están en 1,12 minutos en promedio, una reducción de 0,07 minutos por operador.



**Figura 76 — Promedio anual de tiempo de descarga del top de operadores de camión con menor tiempo de descarga**



La figura 76, muestra los promedios anuales del top ten de los operadores de camión con menor tiempo de descarga durante el año 2022 en comparativa con este año 2023 (hasta abril), donde se puede apreciar que 5 operadores (OPERADOR C04, C07, C26, C27 y C71) lograron disminuir sus tiempos de descarga, otros 4 operadores (OPERADORES C06, C25, C28 y C41) incrementaron sus promedios para este año 2023, por otro lado, se ve que en promedio general en el año 2022 llegaron a 0,86 minutos, mientras que para este 2023 están en 0,89 minutos, un incremento de 0,03 minutos.

**Tabla 18 — Tiempo de descarga por operador de camión, 2023.**

OPERADORES DE CAMION	Tiempo de descarga (min)	OPERADORES DE CAMION	Tiempo de descarga (min)
OPERADOR C01	1,02	OPERADOR C35	1,02
OPERADOR C02	0,95	OPERADOR C36	1,02
OPERADOR C03	1,22	OPERADOR C37	0,96
OPERADOR C04	0,82	OPERADOR C38	1,02
OPERADOR C05	1,02	OPERADOR C39	0,97
OPERADOR C06	0,94	OPERADOR C40	0,87
OPERADOR C07	0,64	OPERADOR C41	1,36
OPERADOR C08	1,03	OPERADOR C42	0,77
OPERADOR C09	1,35	OPERADOR C43	0,88
OPERADOR C10	1,27	OPERADOR C44	0,95
OPERADOR C11	0,93	OPERADOR C45	0,89
OPERADOR C12	1,01	OPERADOR C46	1,11
OPERADOR C13	0,99	OPERADOR C47	1,01
OPERADOR C14	1,06	OPERADOR C48	0,99
OPERADOR C15	0,98	OPERADOR C49	0,92
OPERADOR C16	1,02	OPERADOR C50	0,59
OPERADOR C17	0,92	OPERADOR C51	0,90
OPERADOR C18	0,96	OPERADOR C52	1,13
OPERADOR C19	0,88	OPERADOR C53	1,01
OPERADOR C20	1,16	OPERADOR C54	0,97
OPERADOR C21	1,03	OPERADOR C55	0,94
OPERADOR C22	0,99	OPERADOR C56	1,03
OPERADOR C23	0,91	OPERADOR C57	0,96
OPERADOR C24	0,71	OPERADOR C58	1,10
OPERADOR C25	0,94	OPERADOR C59	1,01
OPERADOR C26	0,81	OPERADOR C60	0,97
OPERADOR C27	0,73	OPERADOR C61	1,02
OPERADOR C28	1,17	OPERADOR C62	1,16
OPERADOR C29	1,13	OPERADOR C63	0,99
OPERADOR C30	0,99	OPERADOR C64	1,42
OPERADOR C31	0,99	OPERADOR C65	0,99
OPERADOR C32	0,99	OPERADOR C66	0,99
OPERADOR C33	1,04	OPERADOR C67	1,03
OPERADOR C34	1,03	<b>Promedio</b>	<b>0,97</b>

La tabla 18, muestra los promedios anuales de tiempo de descarga de los operadores de camión durante este año 2023 (hasta abril), donde en promedio lograron bajar a 0,97 minutos ya que en el año 2022 obtuvieron un promedio de 1,03 minutos como se ve en la tabla 13, una diferencia de 0,06 minutos.



### 5.1.3.4 Tiempo de espera (Hang)

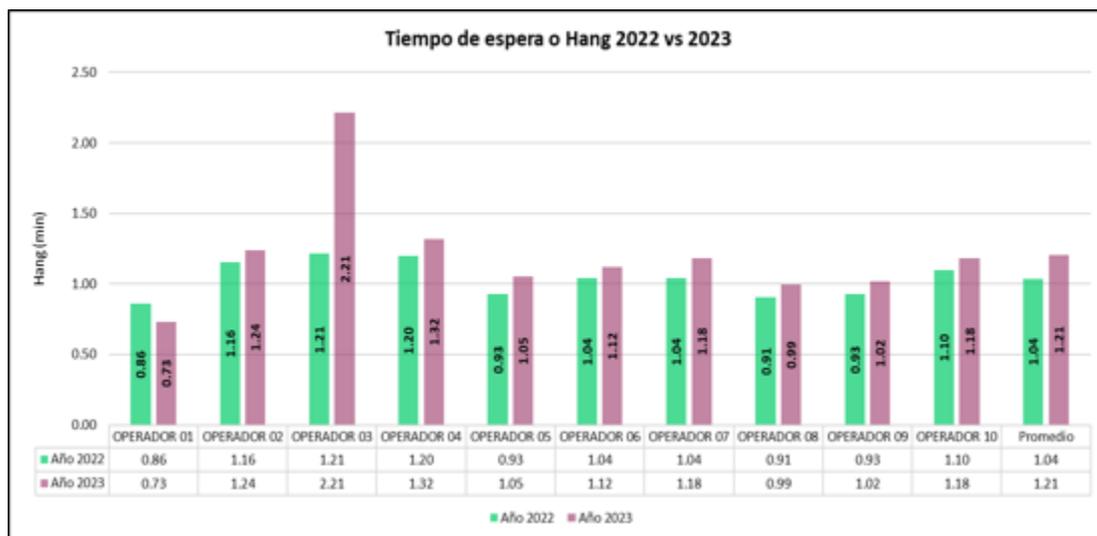


Figura 77 — Promedio anual de tiempo de espera de operadores de pala eléctrica.

La figura 77, muestra los promedios anuales del tiempo de espera (hang) de operadores de pala eléctrica durante el año 2022 en comparativa con el año 2023 (hasta abril), donde se aprecia que el OPERADOR 03 tuvo más tiempo de espera en este año 2023 en comparación al año 2022, revisando los promedios generales se aprecia que en el año 2022 el promedio fue de 1,04 minutos, mientras que, en 2023 está en 1,21 minutos, un incremento de 0,17 minutos en promedio por operador de pala.

### 5.1.3.5 Tiempo de cola (Queue)

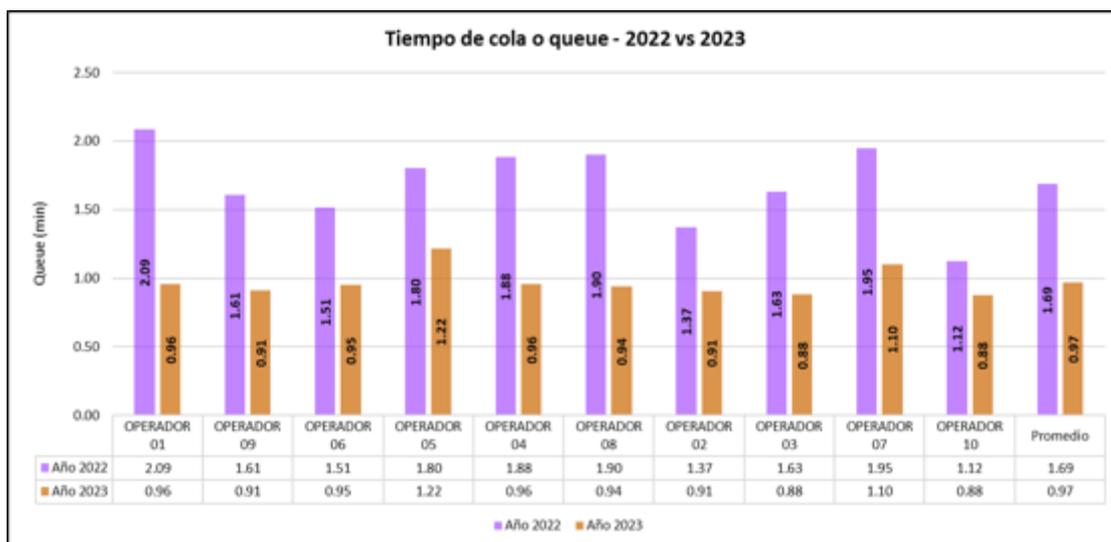


Figura 78 — Promedio anual de tiempo de cola de operadores de pala eléctrica.



La figura 78, muestra los promedios anuales del tiempo de cola (queue) de los operadores de pala eléctrica durante el año 2022 en comparativa con este año 2023 (hasta abril), donde se aprecia que se disminuyó el tiempo de cola en el año 2023 respecto al 2022, en promedio general en el año 2022 se tenía el valor de 1,69 minutos y 2023 (hasta abril) está en 0,97 minutos, una reducción de 0,72 minutos en promedio.

### 5.1.4 Productividad de Palas

El plan considerado en promedio para las palas eléctricas es de 5000 ton/hr para los meses secos y 4700 ton/hr para los meses lluviosos, lo que en promedio cada operador de pala debería llegar a las 4850 ton/hr, lo que sirve como medida final de la presente investigación.

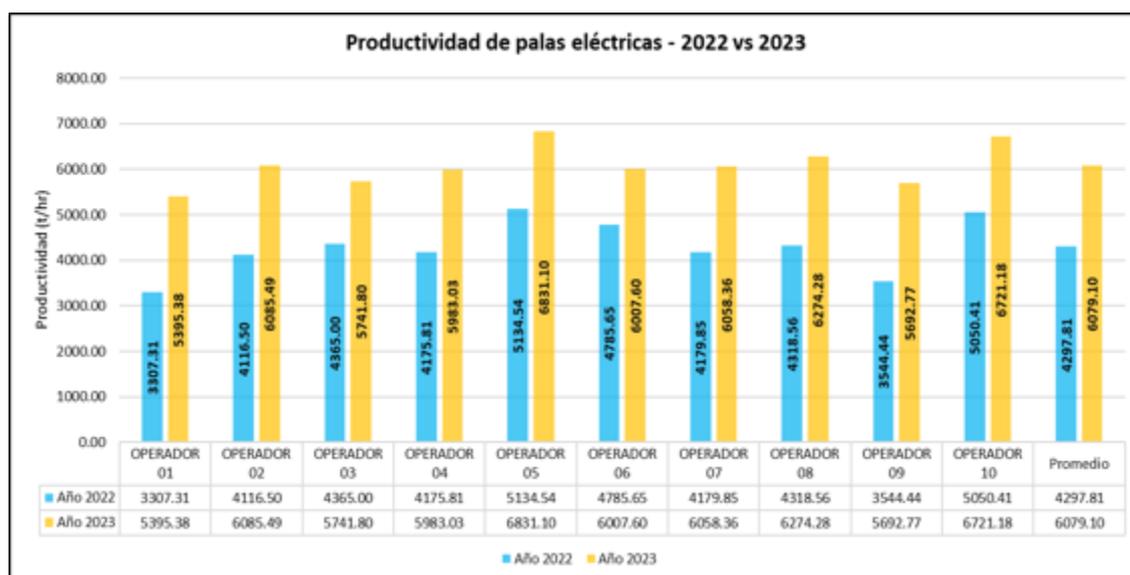


Figura 79 — Promedio anual de la productividad de los operadores de pala eléctrica

La figura 79, muestra los promedios anuales de la productividad de los operadores de palas eléctricas durante el año 2022 frente al año 2023, donde se aprecia un claro incremento de la productividad, en el año 2022 el promedio de la productividad fue de 4297,81 ton/h mientras que en este 2023 (hasta abril) está en 6079,10 ton/h, un incremento de 1781,29 ton/h en promedio por operador.

Por otro lado, comparando con el plan promedio de 4850 ton/h se ve que se superó en 1229,10 ton/h este año 2023 (hasta abril).



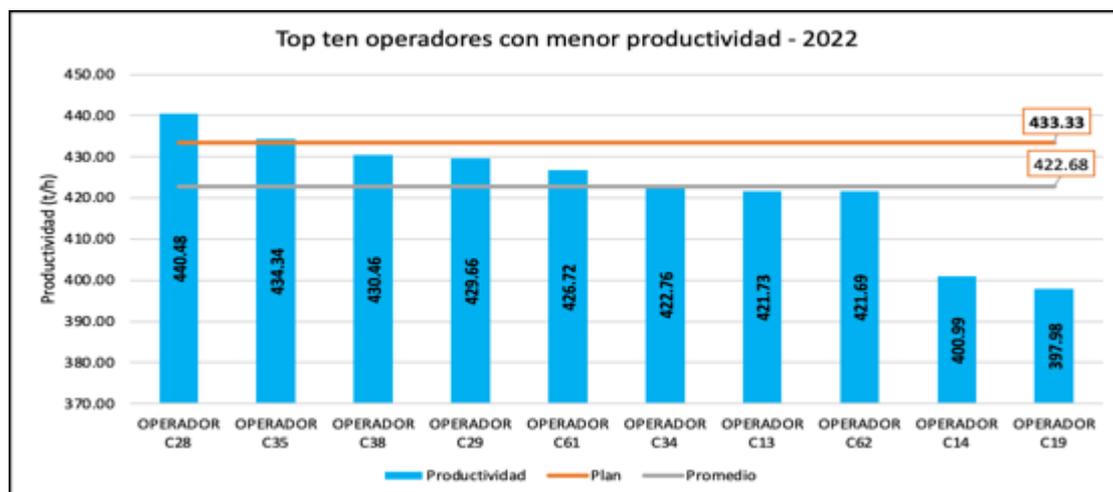
### 5.1.5 Productividad de Camiones

Primero consideramos el plan de productividad para los camiones:

**Tabla 19 — Productividad por modelo de camiones**

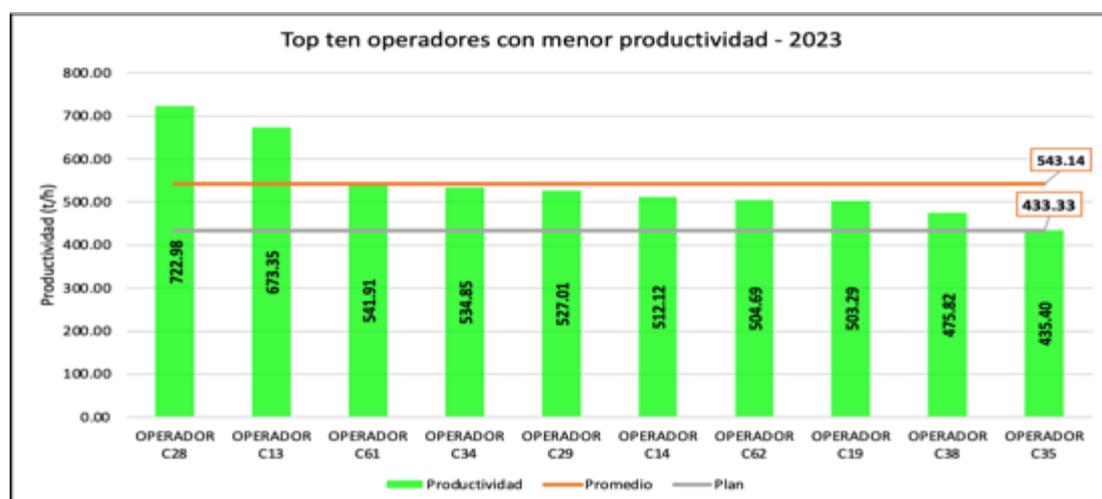
Item	CAT 797F ton/hr	KOM 980E ton/hr	KOM 930E-4SE ton/hr	Promedio ton/hr
Productividad	466	432	402	433,33

Seguidamente se revisó los datos históricos de la productividad de los camiones, tanto por operadores como por modelos para identificar puntos de mejora.



**Figura 80 — Top ten de operadores con menor productividad promedio en el año 2022.**

La figura 80, es un top ten, donde se muestra los promedios anuales de la productividad de los operadores de camión con menor productividad durante el año 2022, llegando a un promedio general de 422,68 ton/h, también se puede apreciar que en promedio no llegaron al plan establecido por la minera que es de 433,33 ton/h.



**Figura 81 — Top ten de operadores con menor productividad promedio en el año 2023.**



La figura 81, muestra el promedio anual de la productividad de los operadores de camión con del año 2023 (hasta abril), del top ten con menor productividad seleccionado con los datos del año 2022, ahora comparando los valores se ve un claro incremento para este año 2023 puesto que ahora en promedio están en 543,14 ton/h mientras que en 2022 estaban en 422,68 ton/h, lográndose un incremento de 120,46 ton/h en promedio.

**Tabla 20 — Productividad de camiones por operador de camión, 2022.**

OPERADOR DE CAMION	Productividad (t/h)	OPERADOR DE CAMION	Productividad (t/h)
OPERADOR C01	451,07	OPERADOR C35	443,20
OPERADOR C02	485,23	OPERADOR C36	464,58
OPERADOR C03	454,73	OPERADOR C37	481,08
OPERADOR C04	491,47	OPERADOR C38	439,25
OPERADOR C05	524,79	OPERADOR C39	475,89
OPERADOR C06	466,86	OPERADOR C40	478,99
OPERADOR C07	478,51	OPERADOR C41	536,87
OPERADOR C08	459,75	OPERADOR C42	488,84
OPERADOR C09	473,75	OPERADOR C43	475,06
OPERADOR C10	481,31	OPERADOR C44	464,90
OPERADOR C11	463,88	OPERADOR C45	505,97
OPERADOR C12	457,46	OPERADOR C46	481,82
OPERADOR C13	430,34	OPERADOR C47	477,43
OPERADOR C14	409,18	OPERADOR C48	486,00
OPERADOR C15	453,70	OPERADOR C49	449,75
OPERADOR C16	525,92	OPERADOR C50	473,53
OPERADOR C17	496,28	OPERADOR C51	476,38
OPERADOR C18	457,13	OPERADOR C52	470,42
OPERADOR C19	406,10	OPERADOR C53	459,99
OPERADOR C20	500,32	OPERADOR C54	490,64
OPERADOR C21	452,51	OPERADOR C55	515,21
OPERADOR C22	460,57	OPERADOR C56	479,54
OPERADOR C23	466,41	OPERADOR C57	486,82
OPERADOR C24	497,76	OPERADOR C58	461,93
OPERADOR C25	456,50	OPERADOR C59	486,42
OPERADOR C26	510,18	OPERADOR C60	461,16
OPERADOR C27	477,72	OPERADOR C61	435,42
OPERADOR C28	449,47	OPERADOR C62	430,29
OPERADOR C29	438,43	OPERADOR C63	469,23
OPERADOR C30	466,06	OPERADOR C64	452,85
OPERADOR C31	484,48	OPERADOR C65	461,09
OPERADOR C32	481,18	OPERADOR C66	469,43
OPERADOR C33	463,43	OPERADOR C67	477,09
OPERADOR C34	431,39	<b>Promedio</b>	<b>471,41</b>

La tabla 20, muestra los promedios anuales de la productividad de los operadores de camión durante el año 2022, donde se aprecia que el promedio general está en 471,41 ton/h.



Tabla 21 — Productividad de camiones por operador de camión, 2023.

OPERADOR DE CAMION	Productividad (t/h)	OPERADOR DE CAMION	Productividad (t/h)
OPERADOR C01	554,68	OPERADOR C35	435,40
OPERADOR C02	562,95	OPERADOR C36	538,63
OPERADOR C03	529,65	OPERADOR C37	455,25
OPERADOR C04	488,39	OPERADOR C38	475,82
OPERADOR C05	530,59	OPERADOR C39	591,50
OPERADOR C06	501,58	OPERADOR C40	523,94
OPERADOR C07	660,54	OPERADOR C41	594,83
OPERADOR C08	576,36	OPERADOR C42	723,21
OPERADOR C09	494,65	OPERADOR C43	626,34
OPERADOR C10	524,00	OPERADOR C44	524,11
OPERADOR C11	713,36	OPERADOR C45	530,98
OPERADOR C12	541,29	OPERADOR C46	552,95
OPERADOR C13	673,35	OPERADOR C47	530,42
OPERADOR C14	512,12	OPERADOR C48	472,37
OPERADOR C15	560,43	OPERADOR C49	526,98
OPERADOR C16	506,45	OPERADOR C50	661,55
OPERADOR C17	505,65	OPERADOR C51	532,54
OPERADOR C18	505,28	OPERADOR C52	468,44
OPERADOR C19	503,29	OPERADOR C53	492,11
OPERADOR C20	536,21	OPERADOR C54	715,39
OPERADOR C21	436,27	OPERADOR C55	520,51
OPERADOR C22	492,85	OPERADOR C56	525,76
OPERADOR C23	464,34	OPERADOR C57	579,77
OPERADOR C24	737,68	OPERADOR C58	518,42
OPERADOR C25	552,29	OPERADOR C59	553,83
OPERADOR C26	556,73	OPERADOR C60	531,11
OPERADOR C27	557,25	OPERADOR C61	541,91
OPERADOR C28	722,98	OPERADOR C62	504,69
OPERADOR C29	527,01	OPERADOR C63	577,80
OPERADOR C30	498,03	OPERADOR C64	469,74
OPERADOR C31	502,53	OPERADOR C65	541,19
OPERADOR C32	511,53	OPERADOR C66	564,46
OPERADOR C33	510,01	OPERADOR C67	547,49
OPERADOR C34	534,85	<b>Promedio</b>	<b>565,23</b>

La tabla 21, muestra los promedios anuales de la productividad de los operadores de camión del año 2023 (hasta abril), donde se aprecia que lograron un promedio de 565,23 ton/h.

Por otro lado, comparando los promedios generales de productividad tanto del año 2022 frente al 2023, se aprecia un claro incremento de 93,82 ton/h, ya que en el año 2022 el promedio general fue de 471,41 ton/h mientras que en el año 2023 es de 565,23 ton/h.

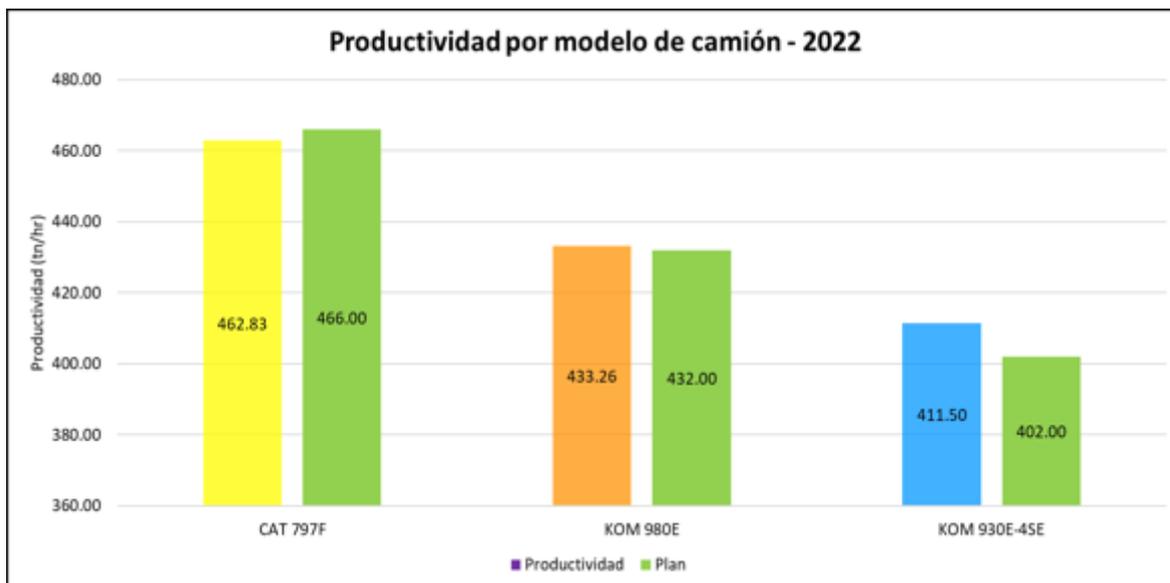


Figura 82 — Productividad por modelo de camión en el año 2022.

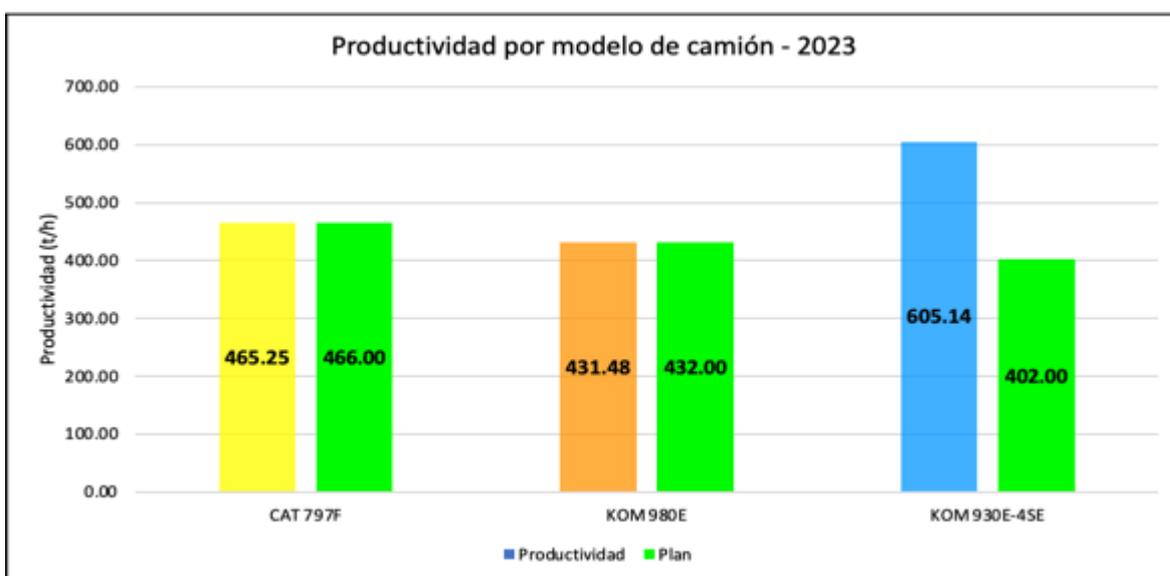
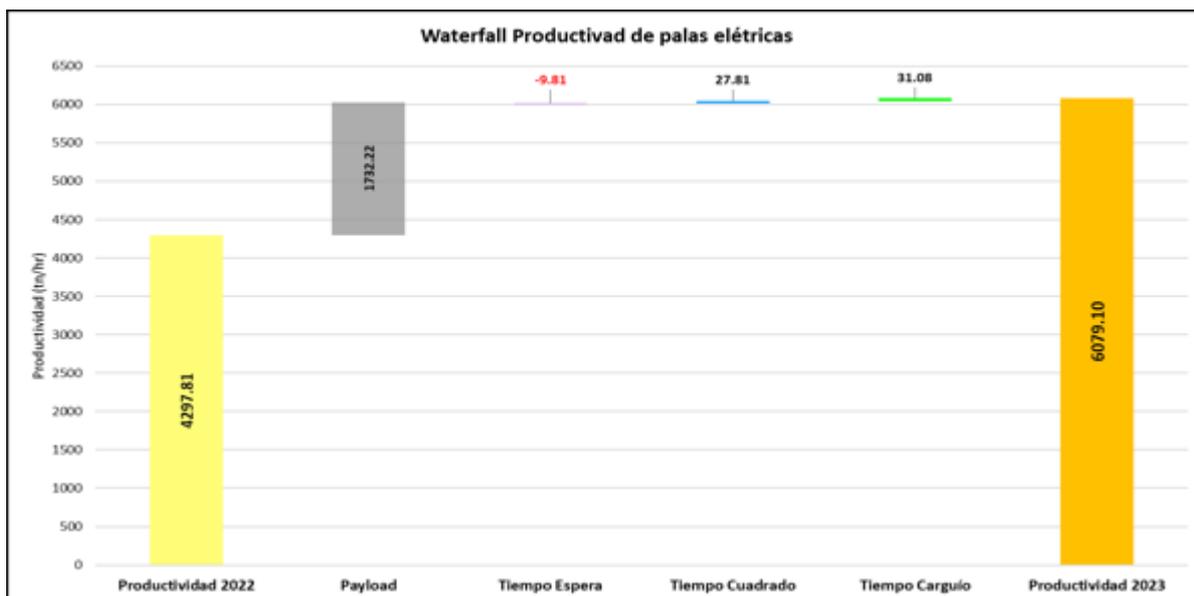


Figura 83 — Productividad por modelo de camión en el año 2023.

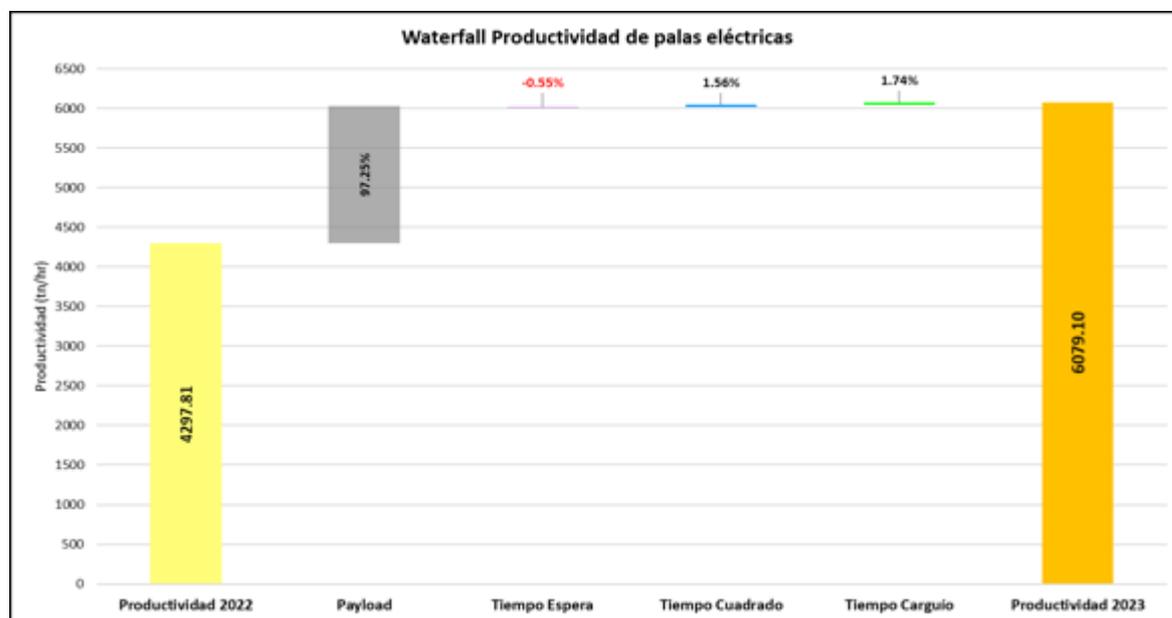
De los gráficos 82 y 83 se puede apreciar que:

- Respecto a los camiones CAT 797F se ve un incremento de 2,42 ton/h respecto al año 2022.
- Respecto a los camiones KOM 980E se ve una disminución en la productividad de 1,78 ton/h respecto al año 2022.
- Respecto a los camiones KOM 930E-4SE se aprecia un incremento de 193,64 ton/h respecto al año 2022, y es donde se hizo mayor hincapié ya que es donde se tiene la mayor cantidad de flota de camiones.



**Figura 84** — Waterfall productividad de palas eléctricas, donde se compara el año 2022 versus el año 2023

La figura 84, muestra el tonelaje por hora que aportó cada KPI para incrementar la productividad de las palas eléctricas del año 2022 al 2023, donde se aprecia que el principal KPI que aportó fue la carga útil (payload) ya que aportó con 1732,22 ton/h, por otro lado, el tiempo de espera fue el que restó en 9,81 ton/h.

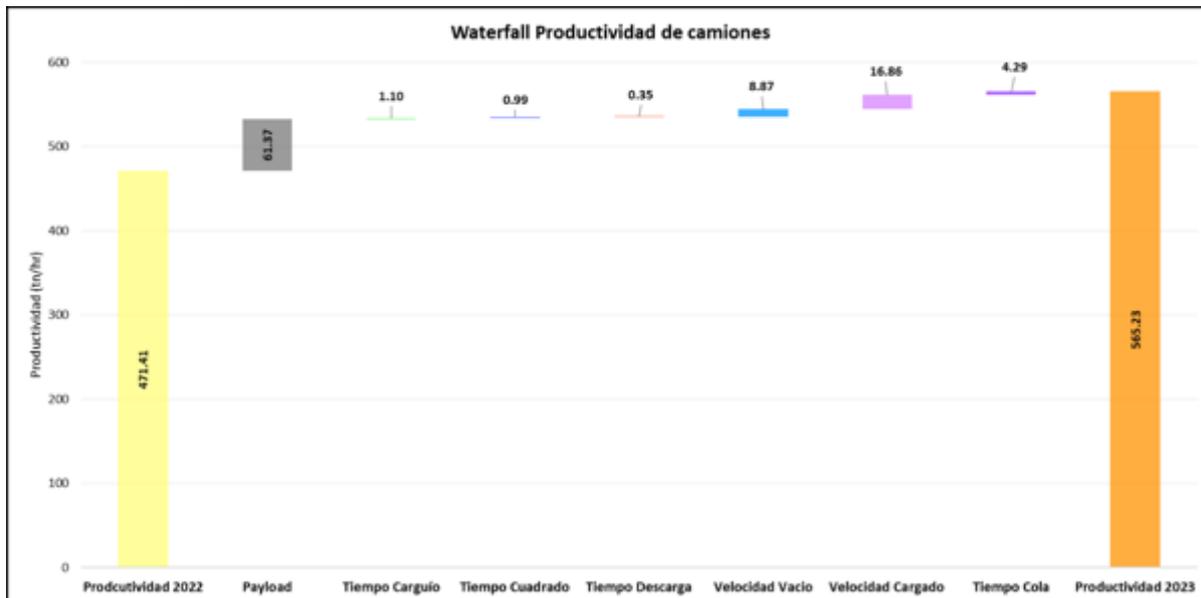


**Figura 85** — Waterfall productividad de palas eléctricas, donde se compara el año 2022 versus el año 2023

La figura 85, muestra el porcentaje de impacto de los KPI’s de carguío para lograr el incremento de la productividad de las palas eléctricas del año 2022 al 2023, el

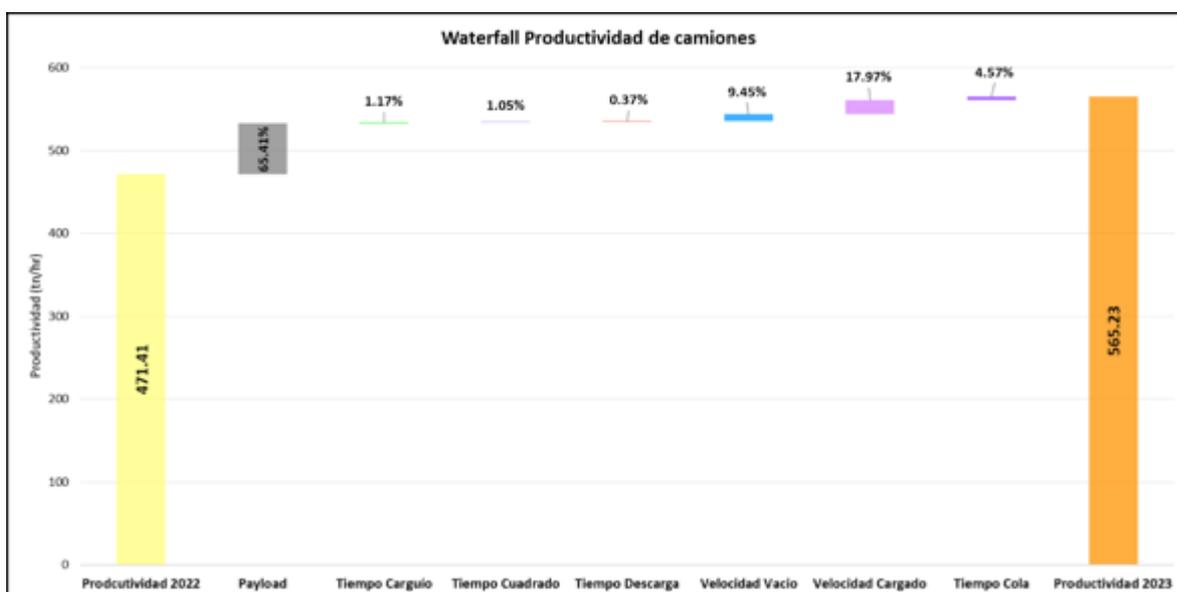


97,25% lo aportó la carga útil (payload) y en menor medida el tiempo de cuadrado y tiempo de carguío, mientras que el tiempo de espera (hang) impactó de forma negativa, restándole un 0,55%.



**Figura 86 — Waterfall productividad de los camiones, donde se compara el año 2023 frente al 2022.**

La figura 86, muestra el tonelaje por hora que aportó cada KPI de acarreo para el incremento de la productividad de los camiones, de ello se rescata que el de mayor impacto es la carga útil (payload), ya que aportó en 61,37 ton/h, seguido de la velocidad cargado (16,86 ton/h), velocidad en vacío (8,87 ton/h), tiempo de cola o queue (4,29 ton/h), tiempo de carguío (1,10 ton/h), tiempo de cuadrado (0.99 ton/h) y en menor medida el tiempo de descarga (0.35 ton/h).



**Figura 87 — Productividad de camiones y sus KPI's.**



La figura 87, muestra el porcentaje de impacto de los KPI's de acarreo para lograr el incremento de la productividad de los camiones donde se ve que la carga útil (payload) representa el 65,41%, seguido por la velocidad cargado (17,97%), velocidad en vacío (9,45%), tiempo de cola o queue (4,57%), tiempo de carguío (1,17%), tiempo de cuadrado (1,05%) y tiempo de descarga (0,37%).

Finalmente, de los resultados obtenidos partiendo del análisis de datos del año 2022 se llevó y se lleva a cabo los procesos de optimización de los KPI's mencionados en la presente investigación y el presente año, tomando como principal herramienta el control y monitoreo de la operación a través del sistema de gestión de flotas DISPATCH y con el soporte de las áreas supervisión de campo y entrenamiento mina a lo largo de la jornada de trabajo de la guardia A de Minera Las Bambas.

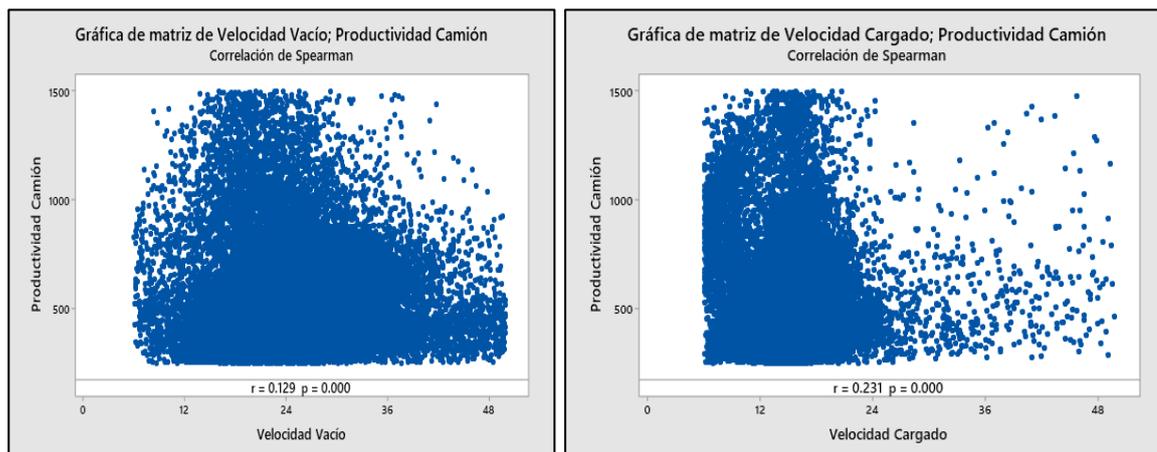
### 5.1.6 Contrastación de hipótesis

Para la contrastación de las hipótesis se hizo la correlación de las variables, para ello se parte del análisis estadístico y se toma como referencia el Capítulo IV en el apartado de las Pruebas de Normalidad, donde se concluyó que los datos no siguen una distribución normal, por lo que para hacer la correlación se realizará a través de pruebas no paramétricas en específico con el coeficiente de Rho de Spearman y determinar la significancia y grado de relación entre las variables.

Para ello partimos de las siguientes hipótesis alterna y nula:

- $H_0$ : No existe correlación entre las variables Productividad de palas eléctricas y camiones y KPI's de carguío y acarreo.
- $H_a$ : Existe correlación entre las variables Productividad de palas eléctricas y camiones y KPI's de carguío y acarreo.

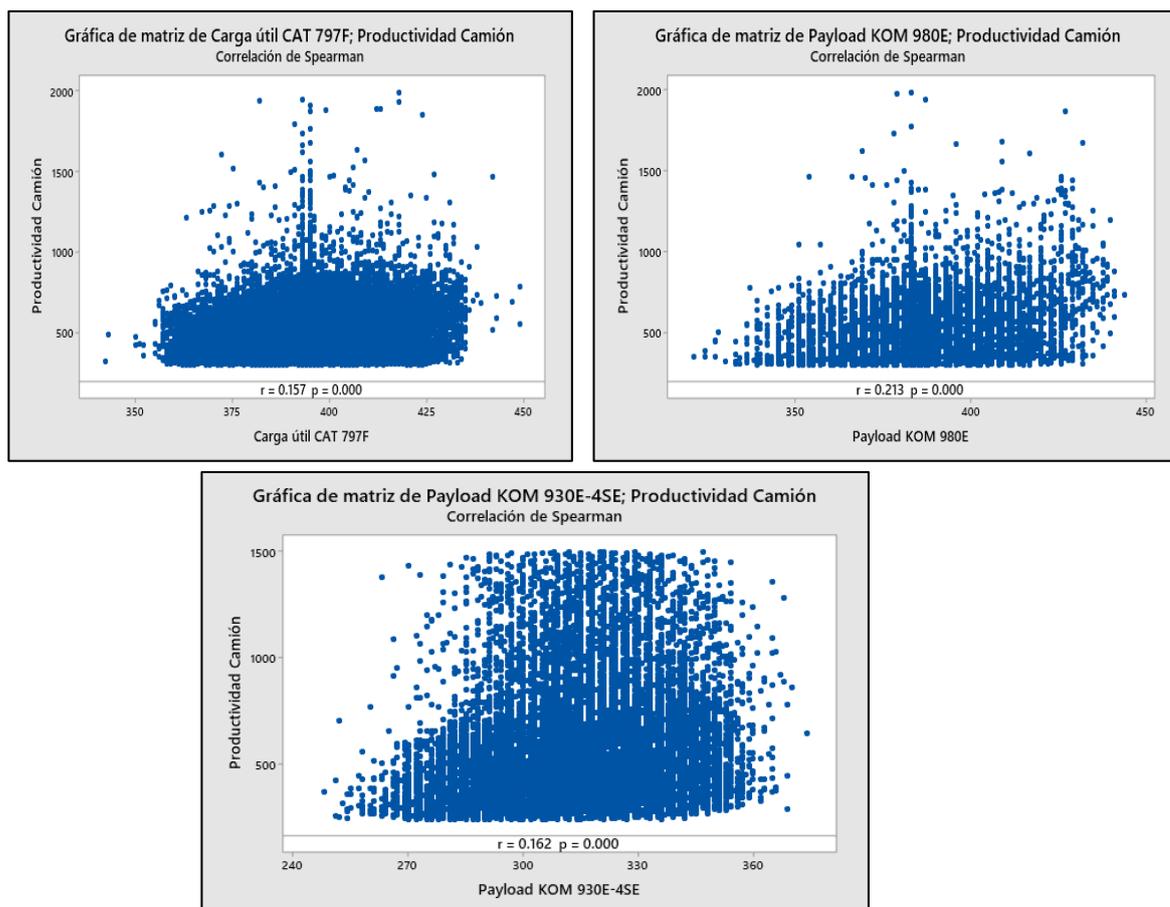
### a) Correlación de Velocidades vs Productividad del camión



**Figura 88 — Correlación de velocidades vs productividad del camión.**

De las figuras mostradas recopiladas de Minitab se aprecia los valores p que son menores a 0,05 y un valor r de 0,129 y 0,231 el cual representa el coeficiente de Spearman.

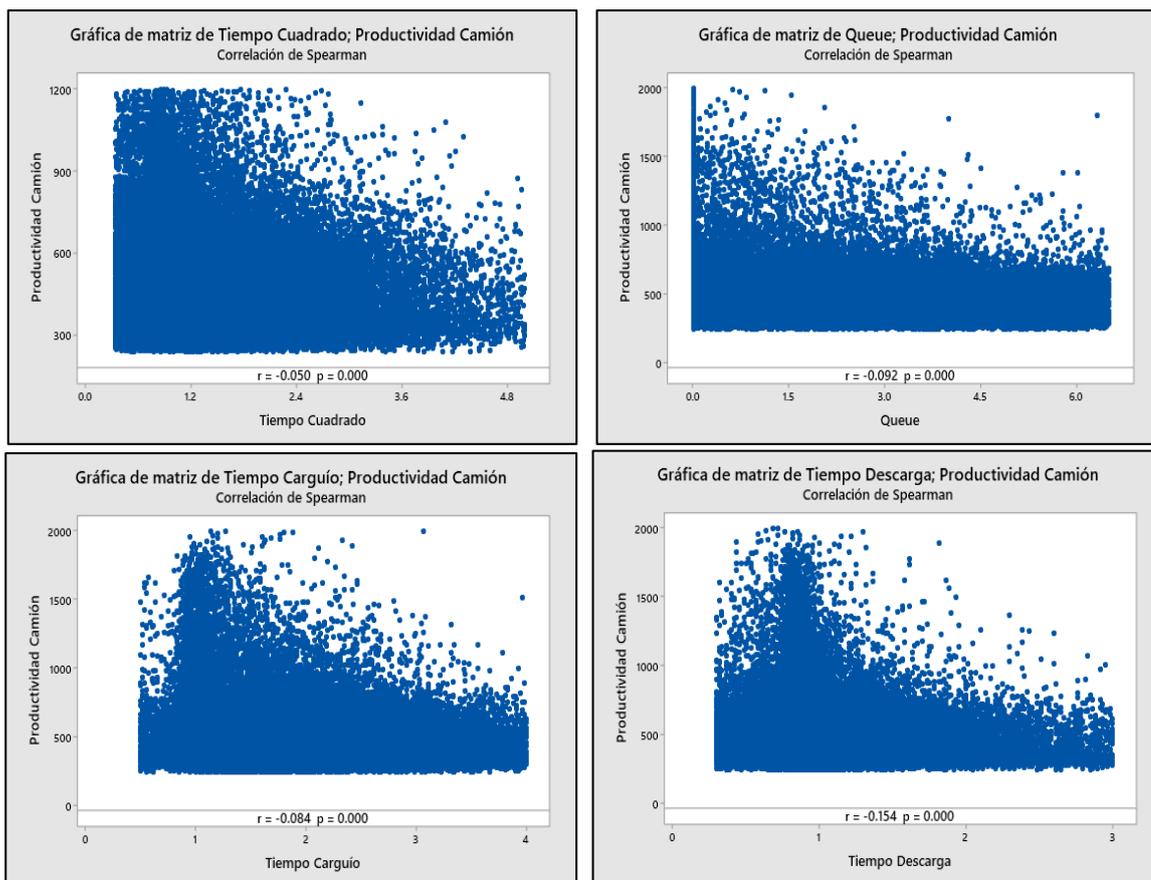
### b) Correlación de carga útil vs Productividad del camión



**Figura 89 — Correlación de carga útil de cada modelo de camión vs productividad del camión.**

De las figuras mostrada se aprecia que los valores p son menores a 0,05 y los valores r son: 0,157, 0,213 y 0,162.

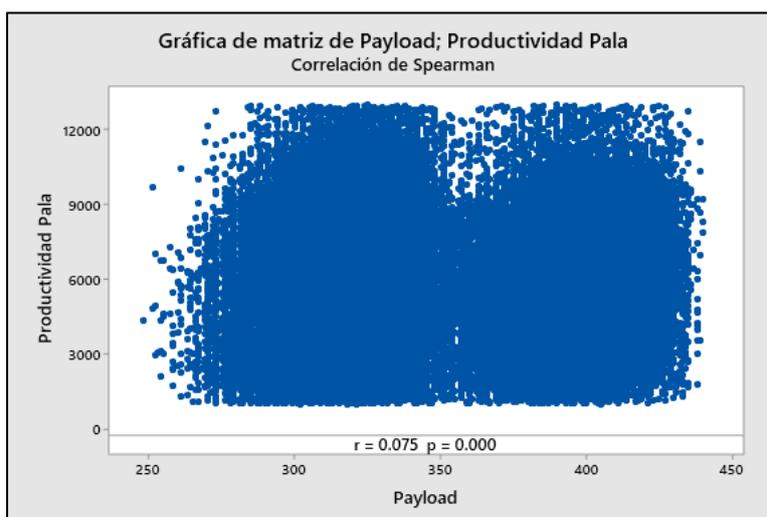
### c) Correlación de tiempos de ciclo vs Productividad del camión



**Figura 90** — Correlación tiempo de ciclo vs productividad del camión.

De las figuras vemos que los valores p son menores a 0,05 y los valores r son: -0,050, -0,092, -0,084 y -0,154.

### d) Carga útil vs Productividad de pala eléctricas



**Figura 91** — Correlación carga útil vs productividad de las palas eléctricas.

En la figura podemos apreciar el valor r de Spearman igual a 0,075 y un valor p menor a 0,05.



A continuación, de los gráficos mostrados líneas arriba se presenta las tablas resumen de la correlación de variables:

**Tabla 22 — Grado de correlación en la productividad de camiones**

<b>Variables</b>	<b>Coefficiente Rho Spearman</b>	<b>P - Valor</b>	<b>Grado de correlación</b>
Productividad Camiones VS Tiempo Espera (Queue)	-0,092	0,000	Correlación inversa muy baja
Productividad Camiones VS Tiempo Cuadrado (Spot)	-0,050	0,000	Correlación inversa muy baja
Productividad Camiones VS Tiempo Carguío	-0,084	0,000	Correlación directa muy baja
Productividad Camiones VS Tiempo Descarga	-0,154	0,000	Correlación inversa muy baja
Productividad Camiones VS Velocidad Vacío	0,129	0,000	Correlación directa muy baja
Productividad Camiones VS Velocidad Cargado	0,231	0,000	Correlación directa baja
Productividad Camiones VS Carga Útil (Payload)	Kom 930E-4SE = 0,162 Kom 980E = 0,213 CAT 797F = 0,157	0,000 0,000 0,000	Correlación directa muy baja

Tabla 23 — Grado de correlación en la productividad de palas

Variables	Coefficiente Rho Spearman	P -Valor	Grado de Correlación
Productividad Pala VS Carga Útil (Payload)	0,075	0,000	Correlación directa muy débil
Productividad Pala VS Tiempo Espera (Hang)	-0,618	0,000	Correlación inversa alta
Productividad Pala VS Tiempo Cuadrado (Spot)	-0,237	0,000	Correlación inversa baja
Productividad Pala VS Tiempo Carguío	-0,263	0,000	Correlación inversa baja

De las tablas 22 y 23, se aprecia que el valor P es menor a 0,05 lo que hace que se rechace la hipótesis nula y se acepte la alterna con lo que podemos afirmar que, si existe correlación entre las variables Productividad de palas eléctricas y camiones con los KPI's de carguío y acarreo a un nivel de significancia del 95%, y de los valores del coeficiente Rho de Spearman los que tienen mayor relación o influencia son las siguientes dimensiones:

Para la productividad de las palas eléctricas:

- Tiempo de espera (Hang)
- Tiempo de carguío
- Tiempo de cuadrado

Para la productividad de camiones

- Velocidad cargado
- Carga útil (Payload)
- Velocidad en vacío
- Tiempo de descarga

## 5.2 Discusión

Como se puede ver en los resultados la carga útil (payload), es un factor muy significativo para lograr incrementar la productividad tanto de las palas eléctricas como de los camiones, ya que para ambos casos representa la mayor influencia como indicador clave, pero para

mantener un promedio alto y constante es importante trabajar con los operadores de pala que menos de carga útil logran, como menciona Quiroga (2016), lograr un leve aumento en el factor de carga se reflejara en el aumento de la productividad de los equipos y que se debe llevar un control, monitoreo constante de los operadores para mantener los resultados y casos de éxito.

Por otro lado, Quiroga (2016), menciona que lograr disminuir el tiempo de carguío afectará positivamente al rendimiento óptimo de los equipos y esto dependerá de trabajar con la experiencia de los operadores de pala, además este tiempo está relacionado al factor de carga (payload) ya que incrementar el factor de carga puede influir negativamente al tiempo de carguío. En la presente investigación se puede apreciar que efectivamente la reducción del tiempo de carguío afecta positivamente al incremento de productividad de las palas y camiones, en caso de las palas se vio que aportó en 1,74% y en caso de los camiones en 1,17%.

El tiempo de espera (Hang) y el tiempo de cola (Queue) son indicadores que están relacionados directamente e inversa ya que si se intenta disminuir uno de ellos el otro se incrementara, con ello se buscó cumplir el equilibrio entre ambos indicadores con el plan establecido por la minera, mantener ambos indicadores menores al plan que es de 1,3 minutos, como se puede apreciar en los resultados se logró hasta la actualidad mantener dicho equilibrio tanto el tiempo de espera (hang) en 1,11 minutos y cola (queue) en 0,93 minutos. Molina (2021), en su investigación menciona que a menor tiempo de espera se incrementa la productividad de los equipos y demuestra que a reducir esos tiempos a 1,22 minutos se estaría logrando un óptimo tiempo y un buen rendimiento de los equipos.

En los resultados obtenidos de la investigación se puede apreciar que el tiempo de acuatamiento o cuadrado (spot) aporta de forma positiva ya que al disminuir dicho tiempo se logró aportar a la productividad de palas y camiones en 1,56% y 1,05% respectivamente. Esto se logrará si nos aseguramos de que los operadores mejoren sus capacidades y competencias al ser reentrenados en la medida que sea necesario, además se debe asegurar las condiciones óptimas de los frentes de carguío (Chircca, 2010). También hay que recalcar que es de suma importancia seguir manteniendo los tops ten o ranking de operadores que menor y mayor tiempo obtienen con el fin de ir trabajando de forma periódica y ordenada hasta llegar a un punto de equilibrio y cumplimiento de plan, tal como lo menciona Huarocc (2014).



Las velocidades de los camiones son uno de los indicadores más significativos después de la carga útil (payload) ya que incrementar dichos indicadores ayudara a la reducción del ciclo de acarreo como son el tiempo de ida y de vuelta, a consecuencia de ellos se incrementará la productividad del camión e indirectamente de la pala. Molina (2021), menciona que al hacer una reducción considerable de los tiempos de viaje de ida y de vuelta que van amarrados a las velocidades a las que circulan los camiones, se permite mejorar considerablemente la productividad de los equipos. Esto se puede apreciar en los resultados de la investigación donde la velocidad cargado impacto en un 17,97% y la velocidad en vacío en 9,45% al incremento de la productividad de los camiones.

Para seguir reduciendo el tiempo de descarga es importante tener en consideración los límites máximos establecidos en los planes mineros, Molina (2021), indica que establecer los límites repercutirá en la mejora del ciclo de minado. En caso de minera Las Bambas para la descarga se establece un máximo de 0,80 minutos, el cual sigue siendo un numero desafiante, con los resultados obtenidos se logró bajar a 0,97 minutos de 1,03 minutos lo que al final represento una mejora en 0,37% respecto al incremento de la productividad del camión.

Para incrementar la productividad de las palas y camiones existen varios indicadores clave o KPI's estos dependerán de la planificación estratégica de cada empresa minera, sin embargo muchos de ellos coinciden en estos indicadores como se desarrollaron en esta investigación y de los resultados de la misma se aprecia que el trabajo principal está en la experiencia de los operadores, en el control de ellos así como en el monitoreo constante a través de análisis de datos, elaboración de ranking y top, pero sin dejar de lado otros factores operativos y mecánicos. Dominguez (2001), menciona que, con los parámetros de orden y control, comunicación a todo nivel, excelente liderazgo, monitoreo, cuidado de equipos, se puede llegar a un cumplimiento de plan optimo y de esta manera también se puede optimizar toda la operación de carguío y acarreo de cualquier mina a tajo abierto, para así obtener una mayor productividad. Con los resultados obtenidos de la investigación se puede apreciar que cada indicador trabajo afecta de forma positiva si se optimiza y caso contrario de forma negativa, cada uno en la medida en que se pueda, teniendo en cuenta la seguridad de la operación y los costos que estos conllevan.



## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

De los resultados obtenidos en la investigación, al optimizar los KPI's en la medida que sea posible tomando con referencia la planificación y estándares de la operación, se observa que los KPI's de carguío y acarrero como las velocidades de los camiones, la carga útil y los tiempos de ciclo influyen significativamente en la productividad de las palas eléctricas y camiones. Ya que en el año 2022 se tenía una productividad de palas eléctricas de 4297,81 ton/h y de camiones de 471,41 ton/h y para este año 2023 se logró incrementar a través del control y monitoreo la productividad de las palas eléctricas a 6079,10 ton/h y la productividad de los camiones a 565,23 ton/h, lo que significa una mejora en 141,45% en palas eléctricas y 119,90% en camiones.

La velocidad de los camiones es el segundo indicador que tiene mayor significancia, en el año 2022 en caso de velocidades en vacío se tenía un promedio de 24,52 km/h y velocidades cargados de 16,66 km/h y para este año se logró incrementar a 26,05 km/h para el caso de velocidades en vacío, mientras que para velocidades cargados a 19,57 km/h, por otro lado, la velocidad en vacío influyó en el incremento de la productividad de los camiones en un 9,45% y la velocidad cargada en 17,97%.

La carga útil (payload) es el indicador que más influye en el incremento de la productividad tanto de las palas eléctricas como de los camiones, ya que en caso de las palas representa un 97,25% y para el caso de los camiones un 65,41%, en el año 2022 se tenía un promedio de 398 ton para camiones CAT 797F, 386 ton para Komatsu 980E y 313 ton para Komatsu 930E-4SE, ahora en 2023 se logró incrementar a 404 ton para camiones CAT 797F, 391 ton para Komatsu 980E y a 316 ton para Komatsu 930E-4SE.

El caso de los tiempos de ciclo en el año 2022 el tiempo de carguío era de 1,66 min, tiempo de cuadrado 1,16 min, tiempo de espera o hang 1,04 min, tiempo de cola o queue 1,69 min, tiempo de descarga 1,03 min y se logró disminuir a 1,47 min en caso del tiempo de carguío, 0,97 min el tiempo de cola o queue, 0,99 el tiempo de cuadrado, 0,97 min el tiempo de descarga, solo el hang se incrementó a 1,21 min.



## 6.2 Recomendaciones

Para lograr mantener los resultados obtenidos con la investigación y seguir mejorando se debe seguir trabajando en el principal activo de la empresa que viene a ser los colaboradores que interactúan directamente con la operación, seguir la recomendación de control, monitoreo y reentrenamiento en base a los análisis de datos que se realice de forma diaria, mensual y anual, tomando en cuenta los planes y referencias de otras unidades mineras.

Las velocidades a las que circulan los camiones mineros más allá de la experiencia de los operadores, se ven influida por otros factores como: Condiciones de las vías, condiciones mecánicas de los equipos, factores climáticos y otros, por lo que no se debe descuidar estos factores si se desea incrementar aún más las velocidades, además se debe tener en cuenta el factor de seguridad ya que la velocidad es un indicador que va relacionado a la generación de accidentes si no se tiene bastante cuidado.

Como se vio en los resultados la carga útil es un factor determinante para el incremento de productividad tanto de las palas eléctricas como de los camiones, porque es de suma importancia tomar en cuenta otros factores que afectan el óptimo carguío fuera de la experiencia del operador como: Condiciones del frente de minado, supervisión constante, condiciones mecánicas de los equipos, condiciones climatológicas y otros que aporten de forma positiva a la mejora de este indicador.

Mantener una buena disponibilidad de equipos auxiliares en las vías, zonas de descarga y frentes de carguío apoya de forma significativa y positiva en la optimización de los tiempos de ciclo de carguío y acarreo, por lo que es recomendable trabajar de la mano con el área de mantenimiento mina para el soporte constante y oportuno.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**BELETE, Orlando; ESTENOZ, Severo y DIÉGUEZ, Yoandro.** Rendimiento del equipamiento minero de arranque-carga-transporte de la empresa Comandante Ernesto Guevara. Revista Boletín de Ciencias de la Tierra [en línea]. Enero-junio 2016, n° 39. [Fecha de consulta: 01 de diciembre de 2012]. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-36302016000100002](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-36302016000100002)

**CHIRCCA, Gary.** Control de las actividades de carguío y acarreo en minería superficial caso: Minera Yanacocha S.R.L. Informe de competencia (Título de Ingeniero de Minas). Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, 2010. [Fecha de consulta: 01 de diciembre de 2022]. Disponible en: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/11449>

**DOMINGUEZ, Jorge.** Optimización del carguío y acarreo por Züblin Chile caso Minera Yanacocha. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, 2001. [Fecha de consulta: 01 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3260074>

**HUAROCC, Pabel.** 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 (Título de Ingeniero de Minas). Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2014. [Fecha de consulta: 01 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1337/%20OPTIMIZACION%20DEL%20CARGUIO%20Y%20ACARREO.pdf?sequence=1>

**LÓPEZ, Víctor.** Diseño de operaciones mineras a cielo abierto. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2012. ISBN: 9786070265969

**GÓMEZ, Jesus [et al.].** Manual de arranque, carga y transporte en minería a cielo abierto. 2.<sup>a</sup> ed. España: Editorial del Instituto Tecnológico Geominero de España, 1995. ISBN: 8478400818.

**MOLINA, Sandra.** Modelo de optimización de un sistema pala-camión en una mina de carbón a cielo abierto. Tesis (Magíster en Recurso Minerales). Medellín: Universidad Nacional de



Colombia, 2021. [Fecha de consulta: 01 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/79649/49790178.2021.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

**Peak Performance Practices – Baldes.** [en línea]. EEUU: P&H MinePro Services. [Fecha de consulta: 15 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/261285636/BALDES-P-H-pdf#>

**QUIROGA, Patricio.** Diseño de herramienta computacional para control de KPI de operadores de carguío y transporte – Mina Los Bronces. Tesis (Título de Ingeniero Civil de Minas). Chile: Universidad de Chile, 2016. [Fecha de consulta: 01 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/142772>

**SALDAÑA, Anthony.** Productividad en el ciclo de carguío y acarreo en el tajo Chaquicocha bajo clima severo – Minera Yanacocha. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, 2013. [Fecha de consulta: 01 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3259340>

**TTITO, Diego.** Gestión de la operación de equipos de movimiento de tierras para mejorar el rendimiento de carguío y acarreo en la mina Antapaccay. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Perú: Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, 2015. [Fecha de consulta: 15 de diciembre de 2022]. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/204>

**VALENZUELA, Jhulino.** Gestión del ciclo de acarreo para optimizar la productividad operacional del tajo Ferrobamba del proyecto minero Las Bambas, 2016. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Perú: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, 2022. [Fecha de consulta: 20 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1084>

**“Extraer los hechos”: uso de KPI para monitorear el progreso, controlar los costos y mejorar el rendimiento.** [en línea]. Perú: Caron, P. [Fecha de consulta: 07 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://www.caronbusiness.com/es/mineria/monitoreo-de-kpi-en-la-industria-minera/#:~:text=Los%20KPI%20ayudan%20a%20establecer,y%20responder%20r%C3%A1pidamente%20a%20ambos.>



*¿Qué son los indicadores KPI y qué tipos existen?* [en línea]. España: ISO 9001:2015. [Fecha de consulta: 07 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://www.nueva-iso-9001-2015.com/2019/10/que-son-los-indicadores-kpi-y-que-tipos-existen/>

*Indicadores de Gestión (KPI's): Tipos y Ejemplos.* [en línea]. Colombia: Rocancio, G. [Fecha de consulta: 07 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://gestion.pensemos.com/indicadores-de-gestion-tipos-y-ejemplos>



## ANEXOS



## ANEXO 1 – PANEL FOTOGRÁFICO



Figura 95 — Pala eléctrica cargando a un camión Komatsu 930E-4SE.

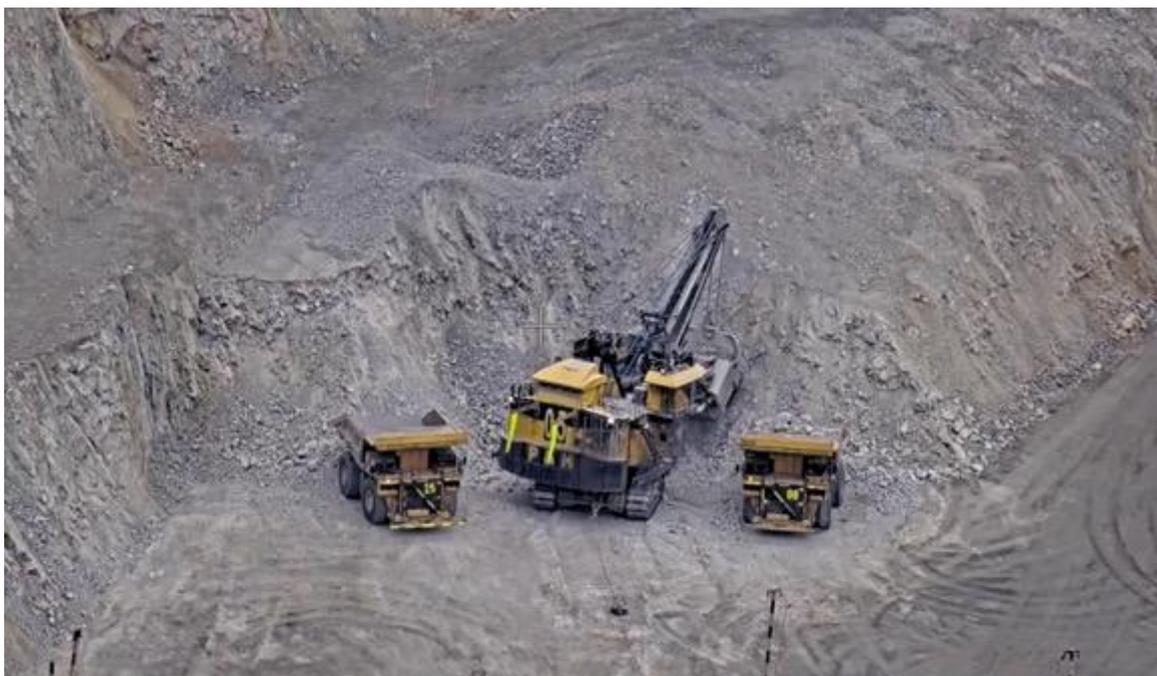


Figura 96 — Pala eléctrica P&H 4100XPC cargando camiones por ambos lados.



**Figura 97 — Camión Komatsu 980E registrando su carga útil (payload).**



**Figura 98 — Camiones cuadrándose para ser cargados.**



**Figura 99 — Camiones en cola esperando a ser cargados.**



**Figura 100 — Pala eléctrica P&H 4100XPC esperando camiones para cargar.**



**Figura 101 — Camiones mineros acarreado mineral hacia chancadora primaria.**



**Figura 102 — Camiones mineros acarreado desmonte hacia los botaderos.**



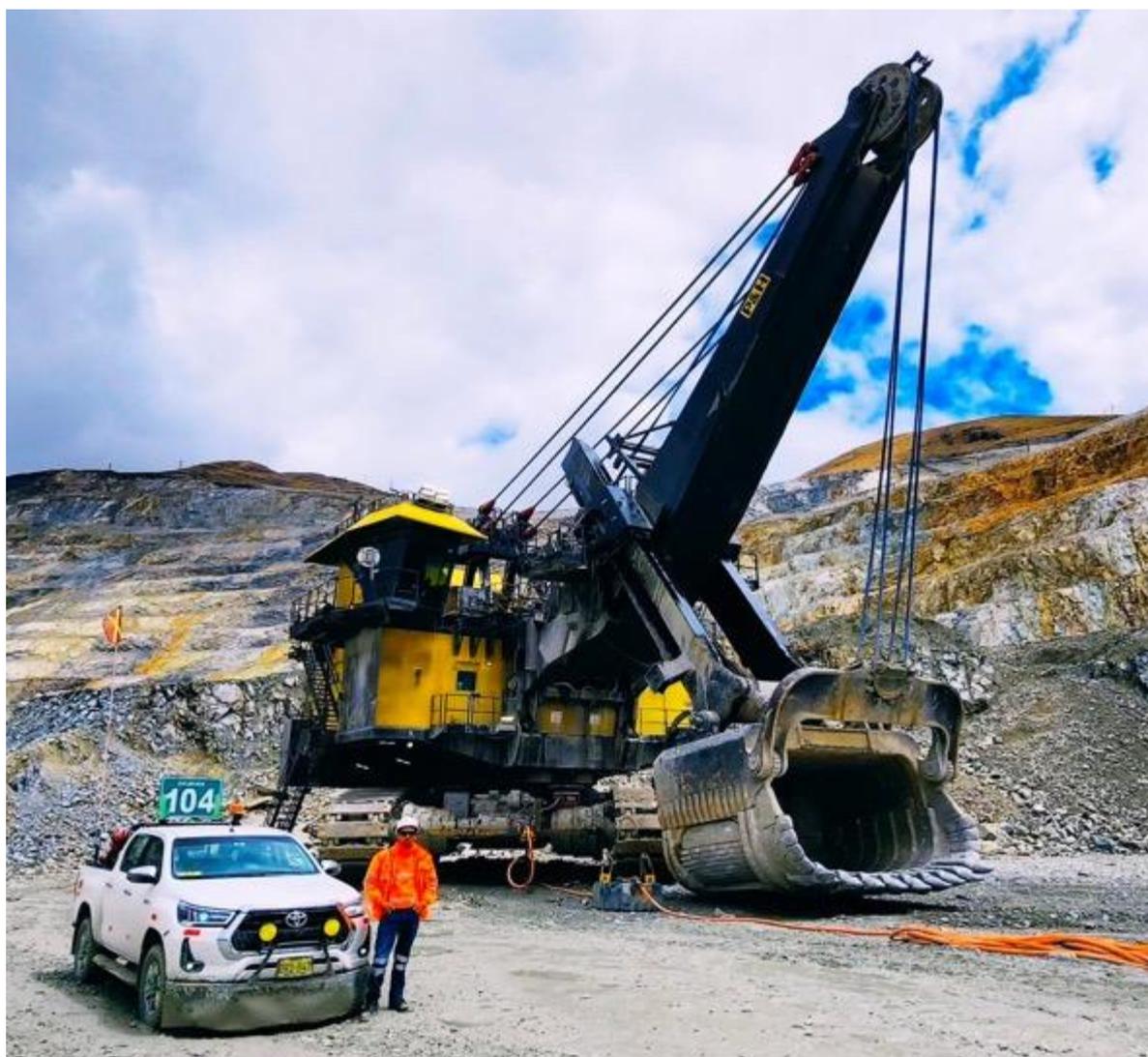
**Figura 103 — Camión minero descargando desmonte en el botadero.**



**Figura 104 — Equipo auxiliar (Tractor sobre orugas) conformando la zona de descarga.**



**Figura 105 — Motoniveladora realizando mantenimiento de las vías de acarreo.**



**Figura 106 — Investigador visitando pala eléctrica para monitoreo.**

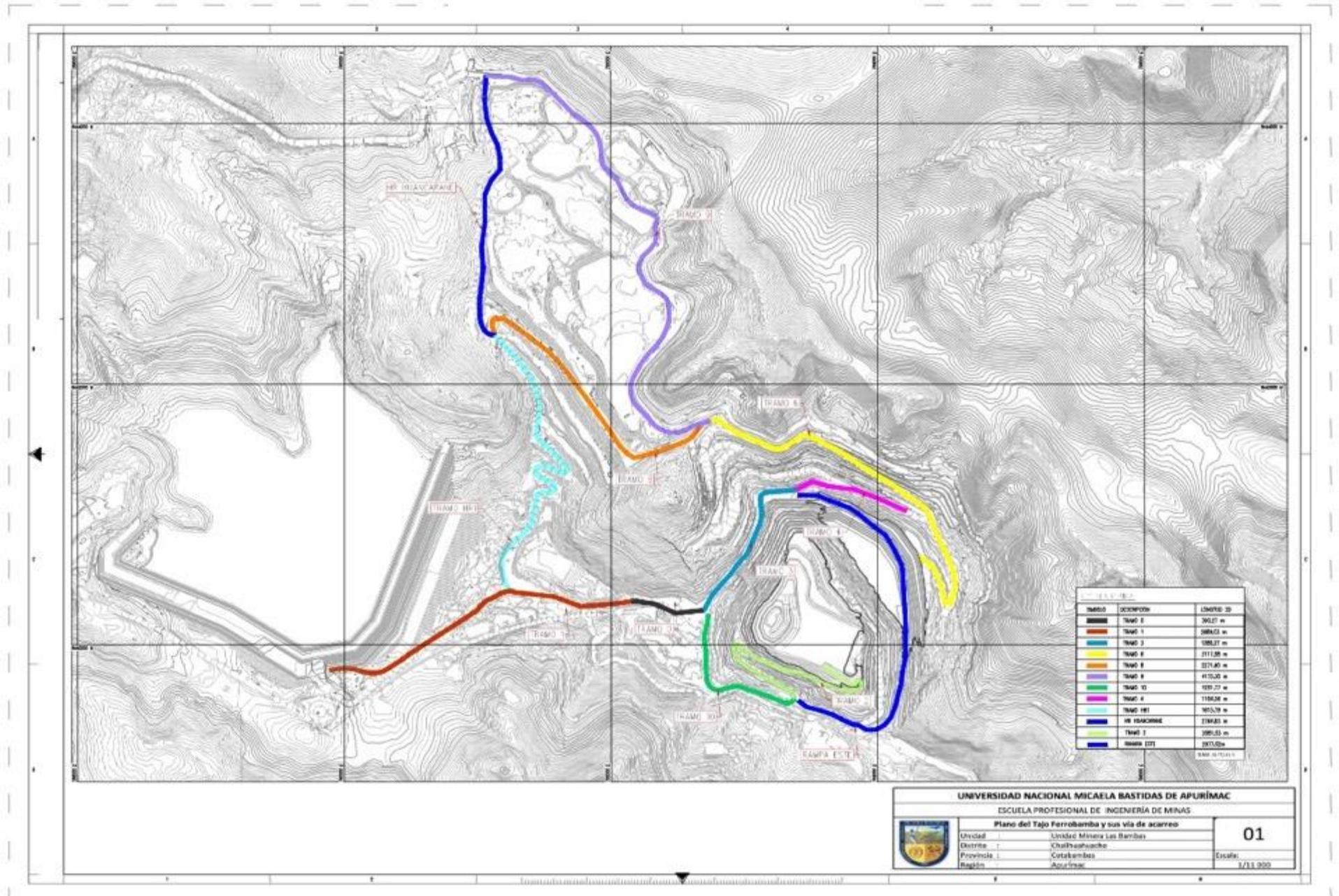
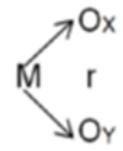


Figura 107 — Plano de vías Tajo Ferrobamba



Figura 108 — Plano de Ubicación Mina Las Bambas

**Tabla 24 — Matriz de consistencia**

OPTIMIZACIÓN DE KPIS DE CARGUÍO Y ACARREO PARA INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD DE PALAS ELÉCTRICAS Y CAMIONES DEL TAJO FERROBAMBA, MINA LAS BAMBAS, COTABAMBAS - 2023						
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Independiente			
¿En qué medida los KPIS de carguío y acarreo influye en la productividad de las palas eléctricas del tajo Ferrobamba en la mina Las Bambas, Cotabambas - 2023?	Identificar la medida en que los KPIS de carguío y acarreo influyen en la productividad de palas eléctricas y camiones del tajo Ferrobamba en la mina Las Bambas, Cotabambas - 2023	Los KPIS de carguío y acarreo influyen significativamente en la productividad de palas eléctricas y camiones del tajo Ferrobamba en la mina Las Bambas, Cotabambas - 2023	1. KPI	1.1 Carguío 1.2 Acarreo	1.1.1 Tiempo de carguío 1.1.2. Tiempo de espera 1.2.1 Tiempo cuadrado 1.2.2. Tiempo de cola 1.2.3 Velocidad cargado 1.2.4 Velocidad vacío 1.2.5 Tiempo descarga 1.2.6 Carga útil	Tipo de investigación: Aplicada Nivel de Investigación: Correlacional Donde:  
Problemas Específicos	Objetivo Específico	Hipótesis Específico	Variable Dependiente			
¿De qué manera afecta la velocidad de acarreo en la productividad de palas eléctricas y camiones del tajo Ferrobamba en la mina Las Bambas, Cotabambas - 2023?	Identificar la manera en que afecta la velocidad de acarreo en la productividad de palas eléctricas y camiones del tajo Ferrobamba en la mina Las Bambas, Cotabambas - 2023	La velocidad de acarreo afecta en gran medida en la productividad de palas eléctricas y camiones del tajo Ferrobamba en la mina Las Bambas, Cotabambas - 2023				M: La muestra de la investigación. X: Variable independiente de la investigación. Y: Variable dependiente de la investigación. r: Es la correlación entre ambas variables.  Método de investigación: Inductivo - Deductivo Diseño de investigación: No Experimental
¿En qué medida influye la carga útil de camiones en la productividad de palas eléctricas y camiones del tajo Ferrobamba en la mina Las Bambas, Cotabambas - 2023?	Caracterizar la manera en que la carga útil de los camiones en la productividad de palas eléctricas y camiones del tajo Ferrobamba en la mina Las Bambas, Cotabambas - 2023	La carga útil de los camiones influye considerablemente en la productividad de palas eléctricas y camiones del tajo Ferrobamba en la mina Las Bambas, Cotabambas - 2023	2. Productividad	2.1 Palas eléctricas 2.2 Camiones	2.1.1 Producción pala 2.2.1 Producción camión	
¿De qué manera influye los tiempos de ciclo en la productividad de palas eléctricas y camiones del tajo Ferrobamba en la mina Las Bambas, Cotabambas - 2023?	Analizar la medida de influencia de los tiempos de ciclo en la productividad de palas eléctricas y camiones del tajo Ferrobamba en la mina Las Bambas, Cotabambas - 2023	Los tiempos de ciclo influyen notablemente en la productividad de palas eléctricas y camiones del tajo Ferrobamba en la mina Las Bambas, Cotabambas - 2023				