

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA DE MINAS**

“INFLUENCIA DE LOS TIEMPOS DE PARADA NO PROGRAMADOS EN LA DISPONIBILIDAD MECÁNICA DE LAS PALAS ELÉCTRICAS – FLOTA 5500 EN UNA MINA A CIELO ABIERTO, CAJAMARCA 2022”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Juan Fernando Montoya Vargas

Asesor:

Ing. Óscar Arturo Vásquez Mendoza

<https://orcid.org/0000-0003-4920-2204>

Cajamarca - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Miguel Ricardo Portilla Castañeda	45209190
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Rafael Javier Ocas Boñon	41837947
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Daniel Alejandro Alva Huaman	43006890
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

DEDICATORIA

Quiero dedicar la presente tesis a Dios, ya que gracias a él he logrado culminar mi carrera. A mi madre Elvira, que siempre la tengo presente en mi mente y mi corazón, aunque ya no está físicamente conmigo, pero siempre tengo presente sus palabras que siempre me decía “el único camino al éxito es el estudio”. A mi hermano Luis, quien me dio la oportunidad de iniciar y culminar mi primera carrera con sus consejos y palabras de aliento. A mi amada esposa Ana y mis queridos hijos Jhermy y Piero, quienes con su amor y apoyo incondicional han sido los pilares fundamentales para lograr mis objetivos profesionales, personas que día a día lograron darme la energía y fuerza necesaria para continuar y terminar mi carrera, y porque gracias a ellos estoy superándome.

Juan Montoya

AGRADECIMIENTO

A mi asesor Ing. Oscar Vásquez Mendoza por su ayuda, paciencia y dedicación, además por compartirme sus conocimientos.

A mi esposa Ana Callirgos y mis hijos Jhermy y Piero que me acompañaron durante este proceso y por creer en mí.

A toda mi familia, en especial a mis hermanos por apoyarme y darme fuerzas.

Juan Montoya

Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
TABLA DE CONTENIDO	5
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
RESUMEN	8
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	9
1.1. Realidad problemática	9
1.2. Formulación del problema	15
1.3. Objetivos	16
1.3.1. Objetivo Principal	16
1.3.2. Objetivos Específicos	16
1.4. Hipótesis	16
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	17
CAPÍTULO III: RESULTADOS	23
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	31
REFERENCIAS	34
ANEXOS	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	18
Tabla 2: Acrónimos - reportes de mantenimiento	21
Tabla 3: Paradas no programadas - noviembre	23
Tabla 4: Paradas no programadas – diciembre.....	23
Tabla 5: Paradas no programadas – enero.....	24
Tabla 6: Paradas no programadas – febrero	25
Tabla 7: Eventos no programados - noviembre.....	27
Tabla 8: % Disponibilidad - noviembre	27
Tabla 9: Eventos no programados – diciembre	27
Tabla 10: % Disponibilidad - diciembre	28
Tabla 11: Eventos no programados – enero	28
Tabla 12: % Disponibilidad – enero.....	28
Tabla 13: Eventos no programados – febrero	28
Tabla 14: % Disponibilidad – febrero	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Instrumento 01 - Reportes de mantenimiento.....	19
Figura 2: Instrumento 02 – Formato de recolección de datos	19
Figura 3: Instrumento 03 - Formatos digitales de resultados	19
Figura 4: Base de datos de mantenimiento - Palas 5500.....	20
Figura 5: Gráfico comparativo del total de horas de paradas no programadas	26
Figura 6: Gráfico comparativo de los % de disponibilidad mecánica	29

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo por finalidad identificar la influencia de los tiempos de parada no programados en la disponibilidad mecánica de las palas eléctricas – flota 5500 en una mina a cielo abierto ubicada en el departamento de Cajamarca, asumiendo como muestra 02 palas SH007 y SH011. La metodología asumida en la tesis abarcó técnicas de recolección de información y análisis documental empleando como instrumentos los reportes del área de mantenimiento.

Concluyendo la pala SH007 la que tuvo mayor cantidad de horas por paradas no programadas con un total de 469.95 h. Además, la falla mecánica que contempla la mayor cantidad de horas inoperativas está relacionada con el sistema eléctrico con un total de 240.45 h. Sumado a que en el mes de diciembre se tuvo el mayor tiempo de paradas no programadas con un total de 429 h. La pala SH007 tuvo los menores valores porcentuales con respecto a la disponibilidad mecánica, siendo 82.80% el menor valor, el cual se encuentra por debajo del target establecido que es el 85%. Esto se relaciona con los tiempos de parada no programados generados por fallas mecánicas durante el ciclo de carguío, ya que la pala SH007 tuvo mayor cantidad de horas generadas por paradas no programadas.

PALABRAS CLAVES: Disponibilidad mecánica, paradas, palas, fallas, demoras.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En las operaciones mineras del país y del mundo, las palas (eléctricas o hidráulicas) son equipos de muy importantes para la explotación de minería a tajo abierto. Estos equipos de gran envergadura son de un elevado costo de capital, por lo tanto, su mantenimiento y disponibilidad de estos equipos son muy importantes para garantizar un buen desarrollo en la extracción de mineral (Flores, 2018). Actualmente la problemática de la empresa en estudio surge debido a que los tiempos de paradas no programadas han ido aumentando, lo cual conlleva a la reducción de los porcentajes de disponibilidad, por tanto, la investigación se centra en identificar la causa de estas paradas no programadas para poder tomar decisiones que contrarresten las demoras generadas.

En el trabajo de investigación se asumieron antecedentes que sustenten los hallazgos de la tesis, a nivel internacional Bonzi (2016), en su trabajo de investigación “Propuestas de mejora de la utilización efectiva en base a disponibilidad de la flota de carguío y transporte en minera los Pelambres” el objetivo principal fue incorporar mejoras operacionales para poder lograr compromisos de mejoras en la Utilización Efectiva en Base a Disponibilidad adquiridos en Caso Base 2015. La metodología como base para abordar el estudio se basó en realizar un análisis de la base de datos proporcionada por Dispatch, identificando los eventos que generan mayores demoras y pérdidas operacionales a la operación, sumado a un estudio de cada operación unitaria. Concluye que, con la incorporación de nuevas tecnologías a los sistemas actuales de operación, como el sistema de visión y monitoreo de los elementos de desgaste en las palas de carguío. La instalación de esta tecnología permitirá disminuir los tiempos de pérdidas operacionales (inspección manual de los dientes) y de las

demoras no programadas (detección de inchancables), junto con una disminución de las horas de inspección por parte de las cuadrillas de mantención. Esto repercute en recuperar tiempo efectivo, lo que aumentaría considerablemente la UEBD de las palas.

Así mismo, Solis (2013), en su tesis "Estrategias de aseguramiento de disponibilidad Palas de cable de mina Radomiro Tomic", tuvo como objetivo principal desarrollar estrategias de mantenimiento a aplicar en flota de palas de cable de 73 yardas cúbicas de Mina Radomiro Tomic, Codelco, para asegurar el cumplimiento de la Disponibilidad, principal KPI, siendo esta su propuesta de valor. Dentro de las actividades realizadas, se determina impactos más relevantes en las detenciones en los últimos 7 años, se revisa benchmarking de indicadores, tal como disponibilidad, tiempo medio entre fallas, tiempo medio para reparar, comparando la situación de palas de Radomiro Tomic con la industria. Concluyendo que el impacto de la estrategia de componentes en la disponibilidad, al disponer de una pluma, un juego de bastidores y una transmisión de levante es de 82 días menos de detención en un horizonte de 10 años, es decir, un 2.25% más de Disponibilidad en el mismo periodo. Contar con estos elementos disminuye el tiempo de detención, al ser necesario sólo realizar el cambio del componente, instalando el componente en condiciones y procediendo a la reparación del componente retirado, sin detención de los equipos, como tradicionalmente se realiza para estos tres tipos de componentes. Para la flota de 3 palas, se tiene un impacto de 246 días más de operación en 10 años.

Por otro lado, a nivel nacional Córdova (2017), en su tesis "Propuesta de gestión de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de las palas electromecánicas TZ modelo WK-

12 en la minera Sbougang Hierro Perú S.A.A.", tuvo por finalidad identificar una propuesta de Gestión de Mantenimiento que permita mejorar la disponibilidad de las palas electromecánicas TZ modelo WK-12, debido al proyecto de ampliación y la baja disponibilidad, por ello esta tesis requirió de una investigación de tipo propositivo y aplicativo, un nivel de investigación explicativo y propositivo, para poder lograr este objetivo se realizó una auditoria de mantenimiento encuestando a los involucrados en el mantenimiento de las Palas. Concluyendo que, la disponibilidad de los equipos llega a un 87.5% el cual se encuentra debajo a la meta propuesta por la gerencia 89% que se requiere para cumplir con los objetivos de producción, e propuso un sistema para mejorar el historial de fallas por sistemas y poder analizar de manera adecuada los indicadores. El resultado esperado de la propuesta de mejora permite incrementar los indicadores de la gestión de mantenimiento estableciendo metas de acuerdo a lo planificado por gerencia.

De igual forma, Quintana (2016), en su trabajo de investigación "Diseño de un programa de mantenimiento preventivo de equipo pesado mediante el análisis de fallas, para incrementar la disponibilidad en el proyecto Shahuindo de Stracon GYM.", tuvo como objetivo principal diseñar un programa de mantenimiento preventivo de equipo pesado, para incrementar la disponibilidad en el proyecto Shahuindo de Stracon GyM. Se implementó una metodología moderna, cual es, el modo de fallas, efectos y análisis de criticidad considerado también por el mantenimiento que nos permitirá un incremento en la disponibilidad, además se analizará los posibles modos/causas de falla de los sistemas con sus severidades, lo cual a su vez hará posible la selección de tareas de mantenimiento para enfrentar dichos eventos. Concluyendo que con la aplicación del plan de mantenimiento se pudo incrementar la disponibilidad mecánica en 8.5% y alcanzando 97% de promedio en las

excavadoras. Además, el cálculo de indicadores es de vital importancia en el área de mantenimiento, ellos nos indican en donde estamos y nos brindan una visión de a dónde queremos llegar. El cálculo de indicadores de disponibilidad, utilización, tiempo medio entre paradas y tiempo medio a 97 reparar y otros KPI'S deben estar presentes en un sistema de mantenimiento para la toma de decisiones.

Por otro lado, Chávez (2020), en su trabajo de investigación “Influencia de los Periodos de parada no programados en el uso de la Disponibilidad y Productividad de los equipos de carguío y acarreo en una empresa minera del sur del Perú 2020”, tuvo como objetivo principal identificar la influencia de los periodos de paradas no programados en el uso de la disponibilidad y productividad de los equipos de carguío y acarreo en una empresa minera del sur del Perú. Concluyendo que se identificó los tiempos y causas de los periodos de paradas no programadas que son uno de los factores que afectan el porcentaje de uso de la disponibilidad de los equipos de carguío, lo cual permitió calcular el total de tiempos de demora de todos los equipos en estudio, la pala 12 (959 horas) fue el equipo con mayor periodo de horas y la pala 10 (862 horas) el equipo con menor periodo de tiempo de paradas no programadas durante los 5 meses de monitoreo.

También a nivel local, Coro y Cotrina (2021), en su tesis “Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento para incrementar la disponibilidad mecánica de los equipos de carguío y acarreo en la empresa W&J Minería y Construcción S.A.C.”, tuvieron como objetivo de la investigación diseñar un sistema de gestión de mantenimiento para incrementar la disponibilidad mecánica de los equipos de carguío y acarreo en la empresa. La metodología fue asumida según la investigación Explicativa porque se examinó la

relación entre las dos variables que son disponibilidad mecánica y gestión de mantenimiento. Según la naturaleza de datos la investigación Cuantitativa ya que se contuvo el análisis de indicadores operativos, los cuales se determinaron mediante procesos de medición. Concluyendo que, el problema principal que afecta a los equipos es la baja disponibilidad, lo cual se debe a la falta de un sistema de mantenimiento preventivo, sus fallas son frecuentes, es por ello que urge medidas de mejora. La disponibilidad de la retroexcavadora JCB fue 44.38%, de la excavadora JCB fue 47.37%, el volquete 18 cubos fue 60.26%, de la camioneta Hilux fue 59.94% y del Bobcat JCB fue 30.86%.

Las bases teóricas están relacionadas con las definiciones principales a considerar durante el desarrollo del trabajo de investigación, las cuales se detallan a continuación. Según Flores (2018), la disponibilidad es el principal parámetro o indicador asociado a la Gestión 29 del mantenimiento, dado que limita la capacidad de producción. En general, la disponibilidad se define como la probabilidad de que un ítem esté “apto” para el trabajo en un momento arbitrariamente escogido, excepto en los períodos de mantenimiento en los que la utilización del artículo no se prevé. En ese sentido, también se puede decir, que la disponibilidad es la probabilidad de que un artículo realice la función asignada cuando sea requerido. Es importante mencionar que el grado de disponibilidad de un equipo será el resultado del comportamiento de la confiabilidad y mantenibilidad de dicho equipo.

Córdova (2017), afirma que es el porcentaje de dividir la diferencia entre el tiempo disponible (horas calendario) con el tiempo utilizado en las intervenciones de mantenimiento (tanto mantenimiento preventivo como mantenimiento correctivo). Además, señala que la tasa de fallas es el indicador que permite medir la frecuencia de fallas promedio

transformándose en una medida de la confiabilidad de los Equipos, y cada máquina tiene un potencial de trabajo, considerando el tiempo de producción; sin embargo, la producción de la máquina se ve afectada por las paradas producto de fallas de los equipos, lo que constituye el mayor porcentaje de pérdidas.

Lazarte (2021), señala que la mejora de la gestión de mantenimiento puede visualizarse como un sistema de control donde se definen y evalúan indicadores dirigidos a la ejecución (disponibilidad, confiabilidad, costos, seguridad, personal, calidad, entre otros), y otros relativos a las actividades de mantenimiento (porcentaje del número de horas gastadas en mantenimiento preventivo, recursos logísticos utilizados, organización y métodos). La planeación del mantenimiento incluye la filosofía, pronóstico, capacidad, organización y programación del mantenimiento.

Se entiende por mantenimiento correctivo la corrección de las averías o fallas, cuando éstas se presentan. Es la habitual reparación tras una avería que obligó a detener la instalación o máquina afectada por el fallo. Existen dos formas diferenciadas de mantenimiento correctivo: el programado y no programado. La diferencia entre ambos radica en que mientras el no programado supone la reparación de la falla inmediatamente después de presentarse, el mantenimiento correctivo programado o planificado supone la corrección de la falla cuando se cuenta con el personal, las herramientas, la información y los materiales necesarios y además el momento de realizar la reparación se adapta a las necesidades de producción (Lazarte, 2021).

Actualmente la industria debe ser competitiva, y para ello el mantenimiento de las maquinarias y equipos juega un papel primordial, ya que de ello depende el funcionamiento

y disponibilidad de las maquinarias siendo el mantenimiento el causante principal de que la maquinaria se encuentre en proceso productivo y en una condición de operación óptima evitando las paradas no programadas y reducción de los tiempos de mantenimiento programado y costos de producción. (Saavedra, 2014). El carguío y el acarreo constituyen las acciones que definen la principal operación en una operación minera. Estos son responsables del movimiento del mineral o estéril que ha sido fragmentado en un proceso de voladura (Amau, 2019).

La justificación práctica se centra en que la empresa minera en estudio requiere tener una buena disponibilidad de sus equipos, para poder asegurar la producción y así lograr cumplir con los objetivos trazados a corto, mediano y largo plazo. Para la minera es muy importante cumplir con sus compromisos nacionales e internacionales y comprometido siempre por con la seguridad de su personal y cuidando el medio ambiente.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo se identificará la influencia de los tiempos de parada no programados en la disponibilidad mecánica de las palas eléctricas – flota 5500 en una mina a cielo abierto ubicada en el departamento de Cajamarca, 2022?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Principal

Identificar la influencia de los tiempos de parada no programados en la disponibilidad mecánica de las palas eléctricas – flota 5500 en una mina a cielo abierto ubicada en el departamento de Cajamarca en el año 2022.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar los tiempos de parada no programados de las palas eléctricas SH007 y SH011 durante el periodo de noviembre 2021 a febrero 2022.
- Realizar un análisis comparativo de la disponibilidad mecánica y la influencia de los tiempos de parada no programados de las palas eléctricas SH007 y SH011 durante el periodo de noviembre 2021 a febrero 2022.

1.4. Hipótesis

Al identificar la influencia de los tiempos de parada no programados en la disponibilidad mecánica de las palas eléctricas – flota 5500, se determinará las causas principales de las demoras que servirán en la aplicación de mejoras posteriores.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

El trabajo de investigación realizado es de tipo Aplicado, el cual es una forma de conocer las realidades con una prueba científica; su fundamento sirve para generar una solución al problema específico que se quiera resolver (Vargas, 2009). Con enfoque Experimental, es aquel según el cual el investigador manipula una variable experimental no comprobada, bajo condiciones estrictamente controladas. Su objetivo es describir de qué modo y porque causa se produce o puede producirse un fenómeno (Palella y Martins, 2012). Con diseño Pre experimental, en el cual el investigador suele limitarse a observar en condiciones naturales el fenómeno analizado sin modificarlo o alterarlo, peculiaridad que permite confiar en la existencia de altos niveles de validez de los resultados obtenidos (García y Quintana, 2005); ya que permitirá identificar el grado de relación e influencia entre la variable de paradas no programadas (demoras) con la disponibilidad de las palas eléctricas pertenecientes a la flota 5500.

La población que se asumirá en el trabajo de investigación son todas las palas de la empresa minera que se encuentran operativas: 06 palas hidráulicas Hitachi EX2500, 02 palas eléctricas Hitachi EX5500 y 01 pala eléctrica Hitachi EX5600. La muestra que se asumió fue de 02 palas eléctricas de la flota Hitachi EX5500 (códigos: SH007 y SH011) de 27 m³ de capacidad. Para la selección de la muestra se empleó el método de muestreo aleatorio simple.

Para el desarrollo del trabajo de investigación tomando como base principal los objetivos planteados, se utilizó los siguientes instrumentos y técnicas de recolección de datos.

Tabla 1: *Técnicas e instrumentos de recolección de datos*

Técnica	Justificación	Instrumento
Observación	Técnica muy utilizada, que permitió identificar directamente el estado actual de la etapa de carguío y los lapsos de paradas no programadas durante los ciclos.	Reportes y guías de mantenimiento (figura 1)
Recolección de datos	Recopiló la información correspondiente a los tiempos y causas de las paradas no programadas.	Formato de recolección de datos de campo (figura 2)
Análisis documental	Se filtro la información valiosa y organizó los resultados en base a los objetivos planteados. Por ejemplo: fallas frecuentes, tiempos de paradas, disponibilidad mecánica, etc.	Formatos digitales en Excel (figura 3)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 1: Instrumento 01 - Reportes de mantenimiento

Evento	Equipo	Hóro metro	Fecha inicio	Fecha fin	Categoría	Orden de Servicio	Dur. MAQ. (H...)	Dur. NO MA...
52419	SH007 (FFO18BT000526)	113465.00	03/04/2022 19:00	04/04/2022 01:37	Mantenimiento Programado / PM		5.00	
52419	SH007 (FFO18BT000526)	113465.00	03/04/2022 15:14	03/04/2022 19:00	Mantenimiento Programado / PM		3.77	
52419	SH007 (FFO18BT000526)	113465.00	03/04/2022 13:38	03/04/2022 15:14	Demoras operativas / Clima Severo			1.60
52419	SH007 (FFO18BT000526)	113465.00	03/04/2022 07:00	03/04/2022 13:38	Mantenimiento Programado / PM		6.63	
52419	SH007 (FFO18BT000526)	113465.00	02/04/2022 19:00	03/04/2022 07:00	Mantenimiento Programado / PM		12.00	
52419	SH007 (FFO18BT000526)	113465.00	02/04/2022 07:00	02/04/2022 19:00	Mantenimiento Programado / PM		12.00	
52419	SH007 (FFO18BT000526)	113465.00	01/04/2022 19:20	02/04/2022 07:00	Mantenimiento Programado / PM		11.67	
52287	SH007 (FFO18BT000526)	113424.00	30/03/2022 20:57	30/03/2022 22:37	Correctivo Máquina / Sistema hidráulico - líneas hidráulicas y otros		1.67	
52217	SH007 (FFO18BT000526)	113409.00	30/03/2022 00:15	30/03/2022 00:59	Correctivo Máquina / Sistema hidráulico - líneas hidráulicas y otros		0.73	
52270	SH007 (FFO18BT000526)	113392.00	29/03/2022 11:26	29/03/2022 13:05	Demoras operativas / Falta de repuestos			1.65
52210	SH007 (FFO18BT000526)	113390.87	29/03/2022 09:53	29/03/2022 11:26	Correctivo Máquina / Sistema motor diesel - motor		1.55	
52185	SH007 (FFO18BT000526)	113383.00	29/03/2022 02:36	29/03/2022 03:34	Trabajos No máquina / Gets			0.97
							Total: 55.02	Total: 4.22

Fuente: Área de mantenimiento.

Figura 2: Instrumento 02 – Formato de recolección de datos

Equipo	Horas Periodo	Horas Mant. No Prog.	Horas Mant. Prog.	Nº Eventos No Prog.	Nº Eventos Prog.	MTTR	MTBF	MTBS

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3: Instrumento 03 - Formatos digitales de resultados

1/11/2021 00:00			7/11/2021 23:59			
Equipo	Fecha final	Horómetro	Descripción	Fecha inicio	Horómetro	Horas transcurridas
SH007	14/11/2021 00:34	110780	Sistema motor diesel - sistema eléctrico: Se verifica funcionamiento de motor , motor trabaja normal. Se verifica codigos activos de motor diesel LH , no se evidencia fallas activas ni inactivas de motor. Se verifica funcionamiento de equipo, se entrega equipo operativo sin evento alguno	14/11/2021 10:36	110791.5	11.5
SH011	9/11/2021 21:06	4798.1	Relleno de refrigerante: Alarma de bajo nivel de refrigerante. Inspección de niveles y descarga de data	11/11/2021 10:41	4835.86	37.76

Fuente: Elaboración propia.

El procedimiento para realizar el trabajo de investigación consideró de 02 etapas: Etapa I - Campo y Etapa II - Gabinete. En la Etapa I - Campo se recopiló toda la información referente a los tiempos de paradas no programadas (demoras) y causas correspondientes al periodo noviembre – febrero. Para lo cual se tomó en cuenta la información registrada en los reportes y guías de mantenimiento.

Figura 4: Base de datos de mantenimiento - Palas 5500



Fuente: Área de mantenimiento.

En la Etapa II - Gabinete se organizó e interpretó la información recopilada en la etapa de campo, los datos filtrados se representaron en tablas y gráficos estadísticos con la finalidad de tener una mejor interpretación de los resultados de la influencia de los tiempos de paradas no programadas en la disponibilidad mecánica de las palas eléctricas flota 5500. A continuación, se presenta la definición de los principales acrónimos a considerar en las tablas de resultados, los cuales están relacionados con las variables de estudio.

Tabla 2: *Acrónimos - reportes de mantenimiento*

Significado	Acrónimo
Disponibilidad mecánica	MA
Tiempo medio de reparación	MTTR
Tiempo medio entre fallas	MTBF
Tiempo medio entre paradas por fallas	MTBS

Fuente: Área de mantenimiento.

Así mismo a continuación se presentan las ecuaciones empleadas para los cálculos de los porcentajes de disponibilidad mecánica empleadas para la obtención de resultados.

Ecuación 1: *Disponibilidad mecánica (MA)*

$$Disponibilidad = \left(\frac{Tiempo\ disponible}{Tiempo\ calendario} \right) \times 100$$

El FSAPM, se considera como la primera parada después del plan de mantenimiento (PM). Es una medida de calidad del mantenimiento planeado, es el tiempo que trabajó el equipo después de haber salido del PM programado hasta su primera parada por cualquier correctivo.

Ecuación 2: Confiabilidad (MTBS)

$$MTBS = \frac{\textit{Tiempo operativo}}{\textit{Paradas no programadas} + \textit{Paradas programadas}}$$

Ecuación 3: Confiabilidad (MTBF)

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo operativo}}{\textit{Paradas no programadas}}$$

Ecuación 4: Tiempo promedio de reparación (MTTR)

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo Inoperativo}}{\textit{Paradas no programadas} + \textit{Paradas programadas}}$$

Los aspectos éticos considerados reafirman que toda la información proporcionada por la empresa será estrictamente utilizada en el desarrollo de la investigación y no con otros fines que afecten los intereses de la organización. Al desarrollar este proyecto se respetó los derechos de propiedad los autores según las normas establecidas por la Universidad Privada del Norte.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Tiempos de parada no programados de las palas eléctricas SH007 y SH011

A continuación, se presenta los resultados de las causas y tiempos de paradas no programadas por fallas mecánicas durante el periodo de noviembre 2021 a febrero 2022.

Tabla 3: *Paradas no programadas - noviembre*

Pala	Fecha final	Horómetro	Descripción	Fecha inicio	Horas transcurridas
SH007	14/11/2021 00:34	110780	Sistema motor diésel - sistema eléctrico: Se verifica funcionamiento de motor, motor trabaja normal. Se verifica códigos activos de motor diésel LH, no se evidencia fallas activas ni inactivas de motor. Se verifica funcionamiento de equipo, se entrega equipo operativo sin evento alguno	14/11/2021 10:36	11.5
SH011	9/11/2021 21:06	4798.1	Relleno de refrigerante: Alarma de bajo nivel de refrigerante. Inspección de niveles y descarga de data	11/11/2021 10:41	37.76

Fuente: Área de mantenimiento.

Tabla 4: *Paradas no programadas – diciembre*

Pala	Fecha final	Horómetro	Descripción	Fecha inicio	Horas transcurridas
SH007	15/12/2021 12:40	111276	Sistema motor diésel - motor: descarga de data cense, corrección de harnees de sensor de nivel de refrigerante	24/12/2021 13:21	214
SH011	3/12/2021 19:00	5272	Sistema estructura - cabina: se realiza la reposición del cinturón de seguridad del operador y se repone el de copiloto	11/12/2021 12:18	178
SH011	28/12/2021 01:43	5795.7	Sistema estructura - implementos frontales: Operador reporta pin inferior roto del cilindro cucharón Rh, se realiza el cambio del pin.	29/12/2021 14:51	37

Fuente: Área de mantenimiento.

Tabla 5: *Paradas no programadas – enero*

Pala	Fecha final	Horómetro	Descripción	Fecha inicio	Horas transcurridas
SH007	10/01/2022 15:17	111791	Sistema hidráulico - líneas hidráulicas y otros: Fuga hidráulica. Se cambia oring de bloque de entrega de strainer # 4.	10/01/2022 19:04	4

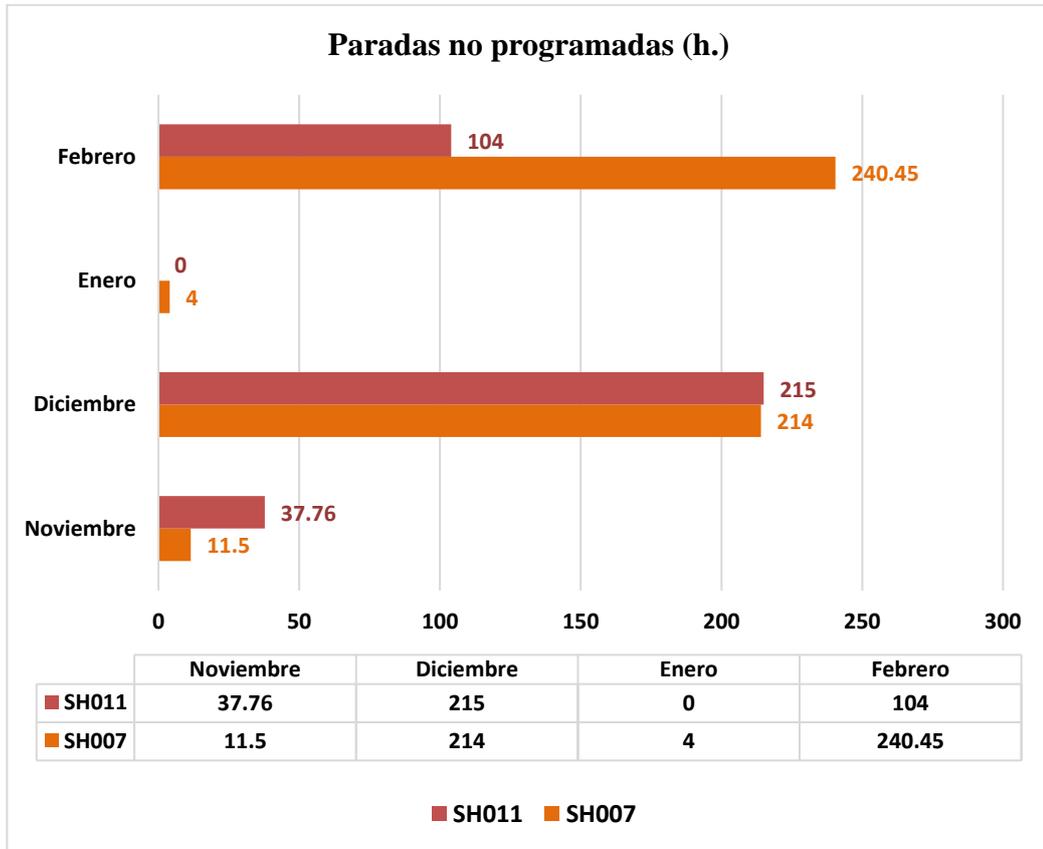
Fuente: Área de mantenimiento.

Tabla 6: Paradas no programadas – febrero

Pala	Fecha final	Horómetro	Descripción	Fecha inicio	Horas transcurridas
SH007	5/02/2022 04:00	112267	Sistema eléctrico - A/C y calefacción: Se habilita A/C lateral.	16/02/2022 00:32	240.45
SH011	14/02/2022 01:56	6800	Sistema eléctrico - sistema de carga y luces: operador reporta fuerte olor hacia la cabina, se encuentran las baterías 1, 2 y 3 secas y en mal estado. se cambió las 3 baterías nuevas, se limpia los sensores de contaminación de las bombas principal #4 y 11 del motor de giro delantero RH. NOTA: se demora por el traslado de las baterías de talleres a quécher main.	18/02/2022 11:58	104

Fuente: Área de mantenimiento.

Figura 5: Gráfico comparativo del total de horas de paradas no programadas



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 5 se observa que, la pala SH007 tuvo mayor cantidad de horas por paradas no programadas con un total de 469.95 h. Además, la falla mecánica que contempla la mayor cantidad de horas inoperativas está relacionada con el sistema eléctrico con un total de 240.45 h. Finalmente en el mes de diciembre se tuvo el mayor tiempo de paradas no programadas con un total de 429 h.

3.2. Análisis comparativo de la disponibilidad mecánica de las palas eléctricas SH007 y SH011

A continuación, se presentan los resultados del análisis comparativo de los tiempos de parada no programados y la disponibilidad mecánica de las palas eléctricas asumidas como muestra en el trabajo de investigación.

Tabla 7: *Eventos no programados - noviembre*

Equipo	Horas Evento no prog(maq)	Horas Mantenimiento prog(maq)	Horas no máquina	Horas Accidente	Horas StandBy
SH007	68.87	54.97	77.45	1.25	11.28
SH011	19.63	28.22	40.17	1.72	15.17

Fuente: Área de mantenimiento.

Tabla 8: *% Disponibilidad - noviembre*

Equipo	Disponibilidad Mecánica / Máquina	Disponibilidad Física	Disponibilidad Contractual
SH007	82.80%	71.87%	83.95%
SH011	93.35%	87.54%	90.00%

Fuente: Área de mantenimiento.

Tabla 9: *Eventos no programados – diciembre*

Equipo	Horas Eventos no prog(maq)	Horas Mantenimiento prog(maq)	Horas no máquina	Horas Accidente	Horas StandBy
SH007	11.58	91.03	42.18	0.00	14.65
SH011	8.60	59.18	34.40	15.10	15.00

Fuente: Área de mantenimiento.

Tabla 10: % Disponibilidad - diciembre

Equipo	Disponibilidad Mecánica / Máquina	Disponibilidad Física	Disponibilidad Contractual
SH007	86.21%	80.54%	79.97%
SH011	90.89%	84.24%	90.00%

Fuente: Área de mantenimiento.

Tabla 11: Eventos no programados – enero

Equipo	Horas Eventos no prog(maq)	Horas Mantenimiento prog(maq)	Horas no máquina	Horas Accidente	Horas StandBy
SH007	12.57	96.42	16.05	0.00	16.57
SH011	1.48	52.92	10.90	12.00	16.37

Fuente: Área de mantenimiento.

Tabla 12: % Disponibilidad – enero

Equipo	Disponibilidad Mecánica / Máquina	Disponibilidad Física	Disponibilidad Contractual
SH007	85.35%	83.19%	79.87%
SH011	92.69%	89.61%	90.00%

Fuente: Área de mantenimiento.

Tabla 13: Eventos no programados – febrero

Equipo	Horas Eventos no prog(maq)	Horas Mantenimiento prog(maq)	Horas no máquina	Horas Accidente	Horas StandBy
SH007	5.83	103.23	24.88	0.52	11.63

SH011	5.00	46.20	8.53	0.00	12.57
-------	------	-------	------	------	-------

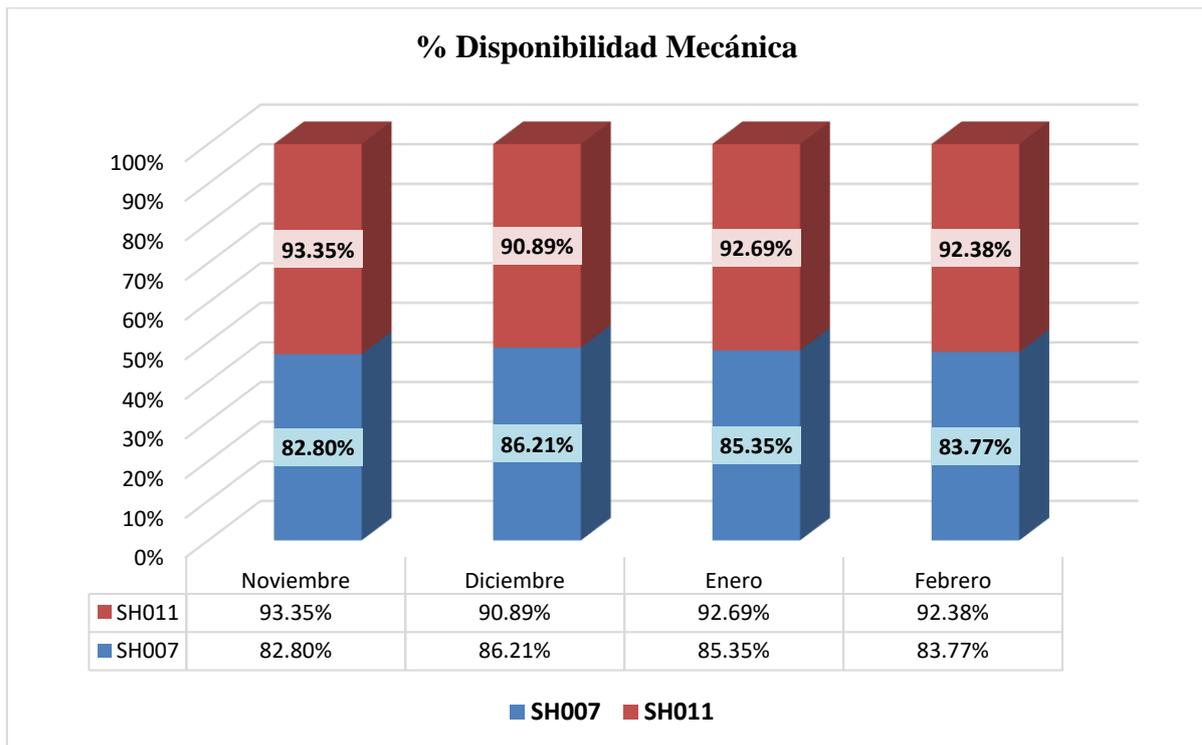
Fuente: Área de mantenimiento.

Tabla 14: % Disponibilidad – febrero

Equipo	Disponibilidad Mecánica / Máquina	Disponibilidad Física	Disponibilidad Contractual
SH007	83.77%	79.99%	79.98%
SH011	92.38%	91.11%	90.00%

Fuente: Área de mantenimiento.

Figura 6: Gráfico comparativo de los % de disponibilidad mecánica



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 6 se evidencia que la pala SH007 tuvo los menores valores porcentuales con respecto a la disponibilidad mecánica, siendo 82.80% el menor valor, el cual se

encuentra por debajo del target establecido que es el 85%. Esto se relaciona con los tiempos de parada no programados generados por fallas mecánicas durante el ciclo de carguío.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De análisis de los resultados presentados anteriormente, se tiene que la pala SH007 tuvo mayor cantidad de horas por paradas no programadas con un total de 469.95 h. Además, la falla mecánica que contempla la mayor cantidad de horas inoperativas está relacionada con el sistema eléctrico con un total de 240.45 h. Sumado a que en el mes de diciembre se tuvo el mayor tiempo de paradas no programadas con un total de 429 h. Estos resultados se sustentan con lo señalado por Chávez (2020), en su trabajo de investigación tuvo como objetivo principal identificar la influencia de los periodos de paradas no programados en el uso de la disponibilidad y productividad de los equipos de carguío y acarreo en una empresa minera del sur del Perú. Concluyendo que se identificó los tiempos y causas de los periodos de paradas no programadas que son uno de los factores que afectan el porcentaje de uso de la disponibilidad de los equipos de carguío, lo cual permitió calcular el total de tiempos de demora de todos los equipos en estudio, la pala 12 (959 horas) fue el equipo con mayor periodo de horas y la pala 10 (862 horas) el equipo con menor periodo de tiempo de paradas no programadas durante los 5 meses de monitoreo.

Así mismo, se identificó que la pala SH007 tuvo los menores valores porcentuales con respecto a la disponibilidad mecánica, siendo 82.80% el menor valor, el cual se encuentra por debajo del target establecido que es el 85%. Esto se relaciona con los tiempos de parada no programados generados por fallas mecánicas durante el ciclo de carguío. Estos resultados se sustentan en lo indicado por Córdova (2017), en su tesis tuvo por finalidad identificar una propuesta de Gestión de Mantenimiento que permita mejorar la disponibilidad de las palas electromecánicas TZ modelo WK-12, debido al proyecto de ampliación y la baja disponibilidad, por ello esta tesis requirió de una investigación de tipo

propositivo y aplicativo, un nivel de investigación explicativo y propositivo, para poder lograr este objetivo se realizó una auditoria de mantenimiento encuestando a los involucrados en el mantenimiento de las Palas. Concluyendo que, la disponibilidad de los equipos llega a un 87.5% el cual se encuentra debajo a la meta propuesta por la gerencia 89% que se requiere para cumplir con los objetivos de producción, e propuso un sistema para mejorar el historial de fallas por sistemas y poder analizar de manera adecuada los indicadores. El resultado esperado de la propuesta de mejora permite incrementar los indicadores de la gestión de mantenimiento estableciendo metas de acuerdo a lo planificado por gerencia.

Las limitaciones del trabajo de investigación estuvieron relacionadas con la selección de la muestra, ya que por temas de confidencialidad de datos y dificultad para conseguir los reportes de mantenimientos no se pudo seleccionar una mayor cantidad de equipos como muestra de la tesis.

CONCLUSIONES

- Se determinó los tiempos de parada no programados de las palas eléctricas SH007 y SH011 durante el periodo de noviembre 2021 a febrero 2022, siendo la pala SH007 la que tuvo mayor cantidad de horas por paradas no programadas con un total de 469.95 h. Además, la falla mecánica que contempla la mayor cantidad de horas inoperativas está relacionada con el sistema eléctrico con un total de 240.45 h. Sumado a que en el mes de diciembre se tuvo el mayor tiempo de paradas no programadas con un total de 429 h.
- Se realizó un análisis comparativo de la disponibilidad mecánica y la influencia de los tiempos de parada no programados de las palas eléctricas SH007 y SH011 durante el periodo de noviembre 2021 a febrero 2022, obteniéndose que la pala SH007 tuvo los menores valores porcentuales con respecto a la disponibilidad mecánica, siendo 82.80% el menor valor, el cual se encuentra por debajo del target establecido que es el 85%. Esto se relaciona con los tiempos de parada no programados generados por fallas mecánicas durante el ciclo de carguío, ya que la pala SH007 tuvo mayor cantidad de horas generadas por paradas no programadas.
- Se recomienda implementar mejoras en el plan de mantenimiento preventivo y correctivo programado de los sistemas eléctricos y revisiones de los motores diésel de las palas ya que son las fallas que ocasionan mayor cantidad de horas inoperativas a las palas eléctricas.

REFERENCIAS

- Amau, B. (2019). *“Optimización de equipos de carguío y transporte para el incremento de producción en la CIA Minera Antapaccay Espinar - Cusco”*. (Tesis Pregrado). Universidad Nacional de San Antonio Abad. Cusco, Perú.
- 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 pregrado). Universidad de Chile. Santiago.
- Chávez, E. (2020). *“Influencia de los Periodos de parada no programados en el uso de la Disponibilidad y Productividad de los equipos de carguío y acarreo en una empresa minera del sur del Perú 2020”*. (tesis pre grado). Universidad Privada del Norte. Cajamarca, Perú.
- Córdova, A. (2017). *“Propuesta de gestión de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de las palas electromecánicas TZ modelo WK-12 en la minera Sbougang Hierro Perú S.A.A.”* (Tesis pregrado). Universidad Nacional del Callao. Callao, Perú.
- Coro, P. y Cotrina, S. (2021). *“Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento para incrementar la disponibilidad mecánica de los equipos de carguío y acarreo en la empresa W&J Minería y Construcción S.A.C.”*. (Tesis Pregrado). Universidad Privada del Norte. Cajamarca, Perú.

Flores, Y. (2018). *“Plan de mejora en la gestión de mantenimiento para asegurar la disponibilidad de equipos de carguío de una empresa minera, Apurímac”*. (Tesis pregrado). Universidad César Vallejo. Chiclayo, Perú.

García, E. & Quintana, F. (2005). *“Diseño Pre experimental”*. Recuperado de :
http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-97282013000300043

Lazarte, P. (2021). *“Implementación de unidades móviles de soldadura para mantenimiento in situ de palas y perforadoras de la empresa U.S. ITEM S.A. en la unidad minera Las Bambas, Apurímac 2021”*. (Tesis Pregrado). Universidad Autónoma San Francisco. Arequipa, Perú.

Palella, S. & Martins, F. (2012). *Metodología de la investigación cuantitativa*, Florencia, Venezuela. Recuperado de <https://www.doccity.com/es/disenio-tipo-nivel-y-modalidad-de-palella-y-martins/2733947/>

Quintana, S. (2016). *“Diseño de un programa de mantenimiento preventivo de equipo pesado mediante el análisis de fallas, para incrementar la disponibilidad en el proyecto Shahuindo de Stracon GYM.”*. (Tesis Pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú.

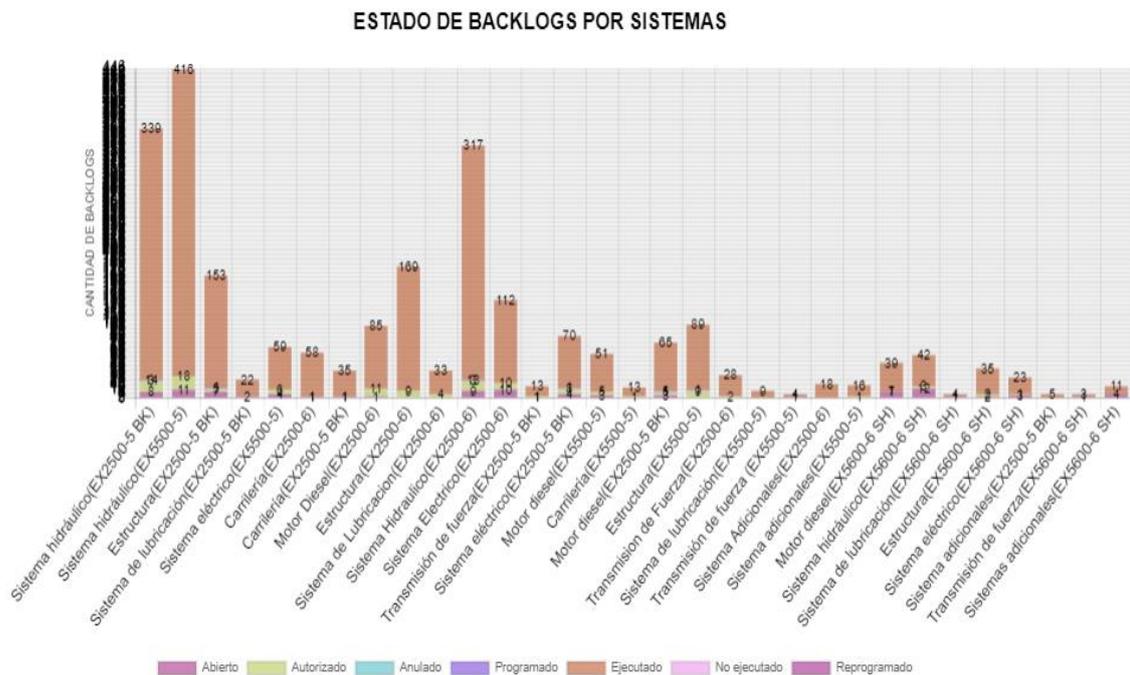
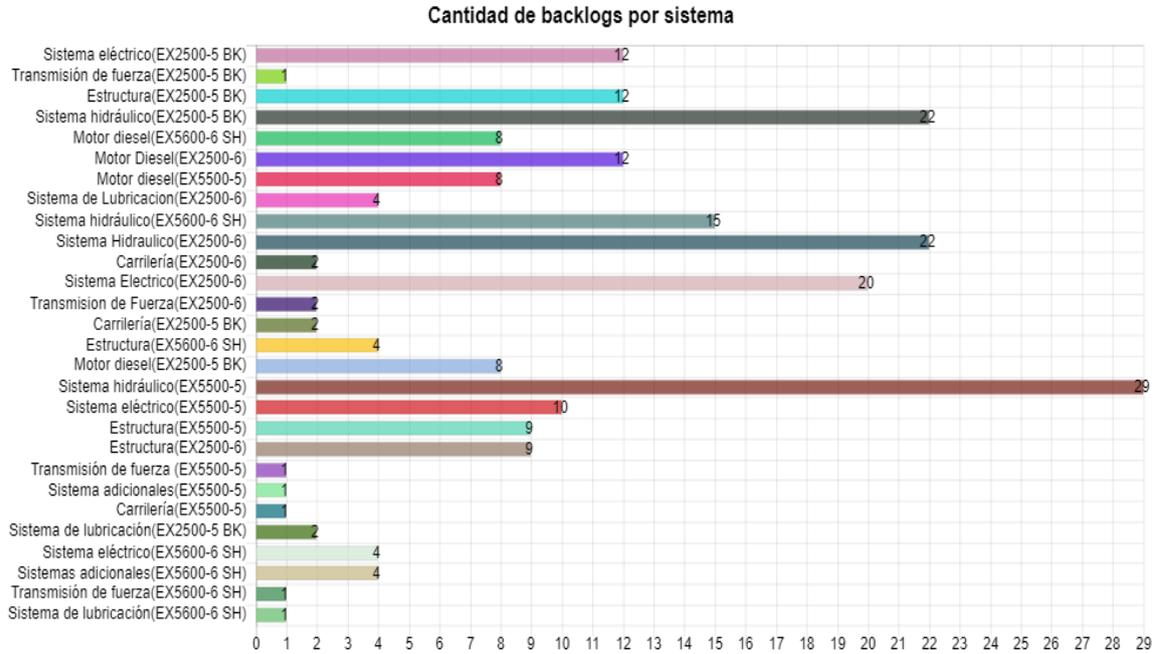
Saavedra, P. (2014). “*Mantenimiento predictivo en palas electromecánicas de la minería*”. (Tesis Pregrado). Universidad de Concepción. Chile.

Solis, E. (2013). “*Estrategias de aseguramiento de disponibilidad palas de cable de mina Radomiro Tomic*”. (tesis pre grado). Universidad de Chile. Santiago.

Vargas, R. (2009). La Investigación aplicada: *una forma de conocer las realidades con evidencia científica*. Vol. (33), p.161.

ANEXOS

ANEXO N° 01: Cantidad de Blacklogs – Sistema



ANEXO N° 02: Ficha técnica de las palas eléctricas Hitachi flota 5500

Tren de rodaje	
▪ Velocidad máxima de transporte	2.3 km/h
▪ Número de rodillos superiores	3
▪ Número de rodillos inferiores	7
▪ Número de zapatas en cadena a cada lado	39
▪ Ancho de vía	6000 mm
▪ Ancho del estabilizador de la retroexcavadora 1	1400 mm
▪ Peso útil de la retroexcavadora – Estabilizador 1	518000 kg
▪ Presión específica sobre el suelo de la pala – Estabilizador 1	230 kPa
▪ Ancho del estabilizador de la pala cargadora	1400 mm
▪ Peso útil de la pala de cargas	518000 kg
▪ Presión específica sobre el suelo de la pala cargadora	230 kPa
▪ Radio de giro de la parte trasera de la plataforma	7750 mm

Pluma/secciones de pala 1

<ul style="list-style-type: none"> Pluma/sección de la retroexcavadora 	<p>longitud del pluma de la excavadora 10600mm con palanca - alargamiento 5300mm</p>
<ul style="list-style-type: none"> Profundidad máxima de excavación 	9000 mm
<ul style="list-style-type: none"> Profundidad máx de excavación de una pared vertical 	5500 mm
<ul style="list-style-type: none"> Altura máxima de corte 	20600 mm
<ul style="list-style-type: none"> Altura máxima de descargas 	13000 mm
<ul style="list-style-type: none"> Alcance máximo a nivel del suelo 	20100 mm
<ul style="list-style-type: none"> Fuerza de presión del brazo 	1240 Nm

Pala de carga

<ul style="list-style-type: none"> Alcance máximo durante la excavación 	16600 mm
<ul style="list-style-type: none"> Fuerza de presión del brazo 	1570 Nm
<ul style="list-style-type: none"> Pala de carga 	estándar
<ul style="list-style-type: none"> Profundidad máxima de excavación 	4550 mm
<ul style="list-style-type: none"> Altura máxima de corte 	18900 mm
<ul style="list-style-type: none"> Altura máxima de descargas 	13100 mm

Pala

■ Volumen inicial de la pala	27 m ³
■ Volumen mínimo de la pala	27 m ³
■ Volumen máximo de la pala	30.6 m ³

Motor

■ Número de cilindros	12
■ Aspiración	Turboalimentación con enfriamiento posterior del aire (radiador de refrigeración)
■ Fabricante	Cummins
■ Modelo	QSK45-C
■ Potencia total	2013.4 kW
■ Potencia efectiva	1941.8 kW
■ Potencia medida en	1800 RPM.
■ Cilindrada	90 l.

Explotación

■ Volumen de combustible	10400 l.
■ Volumen del fluido del sistema refrigerante	760 l.
■ Volumen de aceite del motor	520 l.
■ Volumen del fluido del sistema hidráulico	6200 l.
■ Velocidad de giro	3.3 RPM.
■ Tensión de funcionamiento	24 V

Tren de rodaje

■ 6. Ancho de vía	6000 mm
■ 14. Ancho del estabilizador de la pala cargadora	1400 mm

Pala de carga

■ 18. Altura máxima de descargas	13100 mm
■ 19. Alcance máximo durante la excavación	16600 mm
■ 20. Profundidad máxima de excavación	4550 mm
■ 17. Altura máxima de corte	18900 mm

Dimensiones

■ 2. Distancia entre las cadenas de la oruga	7400 mm
■ 4. Longitud de la cadena de la oruga a nivel del suelo	7000 mm
■ 5. Despeje sobre el suelo	1100 mm
■ 7. Altura hasta la parte superior de la cabina	8500 mm
■ 8. Radio de giro de la parte trasera de la plataforma	7750 mm

ANEXO N° 03: Fotografías de campo

