

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA DE MINAS**

“APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE COLAS PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN EN EL PROCESO DE CARGUÍO Y ACARREO EN UNA MINA DE COBRE DEL SUR DEL PERÚ, 2021”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero de minas

Autor:

Ronny Samir Cabanillas Perez

Asesor:

Ing. Rafael Napoleón Ocas Boñón
<https://orcid.org/0000-0001-9519-2532>

Cajamarca - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Danyer Stewart Girón Palomino	30675947
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Daniel Alejandro Alva Huamán	43006890
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Victor Eduardo Álvarez León	18034429
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

“APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE COLAS PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN EN EL PROCESO DE CARGUÍO Y ACARREO EN UNA MINA DE COBRE DEL SUR DEL PERÚ, 2021”

ORIGINALITY REPORT

20%

SIMILARITY INDEX

18%

INTERNET SOURCES

4%

PUBLICATIONS

7%

STUDENT PAPERS

MATCH ALL SOURCES (ONLY SELECTED SOURCE PRINTED)

6%

★ repositorio.unap.edu.pe

Internet Source

Exclude quotes Off

Exclude matches < 20 words

Exclude bibliography Off

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico a mis Padres, Wilber Cabanillas Terán y a mi Madre Sulma Perez Díaz, A mis Abuelos Julio Cabanillas Escalante y Hortensia Terán García, quienes brindaron todo su apoyo para poder lograr mis objetivos en el desarrollo de mi vida profesional.

AGRADECIMIENTO

Dios, quiero darte gracias porque contigo soy un vencedor. A las personas e instituciones que ayudaron con el proyecto de investigación y que contribuyeron en la redacción del mismo.

Agradezco a mi Tío Wilmer Cabanillas Terán, quien confió en mi persona y me dio la oportunidad de aprender y crecer profesionalmente.

Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	10
1.1. Realidad problemática	10
1.2. Formulación del problema	17
1.3. Objetivos	17
1.3.1. Objetivo general	17
1.3.2. Objetivos específicos	17
1.4. Hipótesis	18
1.4.1. Hipótesis general	18
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	19
CAPÍTULO III: RESULTADOS	26
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	40
REFERENCIAS	42
ANEXOS	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tiempos de ciclo de la Pala PH03 / abril - mayo	27
Tabla 2. Tiempos de ciclo de la Pala PH03 / junio.....	30
Tabla 3. Tiempos de ciclo de la Pala PH05 / abril - mayo	31
Tabla 4. Tiempos de ciclo de la Pala PH05 / junio.....	35
Tabla 5. Rendimiento del Camión Cat 793 D	37
Tabla 6. Rendimiento de la Pala Hidráulica Cat 6060.....	37
Tabla 7. Datos - Teoría de Colas	38
Tabla 8. Resultados Teoría de colas	38

Haga clic o pulse aquí para escribir texto.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Instrumento adaptado - Reporte de Dispatch. Fuente: Reporte de Dispatch adaptado ...	21
Figura 2. Formato de Tiempos del ciclo de carguío	24
Figura 3. Representación del tiempo residual aplicando la teoría de cola.	39

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo por finalidad aplicar la teoría de colas en el proceso de carguío y acarreo para mantener constante la producción a 7000 tm/camión/mes en una mina del sur del Perú, ya que se observó que los ciclos de carguío y acarreo presentan tiempos improductivos prolongados ocasionados principalmente por demoras de esperas en cola de los camiones con tiempos de 99 minutos/camión/mes hasta 113 minutos/camión/mes.

Concluyendo que, los tiempos de ciclo máximos llegan hasta los 60 minutos con valores mínimos de 26 minutos. En promedio el tiempo de ciclo de carguío y acarreo a considerar es de 31 minutos. Así mismo, se observa que según los cálculos realizados el rendimiento de los camiones es 224.71 m³/h y el rendimiento de las palas es de 2908.0 m³/h. Con la aplicación de la teoría de colas a los ciclos de carguío de 2 palas hidráulicas Cat 6060 y 4 camiones Cat 793D para incrementar la productividad, se tuvo que el tiempo de espera sería de 20.24 minuto y la cantidad de camiones en espera 8, por lo tanto, cada camión tendría un tiempo de espera estimado en 2.53 minutos.

PALABRAS CLAVES: Colas, carguío, acarreo, producción, ciclos, demoras.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En esta era competitiva, vivimos en un mundo desafiante y globalizado donde la productividad juega un papel importante en los proyectos, especialmente en los proyectos mineros, por lo que es necesario obtener o desarrollar sistemas que le permitan medirlo en base a los parámetros específicos de cada proyecto. (Aquino, 2019).

Las empresas que trabajan en la industria minera constantemente intentan reducir el tiempo y costo de las operaciones de carga y transporte antes mencionadas que cuentan con sistemas de control como ControlSense, Jigsaw o GPSS. (Castillo, 2016).

La información asumida estuvo constituida por datos referenciales que fueron ligeramente modificados para la presentación de los resultados, esto por motivos de confidencialidad de la información y no se cuenta con el permiso correspondiente, para lo cual se analizó el reporte de dispatch de 04 camiones Cat 793D y 02 Palas Hidráulicas Cat 6060 haciendo una data alterna con los datos referenciales de mayor interés, conteniendo la información de los ciclos de carguío y demoras en los meses de abril hasta junio del 2021 en la ruta del tajo al Pad de lixiviación; ya que se observó que los ciclos de carguío y acarreo presentan tiempos improductivos prolongados ocasionados principalmente por demoras de esperas en cola de los camiones con tiempos de 99 minutos/camión/mes hasta 113 minutos/camión/mes, ocasionando bajo rendimiento de producción de mineral en las operaciones de carguío y acarreo que va desde 3,827 tm/camión/mes hasta 7,156 tm/camión/mes, siendo lo planificado una producción constante de 7,000 tm/camión/mes; esta variabilidad en la producción del carguío y acarreo influye en la variación de los costos de operaciones, generando un presupuesto inadecuado para el mes.

A nivel internacional, Barrientos (2014) en su estudio que lleva por nombre “Análisis de los factores operacionales en detenciones y productividad de sistema de carguío y transporte de minería a cielo abierto” trató de encontrar una solución más efectiva para reducir los tiempos de inactividad. Esto mejora la eficiencia del sistema de alimentación y transporte de la trituradora debido al cambio de turno y los refrigerios. Cuando se da el tiempo total del ciclo, se correlaciona negativamente con la calificación de eficiencia por ciclo, un resultado esperado y que sigue la lógica teórica, ya que la calificación de eficiencia se obtiene dividiendo el tiempo y el tamaño del contenedor que tarda para completar el ciclo.

Así mismo, a nivel nacional Pardo (2019), en su tesis “Optimización del transporte de desmonte con volquetes mediante la teoría de colas en Sociedad Minera Corona S.A.”, el objetivo principal fue determinar la optimización del transporte de desmonte con volquetes usando la aplicación de la teoría de colas en Sociedad Minera Corona. La información analizada proviene de tiempos de transporte y demoras entre los puntos de carga y descarga. La variable estimada es el número de puntos de carga versus el costo del retraso del transportador más el costo unitario de usar búnkeres en la mina. El cargador frontal CAT 966H puede aumentar la producción en un 10% (288 m³/h - 320 m³/h) aplicando la teoría de colas para una operación de carga y transporte unificada. El uso de la teoría de colas reduce el costo operativo total de carga y transporte, el costo de espera de carga se reduce a \$377,7 por día y el costo de transporte se reduce a \$4635,36 por día. Por otro lado, se redujo significativamente el transporte de roca, logrando así los objetivos de reducción de costos establecidos por Sociedad Minera Corona SA, y la producción de residuos también experimentó un agradable aumento, de 37.547 a 41.301 t/mes.

Igualmente, Mauricio (2015), en su análisis de Mejoramiento continuo en la gestión del ciclo de acarreo de camiones en la minería de tajo abierto en Antamina de Cerro Verde,

Yanacocha, Toquepala, Alto, Cuajone, Chicama, Cerro Corona, Antapacay, Las Bambas y Pucamarca; manifestando optimizar y recortar aquel tiempo de espera de los trenes de la carretera en zonas tanto de carga como descarga de las canteras. Finalizando este tiempo de espera el cual es principal KPI de Despacho. Del porcentaje de mejora en el tiempo de ciclo podemos concluir que el mismo porcentaje ha sido reflejado en el desempeño eficiente del camión.

Por otro lado, Marín (2015), en su investigación titulada “Incremento de la Productividad de Carguío y Acarreo en frentes que Presentan altos contenidos de Arcillas al utilizar el Diseño de Lastre Adecuado, Minera Yanacocha, Perú - 2015”, su principal objetivo de investigación es aumentar la eficiencia de los equipos de carga y elevación en fachadas altas en arcilla mediante la realización de correctos cálculos de balasto. El diseño del estudio fue no experimental, descriptivo, transversal y aplicado, utilizando muestras de pala Hitachi ex5500 recolectadas sobre una superficie de trabajo alta de arcilla. En resumen, se puede encontrar que existen diferencias significativas en la productividad de los cargadores frontales de lastre; por ejemplo, la productividad de los cucharones Hitachi No.4 y No.7 aumentó del 69% al 91%.

De igual forma Apaza (2017), en su investigación denominada “Disminución de tiempos improductivos para incrementar la utilización de equipos de carguío y acarreo en la mejora continua de la productividad en el tajo Chalarina en Minera Shahuindo S.A.C.” pretende encontrar alternativas para aumentar la productividad, el estudio está diseñado utilizando datos de la actividad en curso, utilizando métodos y herramientas estadísticas que permiten al estudio comprender el uso y la disponibilidad mecánica de los equipos de manejo de materiales; termina por reducir el tiempo ineficiente para las operaciones de carguío y acarreo individuales.

Igualmente, a nivel local Cerdán y García (2021), En un trabajo de investigación titulado “Aplicación de la teoría de colas para mejorar la producción de carga y acarreo en la Empresa Minera Cajamarca 2020”, el cual tiene como objetivo mejorar la producción de carga y acarreo aplicando la teoría de colas en la Empresa Minera Cajamarca, 2020. Según los resultados obtenidos en campo, las técnicas de carga y acarreo con volquete FMX 440 R = 66,56 m³/h y el rendimiento real de la excavadora 336 FL CAT es 356,4 m³/h, lo que demuestra que la excavadora está trabajando a la velocidad es del 91,55% de su rendimiento máximo.

El trabajo de investigación se relaciona con los parámetros y definiciones a tomar en cuenta durante el proceso de elaboración de la tesis, los cuales se detallan a continuación. El carguío es la carga de material triturado desde el depósito hasta su destino final, ya sea la trituradora primaria, el depósito o los botaderos sur y norte. La operación de carguío implica desarrollar una serie de características que aseguren una ejecución normal y eficiente. En esta etapa del proceso de minería, se determinan las áreas de carga, las direcciones de carga (a la superficie de carga, la ubicación del equipo de carga y el nivel del piso) y la asignación de material de acuerdo con las leyes de clasificación y tonelaje predeterminado (Codelco, 2018). Así mismo, el ciclo puede comenzar desde el dispositivo de carga cuando el camión recibe su carga. Después de eso, el camión se mueve a lo largo del camino de la mina hasta llegar al vertedero completo a lo largo de la ruta prescrita.

El lugar de desmantelamiento puede ser un almacén, un vertedero o una trituradora. Cuando se descarga la carga, el camión da la vuelta y se dirige vacío al equipo de carga. (Xavier, 2015). De manera similar, la producción es la magnitud o el peso total de los materiales a procesar en una operación dada. Puede ser un mineral económicamente extraíble o un mineral estéril que debe extraerse para obtener el primero. La producción de mineral

suele definirse en unidades de peso, mientras que el movimiento de residuos se define en términos de volumen. (Ortiz, 2016).

En tanto, Maruri (2016), según el análisis de actividad del equipo basado en el tiempo y el retraso en la operación, los métodos de mejora de la productividad y control son muy importantes, porque los equipos de carga y transporte tienen una gran influencia en los costos. Los retrasos en las operaciones de carga y acarreo pueden causar pérdidas importantes y los sistemas de gestión de flotas tienen como objetivo minimizar estos retrasos. (Bonzi, 2016).

Para evaluar la carga y acarreo decidimos que una de las opciones más recomendadas era un software llamado Dispatch que se instala en cada equipo y puede usarse para minería superficial y subterránea. (Calderón, 2014). Por lo tanto, uno de los procesos más costosos involucrados en la minería es la carga y el transporte del mineral; esto se debe a que este proceso es continuo y porque está muy mecanizado, requiere una gran cantidad de equipos. (Pardo, 2019).

Las diferencias acumuladas por ineficiencias prolongadas conducen a costos elevados, lo que justifica invertir en un plan de mejora continua para aumentar la productividad (Castillo, 2016).

Los tiempos improductivos son el tiempo de retardo superior a 10 minutos interrumpir al ciclo de trabajo o cuando el equipo esté fuera de producción, porque el punto más importante en el uso de equipos es el retraso de todo el proceso, pero estos retrasos se deben a varios motivos/origen, descritas en este informe oficial (Zapata, 2011).

También Rodríguez (2013), para demostrar que el fundamento original de la teoría de las colas se remonta a principios del siglo XX, no fue hasta la década de 1950 que

Koenigsberg (1958) publicó el primer estudio que trataba específicamente de la industria minera subterránea del carbón. Trata la minería como una cadena de cola de circuito cerrado que sirve a un número limitado de unidades de trabajo con ciertos estándares de servicio y rendimiento del sistema. Los dispositivos que han completado el ciclo se incorporan a la cola para el primer paso. Suponga una distribución exponencial del tiempo de servicio y una tasa de llegada variable.

Rodríguez (2013), nos dice que uno de los procesos más costosos involucrados en la minería es cargar y transportar el mineral; esto se debe a que el proceso es una operación continua, está altamente mecanizado y requiere una gran cantidad de equipo. Su finalidad es retirar el material volado y llevarlo a una planta de reciclaje o vertedero. Esto se puede realizar en el siguiente orden: preparar el área de trabajo, configurar el equipo, retirar el material del frente de trabajo, mover el material del vehículo para el transporte, transportar el material al punto del sitio. destino (fábrica, almacén o vertedero), descargar el material y devolver el vehículo al lugar de carga. Dependiendo de los estándares de productividad requeridos y alcanzados, podemos estimar que los costos operativos de carga y transporte representan del 45% al 65% de los costos operativos totales y pueden ser incluso mayores o menores dependiendo de factores como los costos operativos y las condiciones de trabajo. También cabe señalar que el flete varía del 10% al 20% del costo total, mientras que el envío varía del 35% al 45% del costo total. La teoría de colas tiene muchas aplicaciones en la minería. Las fórmulas de colas y los modelos matemáticos nos permiten simular y predecir la capacidad de producción para que podamos tomar las decisiones correctas sobre la reasignación de recursos, como aumentar o disminuir la capacidad que maximizará la utilización. La capacidad instalada de equipos y volquetes permite incrementar la producción en el menor tiempo y al menor costo. (Pardo, 2019).

Así también, Max Schwars (2017) en su estudio: *Teoría de colas aplicada a la industria minera*, señala que: “La teoría de colas es un conjunto de modelos matemáticos que describen las colas observadas en la realidad para encontrar un estado estable y determinar la capacidad de servicio adecuada a través del modelado”. Por otro lado, la teoría de las colas o "línea de espera" existe cuando la demanda de un servicio o bien en un sistema excede la cantidad que el sistema puede proporcionar, y cada sistema de colas tiene tres componentes: la unidad o población del sistema, la línea de espera o sistemas de colas y sistemas de servidores o servicios (Pardo, 2019).

Para explicar adecuadamente el proceso de cola de llegadas, necesitamos construir una distribución de probabilidad sobre el número de llegadas en un período de tiempo determinado. Cada llegada es impredecible y ocurre de forma independiente porque no podemos determinar el momento exacto en que sucede. Para describir el patrón de llegada, nos referiremos a la distribución de Poisson basada en probabilidad, Pardo (2019):

$$P(x) = \frac{\lambda^x e^{-\lambda}}{X!}$$

Por lo que: λ = Número de llegadas por periodo y X = Promedio de llegadas en un periodo.

Pardo (2019). El proceso de servicio está representado por un diseño probabilístico que controla la vida útil del camión volquete. Es decir, la distribución de probabilidad es exponencial, por lo que la probabilidad de que la vida útil sea igual o menor que el tiempo t será:

$$P(\text{Tiempo de servicio}) \leq t = 1 - e^{-\mu t}$$

Por lo que: t = Tiempo de duración y μ = Cantidad de servicios por periodo.

La justificación práctica de la investigación es que en base a los resultados obtenidos se corregirá los tiempos improductivos en colas. Puede utilizar herramientas como simulación o teoría de colas para aumentar el volumen de minería. En este caso, debe utilizar las herramientas matemáticas proporcionadas por el modelo de vista. Los costos de espera de la flota se pueden minimizar mediante el uso de modelos de espera que eliminen o minimicen el tiempo perdido por los camiones, para lo cual se debe contar con el historial de manejo y el período del sistema.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el incremento de la producción al aplicar la teoría de colas en los procesos de carguío y acarreo en una mina de cobre del Sur del Perú?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Aplicar la teoría de colas en el proceso de carguío y acarreo para mantener constante la producción a 7000 tm/camión/mes en una mina del Sur del Perú.

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar los tiempos de ciclos de carguío de las 2 palas hidráulicas Cat 6060 y los 4 camiones Cat 793D durante los meses de abril a junio en la ruta del Pad al botadero.
- Aplicar la teoría de colas a los ciclos de carguío de las 2 palas hidráulicas Cat 6060 y los 4 camiones Cat 793D para incrementar la productividad.

1.4.Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La aplicación de la teoría de colas en el proceso de carguío y acarreo se podrá mantener constante la producción a 7000 tm/camión/mes en una mina del sur del Perú; se logrará reducir los tiempos improductivos generados por la cola de volquetes, en promedio de 3 minutos/guardia/camión, lo cual permitirá mantener constante la producción del tonelaje de mineral transportado. Se debe considerar que las demoras en cola de camiones es el único factor que influye en la producción, porque existen otros como: demoras por factor climático, equipos malogrados, equipos en standby, mantenimiento de vías, etc.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La tesis pertenece a una investigación Aplicada, ya que permitirá identificar si la aplicación de la teoría de colas condiciona o contribuye el incremento de la producción en el proceso de carguío y acarreo. De acuerdo con el alcance es una investigación correlacional, ya que busca relacionar la teoría de colas con el incremento de la producción, mediante un análisis de ambas variables. Vargas (2009), nos dice que la investigación aplicada es una forma de utilizar la evidencia científica para comprender la realidad; Se necesita un marco teórico para construir soluciones a problemas específicos a resolver. Está enfocado al análisis y resolución de diversos problemas de la vida real, se alimenta del progreso de la ciencia y se caracteriza por el interés por la aplicación del conocimiento. Según este método, es cuantitativo en el sentido de que se utilizará el valor numérico en función del tiempo de retraso del ciclo de carga, el cual disminuirá al aplicar la teoría de colas y generar los procesos de carga y transporte. Los datos serán tratados por medio de gráficos, histogramas y correlaciones. Presenta un diseño Experimental ya que el trabajo de investigación analiza las variables de estudio teoría de colas y la producción del proceso de carguío y acarreo que son manipuladas en condiciones controladas y según los lineamientos del método científico. Y es de corte longitudinal ya que la investigación y recopilación de datos se harán a lo largo de un periodo de tiempo.

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población

La población que se ha considerado en el trabajo de investigación, son los 42 camiones Cat 793D y 2 Palas Hidráulicas Cat 6060 de la mina de cobre del sur del Perú.

2.2.2. Muestra

La muestra que se asumió, fue las 2 palas hidráulicas Cat 6060 y los 4 camiones Cat 793D. Para establecer la población y muestra se tomó como referente el reporte de Dispatch modificado.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica de recolección de datos fue la observación directa en campo, en donde se evidencio que los ciclos de carguío y acarreo presentan tiempos improductivos prolongados ocasionados principalmente por demoras de esperas en cola de los camiones con tiempos de 99 minutos/camión/mes hasta 113 minutos/camión/mes, ocasionando bajo rendimiento de producción de mineral en las operaciones de carguío y acarreo que va desde 3827 tm/camión/mes hasta 7156 tm/camión/mes, siendo lo planificado una producción constante de 7000 tm/camión/mes. El instrumento que se ha utilizado para recolectar los datos fue el

formato utilizado por la empresa minera del proyecto en estudio, los códigos y datos fueron modificados, del cual se filtró la información para análisis de resultados.

2.4. Procedimiento

Para garantizar que este trabajo cumpla con el tiempo asignado y se realice correctamente, se planifican los siguientes pasos de capacitación.

En la primera fase de “**Pre campo**” se realizó la revisión de información relacionada con el tema de la investigación, para esto se recurrió a los buscadores virtuales de universidades internacionales, nacionales y locales. Se analizaron y estudiaron las evidencias

Real date	Shift	Zone	Location load	Polygon	Zone	Location dump	Ho	Equipm	Equ	Ho	Material	Suma de Toneladas Payloac
10/5/2021	A	Zonas Carguio	MJ608-C1	01-01-608-039-DE	Zonas StockPila	BOT_738N_01	14	PH02	CAZ	14	Desmonte Roca	208.9
10/5/2021	A	Zonas Carguio	MJ608-C1	01-01-608-039-DE	Zonas StockPila	BOT_738N_02	8	PH02	CA0	8	Desmonte Roca	234.5
10/5/2021	A	Zonas Carguio	MJ608-C1	01-01-608-039-DE	Zonas StockPila	BOT_738N_02	8	PH02	CA0	8	Desmonte Roca	234.3
10/5/2021	A	Zonas Carguio	MJ608-C1	01-01-608-039-DE	Zonas StockPila	BOT_738N_02	8	PH02	CA0	9	Desmonte Roca	240.3
10/5/2021	A	Zonas Carguio	MJ608-C1	01-01-608-039-DE	Zonas StockPila	BOT_738N_02	8	PH02	CA0	9	Desmonte Roca	233.8
10/5/2021	A	Zonas Carguio	MJ608-C1	01-01-608-039-DE	Zonas StockPila	BOT_738N_02	8	PH02	CA0	8	Desmonte Roca	230.2
10/5/2021	A	Zonas Carguio	MJ608-C1	01-01-608-039-DE	Zonas StockPila	BOT_738N_02	8	PH02	CA1E	8	Desmonte Roca	452.9
10/5/2021	A	Zonas Carguio	MJ608-C1	01-01-608-039-DE	Zonas StockPila	BOT_738N_02	8	PH02	CA1E	8	Desmonte Roca	223.8
10/5/2021	A	Zonas Carguio	MJ608-C1	01-01-608-039-DE	Zonas StockPila	BOT_738N_02	8	PH02	CA2I	9	Desmonte Roca	234
10/5/2021	A	Zonas Carguio	MJ608-C1	01-01-608-039-DE	Zonas StockPila	BOT_738N_02	8	PH02	CA2	8	Desmonte Roca	222.7
10/5/2021	A	Zonas Carguio	MJ608-C1	01-01-608-039-DE	Zonas StockPila	BOT_738N_02	8	PH02	CA2	9	Desmonte Roca	228.9
10/5/2021	A	Zonas Carguio	MJ608-C1	01-01-608-039-DE	Zonas StockPila	BOT_738N_02	8	PH02	CA2I	8	Desmonte Roca	223.6
10/5/2021	A	Zonas Carguio	MJ608-C1	01-01-608-039-DE	Zonas StockPila	BOT_738N_02	9	PH02	CA0	9	Desmonte Roca	226.8
10/5/2021	A	Zonas Carguio	MJ608-C1	01-01-608-039-DE	Zonas StockPila	BOT_738N_02	9	PH02	CA1E	9	Desmonte Roca	238.6
10/5/2021	A	Zonas Carguio	MJ608-C1	01-01-608-039-DE	Zonas StockPila	BOT_738N_02	9	PH02	CA1E	9	Desmonte Roca	238
10/5/2021	A	Zonas Carguio	MJ608-C1	01-01-608-039-DE	Zonas StockPila	BOT_738N_02	9	PH02	CA1E	9	Desmonte Roca	246.4
10/5/2021	A	Zonas Carguio	MJ608-C1	01-01-608-039-DE	Zonas StockPila	BOT_738N_02	9	PH02	CA1E	9	Desmonte Roca	461.8
10/5/2021	A	Zonas Carguio	MJ608-C1	01-01-608-039-DE	Zonas StockPila	BOT_738N_02	9	PH02	CA2I	9	Desmonte Roca	213.6
10/5/2021	A	Zonas Carguio	MJ608-C1	01-01-608-039-DE	Zonas StockPila	BOT_738N_02	9	PH02	CA2	9	Desmonte Roca	236.4
10/5/2021	A	Zonas Carguio	MJ608-C1	01-01-608-039-DE	Zonas StockPila	BOT_738N_02	9	PH02	CA2	10	Desmonte Roca	223.2
10/5/2021	A	Zonas Carguio	MJ608-C1	01-01-608-039-DE	Zonas StockPila	BOT_738N_02	9	PH02	CA2	9	Desmonte Roca	229
10/5/2021	A	Zonas Carguio	MJ608-C1	01-01-608-039-DE	Zonas StockPila	BOT_738N_02	9	PH02	CA2	9	Desmonte Roca	243.1
10/5/2021	A	Zonas Carguio	MJ608-C1	01-01-608-039-DE	Zonas StockPila	BOT_738N_02	9	PH02	CA2	10	Desmonte Roca	244.5
10/5/2021	A	Zonas Carguio	MJ608-C1	01-01-608-039-DE	Zonas StockPila	BOT_738N_02	9	PH02	CA2I	9	Desmonte Roca	480
10/5/2021	A	Zonas Carguio	MJ608-C1	01-01-608-039-DE	Zonas StockPila	BOT_738N_02	10	PH02	CA0	10	Desmonte Roca	466.6
10/5/2021	A	Zonas Carguio	MJ608-C1	01-01-608-039-DE	Zonas StockPila	BOT_738N_02	10	PH02	CA0	10	Desmonte Roca	244
10/5/2021	A	Zonas Carguio	MJ608-C1	01-01-608-039-DE	Zonas StockPila	BOT_738N_02	10	PH02	CA0	11	Desmonte Roca	241
10/5/2021	A	Zonas Carguio	MJ608-C1	01-01-608-039-DE	Zonas StockPila	BOT_738N_02	10	PH02	CA0	10	Desmonte Roca	463.2

Figura 1. Instrumento adaptado - Reporte de Dispatch. Fuente: Reporte de Dispatch adaptado encontradas en diferentes Ministerios, entidades gubernamentales y bases de datos tales como: Scielo, Ebsco, Google académico y Alicia Net; en relación a las variables de estudio: teoría de colas y producción en carguío y acarreo.

Tabla 1.

Resumen de la selección de artículos de investigación

Año	Autor	Aporte
2011	Zapata	Los tiempos improductivos son demoras con más de 10 minutos que interrumpen el ciclo de trabajo o cuando el equipo está fuera de producción, ya que el factor más influyente en la utilización del equipo es la demora en todo el proceso.
2013	Rodríguez	Considera la minería como una cadena de cola de circuito cerrado que sirve a un número limitado de unidades de trabajo con estándares de servicio y rendimiento del sistema definidos.
2014	Barrientos	Determina que el tiempo total del ciclo está inversamente correlacionado con el rendimiento estimado para cada ciclo, que es un resultado esperado y sigue la lógica de la teoría porque el rendimiento estimado se basa en la distribución del tamaño del tanque y el tiempo empleado en el ciclo.
2014	Calderón	Para evaluar la carga y despacho, una de las opciones más recomendadas es un software llamado Dispatch que se implementa en cada máquina.
2015	Xavier	El ciclo puede comenzar en el dispositivo de carga cuando el camión recibe la carga. Después de eso, el camión se mueve a lo largo de la ruta prescrita a lo largo del camino de la mina hasta el vertedero completo.
2016	Ortiz	La producción es la masa total o el peso del material manejado en una operación particular.

2016	Maruri	Los métodos de mejora de la gestión y la productividad basados en el análisis de la operación de los equipos en función de los tiempos y las demoras en el trabajo son importantes, porque los equipos de carga y transporte tienen un gran impacto en los costos.
2016	Bonzi	Los retrasos en las operaciones de carga y transporte pueden resultar costosos; El objetivo del sistema de gestión de flotas es reducir estos retrasos.
2016	Castillo	Empresas dedicadas a la industria minera, siempre intentan reducir tiempos y costes de carga y transporte, y para ello utilizan sistemas de control como ControlSense, Jigsaw o GPSS.
2018	Codelco	El carguío consiste en cargar el material triturado desde la mina para transportarlo a posibles destinos, ya sea a la trituradora principal, al botadero de mineral oa las pilas sur y norte.
2019	Pardo	Los costos de operación de la unidad de carga y el número de transportes disminuyeron con la aplicación de la teoría de colas, en carga la tarifa de espera el flete es de \$377,7 por día y la tarifa de transporte es de \$4635,36 por día.
2021	Lopez y García	La aplicación de la teoría de colas en el funcionamiento de las operaciones divisorias de carguío y acarreo ha aumentado en un 9% (326 m ³ /h – 356 m ³ /h) la producción de los equipos de carguío y la producción para los equipos de acarreo es de (60,49 m ³ /h – 66,56 m ³ /h).

2.5. Aspectos éticos

Con respecto a los **aspectos éticos** a tomarse en cuenta el presente trabajo se realizó conforme al formato de la Universidad Privada del Norte, por lo tanto, el investigador: Primero, debe seguir las regulaciones del organismo rector de la investigación (todas las empresas respetan la confidencialidad), como los derechos de autor. En segundo lugar, se revelan las fuentes y resultados de la información discutida en el presente trabajo. En tercer lugar, proporcionar información abierta y completa en beneficio de la comunidad científica, cuyos resultados serán exhibidos y compartidos para nuevas y futuras investigaciones. Cuarto, proporcionar contenido comprensible de todo el trabajo, haciendo énfasis en la metodología, el análisis y la interpretación de los resultados. Citar al final según norma APA, correctamente.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Tiempos de ciclos de carguío 2 palas hidráulica Cat 6060 durante los meses de abril a junio en la ruta del Pad al botadero

A continuación, se presenta los datos referentes a los tiempos de ciclos según los equipos seleccionados, durante los meses abril, mayo y junio. Los datos fueron tomados a partir de una mina de cobre ubicada en el sur del Perú, de la cual no se puede citar el nombre dado que no se tiene el permiso correspondiente y por temas de confidencialidad de datos los resultados presentados en este trabajo de investigación han sido modificados de forma mínima para tener resultados exactos y acorde con el trabajo de investigación.

Tabla 1.

Tiempos de ciclo de la Pala PH03 / abril - mayo

Fecha	Pala	Camión	Tiempo Viajando Vacío (seg)	Tiempo Desc. (seg)	Tiempo Llegada (seg)	Tiempo Listo Para Cuadrarse (seg)	Tiempo Cuadrando (seg)	Tiempo Cuadrado (seg)	Tiempo Cargando (seg)	Tiempo Acarreando (seg)	Ciclo total (min.)
3-Abr	PH03	CA05	184.02	40.007	66.004	0	10.001	166.117	146.016	326.028	14.28
4-Abr	PH03	CA05	246.032	28.005	210.021	0	10	268.029	176.016	416.058	22.57
5-Abr	PH03	CA05	288.026	32.003	0	16.001	16.001	86.01	88.006	350.03	14.60
6-Abr	PH03	CA05	310.685772	32.005	125.130228	326.278	14.001	34.007	110.015	404.063	22.60
7-Abr	PH03	CA05	830.726542	90.009	273.443458	0	21.998	196.028	290.044	858.062	42.67
8-Abr	PH03	CA05	293.372	40.005	12.003	0	64.01	156.009	156.011	416.023	18.96
9-Abr	PH03	CA05	675.348732	42.005	84.723268	0	88.005	76.003	158.014	500.052	27.07
10-Abr	PH03	CA05	428.048	36.004	10	0	20.003	134.017	122.01	346.033	18.27
11-Abr	PH03	CA04	258.028	38.001	12.002	0	54.002	36.002	148.008	428.033	16.23
12-Abr	PH03	CA04	226.016	32.001	4	0	48.005	206.007	138.009	390.03	17.40
13-Abr	PH03	CA05	708.072	70.009	0	4	46.005	36.002	278.034	840.07	33.04
14-Abr	PH03	CA05	334.044	40.007	6.002	0	16	536.069	392.05	280.028	26.74
15-Abr	PH03	CA05	713.885	38.007	479.302	24.733	0	0	228.027	470.052	32.57
16-Abr	PH03	CA05	282.041	34.002	3.999	0	14.001	212.012	156.014	400.036	18.37
17-Abr	PH03	CA04	1357.514	40.005	6	0	118.006	38.001	306.028	252.015	35.29
18-Abr	PH03	CA05	1375.002	72.009	538.717	79.337	52.004	244.018	256.033	556.06	52.89

19-Abr	PH03	CA04	261.329707	36.003	412.719293	0	66.006	312.027	336.02	352.021	29.60
20-Abr	PH03	CA05	382.968092	50.004	201.111908	0	24	190.017	152.018	364.031	22.74
21-Abr	PH03	CA05	224.035	42.001	90.006	0	12.001	218.028	164.022	472.054	20.37
22-Abr	PH03	CA05	314.035	52.002	0	4.001	22	40.003	180.021	476.04	18.14
23-Abr	PH03	CA05	268.023	32.005	6.001	0	10.003	804.061	208.03	478.046	30.10
24-Abr	PH03	CA05	338.051	50.004	336.046	0	28.001	576.067	152.011	390.04	31.17
25-Abr	PH03	CA05	359.100531	46.008	812.999469	0	34.001	110.013	346.026	392.029	35.00
26-Abr	PH03	CA05	1165.290108	36.004	558.716215	0	26.002	78.007	252.019	446.052	42.70
27-Abr	PH03	CA05	224.03	30.003	0	176.016	19.999	36.006	272.02	450.024	20.13
28-Abr	PH03	CA04	567.053456	80.006	6.002	0	24.001	66.009	272.019	896.69	31.86
29-Abr	PH03	CA05	330.033	40.001	6.001	0	10	1222.084	276.026	470.016	39.24
30-Abr	PH03	CA05	293.234579	38.003	29.680421	95.133	10	142.011	62.005	546.048	20.27
1-May	PH03	CA05	881.293123	86.007	132.501877	167.663	32	94.012	210.02	982.082	43.09
2-May	PH03	CA04	622.381076	50.004	550.805619	75.049	18.001	62.005	88.002	394.034	31.00
3-May	PH03	CA04	244.015	38.004	0	2	14.002	34.003	94.007	434.023	14.33
4-May	PH03	CA04	761.881053	62.007	19.314947	58.892	16.001	96.002	204.014	906.049	35.40
5-May	PH03	CA04	1166.961634	106.012	0	27.249366	54.004	148.015	302.024	1502.126	56.20
6-May	PH03	CA04	301.870121	30.002	61.690879	50.475	12.001	34.004	116.007	472.029	17.97
7-May	PH03	CA04	726.542548	68.002	143.519939	61.801	40.002	108.012	164.013	1005.16	38.62
8-May	PH03	CA04	556.474	60.005	241.53	70.492	36	72.008	222.007	738.049	33.28
9-May	PH03	CA04	700.081	68.006	65.691	54.323	22.001	90.011	214.019	758.069	32.87

10-May	PH03	CA04	435.209493	28	162.325507	38.53	18.002	58.004	132.016	360.024	20.54
11-May	PH03	CA04	363.006978	30.003	9.935022	49.109	18.002	34.001	134.01	396.033	17.24
12-May	PH03	CA04	207.224494	44.003	302.942506	61.889	16.001	6.001	140.005	478.038	20.94
13-May	PH03	CA05	346.149	36.003	0	40.004	18	34.005	96.011	420.032	16.50
14-May	PH03	CA05	332.059	34.004	0	124.013	20	34.003	106.011	388.039	17.30
15-May	PH03	CA05	466.047	36.008	0	2	16.001	34.001	106.008	428.029	18.13
16-May	PH03	CA05	386.038	56.003	0	40.002	10	60.004	66.006	422.03	17.33
17-May	PH03	CA05	302.029	40.004	0	0	38.001	26	134.007	416.026	15.93
18-May	PH03	CA05	290.047	52.005	0	2.001	28.003	32.002	128.012	420.029	15.87
19-May	PH03	CA05	734.06	208.018	2.002	0	4.001	114.01	140.008	400.027	26.70
20-May	PH03	CA04	1660.404	66.007	18.002	12.001	24.003	164.013	210.026	816.091	49.51
21-May	PH03	CA04	472.048582	46.001	202.189418	47.836	14.001	34.003	96.002	280.025	19.87
22-May	PH03	CA05	449.848081	30.001	182.202919	339.758	16.001	60.006	42.004	406.035	25.43
23-May	PH03	CA05	386.033	30.002	0	56.002	32.002	6.002	166.009	298.024	16.23
24-May	PH03	CA05	662.142744	30.004	391.341719	0	48.005	60.01	168.02	420.04	29.66
25-May	PH03	CA05	1886.978992	41.999	136.014	0	12.002	72.006	154.015	430.029	45.55
26-May	PH03	CA04	262.038	34.003	46.671	29.333	18.004	24.001	166.009	456.046	17.27
27-May	PH03	CA04	328.035	34.001	12	0	10	136.009	164.016	421.696	18.43

Nota: Datos de campo.

Tabla 2.

Tiempos de ciclo de la Pala PH03 / junio

Fecha	Pala	Camión	Tiempo Viajando Vacío (seg)	Tiempo Descargando (seg)	Tiempo Llegada (seg)	Tiempo Listo Para Cuadrarse (seg)	Tiempo Cuadrando (seg)	Tiempo Cuadrado (seg)	Tiempo Cargando (seg)	Tiempo Acarreando (seg)	Ciclo Total (min)
1-Jun	PH03	CA04	1230.523	31.388	0	24.003	12.002	16.002	185.2	428.049	32.12
1-Jun	PH03	CA04	411.872307	56.008	10.707693	0	18	204.021	169.4	778.059	27.47
1-Jun	PH03	CA05	488.062	78.007	16	0	142.007	166.011	119.4	1035.235	34.08
24-Jun	PH03	CA05	537.385322	70.005	18.663678	0	96.007	144.004	156.006	846.068	31.14
24-Jun	PH03	CA05	381.385397	36.004	336.888603	32.525	14.001	76.004	142.5	454.053	24.56
25-Jun	PH03	CA05	310.029	36.004	4	0	26.001	38.002	90.005	474.043	16.30
25-Jun	PH03	CA05	276.821394	34.001	219.226606	0	38.003	2	56.009	436.06	17.70
25-Jun	PH03	CA05	229.880835	66.003	118.894165	227.269	14.001	38.001	98.004	468.047	21.00
25-Jun	PH03	CA05	841.545	32.008	48.002	0	44.001	28.001	90.01	454.046	25.63
30-Jun	PH03	CA05	326.247673	34.002	163.795327	0	10	58.005	125.32	438.036	19.26
30-Jun	PH03	CA05	328.044	40.002	82.581	59.428	20.001	30.002	140.011	390.035	18.17
30-Jun	PH03	CA04	674.065	34.003	0	22.004	15.999	38.008	166.008	476.036	23.77
30-Jun	PH03	CA04	374.035	32.003	20.003	0	20.002	52.003	152.36	494.041	19.07
30-Jun	PH03	CA04	356.515118	44.007	76.099882	37.428	20.004	22.003	115.4	538.037	20.16

Nota: Datos de campo.

Tabla 3.

Tiempos de ciclo de la Pala PH05 / abril - mayo

Fecha	Pala	Camión	Tiempo Viajando Vacío (seg)	Tiempo Descargando (seg)	Tiempo Llegada (seg)	Tiempo Listo Para Cuadrarse (seg)	Tiempo Cuadrando (seg)	Tiempo Cuadrado (seg)	Tiempo Cargando (seg)	Tiempo Acarreando (seg)	Ciclo total (min)
3-Abr	PH05	CA02	676.038	36.004	156.008	0	14	128.012	150.018	775.63	32.26
4-Abr	PH05	CA01	1048.39195	42.006	0	6.001	16.001	40.004	126.009	798.63	34.62
5-Abr	PH05	CA01	350.038	38.002	6.001	0	74.005	30.001	100.002	120.578	11.98
6-Abr	PH05	CA01	338.031	40.003	2.001	0	46.006	32.004	116.015	662.54	20.61
7-Abr	PH05	CA01	480.039	34.004	0	4.001	21.999	16.004	122.006	781.254	24.32
8-Abr	PH05	CA01	432.048	38.002	4	0	17.999	34.001	140.015	778.063	24.07
9-Abr	PH05	CA02	826.444	74.004	308.029	226.014	32.003	264.02	222.023	1304.101	54.28
10-Abr	PH05	CA01	916.112	92.007	28.004	0	43.998	244.024	160.009	1548.109	50.54
11-Abr	PH05	CA02	498.124766	50.005	0	101.937234	22.003	38.002	108.012	628.071	24.10
14-Abr	PH05	CA02	353.686648	60.004	0	38.352352	52.008	0	96.005	714.059	21.90
14-Abr	PH05	CA02	280.045	84.008	16.004	0	22.006	110.011	156.01	754.051	23.70
14-Abr	PH05	CA01	364.026	56.002	6.001	0	22	106.007	132.012	810.053	24.94
15-Abr	PH05	CA01	398.041	54.003	10.001	0	42.005	170.018	136.013	736.065	25.77
16-Abr	PH05	CA02	568.066	34.003	4	0	32.007	114.006	128.01	874.083	29.24
17-Abr	PH05	CA01	1014.081	42.001	0	2	32.004	72.005	96.013	880.062	35.64
17-Abr	PH05	CA01	602.043	44.002	2	0	10.002	144.011	170.01	782.064	29.24

17-Abr	PH05	CA01	516.036	90.006	2	0	6.001	134.007	190.012	832.081	29.50
20-Abr	PH05	CA01	416.039	52.004	0	10	36.001	4.001	174.013	868.065	26.00
20-Abr	PH05	CA02	422.045	38.001	10	0	10.001	166.015	170.014	732.064	25.80
20-Abr	PH05	CA01	1747.84016	40.003	50.302842	0	12.001	208.013	140.011	818.055	50.27
21-Abr	PH05	CA01	513.81285	36.006	594.29015	0	10.001	84.008	164.016	730.059	35.54
22-Abr	PH05	CA02	575.325607	40.002	222.641393	96.127	0	0	130.01	728.05	29.87
22-Abr	PH05	CA02	384.042	48.003	272.024	0	16.003	124.006	144.012	630.05	26.97
22-Abr	PH05	CA01	1760.01971	90.009	4	4	34.004	120.01	242.017	1348.077	60.04
27-Abr	PH05	CA02	922.331	54.004	0	2	20.002	24.002	130.02	658.07	30.17
28-Abr	PH05	CA01	1092.134	96.01	20.002	0	42.001	168.011	324.025	1326.097	51.14
29-Abr	PH05	CA02	740.101	78.003	92.01	0	20.001	244.027	338.042	1370.428	48.04
30-Abr	PH05	CA02	586.624078	36.004	109.474922	0	22.001	118.024	144.019	814.074	30.50
1-May	PH05	CA02	882.119	110.012	8.001	0	30.002	390.045	270.03	1428.084	51.97
2-May	PH05	CA02	518.047	40.002	0	6.005	14.001	30.004	138.01	638.25	23.07
3-May	PH05	CA02	916.508	66.002	2	2	36.004	208.018	250.016	1410.12	48.18
4-May	PH05	CA02	520.072	30.003	241.457	46.577	28.005	6.001	140.017	782.08	29.90
5-May	PH05	CA02	450.061	34	6.001	0	12.001	276.024	126.013	1188.99014	34.88
6-May	PH05	CA02	406.06	36.002	4.001	0	8.002	96.01	156.012	712.067	23.64
7-May	PH05	CA02	650.827667	40.003	0	4.002	12.002	102.004	130.012	828.086	29.45
8-May	PH05	CA02	416.064	56.006	4	0	12.002	60.012	250.037	738.073	25.60
9-May	PH05	CA02	528.445272	38.004	175.941728	31.703	16.001	80.004	114.007	716.074	28.34

10-May	PH05	CA02	346.037	36.004	252.026	0	20.001	98.012	140.009	746.059	27.30
11-May	PH05	CA01	971.197041	66.004	309.907959	29.011	40.005	144.012	274.024	1334.098	52.80
12-May	PH05	CA02	426.06	36.004	455.851	44.21	20.002	38.005	120.016	764.086	31.74
13-May	PH05	CA01	486.056	30.002	3.999	0	28.002	52.003	168.014	714.059	24.70
13-May	PH05	CA01	1147.52994	82.007	126.907974	53.370344	26.003	188.02	258.03	1362.132	54.07
17-May	PH05	CA01	382.044	30.001	14.001	0	10.001	166.005	148.009	672.04	23.70
17-May	PH05	CA01	390.052	34.003	4	0	10.003	192.011	113.857	648.204	23.20
17-May	PH05	CA01	453.980058	30.001	378.107942	0	22	116.006	152.009	716.064	31.14
18-May	PH05	CA01	716.076	60.003	434.045	0	32.003	300.028	284.025	1378.102	53.40
19-May	PH05	CA02	438.042	42.003	402.034	0	10	60.003	120.007	728.075	30.00
20-May	PH05	CA01	1073.24304	50.006	110.417232	143.626	16	36.001	122.008	930.065	41.36
20-May	PH05	CA01	429.642692	54.002	208.407308	0	12	76.007	110.005	718.049	26.80
20-May	PH05	CA01	410.044	34	0	12.003	20	38.004	90.008	710.05	21.90
20-May	PH05	CA01	645.85178	48.003	50.21622	40.004	16.002	34.003	132.013	684.063	27.50
24-May	PH05	CA01	302.023	34.004	0	10.001	20.002	26.001	86.004	770.059	20.80
24-May	PH05	CA02	485.314087	34.005	76.760913	0	21.999	164.017	164.023	778.069	28.74
24-May	PH05	CA01	510.044	50.001	98.005	0	10	148.009	146.01	708.063	27.84
25-May	PH05	CA02	422.05	112.006	8.001	0	20	130.013	140.018	754.053	26.44
26-May	PH05	CA02	594.1	40.007	12.001	0	60.005	56.005	170.02	712.074	27.40
26-May	PH05	CA01	480.047	38.001	30.002	0	30.001	76.011	170.019	798.054	27.04
26-May	PH05	CA01	650.053	36.005	4	0	30.003	108.012	156.008	762.072	29.10

“Aplicación de la teoría de colas para incrementar la producción en el proceso de carguío y acarreo en una mina de cobre del Sur del Perú, 2021”

26-May	PH05	CA02	990.114	100.005	6	4	32.002	88	266.025	1462.118	49.14
27-May	PH05	CA01	380.027	38.001	164.014	0	28	89.328	132.636	688.567	25.34
27-May	PH05	CA01	846.768462	68.004	0	162.014	10	70.009	132.01	748.059	33.95
27-May	PH05	CA01	384.03	50.007	50.003	0	68.003	104.009	152.004	718.046	25.44
27-May	PH05	CA01	448.045	30.004	6.002	0	15.999	66.004	112.011	686.037	22.74
27-May	PH05	CA01	458.045	36.004	4	0	12	68.003	152.009	660.32	23.17
27-May	PH05	CA01	370.037	34.001	30.002	0	10.001	198.016	164.013	742.047	25.80
28-May	PH05	CA01	552.591405	42.003	297.317595	24.167	0	0	152.008	752.057	30.34
29-May	PH05	CA02	504.079	50	174.071	29.95	62.005	80.002	90.008	878.093	31.14
30-May	PH05	CA02	496.058	40.003	6	0	16.004	126.007	174.009	720.356	26.31
30-May	PH05	CA01	512.074	40.004	4	0	10.003	164.013	130.011	775.28	27.26
30-May	PH05	CA02	540.095	34.003	6	0	8.002	174.024	120.012	810.254	28.21
30-May	PH05	CA01	328.037	38	10.001	0	16	136.008	106.006	1025.879	27.67
30-May	PH05	CA02	334.039	36.002	2	0	16.001	60.008	126.009	761.354	22.26

Nota: Datos de campo.

Tabla 4.

Tiempos de ciclo de la Pala PH05 / junio

Fecha	Pala	Camión	Tiempo Viajando Vacío (seg)	Tiempo Descargando (seg)	Tiempo Llegada (seg)	Tiempo Listo Para Cuadrarse (seg)	Tiempo Cuadrando (seg)	Tiempo Cuadrado (seg)	Tiempo Cargando (seg)	Tiempo Acarreando (seg)	Ciclo Total (min)
5-Jun	PH05	CA05	434.424	46.002	4	0	26.002	84.009	156.013	642.358	23.21
7-Jun	PH05	CA05	436.057	42.002	10.002	0	24.001	128.01	94.006	606.213	22.34
7-Jun	PH05	CA05	392.052	40.004	10.001	0	10.001	142.017	154.015	410.258	19.31
7-Jun	PH05	CA05	568.091	36.002	0	6	18.003	36.002	130.014	455.147	20.82
7-Jun	PH05	CA05	440.039	32.002	14.002	0	12	138.008	160.009	438.03	20.57
7-Jun	PH05	CA05	466.062	32.004	0	72.003	10.001	12	138.025	342.035	17.87
9-Jun	PH05	CA05	488.282532	30.004	65.796468	0	12.001	116.01	100.009	440.034	20.87
10-Jun	PH05	CA05	1019.934477	32.003	0	51.342489	22.003	4	138.008	450.046	28.62
12-Jun	PH05	CA04	470.039	46.004	136.015	0	22.002	148.011	202.013	499.25	25.39
12-Jun	PH05	CA05	438.038	40.004	0	14.001	14.002	34.004	80.009	1356.137	32.94
12-Jun	PH05	CA05	572.065	42.006	0	0	16.001	88.011	96.016	458.045	21.20
12-Jun	PH05	CA05	410.068	30.006	0	4.002	10.001	72.008	116.024	398.037	17.34
16-Jun	PH05	CA05	552.862	48.004	5.999	0	20.002	144.017	184.007	374.054	22.15
17-Jun	PH05	CA04	540.054	62.007	10.001	0	58.003	32.004	116.006	474.051	21.54
17-Jun	PH05	CA04	528.077	48.004	78.005	0	100.004	12	142.016	475.321	23.06
17-Jun	PH05	CA05	413.821309	36.004	0	60.241691	16.003	4.001	126.013	816.321	24.54

20-Jun	PH05	CA04	733.662251	114.007	158.442749	0	44.007	110.006	340.031	422.051	32.04
20-Jun	PH05	CA04	438.034	2	0	4.001	16.001	6.002	150.011	354.028	16.17
21-Jun	PH05	CA04	968.109409	82.007	225.238591	22.765	64.006	71.998	328.024	384.024	35.77
22-Jun	PH05	CA04	364.031	34.003	0	6.001	22.004	8	148.012	360.028	15.70
23-Jun	PH05	CA04	442.036	42.001	0	0	6.001	316.016	242.021	348.028	23.27
24-Jun	PH05	CA04	638.055	30.004	10.001	0	72.001	56.003	136.44	445.254	23.13
25-Jun	PH05	CA04	416.098599	32.004	181.151401	34.805	0	0	166.011	465.325	21.59
26-Jun	PH05	CA05	464.043	30.001	0	10	14.001	2.001	152.008	50.248	12.04
26-Jun	PH05	CA05	388.104423	30.003	87.738577	12.204	14.001	38.005	126.012	432.568	18.81
26-Jun	PH05	CA05	767.515199	66.003	634.425801	44.156	84.004	158.017	300.019	276.354	38.84

Nota: Datos de campo.

Según los resultados presentados los tiempos de ciclo máximos llegan hasta los 60 minutos con valores mínimos de 26 minutos. El tiempo medio del ciclo de carga y acarreo es de 31 minutos.

3.2. La teoría de colas aplicada a los ciclos de carguío de 2 palas hidráulicas Cat 6060 y 4 camiones Cat 793D para incrementar la productividad.

Inicialmente se calculó los rendimientos de los camiones y palas que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 5.

Rendimiento del camión Cat 793 D

Parámetros	Valores
Rendimiento (m ³ /h)	224.71
Capacidad camión (m ³)	129
Eficiencia	0.9
Tiempo ciclo (min)	31

Tabla 6.

Rendimiento de la pala hidráulica Cat 6060

Parámetros	Valores
Rendimiento (m ³ /h)	2908.0
Factor llenado del cucharón	0.85
Capacidad pala (m ³)	34
Eficiencia	0.9
Tiempo ciclo (min)	28
Factor abundamiento (%)	1.15

En los resultados mostrados inicialmente se observa que según los cálculos realizados el rendimiento de los camiones es 224.71 m³/h y el rendimiento de las palas es de 2908.0 m³/h.

A continuación, se presentan los datos empleados para la aplicación de la teoría de colas en el trabajo de investigación.

Tabla 7.

Datos - Teoría de Colas

DATOS	Input Data	
Llegada Camiones prom. Frente carguío	λ	15.4
Tiempo carguío Pala	$T\mu$	3.5
Máx camiones en cola	k	37
Nº frentes carguío	s	1
Factor tiempo	ft	60
Tamaño de fuente	N	999999

Fuente: Datos de campo.

Tabla 8.

Resultados Teoría de colas

Output			
Velocidad de servicio	μ	17.14	
Nº mínimo de servidores	s min	0.90	2 servidores
Rendimiento	ρ	0.45	
Legada de camiones	λ	15.14	
Camiones de salida	$\lambda - \lambda'$	0.26	
Tiempo medio en el sistema	w	23.74	Minutos
Tiempo medio de espera de camiones en cola	wq	20.24	Minutos

Camiones en espera

L_q 7.99



Figura 3. Representación del tiempo residual aplicando la teoría de cola.

Según los resultados presentados tenemos que el tiempo de espera sería de 20.24 minuto y la cantidad de camiones en espera 8, por lo tanto, cada camión tendría un tiempo de espera estimado en 2.53 minutos.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Según los resultados presentados los tiempos de ciclo máximos llegan hasta los 60 minutos con valores mínimos de 26 minutos. En promedio el tiempo de ciclo de carguío y acarreo a considerar es de 31 minutos. Así mismo, se observa que según los cálculos realizados el rendimiento de los camiones es 224.71 m³/h y el rendimiento de las palas es de 2908.0 m³/h.

Los tiempos de demoras en cola durante el ciclo de carguío y paradas no programadas generan un rendimiento bajo de las palas y camiones aumentando los tiempos de ciclo, estos valores se mejoraron aplicando la teoría de colas. Estos resultados nos permiten sustentar lo señalado por Pardo (2019), en su estudio titulado “Optimización del transporte de desmonte con volquetes mediante la teoría de colas en Sociedad Minera Corona S.A.”, el objetivo principal es aplicar la teoría de colas a Sociedad Minera Corona para determinar la optimización del transporte de desmonte con camiones volquete. Aplicando la teoría de colas, los volúmenes de carga y transporte en la operación total se pueden aumentar en un 10% de la capacidad del cargador frontal CAT 966H (288 m³/h - 320 m³/h).

Con la aplicación de la teoría de colas se tiene que el tiempo de espera sería de 20.24 minuto y la cantidad de camiones en espera 8, por lo tanto, cada camión tendría un tiempo de espera estimado en 2.53 minutos. Estos resultados permiten apoyar lo señalado por Cerdán y García (2021), en su trabajo de investigación titulado “Aplicación de la teoría de colas para mejorar la producción de carga y acarreo en la Empresa Minera Cajamarca, 2020”, El objetivo fue incrementar la producción de carga y transporte

aplicando la teoría de colas en una empresa minera de Cajamarca en 2020. Según los resultados de campo, el rendimiento del cargador y equipo de transporte FMX 440 R = 66,56 m³/h, mientras que el rendimiento real de la Excavadora 336 FL CAT fue de 356,4 m³/h, lo que demuestra que la excavadora está operando a su máximo rendimiento. del 91,55% en el trabajo. Aplicación de la teoría de colas en operaciones de unidades de carga, el tiempo de espera es de 38 minutos. En la siguiente tabla podemos ver que hay 6 camiones volquete en la cola, por lo que cada camión esperará una hora y 6 minutos.

Las limitaciones de la investigación están relacionadas a la dificultad de acceder a un número mayor de muestra para tener resultados más precisos.

4.2. Conclusiones

- Análisis de tiempos de ciclo de carga de 04 camiones Cat 793D en la ruta desde el Pad al botadero de abril a junio, identificando que los tiempos de ciclo máximos llegan hasta los 60 minutos con valores mínimos de 26 minutos. El tiempo medio del ciclo de carga y acarreo(transporte) es de 31 minutos. El rendimiento del cargador también se calcula en 224,71 m³/h, mientras que el rendimiento de la pala es de 2908,0 m³/h.
- Mediante la aplicación de la teoría de colas al ciclo de carga de 2 palas hidráulicas Cat 6060 y 4 camiones Cat 793D para aumentar la productividad, se tuvo que el tiempo de espera sería de 20.24 minutos y la cantidad de camiones en espera 8, por lo tanto, cada camión tendría un tiempo de espera estimado en 2.53 minutos.
- Se recomienda implementar los lineamientos obtenidos con la aplicación de la teoría de colas a toda la flota de las operaciones de carguío y acarreo, para mejorar la producción y reducir demoras durante los ciclos.

REFERENCIAS

- Aquino, C. (2019). *“Análisis de tiempos, rendimientos y costos en el proceso de carguío y acarreo para el incremento de productividad unidad minera Morococha – E.E MULTICOSAILOR”*. (tesis pre grado). Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Perú.
- Azañero, L., & Guerrero, L. (2019) *“Carguío y acarreo en flotas mineras: Una revisión sistémica”*. (tesis pre grado). Universidad Privada del Norte. Cajamarca, Perú.
- Baldeón, Z. (2011). *Gestión en las operaciones de transporte y Acarreo para incremento de productividad en CIA. Minera Condestable S.A.* (tesis pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- Barrientos, V. (2014). *“Análisis de factores operacionales en detenciones y productividad del sistema carguío y transporte en minería a cielo abierto”*. Tesis de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería de Minas. Universidad de Chile.
- Bonzi, J. (2016). *“Propuestas de Mejora de la Utilización Efectiva en Base a Disponibilidad de la Flota de Carguío y Transporte en Minera Los Pelambres”*. (tesis pre grado). Universidad de Chile. Santiago de Chile.
- Calderón, N. (2014). *“Mejora del Tiempo de Operatividad de Camiones Volquetes en Proyectos de Mantenimiento Vial, utilizando Teoría de Confiabilidad en un Sistema Simulado”*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

- Castillo, F. 2016. *“Optimización de producción en carguío y acarreo a través de la utilización del sistema Jigsaw – Leica en Minera Toquepala S.R.L.”*. (tesis de pregrado). Universidad César Vallejo. Cajamarca, Perú.
- Cerdán, A., & García, E. (2021) *“Aplicación de la teoría de colas para mejorar la producción del carguío y acarreo en una empresa minera de Cajamarca, 2020”*. (tesis pre grado). Universidad Privada del Norte. Cajamarca, Perú.
- Córdova, G. (2017). *“Mejoramiento de prácticas operacionales para el aumento de horas efectivos camiones de extracción gerencia mina, división ministro Hales Codelco Chile”*. (Tesis de maestría). Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Maruri, D. (2016). *“Productividad en el ciclo de carguío y acarreo en el tajo Ferrobamba - Las bambas”*. (tesis pre grado). Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac. Abancay, Perú.
- Mauricio, G. (2015). *“Mejoramiento continuo en la gestión del ciclo de acarreo de camiones en la minería de tajo abierto en Antamina de Cerro Verde, Yanacocha, Toquepala, Alto, Cuajone, Chicama, Cerro Corona, Antapacay, Las Bambas y Pucamarca”*. (tesis pre grado). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
- Mendoza, A. (2017). *“Aplicación de la teoría de colas para mejorar la productividad del carguío y acarreo en Mina Tucari”*. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.
- Pardo, K. (2019). *“Optimización del transporte de desmonte con volquetes mediante la teoría de colas en Sociedad Minera Corona S.A”*. (tesis pre grado). Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú.

“Aplicación de la teoría de colas para incrementar la producción en el proceso de carguío y acarreo en una mina de cobre del Sur del Perú, 2021”

Schwars, Max. (2017). *“Teoría de colas aplicado a la industria minera”*. Tesis de la Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

ANEXOS

ANEXO N° 01: Ficha técnica del camión CAT 793D

Motor

Modelo de motor	Cat 3516B HD EUI	
Potencia nominal	1.750 RPM	
Potencia bruta – SAE J1995	1.801 kW	2.415 hp
Potencia neta – SAE J1349	1.743 kW	2.337 hp
Potencia neta – ISO 9249	1.743 kW	2.337 hp
Potencia neta – 80/1269/EEC	1.743 kW	2.337 hp
Reserva de par	23%	
Calibre	170 mm	6,7 pulg
Carrera	215 mm	8,5 pulg
Cilindrada	78 L	4.760 pulg ³

- Estos valores se aplican a 1.750 rpm cuando se prueban según las condiciones indicadas para la norma especificada
- Valores nominales basados en condiciones normales del aire SAE J1995 a 25°C (77°F) y 99 kPa (29,61 mm Hg) en seco. Potencia estimada con un combustible de gravedad API de 35 grados a 16° C (60° F) y un poder calorífico bajo de 42.780 kJ/kg (18.390 BTU/lb) cuando el motor se usa a 30° C (86° F).
- No se requiere reducir la capacidad del motor hasta altitudes inferiores a 2.750 m (9.000 pies)
- Cumple con las normas de emisión de la Agencia de protección del Medio Ambiente de EE.UU. Tier I.

Pesos – aproximados

Peso bruto de la máquina en operación	383.749 kg	846.000 lb
Peso del chasis	116.707 kg	257.294 lb
Gama de pesos de la caja	21.795 – 54.431 kg/ 48.050 – 120.000 lb	

- Peso del chasis con 100% de combustible, grúa, grupo de montaje de la caja, aros y neumáticos.
- El peso de la caja depende del equipamiento de la caja.

Especificaciones de operación

Capacidad nominal de carga útil	218 toneladas métricas	240 toneladas cortas
Capacidad de la caja – SAE (2:1)	129 m ³	169 yd ³
Capacidad máxima	Especial	
Velocidad máxima-con carga	54,3 kph	33,7 mph
Ángulo de la dirección	36 Grados	
Radio de giro – delantero	28,42 m	93,2 pie
Diámetro del círculo de giro	32,66 m	107,15 pie

- Capacidad de la caja (SAE 2:1) con caja de doble declive.
- Consulte la norma de carga útil 10/10/20 para Camiones de Minería Caterpillar para obtener información sobre las limitaciones de peso bruto máximo de la máquina.

Transmisión

Avance 1	11,8 kph	7,3 mph
Avance 2	15,9 kph	9,9 mph
Avance 3	21,5 kph	13,4 mph
Avance 4	29 kph	18,1 mph
Avance 5	39,4 kph	24,5 mph
Avance 6	54,3 kph	33,7 mph
Retroceso	10,9 kph	6,8 mph

- Velocidades de desplazamiento máximas con neumáticos estándar 40.00-R57.

Mandos finales

Relación de diferencial	1:8:1
Relación de planetario	16:1
Relación de reducción total	28.8:1

- Planetario de movimiento libre.

Suspensión

Carrera efectiva del cilindro – delantero	130,5 mm	5,2 pulg
Carrera efectiva del cilindro – trasero	105,5 mm	4,2 pulg
Eje trasero – oscilación	± 4,9°	

Frenos

Diámetro externo	874,5 mm	34,5 pulg
Superficie de freno – delantero	89.817 cm ²	13.921 pulg ²
Superficie de freno – trasero	134.500 cm ²	20.847 pulg ²
Normas	J-ISO 3450 JAN88, ISO 3450:1996	

- El peso bruto de la máquina en operación es 382.749 kg (846.000 lb).

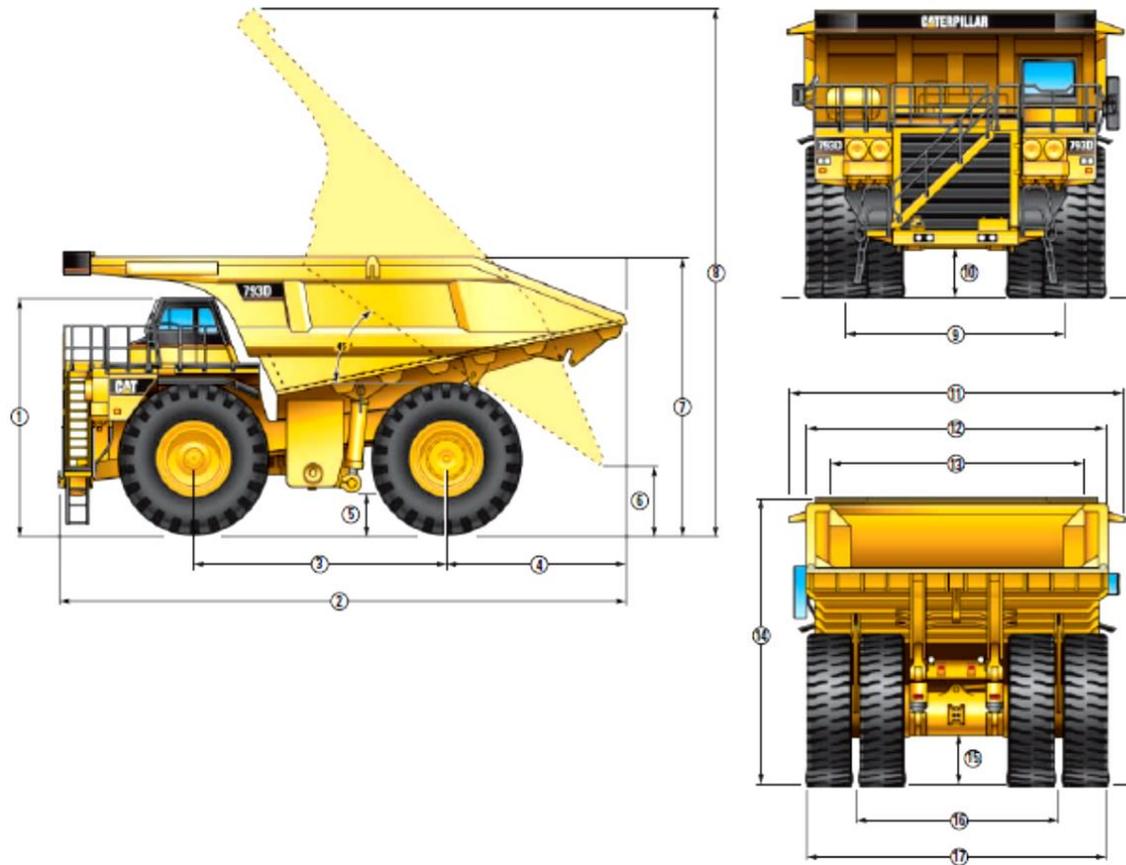
Sistemas de levantamiento de la caja

Flujo de la bomba – alto vacío	846 L/min	224 gal/min
Ajuste de la válvula de alivio – levantamiento	20.370 kPa	2.955 lb/pulg ²
Tiempo de subida de la caja – alto vacío	20,25 Segundos	
Tiempo de bajada de la caja – libre	19,26 Segundos	
Bajada automática de la caja – alto vacío	17,51 Segundos	

- Cilindros hidráulicos gemelos de dos etapas montados dentro del bastidor principal, de doble acción en la segunda etapa.
- Levantamiento hidráulico en ambas etapas y bajada hidráulica en la segunda etapa.
- La modulación de la bajada automática de la caja reduce los impactos en el bastidor.

Dimensiones

Todas las dimensiones son aproximadas. Mostrado con caja MSD II. Dimensiones con caja de doble declive.



1	Altura hasta la parte superior de ROPS	5.584 mm	18,32 pie
2	Longitud total	12.862 mm	42,2 pie
3	Distancia entre ejes	5.905 mm	19,37 pie
4	Eje trasero a la cola	3.772 mm	12,38 pie
5	Espacio libre sobre el suelo	1.005 mm	3,3 pie
6	Espacio libre de descarga	1.364 mm	4,48 pie
7	Altura de carga – Vacío	5.871 mm	19,26 pie
8	Altura total – Caja subida	13.113 mm	43,02 pie
9	Ancho entre líneas de centro de los neumáticos delanteros	5.610 mm	18,41 pie

10	Espacio libre del protector del motor	1.294 mm	4,25 pie
11	Ancho total del techo	7.680 mm	25,2 pie
12	Ancho exterior de la caja	6.940 mm	22,77 pie
13	Ancho interior de la caja	6.500 mm	21,33 pie
14	Altura delantera del techo	6.494 mm	21,31 pie
15	Espacio libre del eje trasero	1.128 mm	3,66 pie
16	Ancho entre las líneas de centro de los neumáticos dobles traseros	4.963 mm	16,25 pie
17	Ancho total de los neumáticos	7.605 mm	24,92 pie

ANEXO N° 02: Ficha técnica de la pala Hidráulica CAT 6060

Especificaciones de la Pala Hidráulica 6060/6060 FS

Datos generales

Peso en orden de trabajo		
Pala frontal	569 toneladas métricas	627 tons EE.UU.
Retroexcavadora	570 toneladas métricas	628 tons EE.UU.
Salida del motor SAE J1995		
Cat 3512C	2.240 kW	3.000 hp
Capacidad del cucharón estándar		
Pala frontal (colmada de 2:1)	34,0 m ³	44,5 yd ³
Retroexcavadora (colmada de 1:1)	34,0 m ³	44,5 yd ³

Características

- Accesorio de pala TriPower
- Sistema de enfriamiento de aceite independiente
- Sala de máquinas con gran espacio para caminar
- Sistema hidráulico de 5 circuitos
- Sistema electrónico incorporado: plataforma de control y monitoreo (CAMP)
- Sistema de panel de control (BCS)
- Control de par en circuito de rotación de circuito cerrado
- Sistema de lubricación central automática
- Luz de trabajo LED

Peso en orden de trabajo

6060 FS		
Pisones de cadena estándar	1.400 mm	4' 7"
Peso en orden de trabajo	568.900 kg	1.254.200 lb
Presión sobre el suelo	25,4 N/cm ²	36,8 lb/pulg ²
6060		
Pisones de cadena estándar	1.400 mm	4' 7"
Peso en orden de trabajo	570.300 kg	1.257.280 lb
Presión sobre el suelo	25,5 N/cm ²	37,0 lb/pulg ²
6060 AC FS		
Pisones de cadena estándar	1.400 mm	4' 7"
Peso en orden de trabajo	546.300 kg	1.204.370 lb
Presión sobre el suelo	24,4 N/cm ²	35,4 lb/pulg ²
6060 AC		
Pisones de cadena estándar	1.400 mm	4' 7"
Peso en orden de trabajo	547.700 kg	1.207.460 lb
Presión sobre el suelo	24,5 N/cm ²	35,6 lb/pulg ²

Otros pisones de cadena disponibles a pedido.

Motores diesel

Marca y modelo	2 × Cat 3512C (Tier 2)	
Potencia nominal neta total ISO 3046/l	2.240 kW 1.800 min ⁻¹	3.000 hp 1.800 min ⁻¹
Potencia neta nominal total SAE J1349	2.240 kW 1.800 min ⁻¹	3.000 hp 1.800 min ⁻¹
Potencia bruta nominal total SAE J1995	2.240 kW 1.800 min ⁻¹	3.000 hp 1.800 min ⁻¹
Número de cilindros (cada motor)	12	
Calibre	170 mm	6,69"
Carrera	215 mm	8,46"
Cilindrada	58,6 L	3.574 pulg ³
Aspiración	Con turbocompresor y enfriador del aire a presión	
Altitud máxima sin reducción de potencia a 20 °C (68 °F): sobre el nivel del mar	3.000 m	9.800'
Emisiones	EPA de EE.UU. flexible	
Alternadores	2 × 150 A	
Capacidad del tanque de combustible	13.000 L	3.435 gal EE.UU.

- Ventilador del radiador impulsado hidráulicamente con velocidad del ventilador controlada electrónicamente
- Administración del motor microprocesada
- Filtros de aire de servicio pesado
- Filtro de combustible de dos etapas con separador de agua
- Separador de agua adicional de alta capacidad

Motor eléctrico: 6060 AC/6060 AC FS

Tipo	Motor de inducción con jaula de ardilla
Salida	1.800 kW
Voltaje	6,6 kV ± 10 % (otros a pedido)
Corriente nominal I _N	194 A (a 6,6 kV)
Frecuencia	50 Hz (60 Hz a pedido)
Revoluciones	1.500 min ⁻¹ (1.800 min ⁻¹ a 60 Hz)
Corriente de arranque	350 % de I _N (197 % de I _N opcional)

Sistema eléctrico (mando diesel)

Voltaje del sistema	24 V
Baterías de instalación en serie o en paralelo	6 × 210 Ah: 12 voltios cada uno 630 Ah: 24 voltios en total

- Relés e interruptores de aislamiento de la batería
- Interruptores de parada de emergencia que se pueden acceder a nivel del suelo y en el módulo del motor
- 12 reflectores de trabajo de alto brillo LED
 - 10 para el área de trabajo
 - 2 para el extremo trasero
- 2 reflectores de acceso de alto brillo LED
- 16 luces de servicio LED

Especificaciones de la Pala Hidráulica 6060/6060 FS

Cabina del operador

Nivel de visión del operador: aproximadamente	7,6 m	24' 11"
Dimensiones internas de la cabina		
Longitud	2.200 mm	7' 3"
Ancho	1.600 mm	5' 3"
Altura	2.150 mm	7' 1"

- Sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado montado debajo del techo
- Asiento con amortiguación neumática y ajustes múltiples con soporte lumbar, cinturón de seguridad, apoyacabeza y apoyabrazos
- Con interruptor en el cojín del asiento para neutralizar automáticamente los controles hidráulicos cuando el operador deja el asiento
- Controles de palanca universal integrados en consolas del asiento ajustables de forma independiente
- Asiento auxiliar plegable con cinturón de seguridad
- Estructura FOPS [Falling Object Protective Structure, Estructura de Protección Contra la Caída de Objetos] (protección contra rocas; con aprobación según la norma DIN ISO 3449) integrada en la estructura de la cabina
- Vidrio de seguridad a todo alrededor, parabrisas blindado y ventana lateral deslizante
- Parabrisas con limpia/lavaparabrisas intermitente paralelo
- Persianas de rodillo en todas las ventanas
- Protectores solares externos en las ventanas laterales y traseras
- El sólido panel de instrumentos incluye una pantalla BCS a color de gran tamaño con tecnología transreflectiva
- Sistema de panel de control (BCS) y sistema de registro de datos de signos vitales y datos de servicio de motores, sistema hidráulico y sistema de lubricación
- Acceso a la máquina a través de la escalera de acceso, ángulo de la escalera retráctil de aproximadamente 45°, operado hidráulicamente
- Escalera deslizante de emergencia (tipo descendente) con jaula

Tren de rodaje

Velocidades de desplazamiento (2 etapas)		
Primera etapa: máxima	1,4 km/h	0,87 mph
Segunda etapa: máxima	2,0 km/h	1,24 mph
Fuerza de tracción máxima	2.956 kN	664.300 lbf
Rendimiento en pendientes de los mandos de desplazamiento: máximo	52 %	
Pisones de cadena (cada lado)	42	
Rodillos inferiores (cada lado)	7	
Rodillos de soporte (cada lado)	2 más una placa deslizante entremedio	
Mandos de desplazamiento (cada lado)	1 transmisión planetaria con 2 motores de pistones axiales de dos etapas	
Frenos de estacionamiento	Freno de discos múltiples sumergidos, de aplicación mediante resorte y liberación hidráulica	

- Eslabones de soporte combinados de garra doble fundida con bujes conectados por pasadores completamente flotantes y endurecidos
- Todas las superficies de funcionamiento de las ruedas motrices, ruedas locas, rodillos y eslabones de soporte, así como las áreas de contacto de los dientes de la rueda motriz y de los eslabones de soporte, están endurecidas
- Los rodillos inferiores están conectados al sistema de lubricación automática
- Sistema de tensión de cadena completamente hidráulico y de ajuste automático con acumulador de membrana
- Válvula de retardador hidráulico automático para evitar exceso de velocidad en desplazamiento cuesta abajo
- Alarma de desplazamiento acústica

Sistema de lubricación automática

Capacidad del recipiente de grasa 1.000 L 264 gal EE.UU.

- Sistema de doble circuito con bombas de servicio pesado impulsadas hidráulicamente y control del relé de tiempo electrónico para ajustar los tiempos de pausa/lubricación
- Los siguientes elementos están conectados al sistema de lubricación:
 - Canaletas del cojinete de rodillo de rotación
 - Dos piñones de engrase para los engranajes internos del anillo de rotación
 - Puntos de pivote del accesorio, el cucharón y los cilindros
 - Rodillos inferiores del tren de rodaje
- Las fallas del sistema se muestran en el sistema de panel de control
- Filtros de grasa (200 µm) entre la estación de servicio y el recipiente, así como directamente detrás de la bomba de engrase

Accesorios

- Las plumas y los brazos son resistentes a la torsión y tienen un diseño de caja soldada de acero de alta tensión con fundiciones de acero de gran tamaño en las áreas de pivote
- Los procedimientos de soldadura permiten contrasoldadura interna (soldadura de doble preparación) en donde sea posible
- Las plumas y los brazos presentan alivio de esfuerzo después de la soldadura
- Pasafelas con guías en las plumas
- Orificios de inspección en las plumas (FS y BH) y el brazo (FS)
- Protectores de los cilindros de pala (FS)
- Bajada sin presión de la pluma (FS y BH) y del brazo (FS) mediante una válvula de flotación
- Accesorio de pala con cinemática TriPower exclusiva que permite garantizar las siguientes características principales:
 - Orientación horizontal automática de ángulo constante del cucharón
 - Orientación vertical automática de ángulo constante del cucharón
 - Limitador de retroceso automático para evitar derrames de material
 - Ayuda cinemática para fuerzas hidráulicas
 - Movimiento constante de la pluma en todo el arco de levantamiento
 - Fuerza de ataque de asistencia
- Todos los cucharones (FS y BH) están equipados con un paquete de desgaste que consta de lo siguiente:
 - Material de revestimiento especial que cubre las áreas de desgaste principales dentro y fuera del cucharón
 - Cubiertas protectoras de labio entre los dientes
 - Cubiertas protectoras de ala en las paredes laterales
 - Cubiertas protectoras en los bordes inferiores
- Paquetes especiales de desgaste para materiales altamente abrasivos a pedido