

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA DE MINAS**

“EVALUACIÓN DE LOS TIEMPOS POR PARADAS
NO PROGRAMADAS EN LA DISPONIBILIDAD
MECÁNICA DE LAS PALAS HIDRÁULICAS EX2500
EN UNA MINA SUPERFICIAL, CAJAMARCA 2022”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Hernan Jacinto Cholan Cuzco

Asesor:

Mg. Ing. Óscar Arturo Vásquez Mendoza

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

Cajamarca - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1	Daniel Alejandro Alva Huamán	43006890
Presidente(a)	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Miguel Ricardo Portilla Castañeda	45209190
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Rafael Napoleón Ocas Boñón	
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

DEDICATORIA

A Dios,

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional

A mi madre,

María Julia Cuzco Chuquipoma, por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional, por ser aguerrida, luchadora y quien día a día me brinda sus consejos sabios, tiempo, comprensión y a su vez por apoyar mis decisiones.

A mi padre, a pesar de nuestra distancia física, siento que está conmigo siempre y aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que este momento hubiera sido tan especial para él como lo es para mí.

A mis hermanos,

Luz Elena Cholán Cuzco, Maribel Cholán Cuzco, Juan Carlos Cholán Cuzco y Ana Melva Cholán Cuzco, que siempre han estado junto a mí, brindándome su apoyo incondicional.

A mis amigos,

A Luz Nila Rafael Bautista, por acompañarme durante todo este arduo camino y compartir conmigo alegrías y fracasos. Al TNT Brigadier CBP Edson Román Penalillo, por sus consejos, enseñanzas. Leonardo Sánchez Peña, por ser como un hermano y estar siempre en las buenas y malas.

AGRADECIMIENTO

A Dios,

Por permitirme estar un día más con mis seres queridos y cumplir con mis objetivos y metas propuestas.

A mí madre,

María Julia Cuzco Chuquipoma, por apoyarme e impulsarme a cumplir mis propósitos.

A mis hermanos,

Luz Elena Cholán Cuzco, Maribel Cholán Cuzco, Juan Carlos Cholán Cuzco y Ana Melva Cholán Cuzco; gracias por su cariño y amor incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones.

A mi Asesor,

Ing. Oscar Arturo Vásquez Mendoza, por impulsar temas de Investigación e Innovación por confiar en mí, estar pendiente de mi avance, brindarme su tiempo, apoyo incondicional, y sobre todo brindar sus conocimientos y experiencias obtenidas durante su carrera, para ser mejores y perseverantes día a día.

Tabla de contenido

JURADO CALIFICADOR	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	9
1.3. Objetivos	9
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	10
CAPÍTULO III: RESULTADOS	20
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	29
REFERENCIAS	32
ANEXOS	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Paradas no programadas - febrero	20
Tabla 2: Paradas no programadas – marzo	21
Tabla 3: Paradas no programadas – abril	21
Tabla 4: Paradas no programadas – mayo.....	22
Tabla 5: Disponibilidad de las palas EX2500 - febrero	24
Tabla 6: Mantenimiento de palas EX2500 – febrero.....	24
Tabla 7: Disponibilidad de las palas EX2500 - marzo	25
Tabla 8: Mantenimiento de palas EX2500 – marzo	25
Tabla 9: Disponibilidad de las palas EX2500 - abril.....	25
Tabla 10: Mantenimiento de palas EX2500 – abril.....	26
Tabla 11: Disponibilidad de las palas EX2500 - mayo	26
Tabla 12: Mantenimiento de palas EX2500 – mayo	26

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Formato de recolección de datos de demoras	17
Figura 2: Data de los reportes de mantenimiento.....	18
Figura 3: Gráfico comparativo de los tiempos de parada no programados.....	23
Figura 4: Gráfico comparativo del % Disponibilidad mecánica	27
Figura 5: Gráfico comparativo de horas de Mantenimiento No Programado	28

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo por finalidad evaluar los tiempos por paradas no programadas en la disponibilidad mecánica de las palas hidráulicas EX2500 en una mina superficial de Cajamarca. Ya que se evidencio un descenso en los porcentajes de disponibilidad de las palas hidráulicas EX2500, lo cual afecta directamente al tiempo de los ciclos de carguío. Esto debido a paradas no programadas (demoras) ocasionadas por fallas mecánicas.

Concluyendo que, la pala EX009 tuvo mayor cantidad de horas de paradas no programadas (tiempo de reparación de fallas), con un total de 890.36 horas. Además en el mes de mayo se observo que hubo mayor cantidad de horas de paradas no programadas con un total de 473.25 h. Además, la pala EX010 tuvo la mayor cantidad de horas por mantenimiento no programado en el mes de mayo, la misma también tuvo un total de 49.62 horas durante el periodo de estudio. El porcentaje de disponibilidad mecánica mínimo fue de la pala EX010 con 83.23% en el mes de marzo, y el mayor valor fue de la pala EX008 con 100%. Por lo cual se recomienda mejorar la aplicación de la gestión de mantenimiento preventivo de las palas EX009 y EX010, centrado principalmente en el sistema de lubricación ya que es la falla mecánica que genero mayor tiempo de paradas no programadas.

PALABRAS CLAVES: Disponibilidad, paradas, fallas, mantenimiento.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La disponibilidad de un equipo que es un indicador que permite la evaluación del rendimiento del equipo que realiza una determinada actividad para el cual está diseñada, se realiza en función a un periodo de tiempo tomando en cuenta los factores de la confiabilidad, la mantenibilidad y el soporte correspondiente ante la necesidad del mantenimiento del equipo (Torres, 2021). En toda actividad minera las operaciones de carguío y transporte de mineral y desmonte hacia la cancha de gruesos y botaderos respectivamente es crítica, ya que durante el tiempo de vida del proyecto las distancias irán variando considerablemente (Escarcena, 2019). Actualmente en la empresa minera en estudio se evidenció un descenso en los porcentajes de disponibilidad de las palas hidráulicas EX2500, lo cual afecta directamente al tiempo de los ciclos de carguío. Esto debido a paradas no programadas (demoras) ocasionadas por fallas mecánicas. Por tanto, se optó por realizar una evaluación de estas demoras para determinar si se relacionan directamente con los porcentajes de disponibilidad, haciendo uso de los reportes de mantenimiento.

Los antecedentes a considerarse en el trabajo de investigación se detallan a continuación, a nivel internacional Solis (2013), en su tesis "Estrategias de aseguramiento de disponibilidad palas de cable de mina Radomiro Tomic", el objetivo principal fue 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. Llegando a la conclusión de 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.

De la misma forma, a nivel nacional 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 las causas de los periodos de parada no programados que son uno de los factores que afectan el uso de la disponibilidad, de las cuales se agrupo en 3: Periodos de Demoras, Periodos de equipo malogrado y Periodos de Stand by. Siendo la Pala 12 la que presento un mayor número de horas (periodo de paradas no programadas) y la Pala 10 el menor. La productividad de los equipos está relacionada directamente con los periodos de parada no programados y no con el uso de la disponibilidad y la disponibilidad mecánica.

Por otro lado, Fernández (2020), en su tesis "Influencias de las demoras en los tiempos del ciclo de carguío en la producción de las palas eléctricas CAT 7495 en una mina de cobre a tajo abierto en Apurímac 2020", tuvo como finalidad de determinar la influencia de las demoras en los tiempos del ciclo de carguío en la producción de las palas eléctricas, dentro de los cuales se evaluó el tiempo de ciclo, tiempos muertos y producción. Concluyendo que, se evaluaron los KPI'S de las 3 palas eléctricas corroborando los resultados de los tiempos de ciclo y producción, ya que la pala SH002 presentó la productividad más alta con un promedio de 5499.02 ton/h. en el mes de diciembre, 223

cargas en total y un tiempo de carguío promedio de 1.67 minutos; a diferencia de las palas SH001 y SH003 que obtuvieron 57 y 64 cargas en total durante el mismo mes. Además, las palas estuvieron a un 95% de disponibilidad por lo cual se identificaron los factores que perjudican la producción, siendo estos problemas de demora en los camiones generados por esperas, colas y factores dependientes de los conductores, se implementó un sistema de monitoreo que complementa al sistema Dispatch.

Igualmente, Córdova (2017), en su trabajo de investigación "Propuesta de gestión de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de las palas electromecánicas tz modelo WK-12 en la minera Shougang Hierro Perú S.A.A.", tuvo como objetivo principal proponer mejoras para aumentar la disponibilidad de las Palas Electromecánicas TZ modelo WK-12 de la empresa minera Shougang Hierro Perú debido al proyecto de ampliación y la baja disponibilidad. 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, la mantenibilidad llegó a 4 excedió en un 14% de lo establecido de tiempo promedio de reparación. La confiabilidad del equipo llegó a 25 disminuyendo en un 9% no llegando a lo esperado (30) y el costo de repuesto promedio por equipo ha excedido en un 4% lo que se incrementó los costos de repuestos en un 11000 dólar en promedio por año.

Así mismo, Mayorca (2019), en su tesis "Propuesta de mejora de la disponibilidad de maquinaria pesada en una pyme utilizando el RCM", tuvo como objetivo realizar un análisis los beneficios de la aplicación de la herramienta RCM (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad) en una empresa de prestación de servicios de maquinaria pesada al sector

de minero. Concluyendo que, durante los últimos 12 meses la empresa Temasa ha presentado la reducción de la disponibilidad de la maquinaria en las obras de los clientes lo cual ha ocasionado un impacto económico que llega ascender a 70, 416 dólares por año. Se utilizó la técnica de evaluación de registros históricos en donde se evalúan los posibles factores relacionados con la disminución de la disponibilidad, dando como resultado una fuerte relación con el aumento de las paradas de las maquinarias, las cuales llegaron a representar el 15 % de total de tiempo de uso de las maquinarias, debido entre paradas eléctricas y mecánicas, las cuales representan el 80 % de las causas de los desgastes.

A nivel local, Quiroz y Revilla (2021), en su tesis "Mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad mecánica de los equipos en la planta de chancado de una empresa minera de Cajamarca 2021". tuvo como objetivo principal realizar la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de los equipos en la planta de chancado. Mediante la jerarquización de los equipos de la planta de chancado se concluyó que hay 16 equipos críticos por lo que se requiere mantenimiento preventivo como son las cintas transportadoras, zarandas y chancadoras, 05 equipos semi críticos los que requieren mantenimiento preventivo / correctivo y 01 equipo de baja criticidad por lo que requiere mantenimiento correctivo o ningún mantenimiento. Luego de la implementación del mantenimiento preventivo se concluye que se incrementó la disponibilidad mecánica del 84.27% que se midió en el periodo 2019 a 97.81% en promedio desde marzo a diciembre 2020 con un aumento del 13.54%.

También, Martínez y Minchan (2019), en su trabajo de investigación "Mejora en la gestión de mantenimiento para incrementar la disponibilidad mecánica de los equipos de

carguío y acarreo de una empresa minera de La Libertad”, siendo su objetivo principal demostrar como la mejora de gestión de mantenimiento incrementará la disponibilidad mecánica de los equipos de carguío y acarreo. Con la identificación y el análisis de las causas para determinar la baja disponibilidad mecánica nos permitió identificar que la maquinaria (camiones y excavadoras) no cumple con un programa de mantenimiento preventivo programado, tiene una mala gestión en la compra de repuestos, falta de procedimientos de trabajo, falta de registros de fallas de cada uno de los equipos y falta de capacitación al personal técnico.

El marco teórico a considerar se describe a continuación, abarcando definiciones generales de los términos a emplear a lo largo del trabajo de investigación. La disponibilidad mecánica está definida como la relación entre las horas trabajadas y las horas usadas en reparación. Según (Rodríguez, 2013) Para un período determinado, es calculado dividiendo el número de horas trabajadas entre la suma de horas trabajadas y las horas usadas en las paradas mecánicas. Además, Osorio (2020), señala que, en la práctica, la disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente, es la probabilidad de que un activo realice la función asignada cuando se requiere de ella, depende de cuán frecuente se producen los fallos en determinado tiempo y condiciones (confiabilidad) y de cuánto tiempo se requiere para corregir el fallo (mantenibilidad).

Por otro lado, 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 Según (Córdova Castillo, 2018).

La operación de carguío involucra el desarrollo de una serie de funciones que aseguran que el proceso se lleve a cabo con normalidad y eficiencia. Esta fase del proceso de la explotación minera se ocupa de definir los sectores de carga, las direcciones de carguío (a frentes de carga, posición de equipos de carguío y nivel de pisos) y el destino de los materiales de acuerdo con leyes de clasificación y tonelajes definidas previamente. Según (Codelco, 2018).

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la evaluación de los tiempos por paradas no programadas en la disponibilidad mecánica de las palas hidráulicas EX2500 en una mina superficial de Cajamarca en el año 2022?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Principal

Evaluar los tiempos por paradas no programadas en la disponibilidad mecánica de las palas hidráulicas EX2500 en una mina superficial de Cajamarca, año 2022.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Identificar las causas y tiempos de paradas no programadas por fallas mecánicas de las palas hidráulicas EX006, EX008, EX009 y EX010 (flota 2500) durante el periodo febrero – mayo 2022.
- Realizar un análisis comparativo de los porcentajes de disponibilidad mecánica de los equipos EX006, EX008, EX009 y EX010 (flota 2500).

1.4. Hipótesis

Con la evaluación de los tiempos de paradas no programadas se determinará su relación con el descenso de los porcentajes de disponibilidad mecánica de las palas hidráulicas EX2500, lo cual permitirá implementar mejoras en el mantenimiento preventivo evitando fallas mecánicas.

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; requiere obligatoriamente de un marco teórico, sobre el cual se basará para generar una solución al problema específico que se quiera resolver (Vargas, 2009). Experimental con diseño Pre experimental, ya que mediante la evaluación de los tiempos de paradas no programadas por fallas mecánicas se determinará su relación con el descenso en los porcentajes de disponibilidad de las palas hidráulicas EX2500. Los pre experimentos generalmente es útil como un primer acercamiento al problema de investigación en la realidad. 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).

La población que se asumirá en el trabajo de investigación son todas las palas de la empresa minera que se encuentran en operación: 04 palas hidráulicas EX2500, 01 pala eléctrica EX5500 y 01 pala eléctrica 5600. La muestra que se consideró fue de 04 palas hidráulicas Hitachi EX2500 (EX006, EX008, EX009 y EX010).

Las técnicas que se emplearon en el desarrollo del trabajo de investigación fueron: la observación directa, recolección de datos, análisis documental y procesamiento de datos. Inicialmente se evidenció en campo paradas no programadas en las palas durante los ciclos de carguío lo cual generaban colas de los camiones, retrasaban los ciclos, reducían el número de viajes. Generalmente las paradas de los equipos se relacionan con fallas mecánicas, las cuales deben ser corregidas por el área de mantenimiento.

Para poder recabar la información correspondiente a los tiempos de reparación y causas de las paradas no programadas ocasionadas por fallas mecánicas, se aplicó la técnica de recolección de datos, empleando como instrumento formatos elaborados según los datos necesarios para el análisis de resultados, los cuales sirvieron para filtrar la información relevante de los reportes de mantenimiento. De igual forma se revisó los reportes de disponibilidad de los equipos asumidos como muestra en el trabajo de investigación.

Figura 1: *Formato de recolección de datos de demoras*

Equipo	Fecha fin	Horómetro	Descripción	Fecha inicio	Fecha final	Horómetro	Horas transcurridas

Fuente: Elaboración propia.

Se investigó antecedentes previos de trabajos de investigación relacionados a los problemas de períodos de paradas no programados que afectan de manera directa al uso de la disponibilidad de equipos y producción en mina, para lo cual se utilizó los buscadores y bibliotecas virtuales, para lo cual se aplicó la técnica de análisis documental.

Por último, para organizar la información recabada de los reportes de mantenimiento y representarla por medio de tablas y gráficos estadísticos se hizo uso de la técnica de procesamiento de datos, para una mejor interpretación de los resultados.

El procedimiento para realizar la presente tesis consto de 02 etapas: la Primera etapa de campo y la Segunda etapa de Gabinete. En la etapa de campo se recopiló toda la información referente a los tiempos de paradas no programadas (demoras) y los tiempos de reparación de las fallas mecánicas de las palas correspondiente al periodo febrero – mayo. Para poder interpretar los reportes de manera precisa se identificaron los acrónimos y su significado.

Figura 2: Data de los reportes de mantenimiento

DISPONIBILIDAD CONTRACTUAL						DISPONIBILIDAD REAL AL 29 DE MAYO 2022											
	EX5500		EX2500		EX5600	Q1	EX5500		EX2500			EX5600					
	Availability	Availability	Availability	Availability	Availability		Availability										
Agosto	85.97		87.9			Agosto	84.16%										
Septiembre	85.88	85.90%	86.81	86.78%		Septiembre	90.65%	85.57%	-0.33%	92.89%	89.52%	2.74%					
Octubre	85.86		85.63			Octubre	81.90%			89.74%							
Noviembre	85.25		85.25			Noviembre	67.90%			84.04%							
Diciembre	82.82	82.63%	86.48	85.60%		Diciembre	95.00%	82.82%	0.19%	90.50%	87.18%	1.58%					
Enero	79.83		85.08			Enero	85.57%			87.00%							
Febrero	80.18		84.74			Febrero	95.61%			84.91%							
Marzo	81.74	81.74%	84.78	84.81%	90.00	Marzo	84.78%	85.65%	3.91%	87.62%	87.34%	2.53%			93.09%	3.09%	
Abril	83.30		84.91		90.00	Abril	76.55%			89.50%					93.09%		
Mayo	83.90		86.56		90.00	Mayo	77.19%			90.72%					93.31%		
Junio	83.64	83.83%	85.22	83.92%	90.00	Junio	85.65%	84.15%	0.32%	90.79%	89.62%	5.70%			90.43%	93.55%	
Julio	83.95		79.98		90.00	Julio	89.60%			87.34%					96.90%	3.55%	
Agosto	83.64		79.99		90.00	Agosto	84.76%			92.00%					94.18%		
Setiembre	83.95	83.80%	87.47	84.79%	90.00	Setiembre	97.43%	93.45%	9.65%	94.74%	93.17%	8.37%			94.84%	94.70%	
Octubre	83.82		86.92		90.00	Octubre	98.17%			92.77%					95.07%	4.70%	
Noviembre	82.78		85.87		90.00	Noviembre	82.80%			92.56%					93.35%		
Diciembre	79.97	80.87%	86.03	85.65%	90.00	Diciembre	86.21%	84.79%	3.91%	91.06%	91.00%	5.35%			90.89%	92.31%	
Enero	79.87		85.05		90.00	Enero	85.35%			89.38%					92.69%	2.31%	
Febrero	79.98		85.78		90.00	Febrero	83.77%			90.09%					92.38%		
Marzo	79.99	75.02%	85.49	85.45%	90.00	Marzo	90.96%	86.63%	11.62%	91.32%	90.80%	5.36%			91.37%	91.82%	
Abril	65.08		85.07		83.47	Abril	85.17%			91.00%					91.71%	4.00%	

Fuente: Área de mantenimiento.

En la segunda etapa se organizó e interpreto 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 evaluación de las paradas no programadas con la disponibilidad mecánica de las palas. Mediante los resultados obtenidos de identificó la relación de las fallas mecánicas con el descenso de los porcentajes de disponibilidad. 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.

Ecuación 1: Disponibilidad mecánica (MA)

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

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)

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

Ecuación 3: Confiabilidad (MTBF)

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

Ecuación 4: Tiempo promedio de reparación (MTTR)

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

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Causas y tiempos de paradas no programadas por fallas mecánicas de las palas hidráulicas flota EX2500

A continuación, se presenta los resultados de las causas y tiempos de paradas no programadas por fallas mecánicas durante el periodo febrero – mayo.

Tabla 1: *Paradas no programadas - febrero*

Equipo	Descripción	Fecha inicio	Fecha Fin	Horómetro	Horas transcurridas
EX006	Cambio de Motor de giro: operador reporta que PALA no gira. se hace pruebas operaciones y se evalúa, encontrándose la falla en el motor de giro posterior. se desmonta motor de giro posterior. se releva PALA inoperativa, solo para montar motor de giro.	26/02/2022 16:03:00	26/02/2022 16:23:00	126827.47	22.47
EX009	Sistema eléctrico - control, líneas, actuadores y accesorios: operador reporta que Alarma de escalera no borra. se corrige falla de escalera y se realizo pruebas operaciones y operativa la PALA. hubo demora por tormenta eléctrica.	27/02/2022 13:20:00	27/02/2022 14:52:00	73638.43	123.43
EX010	Cambio de Radiador de motor: Queda inoperativa por fuga de refrigerante.	17/02/2022 17:38:00	17/02/2022 20:27:00	71048	151

Fuente: Área de mantenimiento.

Tabla 2: *Paradas no programadas – marzo*

Equipo	Descripción	Fecha inicio	Fecha Fin	Horómetro	Horas transcurridas
EX009	Sistema carrilería - tren de rodamiento: Oruga LH trabada. Se regula tensado de oruga LH y RH.	17/03/2022 08:12:00	17/03/2022 08:56:00	73985.93	6.93

Fuente: Área de mantenimiento.

Tabla 3: *Paradas no programadas – abril*

Equipo	Descripción	Fecha inicio	Fecha Fin	Horómetro	Horas transcurridas
EX009	Sistema de lubricación - lubricación: Pin unión Link Cucharón LH sin lubricación, se evalúa inyector y manguera están en buen estado y se lubrica manualmente. Se coloca tapón al inyector de tapa biela Lh exterior.	25/04/2022 14:13:00	25/04/2022 14:45:00	74802	325
EX010	Sistema motor diesel - motor: Operador reporta alarma de stop de motor y alta temperatura de refrigerante.	27/04/2022 08:12:00	27/04/2022 09:00:00	72421	77

Fuente: Área de mantenimiento.

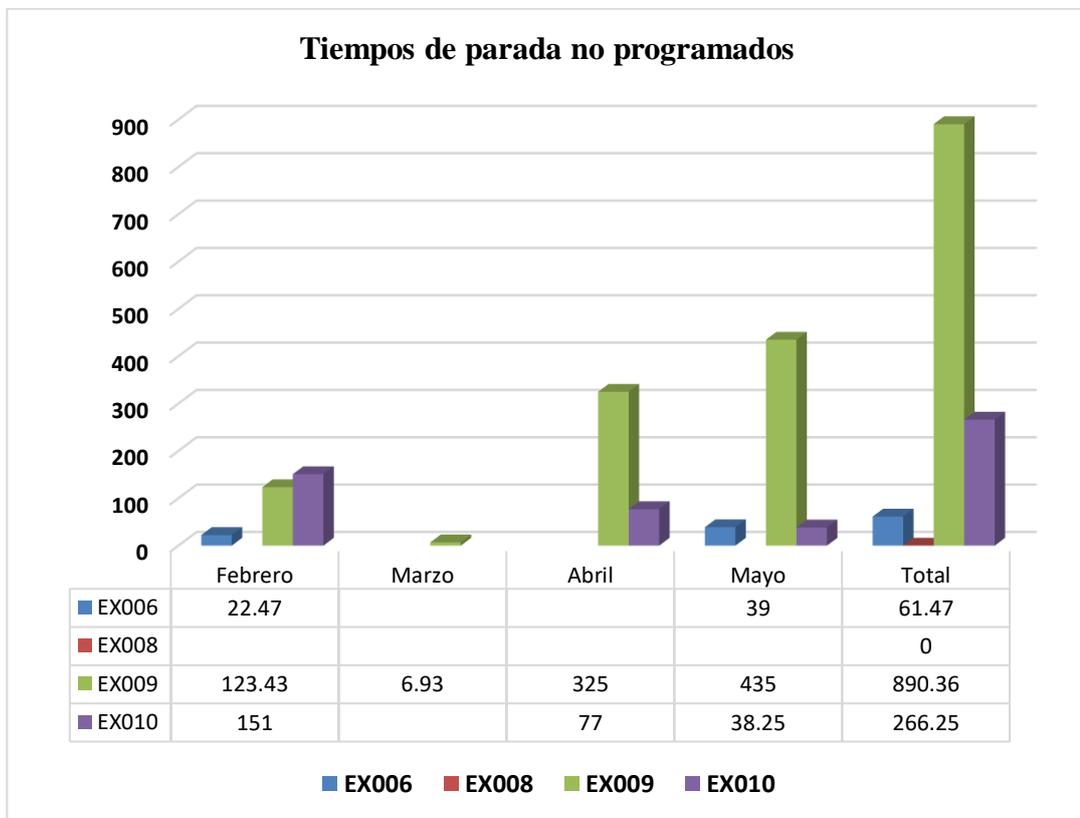
Tabla 4: *Paradas no programadas – mayo*

Equipo	Descripción	Fecha inicio	Fecha final	Horómetro	Horas transcurridas
EX006	Sistema eléctrico - control, líneas, actuadores y accesorios: Se prende indicadores de alarma, se encontró cable del reloj de nivel de combustible chocando con el equipo musical, se aísla y se cambia fusible. Se regula cinturón de seguridad. Se ajusta chapa del contacto(arranque) Limpieza del conector del sensor de nivel de aceite.	22/05/2022 13:36:00	22/05/2022 16:00:00	128561	39
EX009	Sistema motor diesel - motor: Operador reporta calado de motor. Se encuentra pickup magnético deteriorado. Se cambia pickup queda operativa.	5/05/2022 16:41:00	5/05/2022 16:48:00	75038.5	63.39
EX009	Sistema de lubricación - lubricación: Equipo presenta Reporte de alarma de escalera y Autolubricación Se verifica y se encuentra platina fuera de su lugar del limit switch. Se endereza platina y borra testigo alarma de escalera. Presenta fufa de grasa por manguera principal de alimentación de link Rh por Rozamiento en biela interior Rh. Se cambio manguera equipo sale operativo.	28/05/2022 00:00:00	28/05/2022 00:23:00	75473.61	371.61

EX010	Sistema motor diesel - motor: Operador reporta caída de tapasol y pérdida de potencia de motor las RPM no suben. *Se asegura tapasol. Queda inoperativa por evaluación de motor.	17/05/2022 08:02:00	17/05/2022 19:00:00	72832.25	38.25
-------	--	------------------------	------------------------	-----------------	--------------

Fuente: Área de mantenimiento.

Figura 3: Gráfico comparativo de los tiempos de parada no programados



Fuente: Elaboración propia.

Según la figura 03, se evidencia que la pala EX009 tuvo mayor cantidad de horas de paradas no programadas (tiempo de reparación de fallas), con un total de 890.36 horas. Además en el mes de mayo se observó que hubo mayor cantidad de horas de paradas no programadas con un total de 473.25 h.

3.2. Análisis comparativo de la disponibilidad mecánica de las palas hidráulicas flota EX2500

A continuación, se presentan los resultados del análisis comparativo de los porcentajes de la disponibilidad mecánica de las palas hidráulicas en estudio durante el periodo febrero – mayo.

Tabla 5: Disponibilidad de las palas EX2500 - febrero

Equipo	Horas Periodo	H. No máquina	H. Accidente	H. StandBy	D. Mecánica / Máquina	D. Física	D. Contractual
EX006	672	7.57	3.87	11.12	88.90%	87.20%	85.78%
EX008	672	0.00	0.00	671.98	100.00%	100.00%	85.78%
EX009	672	5.70	0.00	10.18	85.84%	84.99%	85.78%
EX010	672	22.25	0.00	9.77	85.61%	82.29%	85.78%

Fuente: Área de mantenimiento.

Tabla 6: Mantenimiento de palas EX2500 – febrero

Equipo	Horas Mant. No Prog.	Horas Mant. Prog.	N° Eventos No Prog.	N° Eventos Prog.	MTTR	MTBF	MTBS
EX006	16.48	58.12	6.00	2.00	9.33	109.25	74.68
EX008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
EX009	35.43	59.72	14.00	2.00	5.95	45.47	36.05
EX010	17.10	79.63	3.00	2.00	19.35	218.30	115.05

Fuente: Área de mantenimiento.

Tabla 7: Disponibilidad de las palas EX2500 - marzo

Equipo	Horas Periodo	H. No máquina	H. Accidente	H. StandBy	D. Mecánica / Máquina	D. Física	D. Contractual
EX006	744	9.38	3.05	36.00	91.33%	89.66%	85.78%
EX008	744	0.00	0.00	743.98	100.00%	100.00%	85.78%
EX009	744	5.65	0.48	13.30	90.72%	89.90%	85.78%
EX010	744	17.35	1.80	9.92	83.23%	80.65%	85.78%

Fuente: Área de mantenimiento.

Tabla 8: Mantenimiento de palas EX2500 – marzo

Equipo	Horas Mant. No Prog.	Horas Mant. Prog.	N° Eventos No Prog.	N° Eventos Prog.	MTTR	MTBF	MTBS
EX006	9.37	55.10	5.00	2.00	9.21	146.93	97.08
EX008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
EX009	6.53	62.48	7.00	2.00	7.67	105.35	75.00
EX010	6.42	118.38	2.00	3.00	24.96	368.79	123.84

Fuente: Área de mantenimiento.

Tabla 9: Disponibilidad de las palas EX2500 - abril

Equipo	Horas Periodo	H. No máquina	H. Accidente	H. StandBy	D. Mecánica / Máquina	D. Física	D. Contractual
EX006	720	50.18	11.22	10.47	89.68%	81.16%	85.78%
EX008	720	4.33	0.37	330.72	98.66%	98.00%	85.78%
EX009	720	29.15	3.50	16.50	89.39%	84.85%	85.78%
EX010	720	13.40	0.93	12.70	86.28%	84.29%	85.78%

Fuente: Área de mantenimiento.

Tabla 10: Mantenimiento de palas EX2500 – abril

Equipo	Horas Mant. No Prog.	Horas Mant. Prog.	N° Eventos No Prog.	N° Eventos Prog.	MTTR	MTBF	MTBS
EX006	2.35	71.92	2.00	2.00	18.57	358.83	161.43
EX008	9.68	0.00	5.00	0.00	1.94	142.06	142.06
EX009	4.95	71.47	5.00	2.00	10.92	143.01	91.94
EX010	1.33	97.45	2.00	2.00	24.70	359.34	155.31

Fuente: Área de mantenimiento.

Tabla 11: Disponibilidad de las palas EX2500 - mayo

Equipo	Horas Periodo	H. No máquina	H. Accidente	H. StandBy	D. Mecánica / Máquina	D. Física	D. Contractual
EX006	696	4.90	0.00	11.62	91.45%	90.75%	85.78%
EX008	696	7.68	0.00	470.35	99.91%	98.81%	85.78%
EX009	696	10.73	1.20	10.42	90.14%	88.43%	85.78%
EX010	696	18.78	0.00	9.02	87.64%	84.94%	85.78%

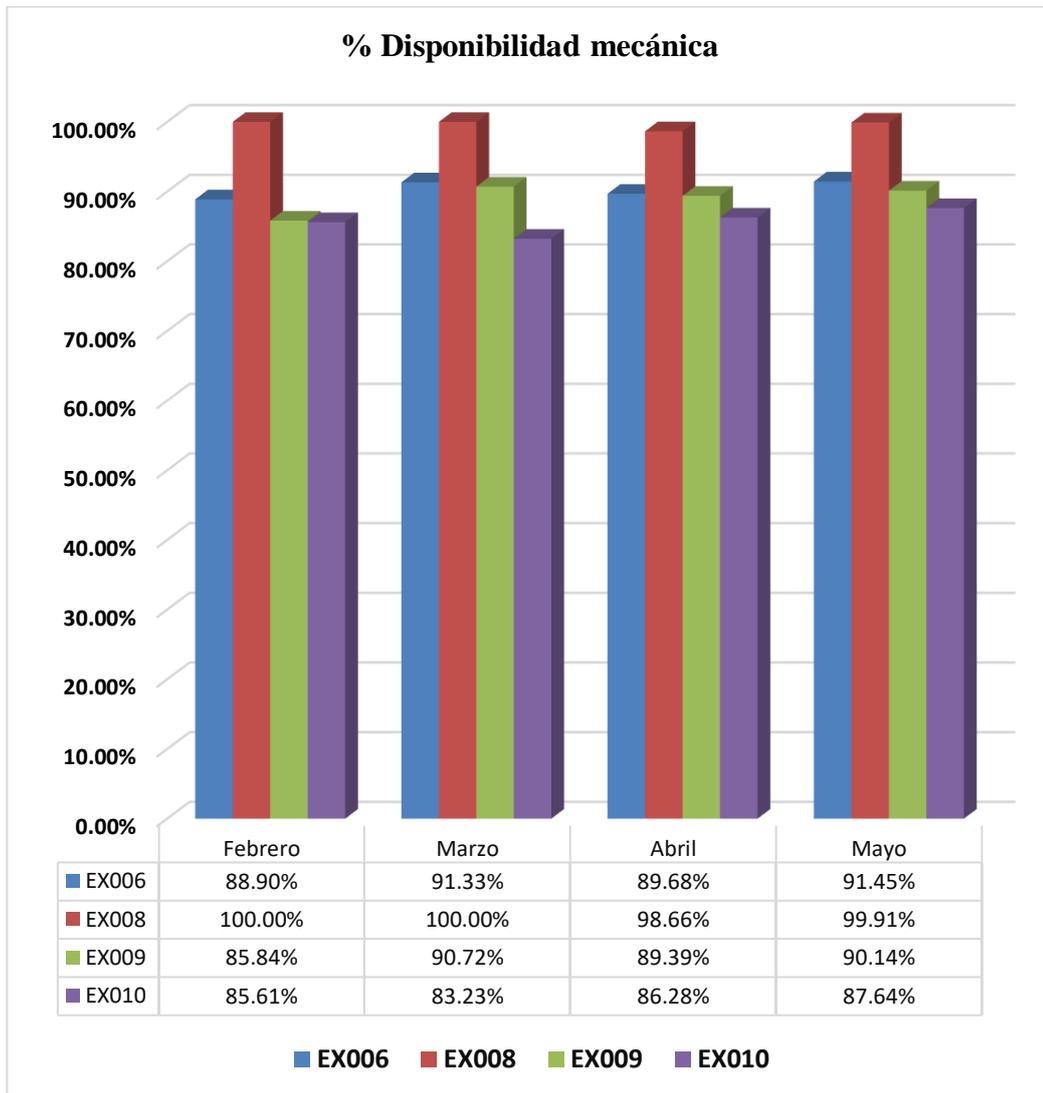
Fuente: Área de mantenimiento.

Tabla 12: Mantenimiento de palas EX2500 – mayo

Equipo	Horas Mant. No Prog.	Horas Mant. Prog.	N° Eventos No Prog.	N° Eventos Prog.	MTTR	MTBF	MTBS
EX006	3.92	55.57	3.00	2.00	11.90	230.69	127.30
EX008	0.60	0.00	1.00	0.00	0.60	695.40	695.40
EX009	2.50	66.10	3.00	2.00	13.72	231.17	125.48
EX010	24.77	61.28	7.00	2.00	9.56	95.89	67.77

Fuente: Área de mantenimiento.

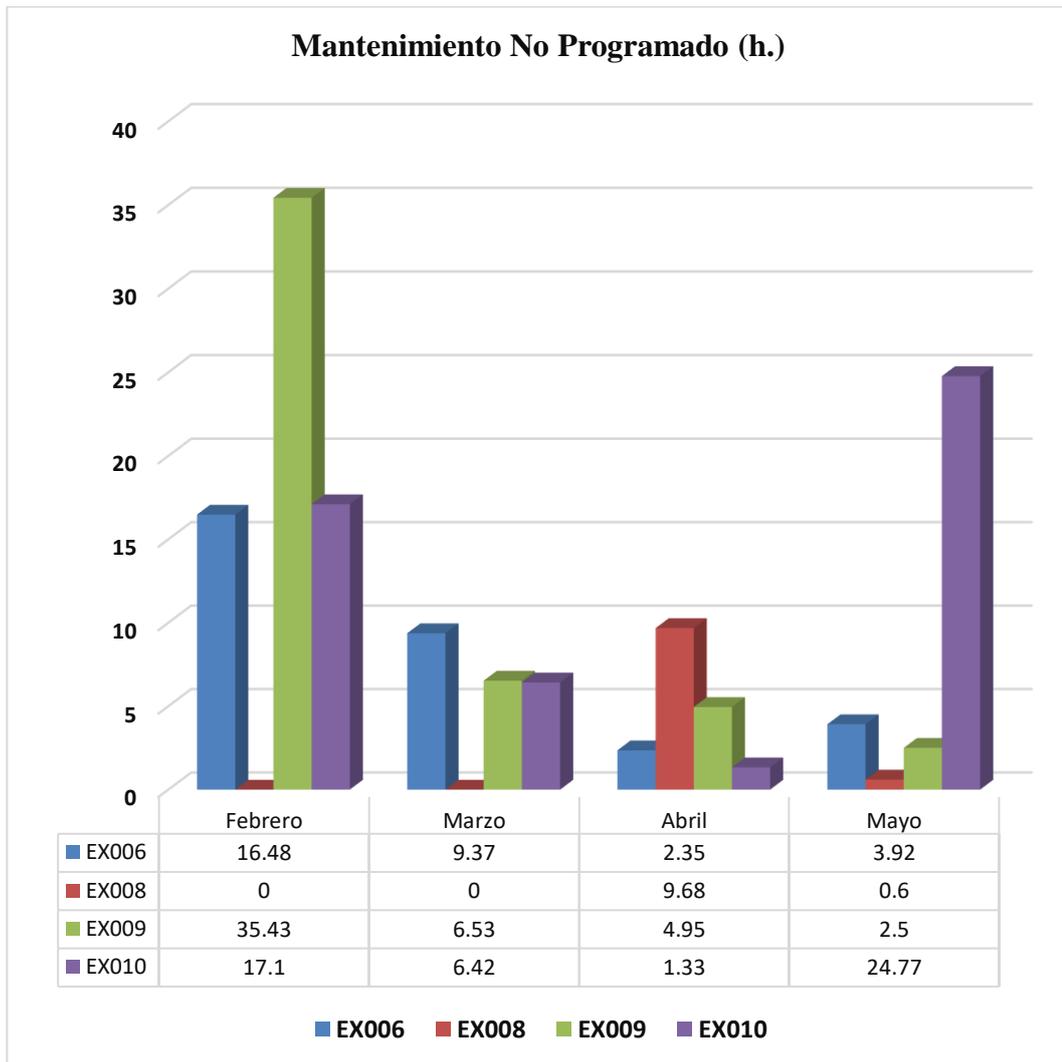
Figura 4: Gráfico comparativo del % Disponibilidad mecánica



Fuente: Elaboración propia.

Según la figura 4, se evidencia que el porcentaje de disponibilidad mecánica mínimo fue de la pala EX010 con 83.23% en el mes de marzo, y el mayor valor fue de la pala EX008 con 100% en los meses de febrero y marzo.

Figura 5: Gráfico comparativo de horas de Mantenimiento No Programado



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 5, se evidencia que la pala EX010 tuvo la mayor cantidad de horas por mantenimiento no programado en el mes de mayo, la misma también tuvo un total de 49.62 horas durante el periodo de estudio.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados mostrados anteriormente señalan que, la pala EX009 tuvo mayor cantidad de horas de paradas no programadas (tiempo de reparación de fallas), con un total de 890.36 horas. Además en el mes de mayo se observó que hubo mayor cantidad de horas de paradas no programadas con un total de 473.25 h. Además, la pala EX010 tuvo la mayor cantidad de horas por mantenimiento no programado en el mes de mayo, la misma también tuvo un total de 49.62 horas durante el periodo de estudio. Estos datos indican que el plan de mantenimiento preventivo no se está cumpliendo de manera óptima para las palas EX009 y EX010, ya que son las que tuvieron mayor cantidad de horas de mantenimiento correctivo no programado.

Lo mencionado anteriormente permite apoyar lo indicado por Martínez y Minchan (2019), en su trabajo de investigación "Mejora en la gestión de mantenimiento para incrementar la disponibilidad mecánica de los equipos de carguío y acarreo de una empresa minera de La Libertad", siendo su objetivo principal demostrar como la mejora de gestión de mantenimiento incrementará la disponibilidad mecánica de los equipos de carguío y acarreo. Con la identificación y el análisis de las causas para determinar la baja disponibilidad mecánica nos permitió identificar que la maquinaria (camiones y excavadoras) no cumple con un programa de mantenimiento preventivo programado, tiene una mala gestión en la compra de repuestos, falta de procedimientos de trabajo, falta de registros de fallas de cada uno de los equipos y falta de capacitación al personal técnico.

El porcentaje de disponibilidad mecánica mínimo fue de la pala EX010 con 83.23% en el mes de marzo, y el mayor valor fue de la pala EX008 con 100% en los meses de febrero

y marzo. Esto debido a fallas mecánicas relacionadas con el sistema de lubricación, las cuales pueden evitarse realizando una buena gestión de mantenimiento preventivo centrado en el sistema de lubricación. Estos resultados se apoyan en lo señalado por Quiroz y Revilla (2021), en su tesis "Mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad mecánica de los equipos en la planta de chancado de una empresa minera de Cajamarca 2021". tuvo como objetivo principal realizar la propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad de los equipos en la planta de chancado. Mediante la jerarquización de los equipos de la planta de chancado se concluyó que hay 16 equipos críticos por lo que se requiere mantenimiento preventivo como son las cintas transportadoras, zarandas y chancadoras, 05 equipos semi críticos los que requieren mantenimiento preventivo / correctivo y 01 equipo de baja criticidad por lo que requiere mantenimiento correctivo o ningún mantenimiento. Luego de la implementación del mantenimiento preventivo se concluye que se incrementó la disponibilidad mecánica del 84.27% que se midió en el periodo 2019 a 97.81% en promedio desde marzo a diciembre 2020 con un aumento del 13.54%.

Las limitaciones en el desarrollo del trabajo de investigación fueron inconvenientes por temas de confidencialidad que dificultaron el acceso a los reportes de mantenimiento de las palas en estudio.

CONCLUSIONES

- Se identificaron las causas y tiempos de paradas no programadas por fallas mecánicas de las palas hidráulicas EX006, EX008, EX009 y EX010 (flota 2500) durante el periodo febrero – mayo 2022, la pala EX009 tuvo mayor cantidad de horas de paradas no programadas (tiempo de reparación de fallas), con un total de 890.36 horas. Además en el mes de mayo se observó que hubo mayor cantidad de horas de paradas no programadas con un total de 473.25 h. Además, la pala EX010 tuvo la mayor cantidad de horas por mantenimiento no programado en el mes de mayo, la misma también tuvo un total de 49.62 horas durante el periodo de estudio.
- Se realizó un análisis comparativo de los porcentajes de disponibilidad mecánica de los equipos EX006, EX008, EX009 y EX010 (flota 2500), el porcentaje de disponibilidad mecánica mínimo fue de la pala EX010 con 83.23% en el mes de marzo, y el mayor valor fue de la pala EX008 con 100%.
- Se recomienda mejorar la aplicación de la gestión de mantenimiento preventivo de las palas EX009 y EX010, centrado principalmente en el sistema de lubricación ya que es la falla mecánica que generó mayor tiempo de paradas no programadas.

REFERENCIAS

- 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.
- Escarena, R. (2019). *"Evaluación de las operaciones de carguío y transporte para el mejoramiento de la productividad en la unidad Minera Tacaza – CIEMSA"*. (tesis pre grado). Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- Fernández, D. (2020). *"Influencias de las demoras en los tiempos del ciclo de carguío en la producción de las palas eléctricas CAT 7495 en una mina de cobre a tajo abierto en Apurímac 2020"*. (tesis pre grado). Universidad Privada del Norte. Cajamarca, Perú.
- García, E. & Quintana, F. (2005). "Diseño Pre experimental". Recuperado de :
http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-97282013000300043
- Martínez, A. y Minchan, P. (2019). *"Mejora en la gestión de mantenimiento para incrementar la disponibilidad mecánica de los equipos de carguío y acarreo de una empresa minera de La Libertad"*. (tesis pre grado). Universidad Privada del Norte. Cajamarca, Perú.

Mayorca, R. (2019). *"Propuesta de mejora de la disponibilidad de maquinaria pesada en una pyme utilizando el RCM"*. (tesis re grado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima, Perú.

Osorio, E. (2020). *"Propuesta técnica para implementar un plan de mantenimiento preventivo de la perforadora Jumbo Troidon 55XP para mejorar su disponibilidad en una mina subterránea para el año 2020"*. (tesis pre grado). Universidad Tecnológica del Perú. Lima, Perú.

Revilla, R. y Quiroz, P. (2021). *"Mantenimiento preventivo para incrementar la disponibilidad mecánica de los equipos en la planta de chancado de una empresa minera de Cajamarca 2021"*. (tesis pre grado). Universidad Privada del Norte. Cajamarca, Perú.

Rodríguez, D. (2013). *"Modelo analítico para el dimensionamiento de flota de transporte en minería a cielo abierto: Análisis de prioridades de atención según rendimiento"*. (tesis pre grado). Pontificia Universidad Católica de Chile.

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

Torres, K. (2021). *"Evaluación de disponibilidad mecánica de equipos de perforación y su influencia en avance mensual programado - COMPAÑÍA MINERA AURIFERA RETAMAS S.A."*. (tesis pre grado). Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú.

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

ANEXOS

Anexo N° 01: Ficha técnica de las palas Hitachi 2500

Tren de rodaje	
■ Velocidad máxima de transporte	2.3 km/h
■ Número de rodillos superiores	3
■ Número de rodillos inferiores	8
■ Número de zapatas en cadena a cada lado	39
■ Ancho de vía	5000 mm
■ Ancho del estabilizador de la retroexcavadora 1	1000 mm
■ Peso útil de la retroexcavadora – Estabilizador 1	239000 kg
■ Presión específica sobre el suelo de la pala – Estabilizador 1	172 kPa
■ Ancho del estabilizador de la pala cargadora	1000 mm
■ Peso útil de la pala de cargas	242000 kg
■ Presión específica sobre el suelo de la pala cargadora	174 kPa
■ Radio de giro de la parte trasera de la plataforma	6290 mm

Pluma/secciones de pala 1

Pluma/sección de la retroexcavadora	9000mm pluma con 4200mm con la palanca
Profundidad máxima de excavación	8570 mm
Profundidad máx de excavación de una pared vertical	5070 mm
Altura máxima de corte	16160 mm
Altura máxima de descargas	10360 mm
Alcance máximo a nivel del suelo	16500 mm
Fuerza de presión del brazo	825 Nm

Pala de carga

Pala de carga	estándar 15 metros cúbicos
Profundidad máxima de excavación	3720 mm
Altura máxima de corte	15010 mm
Altura máxima de descargas	10350 mm
Alcance máximo durante la excavación	14060 mm
Fuerza de presión del brazo	918 Nm

Pala

Volumen inicial de la pala	15 m ³
----------------------------	-------------------

Motor	
▪ Fabricante	Cummins
▪ Modelo	QSK45-C
▪ Potencia total	1006.7 kW
▪ Potencia efectiva	970.9 kW
▪ Potencia medida en	1800 RPM.
▪ Cilindrada	45 l.
▪ Número de cilindros	12
▪ Aspiración	Turboalimentación con enfriamiento posterior del aire (radiador de refrigeración)

Explotación	
▪ Volumen de combustible	3600 l.
▪ Volumen del fluido del sistema refrigerante	380 l.
▪ Volumen de aceite del motor	260 l.
▪ Volumen del fluido del sistema hidráulico	2950 l.
▪ Velocidad de giro	3.8 RPM.
▪ Tensión de funcionamiento	24 V
▪ Amperaje del generador	150 amperios

Tren de rodaje

6. Ancho de vía	5000 mm
14. Ancho del estabilizador de la pala cargadora	1000 mm

Pala de carga

20. Profundidad máxima de excavación	3720 mm
17. Altura máxima de corte	15010 mm
18. Altura máxima de descargas	10350 mm
19. Alcance máximo durante la excavación	14060 mm

Dimensiones

2. Distancia entre las cadenas de la oruga	6000 mm
4. Longitud de la cadena de la oruga a nivel del suelo	6120 mm
5. Despeje sobre el suelo	800 mm
7. Altura hasta la parte superior de la cabina	7040 mm
8. Radio de giro de la parte trasera de la plataforma	6290 mm

Anexo N° 02: Fotografías de campo.



