



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**TESIS**

**GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA REDUCIR  
COSTOS POR PARADAS NO PLANIFICADAS EN LA  
FLOTA DE PALAS HIDRÁULICAS HITACHI EN  
MINERÍA SUPERFICIAL EN MINERA  
YANACocha 2021**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
INDUSTRIAL**

**Autor(a) (es): Br. John Brooklyn Prado Lopez**

**ORCID: 0000-0002-4367-9186**

**Asesor(a): Dr. Vásquez Coronado Manuel Humberto**

**ORCID: 0000-0003-4573-3868**

**Línea de Investigación:**

**Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente**

**Pimentel – Perú 2022**

## APROBACIÓN DEL JURADO

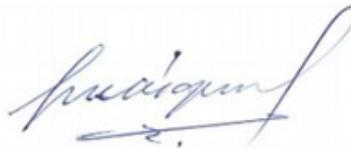
### TÍTULO



---

**Br. Prado López John Brooklyn**

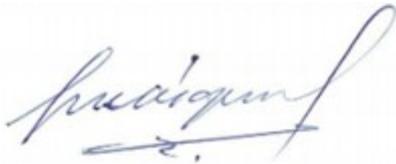
**Autor**



---

**Dr. Vasquez Coronado Manuel Humberto**

**Asesor**



---

**Dr. Vasquez Coronado Manuel**

**Humberto**

**Presidente de Jurado**



---

**Mg. Armas Zavaleta Jose Manuel**

**Secretario de Jurado**



---

**ING. Símpalo López Walter Bernardo**

**Vocal de Jurado**

## **Dedicatorias**

Este proyecto en primer lugar quisiera dedicarlo a nuestro Dios celestial que me ha cuidado a lo largo de toda mi existencia brindándome la más hermosa bendición que es la vida y la salud así también por proteger a mis seres queridos que por la complejidad de esta pandemia que estamos viviendo nos ha tenido a buen recaudo de todas las adversidades, asimismo a las personas que me apoyaron y alentaron a continuar con este proyecto que por motivos de trabajo y de más excusas que uno pueda inventar lo retrase demasiado tiempo, pero me siento alegre y orgulloso de haberlo culminado. Y bueno solo quiero terminar con esta reflexión.

“Los caminos que tenemos en la vida casi siempre van a ser duros, pero nunca nos rindamos, mantengámonos consistentes para atravesar todas las adversidades que se nos presente y veremos que luego nos entregara una gran satisfacción inexplicable”

## **Agradecimientos**

En primer lugar, quisiera agradecer a la empresa en que laboro que es Minera Yanacocha y a la vez a mis jefes directos que me apoyaron dando explicación de muchos procesos complejos y también apoyándome con información necesaria para la elaboración de este proyecto. También agradecer a la universidad Señor de Sipán y a mis docentes de quien sentí un gran apoyo siempre brindándome las facilidades y soporte, ya que fue un ente principal en este gran camino que tengo que cursar. Muchas gracias a todos.

## Resumen

En Minera Yanacocha las labores o trabajos de minería superficial se ven afectados por la constante falla de flota de palas hidráulicas Hitachi. Acorde con el registro de mayo de 2021, las acciones correctivas no planificadas realizadas por la empresa tomaron un total de 85 horas de mano de obra. Por tal motivo, se desarrolló la presente investigación con el objetivo general de “Diseñar herramientas de gestión de mantenimiento para reducir costos por paradas no planificadas en la flota de palas hidráulicas Hitachi en minería superficial en Minera Yanacocha”. La investigación fue de tipo aplicada, nivel descriptivo, con un diseño no experimental, longitudinal. La muestra fue igual a la población y consistió en las excavadoras y palas hidráulicas Hitachi (2 modelo Ex-5500 y 4 palas modelo Ex-2500) para un total de 6 unidades de estudio. Durante el diagnóstico se determinó que los equipos como la pala 10 (78.25%) y la pala 7 (76.95%) presentan una disponibilidad menor a 80%, siendo los problemas en el sistema eléctrico y motor los mayores detonantes de esta situación. Se diseñó un plan compuesto por un proceso de rutina diaria de revisión, un cronograma de mantenimiento preventivo y una serie de registros para la realización de las tareas preventivas. Se estima una reducción de las fallas de hasta un 50%, lo cual, mejorará todos los indicadores de mantenimiento preventivo reflejándose en un incremento de la disponibilidad, en la cual, todos los equipos estarán sobre el 85% y la mayoría (4 de 6) sobre el 90%. Con una inversión inicial de S/. 117,639.12 y recurrente por el mismo monto, se obtuvo que el proyecto es económicamente factible con un VPN de S/. 149,016.55, una TIR de 24.6% y un IR de S/. 1.27.

**Palabras Clave:** Mantenimiento preventivo; Mantenimiento correctivo, Costos de mantenimiento, Flota de palas; Minería, fallas.

## Abstract

At Minera Yanacocha, surface mining work is affected by the constant failure of the Hitachi hydraulic shovel fleet. According to the record of may 2021, the unplanned corrective actions carried out by the company took a total of 85 man-hours. For this reason, this research was developed with the general objective of "Designing maintenance management tools to reduce costs due to unplanned stoppages in the Hitachi hydraulic shovel fleet in surface mining at Minera Yanacocha". The research was applied, descriptive, with a non-experimental, longitudinal design. The sample was equal to the population and consisted of Hitachi excavators and hydraulic shovels (2 model Ex-5500 and 4 shovels model Ex-2500) for a total of 6 study units. During the diagnosis, it was determined that equipment such as shovel 10 (78,25%) and shovel 7 (76.95%) had an availability equal to or less than 80%, with problems in the electrical system and engine being the main causes of this situation. A plan was designed consisting of a daily routine revision process, a preventive maintenance schedule and a series of records for carrying out preventive tasks. A reduction in failures of up to 50% is estimated, which will improve all the preventive maintenance indicators, reflected in an increase in availability, in which all the equipment will be above 85% and most (4 of 6) above 90%. With an initial investment of S/. 117,639.12 and a recurrent investment of the same amount, the project is economically feasible with a NPV of S/. 149,016.55, an IRR of 24.6% and an IR of S/. 1.27.

Keywords: Preventive maintenance; Corrective maintenance; Maintenance costs; Shovel fleet; Mining, failures.

## **Índice**

<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>8</b>
1.1. Realidad Problemática.	8
1.2. Trabajos previos.	10
1.3. Teorías relacionadas al tema.	16
1.4. Formulación del Problema.	27
1.5. Justificación e importancia del estudio.	27
1.6. Hipótesis.	28
1.7. Objetivos.	28
1.7.1. Objetivo general.	28
1.7.2. Objetivos específicos.	28
<b>II. MATERIAL Y MÉTODO</b>	<b>30</b>
2.1. Tipo y Diseño de Investigación.	30
2.2. Población y muestra.	30
2.3. Variables, operacionalización.	30
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.	31
2.5. Procedimiento de análisis de datos.	32
2.6. Criterios éticos.	33
2.7. Criterios de Rigor Científico.	33
<b>III. RESULTADOS.</b>	<b>34</b>
3.1. Resultados de los objetivos.	34
3.2. Discusión de resultados.	75
3.3. Aporte práctico.	78
<b>IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>79</b>
4.1. Conclusiones.	79
4.2. Recomendaciones.	80
<b>REFERENCIAS.</b>	<b>81</b>
<b>ANEXOS.</b>	<b>85</b>

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad Problemática.

A nivel mundial, el mantenimiento de equipos y maquinaria representa una de las funciones principales de apoyo de las empresas de producción de diferentes rubros. Estas dependen de la confiabilidad y disponibilidad de sus equipos para garantizar la continuidad de sus operaciones, por lo cual, tal como lo expresa Meza (2020) es fundamental que las mismas consideren y desarrollen aquellas actividades que sirvan para mantener el funcionamiento de los sistemas y la operatividad de los equipos, de manera que, no se comprometa la productividad, seguridad y resultados generales de la empresa.

En este sentido, adoptar una filosofía o cultura de mantenimiento es imperativa ante la necesidad de las empresas de ser cada vez más productivas para mantenerse a la vanguardia y no perder cuotas de mercado (Alberti, 2020). Sin embargo, aún muchas empresas no perciben el mantenimiento como una actividad dinámica, la cual, evoluciona cada día con mejores técnicas, métodos y estrategias, dejando de lado la implementación de medidas que realmente llevan a mantener la maquinaria y equipos en un estado óptimo. De esta forma, acota Tecsup (2015) se dificulta sobrepasar las fronteras del mantenimiento tradicional y aplicar herramientas y filosofías que promueven un cambio en la actitud y la optimización del uso de los recursos.

Entonces, adoptar una gestión de mantenimiento efectiva y ajustada a las necesidades de la empresa es importante, dado que, servirá para evitar problemas en las operaciones de los procesos productivos por falta de confiabilidad y disponibilidad de los equipos, sobre todo, cuando esta gestión se orienta hacia un enfoque preventivo. De manera que, según Meza (2020) la puesta en práctica de estrategias de gestión de mantenimiento aumentará la productividad de la empresa, confiabilidad y disponibilidad de sus equipos, así como, el tiempo de respuesta ante una falla.

Como consecuencia, muchas empresas sufren de fallas significativas de sus equipos que conllevan a paralizaciones parciales e inclusive totales de sus

operaciones. Esto ocasiona que se presenten muchos casos de pérdidas de dinero en las diferentes industrias mundiales debido a distintos tipos de fallas en plantas y equipos por descuidos en rutinas simples de mantenimiento” (Gazbon & Berrio, 2019). De manera que, los problemas ocasionados por la falta de una adecuada gestión de mantenimiento conllevan a pérdidas económicas.

La situación de las empresas mineras en Perú no escapa de los problemas generados por la carencia de una buena gestión del mantenimiento de sus equipos. En este sector productivo las “máquinas con frecuencia son expuestas a condiciones severas causadas por grandes esfuerzos y jornadas continuas, que con el transcurso del tiempo ocasiona desgastes prematuros en algunos de sus componentes” (Guerra & Oca, 2019). Esto combinado con una gestión de manteniendo que “en ocasiones no cuenta con la estructura o planificación adecuada” (Alberti, 2020), termina por generar incrementos de los costos de mano de obra, acciones correctivas y pérdida de la capacidad productiva de uno de los renglones económicos más importantes del país.

Tal es la situación en la Minera Yanacocha, donde las labores o trabajos de minería superficial se ven afectados por la constante falla de flota de palas hidráulicas Hitachi. Estos equipos han sufrido numerosos trabajos correctivos no planificados por problemas en el sistema de lubricación, fuga de aceite hidráulico, fallas en el sistema eléctrico, falla de tracción en las orugas, fallas en rodamientos, altas temperaturas en el sistema hidráulico y motor, pérdida de potencia y falla del sistema de arranque, entre otras.

Acorde con el registro de mayo de 2021, las acciones correctivas no planificadas realizadas por la empresa tomaron un total de 85 horas de mano de obra, destacando eventos de 25 horas para la reparación del motor de la pala hidráulica 7 y 22 horas para la corrección de la pala hidráulica 10 (12 horas corrección de falla de potencia y 10 horas corrección del arranque). Estas labores imprevistas impactaron negativamente la economía de la empresa, dado que, se incrementó el costo en mano de obra, servicios especializados y repuestos, al tiempo que, se registraron bajas de producción y respectivas

pérdidas económicas por la carencia de medidas preventivas de gestión de mantenimiento que permitieran anticipar esta situación para su adecuado manejo.

## **1.2. Trabajos previos.**

Por su parte, Wentung et al. (2022) dentro de su investigación Reliability Importance Measures considering Performance and Costs of Mechanical Hydraulic System for Hydraulic Excavators (Importancia de la Medición de la Confiabilidad Considerando el Desempeño y Costo del Sistema Hidráulico Mecánico para Excavadoras Hidráulicas) realizaron un estudio sobre políticas de mantenimiento de los componentes mecánicos, dado que, existe poca literatura sobre las debilidades de estos elementos durante la etapa de diseño y mantenimiento preventivo. Dentro de su propuesta analizaron el ciclo de vida de los componentes mecánicos y sugirieron un cronograma de mantenimiento preventivo con intervalos de reemplazo de los elementos clave con base en la confiabilidad. Dentro de sus conclusiones más resaltantes, encontraron que mayormente los programas de mantenimiento están reducidos a una visión binaria de funcionamiento y falla, y, aquellos planes una visión más amplia del ciclo de vida de componentes y sistemas de las excavadoras hidráulicas alcanzan una mayor confiabilidad y reducen los costos de mantenimiento.

Los investigadores Bulikina et al. (2021) en su trabajo titulado Management Of Maintenance Service And Repair Of Heavy-Duty Mining Equipment During Its Adaptation To The Working Conditions By The Company Minetech Machinery LLC, Official Dealer Of HITACHI (Manejo del Servicio de Mantenimiento y Reparación de los Equipos Pesados de Minería Durante su Adaptación a las Condiciones de Trabajo por la Compañía Minetech Machinery LLC, Representante Oficial de HITACHI) realizaron un estudio sobre la efectividad de las decisiones gerenciales y organizacionales sobre los mantenimientos y reparaciones de los equipos pesados HITACHI. En los sitios de trabajo estudiados se realizó una toma de datos durante los mantenimientos para su posterior análisis con el software oficial del fabricante Pro Viewer. Como resultado se obtuvo que, en aquellas operaciones mineras con planes de

mantenimiento preventivo se logra una mayor efectividad y disponibilidad de los equipos, y, siguiendo las recomendaciones del fabricante y con la asesoría de personal especializado los resultados económicos son beneficiosos para el cliente.

Adreeva y Krasnikova (2020) con su investigación titulada *Integral Estimation Of The Activity Of The Maintenance Department Of The Mining Company* (Estimación Integral de la Actividad del Departamento de Mantenimiento de una Compañía Minera) realizaron una evaluación al departamento de mantenimiento para detectar los cuellos de botella y posibles oportunidades en lo organizacional, técnico, tecnológico y económico. Considerando un acercamiento integral y complejo hacia las actividades de mantenimiento, encontraron que se podían tomar e implementar medidas correctivas de forma oportuna en lo referente a la reparación de las unidades de maquinaria pesada de minería, generando impactos económicos positivos. Adicionalmente, recomiendan la implementación de un plan de mantenimiento integral para mejorar la eficiencia del departamento.

Shibanov et al. (2020), desarrollaron el trabajo titulado *Adapting Standard Maintenance Approaches For Mining Excavators To Actual Operating Condition* (Adaptando Métodos de Mantenimiento Estandarizados para Excavadoras para Minería a las Condiciones de Operación Actual), dado que, los tiempos empleados para mantenimiento y recuperar las condiciones de trabajo de los equipos excavadores representa una importante porción del costo de minería. Para evaluar esta problemática, se observaron y analizaron las fallas inesperadas (emergencia) y tiempos de reparación y mantenimiento de 2 unidades excavadoras. Los autores concluyen que, mediante un programa de mantenimiento y reparación los tiempos medios dedicados a recuperar las condiciones operativas de los equipos mensualmente se pueden reducir en 66.5 horas desde las 136 horas originales, es decir, una reducción de los tiempos de mantenimiento y reparación de un 48.9%.

Por su parte, Repin et. al (2020) con su trabajo *Development Of Strategy For Ensuring Operability Of Transport And Technological Machines* (Desarrollo de

una Estrategia para el Aseguramiento la Operación y Transporte de Maquinarias Tecnológicas (TTM)) pretendieron estudiar la frecuencia de reparación y mantenimiento del TTM encargado de movilizar excavadoras, grúas y otros equipos pesados. La estrategia se basó en el reemplazo y mantenimiento de los equipos acorde con el nivel de confiabilidad de los componentes. Entre sus hallazgos encontraron que esta estrategia permite establecer el tiempo óptimo de reemplazo de piezas y su inclusión dentro de un plan de mantenimiento preventivo, disminuyendo el impacto de fallas inesperadas.

Palomino-Valles et al. (2020) en el trabajo titulado TPM Maintenance Management Model Focused on Reliability that Enables the Increase of the Availability of Heavy equipment in the Construction Sector (TPM Modelo de Gerencia de Mantenimiento Enfocado en la Confiabilidad que Habilita el Incremento en la Disponibilidad de los Equipos Pesados en el Sector Construcción) debido las paradas de emergencia ocurridas en la maquinaria pesada de la empresa MACISAC PERÚ SAC, lo cual, genera que los equipos tengan una menor cantidad de horas de trabajo y una baja disponibilidad (61%). La propuesta de los investigadores incluyó un plan de mantenimiento con un diagnóstico inicial de los equipos, reparaciones, planificación de mantenimientos correctivos, plan de requisición de repuestos y recibo de equipo apto, entre otros. La estimación/simulación de la propuesta proyectó una mejora en la disponibilidad de 81% y ahorros de hasta S/.311,325.

Zeng et al. (2020) en su trabajo Maintenance Strategy Based on Reliability Analysis and FMEA: A Case Study for Hydraulic Cylinders of Traditional Excavators with ERRS (Estrategias de Mantenimiento Basadas en el Análisis de Confiabilidad y FMEA: Caso de Estudio de los Cilindros Hidráulicos de una Excavadora Tradicional con ERRS) evaluaron como mejorar las políticas de mantenimiento tradicionales hacia una visión más productiva. Dentro de su investigación, propusieron un modelo con métodos basados en confiabilidad y FEMA (Modo de falla y análisis de efecto) partiendo de registros de falla y mantenimiento de los cilindros hidráulicos. Como resultado diseñaron un sistema factible técnicamente de aplicar y de bajo costo de inversión/operación,

que además, puede ser optimizado para su aplicación con otros componentes mecánicos.

Grabot (2020) en su artículo Rule mining in maintenance: Analysing large knowledge bases (Reglas de Mantenimiento en Minería: Analizando la Amplia Base del Conocimiento) estudio diferentes teorías, acercamientos, estrategias y experiencias de fabricantes para evaluar las reglas del mantenimiento. Dentro de sus hallazgos expone que una combinación entre las experiencias de los fabricantes, gama de algoritmos disponibles en la teoría y bases mostradas en la literatura complementa los sesgos que pueden tener estas fuentes por separado y que pueden incrementar la posibilidad de las empresas para poner en práctica planes de mantenimiento realmente efectivos.

Poor, Zenísek, y Basl (2019) desarrollaron el artículo científico Historical Overview of Maintenance Management Strategies: Development from Breakdown Maintenance to Predictive Maintenance in Accordance with Four Industrial Revolutions (Revisión Histórica de las Estrategias de Gestión de Mantenimiento: Desarrollo desde el Mantenimiento por Averías hasta el Mantenimiento Predictivo en Concordancia con la Cuarta Revolución Industrial). El objetivo de los investigadores fue poner en contexto los cambios que han sucedido dentro de la gestión de mantenimiento. Como resultado encontraron que las estrategias basadas en métodos preventivos permiten alcanzar entre un 75% a un 90% en la eficiencia de los equipos, dado los altos valores de disponibilidad, rendimiento y calidad.

Clement y Kemkom (2019) en su trabajo Using Diagnosis And Life Cycle Cost To Improve Reliability Of An Excavator (Uso del Diagnóstico y del Costo del Ciclo de Vida para Incrementar la Confiabilidad de una Excavadora), estudiaron la necesidad de los propietarios de las excavadoras de reducir los costos de propiedad (operación, manteniendo, otros). Para su propuesta realizaron diagnósticos a los equipos, así como, una revisión a los registros de mantenimiento de 10 años. En sus resultados encontraron que por medio de trabajos de mantenimiento preventivo, con un mantenimiento especial a los 7

años para reemplazo por tiempo de vida útil de componentes mecánicos, se logra reducir los costos de propiedad asociados al mantenimiento.

Por su parte Auda (2019) en su investigación *The Analysis of Doosan S500-LCV Excavator Maintenance Planning to Reduce Downtime Using Reliability Centered Maintenance (RCM) Method* (Análisis del Plan de Mantenimiento de la Excavadora Doosan S500-LCV para Reducir Tiempo de Paradas Usando el Método de Centrado en la Confiabilidad (RCM)) buscaron formas para mejorar el mantenimiento de las excavadoras dado que sus tiempos de paradas superan los límites permisibles. Dentro de su propuesta desarrollaron un sistema de mantenimiento productivo incluyendo trabajos preventivos, correctivos y mixtos, partiendo de la identificación de las fallas, funciones y modos de fallas hasta tener el plan de mantenimiento. Como resultado, se determinaron los tiempos de falla de los elementos mecánicos, eléctricos e hidráulicos, con lo cual, se logró una propuesta eficiente para reducir los tiempos de paradas.

Autores como Kumar, Choudhary, y Murthy (2019) en su trabajo *Failure Rate And Reliability Of The Komatsu Hydraulic Excavator In Surface Limestone Mine* (Índice de Fallas y Confiabilidad de las Excavadoras Hidráulicas Komatsu en la Superficie de la Mina Limestone) evaluaron el creciente número de fallas de emergencia presentada en las excavadoras Komatsu que operan en la mina Limestone. Para precisar esta situación, la investigación complementa el método de análisis actual, que se basaba en la distribución de Weibull, por un plan de mantenimiento preventivo, con la finalidad de cubrir los ciclos de vida de los equipos pesados, incluyendo sus sistemas y componentes. Dicha mejora logró incrementar la confiabilidad de los equipos, considerando cada uno de los sistemas (eléctrico, hidráulico, motor, entre otros) de las excavadoras hidráulicas.

Ranjan, Agrawal y Mishra (2020) en su investigación *Maintenance Schedules of Mining HEMM Using an Optimization Framework Model* (Cronograma de Mantenimiento para la Minería HEMM Usando y Optimizando Modelos de Marco de Trabajo) desarrollaron un estudio en búsqueda de mejorar la disponibilidad de los equipos dada la creciente demanda de las actividades mineras, y dado

que este sector, en comparación con otras industrias se encuentra en desventaja en lo que respecta a utilización de equipos. Dentro de su propuesta mejoraron el plan de mantenimiento preventivo de los equipos, donde, más que considerar el concepto OEM (Original Equipment Manufacturing) consideraron un cronograma más dinámico basado en el desempeño de cada equipo. La propuesta demostró ser efectiva para el incremento de la disponibilidad de los equipos y para disminuir el tiempo entre fallas (MTBF).

Drygin y Kuryshkin (2018) en su investigación *Diagnostics Of Heavy Mining Equipment During The Scheduled Preventive Maintenance* (Diagnóstico de Maquinaria Pesada Durante el Cronograma de Mantenimiento Preventivo) abordaron la problemática sobre la gran cantidad de horas por año para el mantenimiento de excavadoras por la falta de pericia de los operadores observadas en más de 300 excavadoras en Kuzbás. Para realizar el diagnóstico implementaron una revisión anual con una revisión que incluía partes rotativas, sistema eléctrico, sistema hidráulico y estructura pesada. Como resultado determinaron que el 44% de las situaciones de emergencia y retrasos relacionados con las mismas, pueden ser evitadas con la revisión anual integral de los equipos.

Lazarevic et al. (2018) en su investigación *The Reliability of Bucket Wheel Excavator - Review of Random Mechanical Failures* (Confiabilidad de la Excavadora de Cangilones – Revisión a las Fallas Mecánicas Aleatorias) evaluaron la ocurrencia de fallas repentinas, indetectables e inexplicables presentadas principalmente en los sistemas de transporte de material y subsistema de excavación de los equipos, dentro de las operaciones del campo oeste de la mina Tamnava. Dentro de su propuesta, se implementaron los análisis de causa-raíz de las fallas para complementar los planes de mantenimiento preventivos, con lo cual, se mejoró la confiabilidad de los equipos y se disminuyó la ocurrencia de fallas

### **1.3. Teorías relacionadas al tema.**

Se espera que en esta sección se considere la teoría fundamental como base para abordar la investigación.

#### Gestión de Operaciones de Mantenimiento

El mantenimiento industrial, consiste en el conjunto de procedimientos que se realizan para obtener las óptimas condiciones para prestar un servicio a los equipos, maquinaria, e instalaciones de una planta (fábrica), para garantizar el su funcionamiento correcto, alargando su vida útil y facilitando el proceso de producción industrial. Sin embargo, en el sector minero la situación es muy diferente, ya que este sector da poca importancia a estos asuntos, ya que el mantenimiento de equipos y máquinas lo consideran de poca importancia y con una visión muy reducida, debido a que su enfoque fundamental se centra en realizar cambios de aceites a las maquinarias y manejar de manera muy incipiente un software administrativo de un programa (Alavedra, Flores et al., 2016).

Desde la Revolución Industrial, las operaciones de mantenimiento han estado presentes y con el tiempo se comenzó a exigir por parte de las empresas, un mejor desempeño, y a su vez las tareas se volvieron más complejas, requiriendo de las organizaciones y recursos especiales el incremento de las tareas básicamente correctivas. Luego gracias a la Segunda Guerra Mundial, nace el concepto de fiabilidad, cuyos aspectos del mantenimiento estaban pensados para solucionar problemas y prevenir su ocurrencia (Tejada, 2016).

En la actualidad las operaciones de mantenimiento se centran en realizar estudios sobre los equipos y procesos susceptibles a fallo, aplicando técnicas estadísticas, metodologías de medición, gestión económica de procedimientos, integración multidepartamental, entre otras, que permitan planificar las tareas y recursos adecuados para evitar que se produzcan fallas o paradas en la producción.

## Beneficioso Gestionar las Operaciones del Mantenimiento:

Las organizaciones siguen políticas de mantenimiento en el día a día, estas están basadas en “Estrategias de Mantenimiento Clásico”, las cuales se basan en el desarrollo de tareas de conservación, revisión y reparación, así tenemos (Castañeda & Gonzáles, 2016):

- *Mantenimiento Correctivo*: “Correspondiente al conjunto de actividades destinadas a corregir defectos y solucionar fallas, en este caso se espera a que ocurra el problema para brindar la solución adecuada” (p. 25)
- *Mantenimiento en Uso*: “Consiste en la realización de tareas cotidianas realizadas por el mismo operador de los equipos, básicamente se trata de trabajos de limpieza, inspección visual, toma de datos, lubricación, apriete de tornillos, etc” (p. 25).
- *Mantenimiento Preventivo*: “Conformado por el conjunto de actividades que buscan anticiparse a la ocurrencia de un problema avería o falla, estas actividades son planificadas en el tiempo y espacio, buscando fortalecer puntos frecuentes de falla, localizando vulnerabilidades, reemplazando componentes antiguos o desgastados” (p. 25).
- *Mantenimiento Predictivo*: “Es aquel encargado de recopilar y analizar información que permita determinar el momento y lugar adecuado para efectuar tareas de mantenimiento preventivo, conociendo e informando permanentemente el estado del equipamiento de planta, lo cual requiere contar con instrumentos adicionales que permitan adquirir dicha información, sin embargo, permite reducir costos de mantenimiento al hacer un uso eficiente de los recursos” (p. 25).
- *Mantenimiento Periódico*: “Es aquel mantenimiento que tiene lugar a determinado ciclo periódico de tiempo, sin importar las condiciones del equipo, en este mantenimiento se realiza una rutina de tareas

predefinidas, dejando los equipos en óptimas condiciones para soportar un nuevo ciclo de trabajo” (p. 25).

- *Mantenimiento a Cero Horas*: “Es aquel mantenimiento programado con la finalidad de llevar al equipo a un punto como si estuviera salido recién de fábrica (cero horas de funcionamiento), lo cual implica reemplazar componentes críticos, renovar piezas, reparar partes, etc” (p. 26).
- *Mantenimiento de Verificación*: “Tiene lugar luego de realizado un cambio importante en el equipo (Ej: cambio de piezas internas), con el objetivo de comprobar las óptimas condiciones del equipo para entrar en operación nuevamente” (p. 26).
- *Mantenimiento de Calibración*: “Consiste en la revisión y ajuste de parámetros, a fin de ubicar el equipo en su punto óptimo de funcionamiento” (p. 26).
- *Mantenimiento Integrado*: “Este mantenimiento tiene como fundamento los principios de solidaridad, colaboración, iniciativa propia, sensibilización, trabajo en equipo, de modo tal que todos los involucrados directa o indirectamente en la gestión del mantenimiento deben conocer la problemática del mantenimiento, es decir, que tanto técnicos, profesionales, ejecutivos, y directivos deben estar conscientes de las actividades que se llevan a cabo para desarrollar las labores de mantenimiento” (p. 26).

### Gestión de Repuestos

La gestión de los repuestos es considerada como la planificación de compra de repuestos, con la finalidad de mantener un stock óptimo, de acuerdo al grado de criticidad del repuesto, criticidad del equipo, costos, disponibilidad, tiempos de entrega, negociaciones con el proveedor, entre otros (Martínez & Osorio, 2018). Los mismos se pueden clasificar de la siguiente manera:

Según su necesidad en la planta:

- “Repuestos que son necesarios mantener en stock dentro de planta”.
- “Repuestos que no son necesarios tener en stock, pero si es necesario tener identificado al proveedor, plazos de entrega, disponibilidad, costo, etc”.
- “Repuestos indiferentes, que no es necesaria una planificación en torno a ellos”.

Según su facilidad de adquisición:

- “Repuesto genérico, es aquel que puede ser reemplazado por otras opciones o por otros proveedores”.
- “Repuesto estándar, es aquel que puede comprarse a varios proveedores especializados”.
- “Repuesto específico, es aquel que solo lo vende el fabricante del equipo”.
- “Repuesto alternativo, es un repuesto específico que puede ser replicado o fabricado a medida por otra empresa”.

Criterios a tener en cuenta en la SELECCIÓN Y COMPRA del repuesto:

- “Criticidad del equipo”.
- “Consumo periódico”.
- “Plazo de entrega”.
- “Costo del repuesto”.
- “Costo de parada del equipo”.
- “Atención del proveedor”.
- “Alternativas que ofrece el mercado”.

Las piezas de repuesto, como el hardware, deben identificarse y codificarse antes de almacenarse en los almacenes. Asimismo, el inventario de repuestos debe ser revisado periódicamente para controlar y asegurar su disponibilidad.

### Gestión de Fallas

Existe la necesidad de un método para gestionar fallas que permita aprender de la experiencia pasada mediante el registro y análisis de fallas posteriores. La forma en que funciona es creando una lista de ayuda de diagnóstico que detalla los síntomas del problema, la causa (probable) y la solución tomada. Los costos económicos asociados con la falla también deben ser parte del paquete de divulgación. Mediante el “Análisis De Fallas”, se puede encontrar las causas que provocan fallas en los equipos, para luego evaluar la forma adecuada de evitar que se vuelvan a presentar. Según Espinoza, (2018) el análisis de falla se ve enriquecido considerando, por ejemplo:

- “Medición de condiciones ambientales”.
- “Registro de últimos mantenimientos efectuados”.
- “Condiciones de trabajo recomendadas por el proveedor”.
- “Historial de fallas del equipo”.
- “Forma de hacer el mantenimiento”.
- “Personal que estuvo involucrado”.

Algunas de las principales CAUSAS LAS FALLAS son:

- Problemas por desgaste, rotura, fatiga, piezas defectuosas.
- Manejo inadecuado de los equipos (por negligencia, falta de capacitación, malas decisiones, cansancio, etc.).
- Falta de verificación del funcionamiento del equipo y alarmas desatendidas.
- Reparación inadecuada, causando el mismo tipo de daño.

- Condiciones ambientales (demasiado frío o demasiado calor, humedad, exceso de polvo, corrosión, etc.). Uso de suministros no adecuados (Ej. nivel equivocado de voltaje).

### Planificación de Trabajos de Mantenimiento

Cuando el mantenimiento del tiempo de inactividad se planifique con anticipación, se debe desarrollar un plan de trabajo para maximizar el tiempo de inactividad del equipo.

Los trabajos pueden ser desarrollados por empleados propios o empleados tercerizados (subcontratados). Si el trabajo a realizar no es continuo o intensivo, se debe subcontratar. Por el contrario, si es un trabajo regular con mucha gente, entonces es su propio empleado. Sin embargo, cada caso debe ser evaluado de manera oportuna para evaluar la calidad del trabajo, el costo y la continuidad del proceso de producción para la mejor alternativa.

Pasos (recomendados) para la Planificación y Ejecución de trabajos de mantenimiento:

- Investigar la situación actual para determinar el trabajo de mantenimiento a realizar, en un orden de prioridad predeterminado, en función de los recursos disponibles y el tiempo disponible.
- Establecer metas o justificaciones para ciertas actividades de mantenimiento.
- Prepare una lista de artículos que necesitan mantenimiento.
- Agrupar elementos por categoría o característica común.
- Establecer el tipo de servicio o descripción del puesto a realizar por cada equipo.
- Recopilar información relevante del equipo (historial de mantenimiento, lista de repuestos disponibles, cronogramas,

documentos técnicos, manuales de usuario, instrucciones de instalación, etc.).

El equipo Excavadora Hidráulica 2500 y pala Hidráulica 5500 Hitachi

Hitachi Construction Machinery (2016) La marca Hitachi es de procedencia Japón, que brinda una alta calidad y precisión de operación, este equipo está proyectado para excavar, sacar la roca o tierra que contiene el mineral con el cucharón, moviendo la tierra fuera de la zanja o cargándola a un camión para su acarreo estos equipos son autopropulsados sobre orugas ya que esta denominación es requerida para minería por las condiciones del terreno y el alto tonelaje de carga. Este equipo trabaja con uno o dos motores de combustión que le permiten alcanzar presiones hidráulicas muy altas para que los cilindros hidráulicos puedan cargar de mineral.

Diferencia entre excavadora hidráulica 2500 y pala hidráulica 5500

La principal diferencia operacionalmente a simple vista es el tamaño del equipo y las capacidades de carga, la excavadora 2500 tiene una capacidad máxima de 16m<sup>3</sup> y de la pala 5500 es de 30 m<sup>3</sup>, la pala hidráulica también es considerada una excavadora hidráulica con la abertura del cucharón apuntando hacia adelante. Ambas son muy útiles para la operación y de alta importancia para el área de carguío. En el plano técnico haremos una breve descripción de sus componentes. (Tecsup, 2015)

Componentes de las excavadoras y palas hidráulicas

El aguilón.

Maquinarias pesadas (2017), señala que las excavadoras hidráulicas operan en diferentes niveles. La primera es la flecha del vehículo. Consta de dos cilindros hidráulicos, un cucharón (parte en forma de pala) y una pluma sobre la varilla. El palo se mueve como un brazo humano en dos partes: la muñeca y el codo.

Dentro del cilindro hidráulico hay una biela, que forma el interior del cilindro, y un pistón, que se asienta al final del cilindro y permite que el balancín se mueva

usando aceite. Si no hay aceite en el cilindro, el pistón caerá al fondo, pero debido a la naturaleza del aceite, su volumen sigue siendo el mismo.

El aceite se bombea a través del extremo del pistón y empuja la biela a través del cilindro, creando movimiento en una o ambas secciones del basculante. La precisión del basculante se manipula fácilmente gracias a la capacidad de controlar la cantidad de aceite bombeado a través de la válvula. Este movimiento se activa mediante una válvula de control ubicada en el interior de la cabina, donde se sienta el conductor.

El motor

Maquinarias pesadas (2017), señala que la potencia de un automóvil generalmente proviene directamente del motor; sin embargo, funciona de manera diferente en una excavadora. Cuando la máquina usa mucha fuerza, puede moverse convirtiendo la energía que recibe del motor en energía hidráulica.

El giro

Maquinarias pesadas (2017), Una de las funciones de esta máquina es su habilidad de girar. El giro de una excavadora le permite voltear. El giro en círculo comprende varios componentes: un outer race, un inner race, rodamientos de bolas y un piñón. Mientras que el outer race se voltea, el piñón opera junto al inmóvil inner race. El rodamiento de bolas trabaja asegurándose de que esta operación se realice suavemente.

Las orugas o cadenas.

Maquinarias pesadas (2017), considera que los rieles se utilizan para navegar por superficies menos estables, como tierra y arena. A diferencia de las ruedas, el área de la pista es más grande, por lo que se hunde en el suelo. Como sugiere el nombre, se arrastra sobre un mecanismo estilo cinta de correr. La máquina solo se puede usar en el sitio y debe transportarse de un lugar a otro por otros medios. Tensor de raíl hidráulico con acumulador de gas N<sub>2</sub> y válvula de seguridad. El tensor monitoreado está equipado con protección contra

sobretensiones. Empuje el dispositivo de alarma de movimiento. Zapata de tres agujeros para chasis de pala de acero templado por inducción. Ancho de vía 1400 mm (55 in) Número de rodillos y vías (cada lado) Rodillo superior 3 Rodillo inferior 7 Vía 39.

Estructura superior.

Maquinarias pesadas (2017), Chasis giratorio de sección cuadrada profunda totalmente reforzado. La placa de acero grueso garantiza robustez.

Máquinas de plataforma

Las máquinas de plataforma están ubicadas para facilitar al máximo el mantenimiento. Las pasarelas brindan fácil acceso al motor, al sistema hidráulico y a los componentes eléctricos. Así mismo, las escaleras y pasamanos estándar ISO. Las escaleras y los pasillos están equipados con placas protectoras.

Dispositivo de tracción.

Maquinarias pesadas (2017), cada oruga es impulsada por motores de émbolos axiales de alto par, lo que permite la contrarrotación de las orugas. Engranajes planetarios de dos etapas más un dispositivo de reducción de engranajes rectos. Dispositivo de tracción de soporte doble. Freno de estacionamiento tipo disco aplicado por resorte y soltado hidráulicamente. Este freno de estacionamiento se puede soltar manualmente.

Velocidad de propulsión:

- Alta: 0 a 2,3 km/h (0 a 1,4 mph)
- Baja: 0 a 1,6 km/h (0 a 1,0 mph)
- Fuerza máxima de tracción 227 000 kgf (2230 kN, 501 00 lbf)
- Pendiente de trabajo 30° (60%) continuos.

## Costo de mantenimiento

Se refiere al valor monetario que incurre la empresa por reparaciones o mantenimiento de los equipos, maquinarias y cualquier herramienta que sea necesaria para que se mantenga la empresa en funcionamiento sin afectar la producción. En otras palabras, son costos incurridos como resultado de acciones tomadas para mantener el equipo o maquinaria en buenas condiciones para garantizar su funcionalidad y efectividad (Vilchez, 2017).

## Importancia de los costes de mantenimiento

La gestión adecuada de los costos de mantenimiento, por lo general pueden ser la diferencia entre la competitividad y la desaparición de una empresa que debe enfrentar nuevos desafíos de conocimiento y procesos. Algunos gerentes pueden pensar en el mantenimiento como: un gasto, una inversión o un seguro de producción. Su principal función es suministrar información a la alta gerencia necesaria para la toma de decisiones.

## Tipos de costes de mantenimiento en la empresa

La gestión de mantenimiento, requiere que la alta gerencia tenga información válida en relación a los costos de mantenimiento y reparación ya que estos son inevitables para toda organización, por tanto, estos deben ser estimados con la mayor precisión posible que permita realizar un pronóstico de acuerdo a la realidad actual. Básicamente, se pueden distinguir cuatro tipos de costes de mantenimiento:

- *Costos de reparación:* Como su nombre lo indica, estos son costos derivados de problemas técnicos y fallas que requieren la participación de un técnico. Puede ser necesario reemplazar los componentes.
- *Costes de adaptación:* La adaptación introduce cambios en los equipos, sistemas de TI o instalaciones para lograr beneficios adicionales o para proporcionar un espacio de uso diferente para satisfacer las necesidades comerciales actuales. Un ejemplo es la conversión de una habitación en desuso en un comedor para los trabajadores.

- *Costos de restauración*: Una categoría de gasto de mantenimiento donde el objetivo es restaurar artículos o activos degradados a una condición de trabajo. Un buen ejemplo es reconstruir una propiedad abandonada para que luzca como nueva, o comprar una máquina usada que la empresa está considerando restaurar (quizás porque es más barato que comprarla).
- *Costos de mejora*: Los costos de mejora son similares a los costos de reparación, excepto que el objetivo es hacer que un activo funcione mejor que antes.

Dichos costos se relacionan directamente con las actividades de operaciones, por ello su principal función es cumplir con:

- Optimizar la disponibilidad del equipo productivo y Recursos humanos.
- Disminuir los costos de mantenimiento.
- Maximización de la Vida Útil de los activos.

**Tabla 1**  
*Composición de los costos de mantenimiento*

Personal	Directos	Salarios y comisiones
	Indirectos	Recargos sociales y benéficos (transporte, alimentación, seguro médico, seguro odontológico, habitación, recreación, deportes, auxilio de capacitación etc.
	Administrativos	Rateo de los gastos de las áreas de recursos humanos y capacitación en función de la cantidad de empleados del órgano de mantenimiento
Material	Directos	Costos de reposición de material
	Indirectos	Capital inmovilizado, costo de energía eléctrica, almacenaje, agua y personal del depósito.
	Administrativos	Rateo de los gastos de las áreas de compra y administración de material en función del tiempo de ocupación del personal para la atención del área de mantenimiento
Contratación	Directos	Costos de los contratos (permanentes y eventuales).
	Indirectos	Servicios y recursos utilizados por terceros costeados por la empresa (transporte, alimentación, instalaciones, etc)

	Administrativos	Rateo de los gastos de las áreas de administración de contratos, financiera y contable.
Depreciación	Directos	Costo de reposición.
	Indirectos	Capital inmovilizado.
	Administrativos	Rateo de los gastos de las áreas de contabilidad, control de patrimonio y compra
Pérdida de facturación	Directos	Pérdida de producción.
	Indirectos	Pérdida de material prima, pérdida de calidad, devaluación, reproceso
	Administrativos	Rateo de los gastos de las áreas de control de calidad, ventas, marketing y jurídico.

*Nota:* Tomado de Tavares, (2015; p. 66)

### Costos globales de mantenimientos

Los costos globales son el resultado de los costos fijos como el mantenimiento preventivo, el cual asegura la vida útil de la maquinaria tanto a mediano, como a largo plazo. Así como los costos variables como los costos derivados de las averías imprevistas ocasionadas en la maquinaria, así como las reparaciones programadas por otros tipos de mantenimientos. Su control viene dado por evitar que se produzcan averías inesperadas afectando la vida útil del equipo (Verano, 2021).

#### **1.4. Formulación del Problema.**

¿De qué manera la propuesta de gestión de mantenimiento en la flota de palas hidráulicas Hitachi en Minera Yanacocha, permitirá reducir los costos por paradas no planificadas?

#### **1.5. Justificación e importancia del estudio.**

Desde el punto de vista económico, una buena gestión de mantenimiento es de vital importancia para el funcionamiento de las empresas mineras, ya que, los procesos de minería dependen de la continuidad operacional de la maquinaria y equipo, el cual, trabaja bajo condiciones de alta exigencia. Por ende, contar con una buena gestión de las máquinas es esencial para mantener el equipo funcionando al máximo rendimiento y garantizar su vida útil, lo cual, conlleva

una mayor confiabilidad, disponibilidad, productividad y una reducción de los costos operativos de la empresa.

Desde el punto de vista ambiental, las leyes actuales en la minería exigen mantener controlado las emisiones atmosféricas dentro de los límites máximos permisibles, a fin de evitar impactos negativos en el ecosistema. Por esta razón, el mantenimiento oportuno de los equipos prevendrá desperfectos que generen o incrementen las emisiones atmosféricas de las palas hidráulicas Hitachi.

Desde la perspectiva académica, el presente trabajo abordará teorías, metodologías y desarrollará una investigación que servirá como referencia para futuros trabajos en el campo de la gestión de mantenimiento de flota pesada.

### **1.6. Hipótesis.**

Los costos de mantenimiento de la flota de palas hidráulicas Hitachi se reducirán en un 10%

### **1.7. Objetivos.**

#### **1.7.1. Objetivo general.**

Diseñar herramientas de gestión de mantenimiento para reducir costos por paradas no planificadas en la flota de palas hidráulicas Hitachi en minería superficial en Minera Yanacocha 2021.

#### **1.7.2. Objetivos específicos.**

- Diagnosticar la situación actual del mantenimiento de las palas hidráulicas Hitachi de la Minera Yanacocha
- Diseñar herramientas de gestión de mantenimiento para las palas hidráulicas Hitachi de la Minera Yanacocha
- Estimar la mejora en la gestión de mantenimiento de palas hidráulicas Hitachi de la Minera Yanacocha

- Evaluación costo-beneficio de las herramientas de gestión de mantenimiento para las palas hidráulicas Hitachi de la Minera Yanacocha

## **II. MATERIAL Y MÉTODO**

### **2.1. Tipo y Diseño de Investigación.**

La presente investigación según su finalidad es aplicada, porque la misma se basa en teorías y leyes. Según su alcance es de nivel Descriptiva, ya que consideran al fenómeno estudiado y sus componentes, miden conceptos y definen las variables (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

El diseño seleccionado es No experimental, Longitudinal, debido a que los datos se muestran tal y como se presentan en la realidad, sin ser manipulados de forma deliberadamente las variables. La recolección de los datos se llevó a cabo en diferentes momentos del tiempo, para así poder realizar las inferencias necesarias acerca de la evolución que ha tenido la problemática abordada, identificando sus causas y sus efectos. (Borjas, 2012).

### **2.2. Población y muestra.**

La población objeto de estudio estuvo compuesta por las excavadoras y palas hidráulicas Hitachi. (2 modelo Ex-5500 y 4 palas modelo Ex-2500) para un total de 6 unidades de estudio.

La muestra estará compuesta por toda la población ya que es una cantidad finita y de fácil manejo.

### **2.3. Variables, operacionalización.**

- **Variable Independiente: Gestión de Mantenimiento**

Definición de la variable independiente: Es un “conjunto de tareas preventivas a realizar en una instalación con el fin de cumplir unos objetivos de disponibilidad, de fiabilidad, de coste y con el objetivo final de aumentar al máximo posible la vida útil de la instalación” (García, 2019).

- Variable Dependiente: Costos:

Definición de la variable dependiente: Los “costos de mantenimiento pueden componerse de la suma de todos los gastos que se requieren para la aplicación y su desempeño, durante un período de tiempo” (Serrano, 2020)

**Tabla 2**  
*Matriz de Operacionalización de Variables*

Variable	Dimensión	Indicador	Técnica	Instrumento
Plan de Mantenimiento Preventivo	Paradas	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Tiempo medio entre falla (MTBF)</li> <li>● Tiempo medio para reparación (MTTR)</li> </ul>	● Observación directa	● Ficha de Registro de datos
	Disponibilidad	● Disponibilidad mecánica	● Entrevista	● Guión de entrevista
	Planificación	● Porcentaje del plan completado (PPC)	● Revisión documental (archivos y registros)	● Guía de análisis de documentos
Costos de Mantenimiento	Costos	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Costo de mantenimiento correctivo</li> <li>● Costo de mantenimiento preventivo</li> <li>● Costo de mantenimiento</li> </ul>		

#### 2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.

- Observación directa: Se aplicó la observación para obtener los datos directamente de la realidad. Por tanto, se contará con el diagrama de Operaciones de Proceso DOP, además del apoyo de un técnico del área de mantenimiento, la información y datos serán registrados en las hojas no estructuradas.
- Entrevista: Consiste en obtener información de los equipos según la experiencia de los supervisores, operadores y técnicos de esta área de mantenimiento, especialistas en estos equipos.

- Revisión documental (archivos y registros): Se realizará un análisis de los documentos y registro de los archivos del año 2021.

## 2.5. Procedimiento de análisis de datos.

Una vez recolectados los datos estos serán analizados en primera instancia utilizando las herramientas Microsoft Word, Excel y PowerPoint versión 2016, con las cuales, se tabularán y graficarán los resultados de la información levantada en la etapa de diagnóstico y aplicación de las herramientas de gestión de mantenimiento. Con la hoja de cálculo MS Excel, se elaborará la base de datos para el cálculo, comparación y análisis del resultado de los indicadores e información de interés de mantenimiento.

Los cálculos de los indicadores de mantenimiento se realizarán con las siguientes ecuaciones:

*Ecuación 1*

*Tiempo medio para reparar (MTTR)*

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo de trabajos de mantenimiento correctivo}}{\text{Fallas}}$$

*Ecuación 2*

*Tiempo medio entre fallas (MTBF)*

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo disponible}}{\text{Fallas}}$$

*Ecuación 3*

*Disponibilidad*

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo de disponible} - \text{Tiempo de mantenimiento}}{\text{Tiempo disponible}} * 100\%$$

Los cálculos de los indicadores de costo de mantenimiento se realizan inicialmente (situación actual), con la información suministrada por la empresa. Luego del plan, se estimará la reducción de los costos de mantenimiento correctivo y se realizará un análisis de precios unitarios para el nuevo escenario de mantenimiento preventivo.

## **2.6. Criterios éticos.**

Los aspectos éticos considerados para el desarrollo de la investigación fueron los siguientes:

- **Confidencialidad:** La información que se obtuvo mediante los instrumentos de recolección no será divulgada y su uso será exclusivamente para fines académicos.
- **Respeto a las ideas de los autores:** En el desarrollo de la investigación se respetó las ideas de los autores, y se utilizó la debida citación mediante las normas APA 6ta edición.
- **No se alteraron los datos recolectados:** Los datos fueron recolectados sin ser alterados

## **2.7. Criterios de Rigor Científico.**

La investigación se basó en datos reales, obtenidos mediante instrumentos validados por expertos. Los mismos se elaboraron basados en los fundamentos teóricos de los autores consultados, dichos datos fueron ordenados, analizados y categorizados para su posterior análisis.

### III. RESULTADOS.

#### 3.1. Resultados de los objetivos.

La evaluación del desempeño y eventos de fallas de los equipos de carga pesada, se realizó tomando como referencia los resultados el mes de mayo de 2021, en el intervalo de las semanas 1 y 2 de ese mes. La tabla 3 resume los paros no programados que sufrieron.

**Tabla 3**

*Resumen de paros no programados global – mayo 2021 semana 1 y 2*

Evento	Sistema	Equipo	Duración (Horas)
Evento eléctrico	Eléctrico	Pala 4	3
Alarma de escalera	Eléctrico	Pala 10	5
No acciona motor RH - revisión arnés	Eléctrico	Pala 4	17
Baja potencia - indicadores - arnés	Eléctrico	Pala 10	28
Problema en luces - R. arnés eléctrico	Eléctrico	Pala 6	5
Alarma de escalera	Eléctrico	Pala 10	5
No arranca - Cambio de arrancadores	Eléctrico	Pala 10	24
Templado de orugas	Frame	Pala 9	5
Pernos rotos de rodillo	Frame	Pala 9	10
Fuga de aceite hidráulico por manguera	Hidráulico	Pala 7	5
Temperatura hidráulica alta	Hidráulico	Pala 4	12
Fuga de aceite hidráulico por manguera	Hidráulico	Pala 9	5
Evento de auto lubricación	Lubricación	Pala 7	3
Reparación de línea de grasa	Lubricación	Pala 7	3
Evento de auto lubricación	Lubricación	Pala 4	3
Cambio de línea de grasa	Lubricación	Pala 8	5

<b>Evento</b>	<b>Sistema</b>	<b>Equipo</b>	<b>Duración (Horas)</b>
Regulación de inyectores de grasa	Lubricación	Pala 6	5
Motor - Temperatura alta de culatas	Motor	Pala 7	60
Baja presión de aceite motor	Motor	Pala 10	5

Tal como se puede observar en la tabla 3, se registraron problemas y/o fallas en los sistemas eléctrico, hidráulico, lubricación, frame y motor dentro de los diferentes equipos objeto de estudio. La falla que tomó un mayor tiempo de reparación, requirió de un total de 60 horas para su corrección, mientras que, el sistema que registró más eventos fue el eléctrico con 7 paros no programados en total.

Luego, con base a esta información se planteó una evaluación detallada de la situación considerando la data por equipo y por sistema. De esta forma, se realizó el análisis desde 4 enfoques diferentes:

- Eventos por equipo
- Tiempo global requerido para mantenimiento por equipo
- Eventos por sistema
- Tiempo global requerido para mantenimiento por sistema

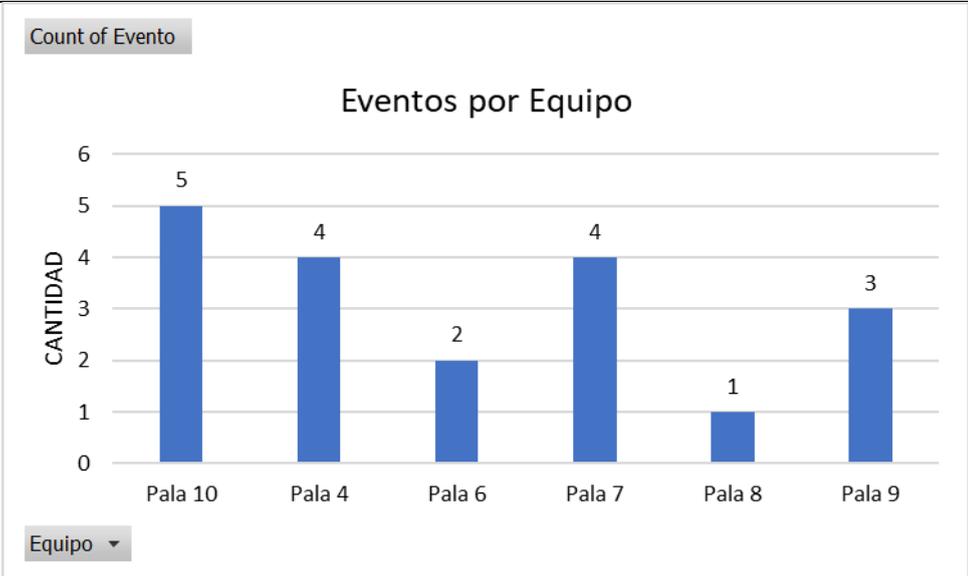
### **Eventos por equipo**

En referencia a la evaluación de los eventos por equipo, la figura 1 y la tabla 4 muestran los resultados, los cuales, son tomados a partir de la tabla 3.

**Tabla 4**

*Resumen de eventos por equipo – mayo 2021 semana 1 y 2*

<b>Equipo</b>	<b>Eventos</b>	<b>Porcentaje</b>
Pala Hidráulica 4	4	21.1%
Pala Hidráulica 6	2	10.5%
Pala Hidráulica 7	4	21.1%
Pala Hidráulica 8	1	5.3%
Pala Hidráulica 9	3	15.8%
Pala Hidráulica 10	5	26.3%
<b>Total</b>	<b>19</b>	<b>100.0%</b>

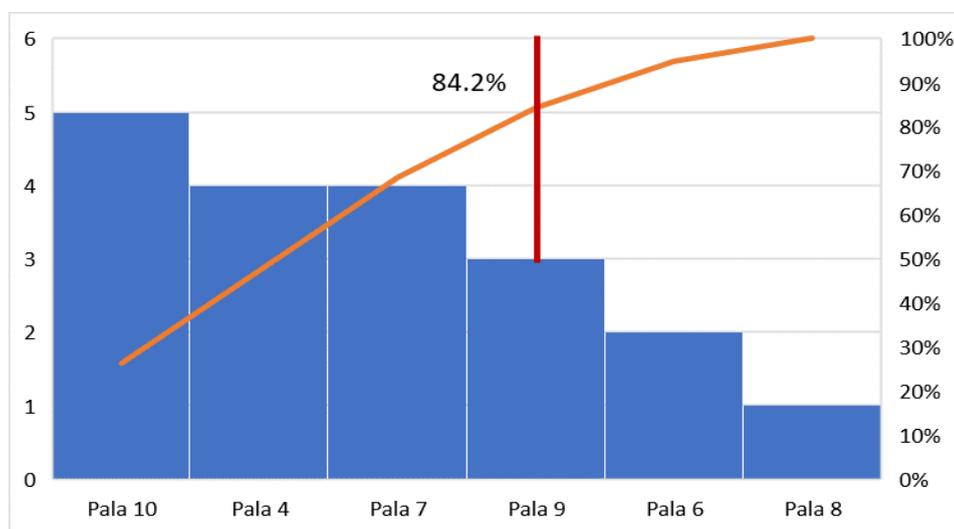


**Figura 1.** Cantidad de eventos por equipo– mayo 2021 semana 1 y 2

Tal como se puede apreciar en la figura 1 y tabla 4 las palas hidráulicas 10, 7 y 4 fueron las que presentaron mayor cantidad de problemas o fallas. La pala número 10 fue la más afectada con 5 paros no programados, mientras, las palas 4 y 7 presentaron 4 paros no programados. Las fallas de los equipos 10, 7 y 4 superaron cada una el 20% de porcentaje de ocurrencia con 26.3%, 21.1% y 21.1% respectivamente.

Luego, se realizó la evaluación del peso porcentual de los paros no programados para determinar, donde, se ubicaba la mayor situación

problemática. La figura 2 muestra el diagrama de Pareto elaborado para el análisis.



**Figura 2.** Diagrama de Pareto de eventos por equipo– mayo 2021 semana 1y2

Tal como se puede observar del resultado de la figura 2, la mayor ocurrencia de problemas se encuentra entre las palas hidráulicas 10, 9, 7 y 4, las cuales, representan el 84.2% de los equipos con fallas inesperadas que requieren de atención correctiva.

Por su parte, los equipos 6 y 8 presentaron solo 3 fallas en total (2 eventos la pala hidráulica 6 y 1 evento la pala hidráulica 8), representando, solo el 15.8% de los eventos de paros no programados durante el periodo de tiempo evaluado.

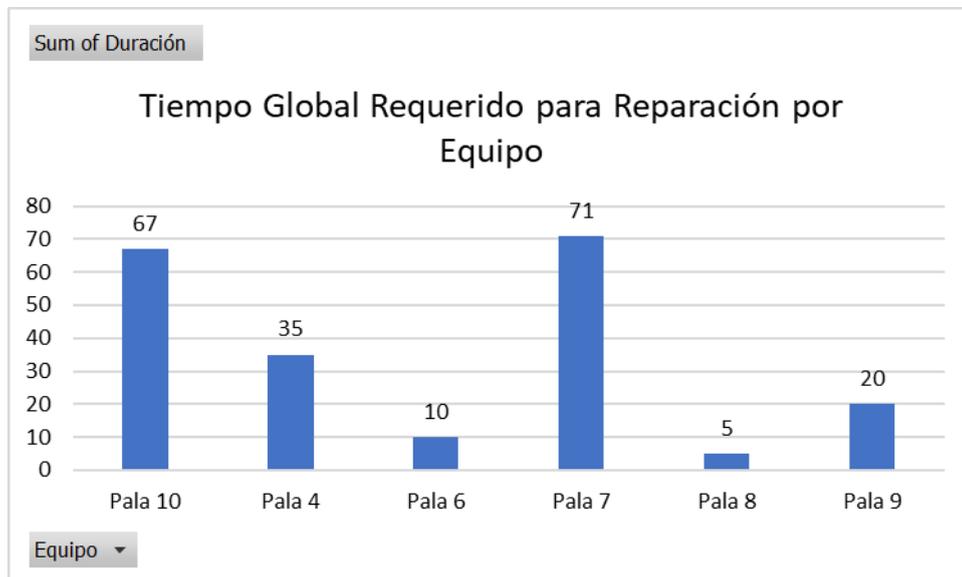
### **Tiempo global requerido para mantenimiento por equipo**

Con respecto a la evaluación del tiempo requerido por equipo para corregir las fallas, la figura 3 y tabla 5 muestran los resultados. El tiempo mostrado, es la sumatoria del tiempo de reparación por equipo. Los datos fueron tomados de la información general mostrada en la tabla 3.

**Tabla 5**

*Resumen tiempo global requerido para mantenimiento por equipo – mayo 2021 semana 1 y 2*

<b>Equipo</b>	<b>Horas</b>	<b>Porcentaje</b>
Pala Hidráulica 4	35	16,8%
Pala Hidráulica 6	10	4,8%
Pala Hidráulica 7	71	34,1%
Pala Hidráulica 8	5	2,4%
Pala Hidráulica 9	20	9,6%
Pala Hidráulica 10	67	32,2%
<b>Total</b>	<b>208</b>	<b>100.0%</b>

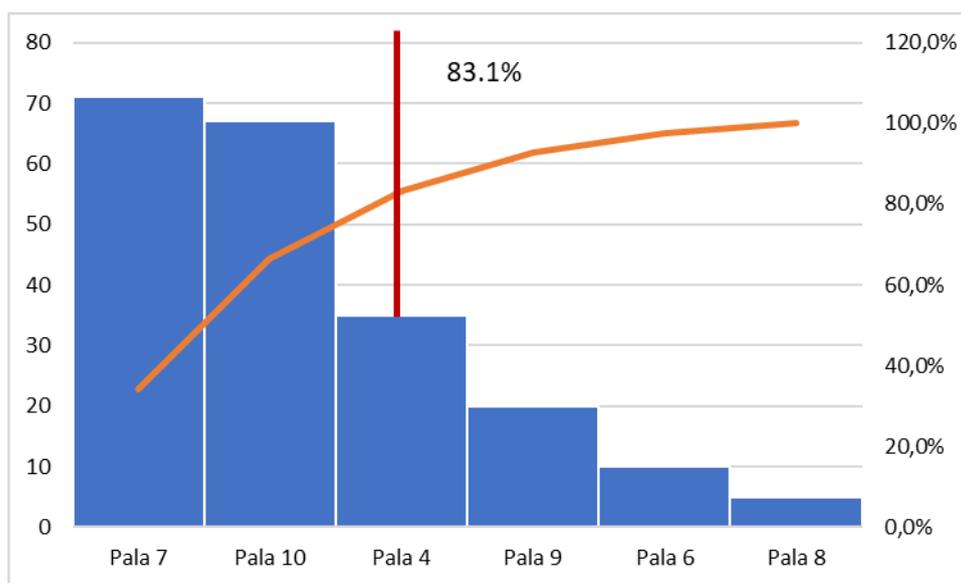


**Figura 3.** Tiempo global requerido para mantenimiento por equipo– mayo 2021 semana 1 y 2

Tal como se puede observar tanto en la tabla 5 como en la figura 3, las palas hidráulicas 10 y 7 requirieron de más de 60 horas de reparación (67 y 71 horas

respectivamente) para corregir sus problemas y volver al servicio. Esto contrasta con los demás equipos que, exceptuando la pala hidráulica 4 (con 35 de tiempo de reparación), requirieron menos de 25 horas para solventar sus fallas.

Luego, se realizó la evaluación del peso porcentual de las horas totales requeridas por equipo para las labores de mantenimiento. La misma sirvió para determinar cuáles equipos representan la mayor carga para los mantenimientos. La figura 4 muestra el diagrama de Pareto elaborado para el análisis.



**Figura 4.** Diagrama de Pareto del tiempo global requerido para mantenimiento por equipo– mayo 2021 semana 1 y 2

A partir de la figura 4, se puede identificar que los equipos más significativos para los trabajos de mantenimiento, es decir, los que requieren de más horas de trabajo son la pala hidráulica 10, 7 y 4, las cuales, representan el 83.1% de las horas hombre dedicadas para los trabajos de mantenimiento. Especialmente, la pala 7 (71 horas) y pala 10 (67 horas) que combinadas representan el 67.1% de las horas de trabajo, es decir, 2/3 del tiempo de mantenimiento.

Por su parte las palas hidráulicas 9, 8 y 6 representan solo el 16.8% de las horas requeridas para mantenimiento, dado que, combinadas suman 25 horas (20, 5 y 10 horas respectivamente).

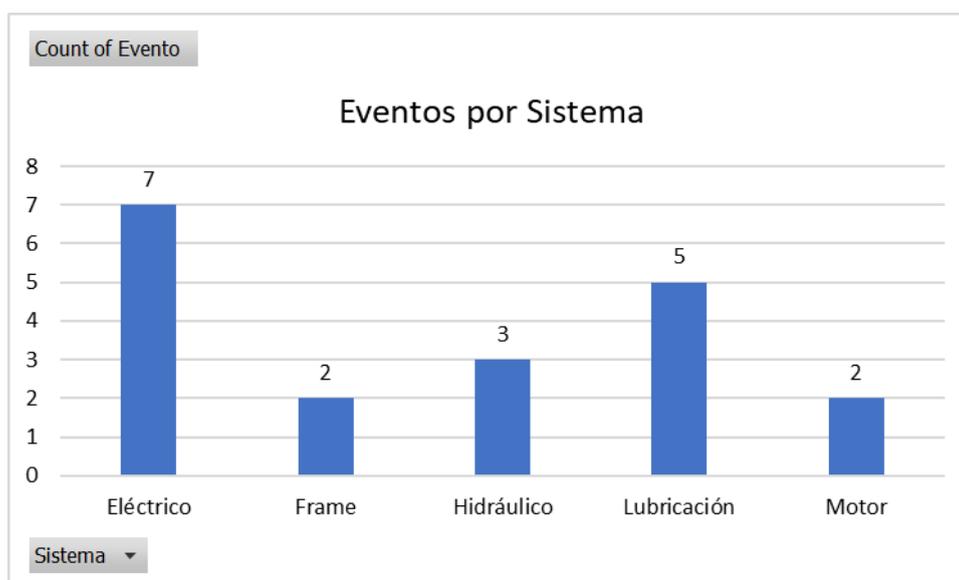
## Eventos por sistema

Luego de evaluar los requerimientos de mantenimiento por equipo, se procedió a realizar una evaluación por sistema. La tabla 6 y figura 5, muestran el desempeño desde esta perspectiva. Los datos para elaborar la tabla 6 fueron tomados desde la tabla 3.

**Tabla 6**

*Resumen de eventos por sistema – Mayo 2021 semana 1 y 2*

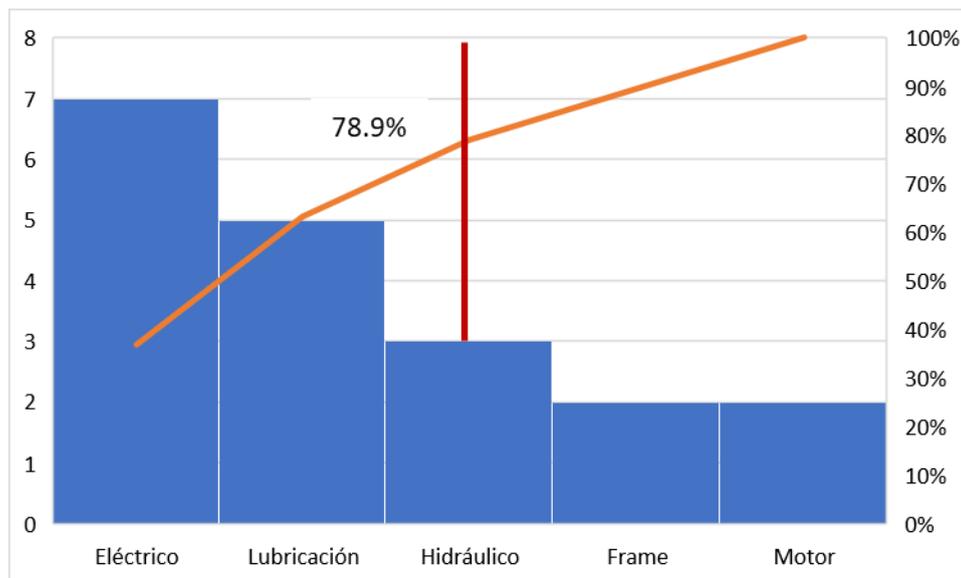
Equipo	Eventos	Porcentaje
Eléctrico	7	36.8%
Frame	2	10.5%
Hidráulico	3	15.8%
Lubricación	5	26.3%
Motor	2	10.5%
<b>Total</b>	<b>19</b>	<b>100.0%</b>



**Figura 5.** Cantidad de eventos por sistema – mayo 2021 semana 1 y 2

Como se puede evidenciar tanto en la tabla 6 como en la figura 5, fue el sistema eléctrico el que más presentó fallas dentro de los 6 equipos de carga pesada evaluados, con un total de 7 eventos de paros no programados. Seguidamente, fue el sistema de lubricación, el cual, presentó la segunda mayor frecuencia de eventos de fallas, con un total de 5 paros no programados. Por su parte, los sistemas de motor, frame e hidráulico fueron los de menor frecuencia de falla con 2, 2 y 3 eventos de paros no programados respectivamente.

Luego, se realizó la evaluación del peso porcentual de los eventos por sistema. La misma sirvió para determinar cuáles de estos sistemas representan la mayor carga para las labores de mantenimiento. La figura 6 muestra el diagrama de Pareto elaborado para el análisis.



**Figura 6.** Diagrama de Pareto de los eventos por sistema – mayo 2021 semana 1 y 2

Tal como se puede evidenciar en la figura 6, el mayor porcentaje de eventos se presenta en los sistemas eléctrico, lubricación e hidráulico, los cuales, sumaron en total 15 de 19 eventos para una representación del 78.9%. El sistema eléctrico fue el que presentó más fallas alcanzando un 36.8% de los eventos. En cuanto al sistema de frame y de motor, en total sumaron 4 eventos (2 cada uno), para un valor acumulado del 21.1%.

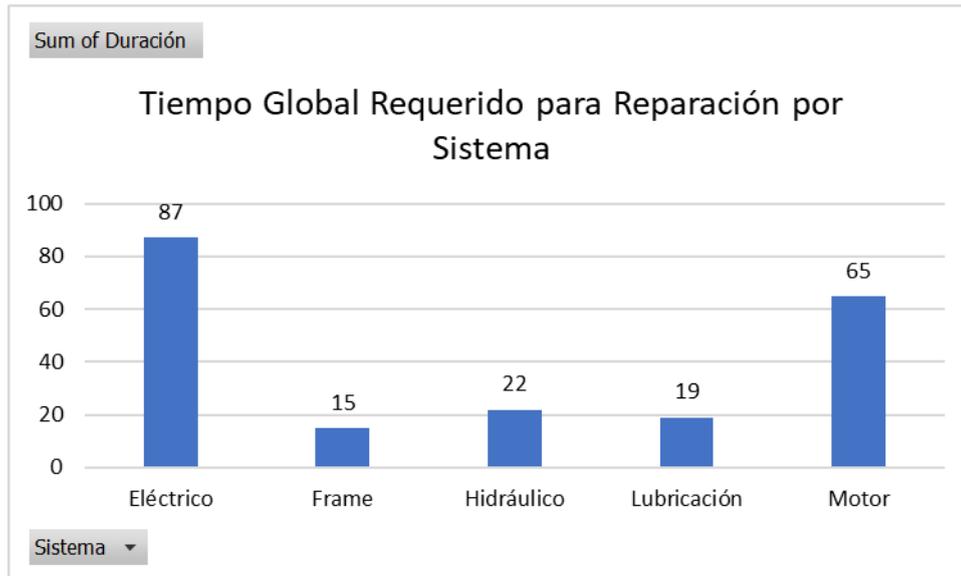
### Tiempo global requerido para mantenimiento por sistema

Con respecto a la evaluación del tiempo requerido por sistema para corregir las fallas, la figura 7 y tabla 7 muestran los resultados. El tiempo mostrado, es la sumatoria del tiempo de reparación por sistema. Los datos fueron tomados de la información general mostrada en la tabla 3.

**Tabla 7**

*Resumen tiempo global requerido para mantenimiento por sistema – mayo 2021 semana 1 y 2*

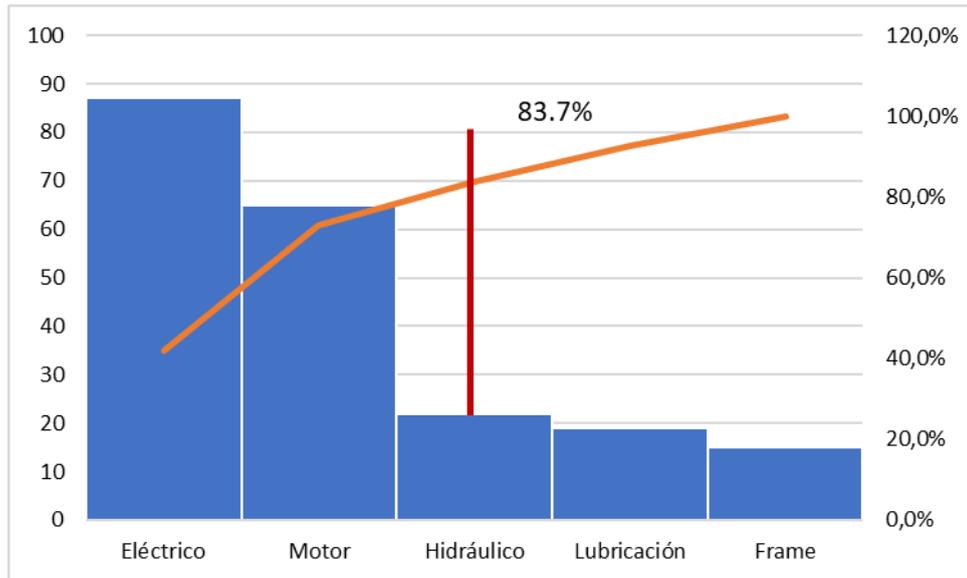
<b>Equipo</b>	<b>Horas</b>	<b>Porcentaje</b>
Eléctrico	87	41,8%
Frame	15	7,2%
Hidráulico	22	10,6%
Lubricación	19	9,1%
Motor	65	31,3%
<b>Total</b>	<b>208</b>	<b>100,0%</b>



**Figura 7.** Tiempo global requerido para mantenimiento por sistema – mayo 2021 semana 1 y 2

Tal como se puede observar tanto en la tabla 7 como en la figura 7, fueron el sistema eléctrico y el sistema de motor los aspectos con un mayor requerimiento de horas de mantenimiento (87 y 65 horas respectivamente), para corregir sus problemas y volver al servicio. Esto contrasta con los demás sistemas que requirieron menos de 25 horas para solventar sus fallas.

Luego, se realizó la evaluación del peso porcentual de las horas totales requeridas por sistema para las labores de mantenimiento. La misma sirvió para validar cuales sistemas representan la mayor carga para los mantenimientos. La figura 8 muestra el diagrama de Pareto elaborado para el análisis.

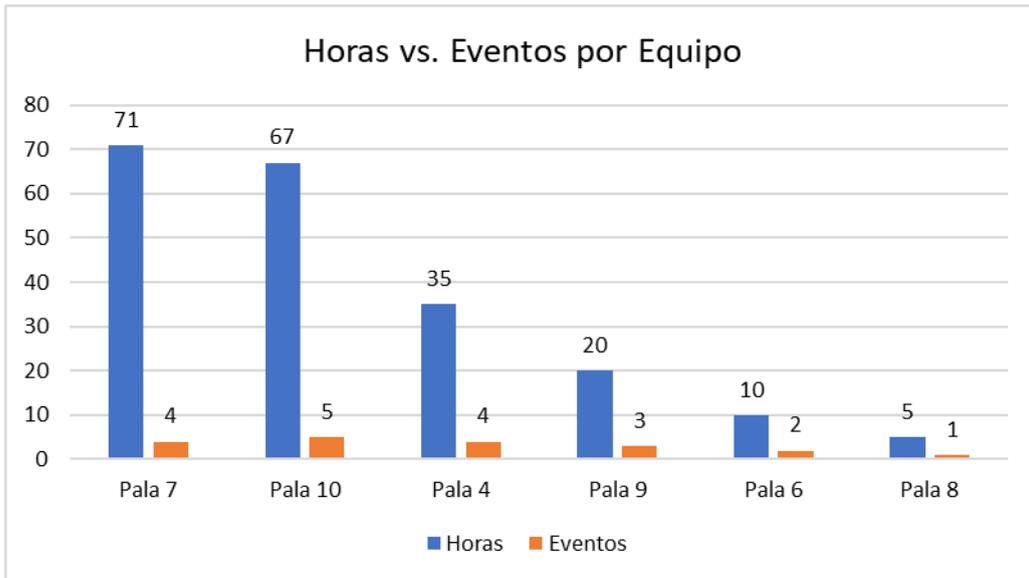


**Figura 8.** Diagrama de Pareto del tiempo global requerido para mantenimiento por sistema – mayo 2021 semana 1 y 2

Como se puede observar de la figura 8, la mayor cantidad de horas invertidas para corregir fallas de los equipos son en los sistemas eléctrico, motor e hidráulico, los cuales suman 174 horas para un 83.7%, donde, solo el sistema eléctrico (41.8%) y el sistema de motor (31.3%) alcanzan el 73.1% de las horas de mantenimiento. Por su parte los sistemas de lubricación y de frame requieren de un total de 34 horas de mantenimiento lo que representa un 16.3% del total de horas empleadas para reparar las palas hidráulicas.

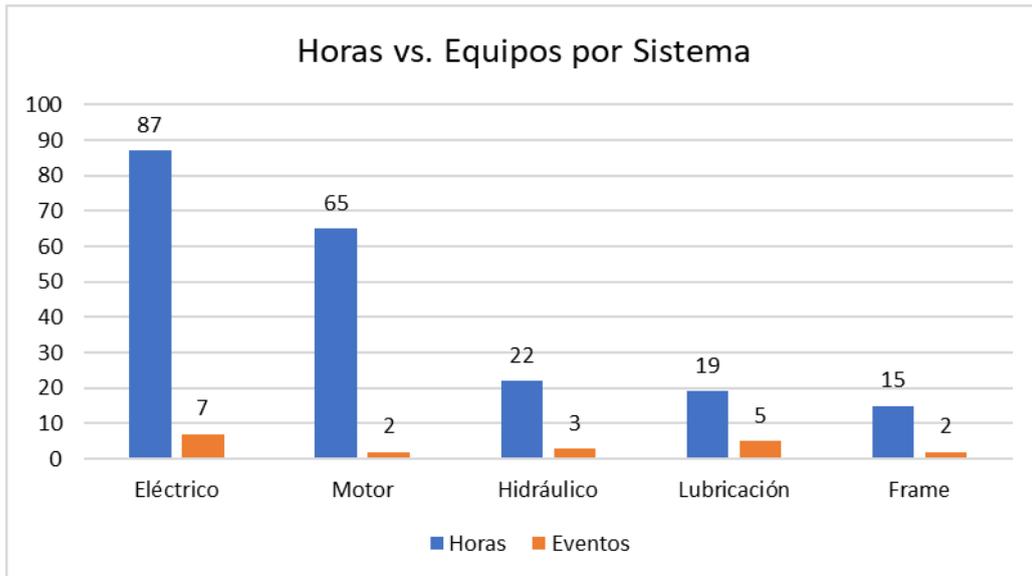
### Comparación de horas y eventos

Los resultados de la comparación de horas vs eventos se muestran en las figuras 9 y 10.



**Figura 9.** Comparación de horas vs eventos por equipo – mayo 2021 semana 1 y 2

Como se puede evidenciar en la figura 9, existe una correlación entre los eventos que experimentaron los equipos y las horas invertidas en mantenimiento, donde, se observar que las palas hidráulicas con mayor cantidad de paros no programados (pala 7, 10 y 4) fueron las que acumularon mayor cantidad de horas de mantenimiento. Mientras que, de forma proporcional los equipos con menos eventos resultaron con menos horas destinadas a la reparación. Luego, al comparar los resultados por sistema se obtuvieron los siguientes resultados.



**Figura 10.** Comparación de horas vs eventos por sistema–mayo 2021 semana 1 y 2

En la figura 10 se observa que el sistema eléctrico fue el resultante con mayor cantidad de eventos y mayor cantidad de horas de mantenimiento (7 eventos y 87 horas). Sin embargo, el comportamiento no coincide con lo observado en los equipos. En esta comparación se observó que el sistema de motor fue la segunda frecuencia con mayor cantidad de horas, pero con menor cantidad de eventos junto al sistema de frame. Mientras que, el sistema de lubricación con la segunda mayor frecuencia de eventos (5 eventos) registró uno de los menores requerimientos de horas de mantenimiento con un total de 19 horas, solo superando al sistema de frame que registró un requerimiento de 15 horas.

### Indicadores de mantenimiento

Con la información recopilada para la primera y segunda semana de mayo de 2021, se procedió a determinar los indicadores de mantenimiento actuales. El periodo de tiempo para el cálculo fue de 14 días (2 semanas), considerando 22 horas por día para un total de 308 horas de trabajo. Los indicadores considerados se muestran a continuación:

- Tiempo medio entre fallas (MTBF)
- Tiempo medio para reparar (MTTR)
- Disponibilidad

La tabla 8 muestra el resumen de las horas consideradas.

**Tabla 8**

*Resumen horas de trabajo y mantenimiento por equipo – mayo 2021 semana 1 y 2*

<b>Equipo</b>	<b>Horas trabajadas</b>	<b>Horas de Mantenimiento</b>	<b>Fallas</b>
Pala 10	308	67	5
Pala 4	308	35	4
Pala 6	308	10	2
Pala 7	308	71	4
Pala 8	308	5	1
Pala 9	308	20	3

Luego, tomando como entrada para el cálculo las horas mostradas en la tabla 8, se procedió a calcular los indicadores de mantenimiento. Los resultados se muestran a continuación.

**Tabla 9**

*Indicadores de mantenimiento actuales por equipo – mayo 2021 semana 1 y 2*

<b>Equipo</b>	<b>MTBF</b>	<b>MTTR</b>	<b>Disponibilidad</b>
Pala 10	61,60	13,40	78,25%
Pala 4	77,00	8,75	88,64%
Pala 6	154,00	5,00	96,75%
Pala 7	77,00	17,75	76,95%
Pala 8	308,00	5,00	98,38%
Pala 9	102,67	6,67	93,51%

Como se puede observar de los resultados de la tabla 8, la pala hidráulica 10 y la pala hidráulica 7 resultaron con los valores más desfavorables, con una menor disponibilidad (78.25% y 76.95% respectivamente), con un mayor tiempo para reparación (13.40 y 17.75 horas respectivamente). Por su parte la pala 10 con

61.60 horas y las palas 4 y 7 con 77 horas respectivamente, resultaron con el menor tiempo medio entre fallas. Desde la perspectiva de los sistemas, la tabla 10 muestra el resumen de las horas y la tabla 11 el resultado de los indicadores de mantenimiento por sistema.

**Tabla 10**

*Resumen horas de trabajo y mantenimiento por sistema – mayo 2021 semana 1, 2*

<b>Equipo</b>	<b>Horas trabajadas</b>	<b>Horas de Mantenimiento</b>	<b>Fallas</b>
Eléctrico	308	87	7
Motor	308	65	2
Hidráulico	308	22	3
Lubricación	308	19	5
Frame	308	15	2

Luego, tomando como entrada para el cálculo las horas mostradas en la tabla 10, se procedió a calcular los indicadores de mantenimiento por sistema. Los resultados se muestran a continuación.

**Tabla 11**

*Indicadores de mantenimiento por sistema – mayo 2021 semana 1 y 2*

<b>Equipo</b>	<b>MTBF</b>	<b>MTTR</b>	<b>Disponibilidad</b>
Eléctrico	44,00	12,43	71,75%
Motor	154,00	32,50	78,90%
Hidráulico	102,67	7,33	92,86%
Lubricación	61,60	3,80	93,83%
Frame	154,00	7,50	95,13%

Como se puede observar de los resultados de la tabla 11, el sistema eléctrico y sistema de motor resultaron con los valores más desfavorables, con una menor disponibilidad (71.75% y 78.90% respectivamente), con un mayor tiempo para

reparación (12.43 y 32.50 horas respectivamente). Con respecto al tiempo entre fallas el sistema eléctrico junto con el sistema de lubricación (44 y 61.60 horas respectivamente), resultaron con los menores y más desfavorables resultados para este indicador.

### **Análisis de Criticidad.**

El análisis de criticidad es el proceso de asignar a los activos una calificación basada en su riesgo potencial y a partir de esto detectar cuál de ellos presenta la mayor criticidad, por lo cual se utilizó la teoría de este texto para poder hacer el análisis de toda la población en estudio que está conformado por 6 equipos. Desde el punto de vista matemático el análisis de criticidad se expresa:

$$Criticidad = Frecuencia * Consecuencia$$

Modelo de Criticidad Total por Riesgo CTR

$$CTR = FF * C$$

CTR= Criticidad Total por Riesgo

FF= Frecuencia de Fallos (fallos/ año)

C= Consecuencia de los eventos de fallos

$$C = (IO * FO) + CM + SHA$$

IO= Factor de impacto en la producción

FO= Factor de flexibilidad operacional

CM= Factor de costos de mantenimiento

SHA= Factor de impacto en la seguridad, higiene y ambiente

$$CTR = FF * ((IO * FO) + CM + SHA)$$

### **FF**

4	Frecuente: mayor a 4 fallas por dos semanas
3	Promedio: 3 o 4 fallas por dos semanas
2	Bueno: entre 1 o 2 fallas por dos semanas
1	Excelente: menos de 1 falla por dos semanas

## FO

4	No se cuenta con unidades de reserva para cubrir
2	Se cuenta con unidades que cubren de forma parcial
1	Se cuenta con unidades de reserva en línea

## IO

10	Pérdidas de producción superiores al 75%
7	Pérdidas de producción entre el 50% y el 74%
5	Pérdidas de producción entre el 25% y el 49%
3	Pérdidas de producción entre el 10% y el 24%
1	Pérdidas de producción menor al 10%

## CM

4	Costos de reparación, materiales y mano de obra > 10,000 USD
3	Costos de reparación, materiales y mano de obra < 5,000 USD
2	Costos de reparación, materiales y mano de obra < 1,000 USD
1	Costos de reparación, materiales y mano de obra < 200 USD

## SHA

8	Riesgo alto de pérdida de vida, daños graves a la salud del personal y/o incidente ambiental mayor (catastrófico) que exceden los límites permitidos
6	Riesgo medio de pérdida de vida, daños importantes a la salud y/o incidente ambiental de difícil restauración
3	Riesgo mínimo de pérdida de vida y afección a la salud (recuperable en el corto plazo) y/o accidente ambiental menor (controlable)
1	No existe ningún riesgo de pérdida de vida, ni afección a la salud, ni daños ambientales.

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	M C	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

## Operacionalización de los equipos en muestra

Utilizando las tablas de valoraciones para el análisis de criticidad se procede a realizar los cálculos para determinar qué equipos de la población en estudio son los más críticos.

Pala 4:

OPERACIÓN:

$$CTR = FF * ((IO * FO) + CM + SHA)$$

$$CTR = 3 * ((7 * 4) + 3 + 6)$$

$$CTR = 3 * (37)$$

$$CTR = 111$$

Excavadora 6:

OPERACIÓN:

$$CTR = FF * ((IO * FO) + CM + SHA)$$

$$CTR = 2 * ((1 * 2) + 2 + 3)$$

$$CTR = 2 * (7)$$

$$CTR = 14$$

Pala 7:

OPERACIÓN:

$$CTR = FF * ((IO * FO) + CM + SHA)$$

$$CTR = 3 * ((7 * 4) + 4 + 6)$$

$$CTR = 3 * (38)$$

$$CTR = 114$$

Excavadora 8:

OPERACIÓN:

$$CTR = FF * ((IO * FO) + CM + SHA)$$

$$CTR = 1 * ((1 * 2) + 1 + 1)$$

$$CTR = 1 * (4)$$

$$CTR = 4$$

Excavadora 9:

OPERACIÓN:

$$CTR = FF * ((IO * FO) + CM + SHA)$$

$$CTR = 2 * ((2 * 2) + 2 + 3)$$

$$CTR = 2 * (9)$$

$$CTR = 18$$

Excavadora 10:

OPERACIÓN:

$$CTR = FF * ((IO * FO) + CM + SHA)$$

$$CTR = 4 * ((5 * 2) + 3 + 3)$$

$$CTR = 4 * (16)$$

$$CTR = 64$$

Situaremos la valorización obtenida de las ecuaciones y comparando el resultado con la matriz

**Tabla 12**  
*Resultado de análisis de criticidad*

EQUIPO	VALOR FRECUENCIA	VALOR CONSECUENCIA	NIVEL CRITICIDAD	PONDERADO CRITICIDAD TOTAL
Pala 4	3	37	MC	111
Excavadora 6	2	7	NC	14
Pala 7	3	38	MC	114
Excavadora 8	1	4	NC	4
Excavadora 9	2	9	NC	18
Excavadora 10	4	16	MC	64

## Indicadores de costo mantenimiento

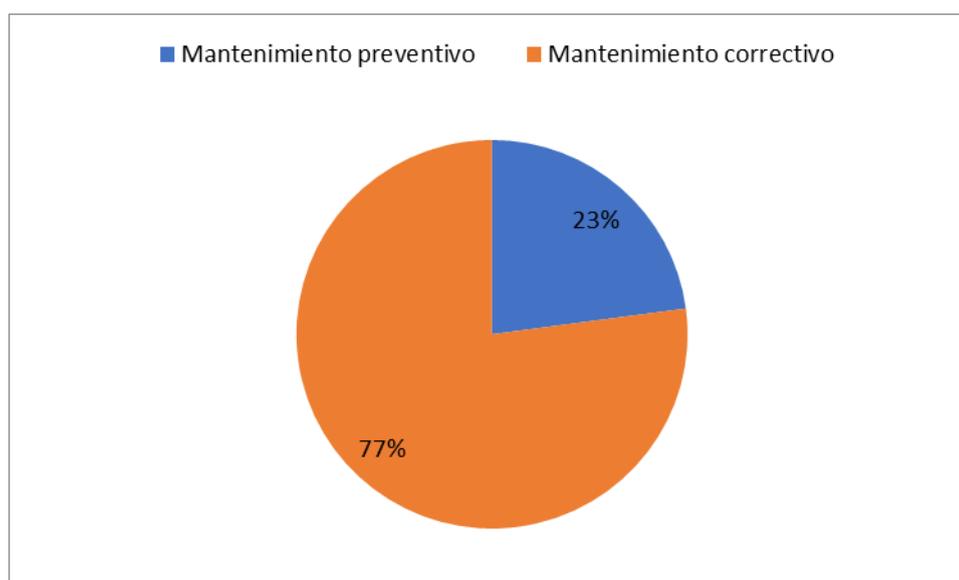
En cuanto a los costos de mantenimiento, la empresa suministro los siguientes costos referenciales. Estos se presentaron por sistema y reflejando un valor promedio mensual en nuevos soles.

**Tabla 13**

*Indicadores de costo de mantenimiento (promedio mensual estimado)*

Ítem	Equipo	Moneda	Valor
A	Costo de mantenimiento correctivo	S/.	49,200.00
B	Costo de mantenimiento preventivo	S/.	14,600.00
C	Costo de mantenimiento (A+B)	S/.	63,800.00

Tal como se puede observar, se estima que la empresa tiene un gasto mensual estimado de 63,800.00 por concepto de mantenimiento, donde, 49.200.00 corresponde a trabajos correctivos y 14,600.00 a trabajos preventivos. La figura 11 muestra la relación porcentual entre los costos del mantenimiento correctivo y preventivo.



**Figura 11.** Comparación porcentual de los costos de mantenimiento

En la figura 11, se puede apreciar con claridad que actualmente el costo del mantenimiento correctivo es ampliamente superior al mantenimiento preventivo, con un peso porcentual de 77%, es decir, 3 veces mayor al gasto en mantenimiento preventivo.

### **Diseño de herramientas de gestión de mantenimiento**

El plan de mantenimiento preventivo diseñado para atender las excavadoras y palas hidráulicas Hitachi (modelo Ex-5500 y modelo Ex-2500), considero las indicaciones del fabricante y recomendaciones del personal operario y mantenedor de los equipos. Se formuló incluyendo 3 componentes, los cuales, se muestran en la figura 12.



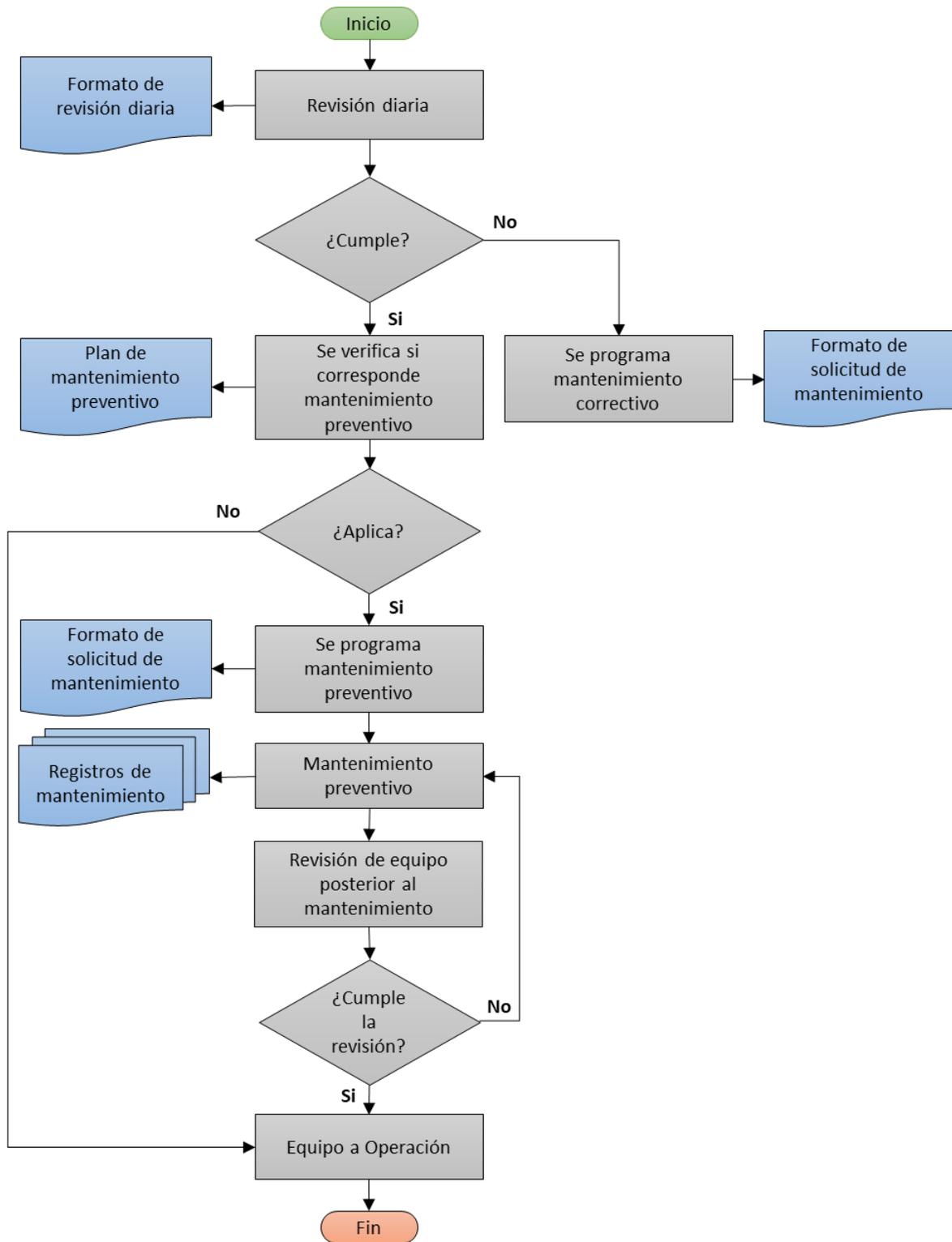
**Figura 12.** Aspectos del plan mantenimiento preventivo

Los 3 elementos del plan incluyen, una revisión diaria de los equipos para determinar si califican para operaciones normales, mantenimiento preventivo o si requieren de reparaciones mayores. En segundo lugar, un cronograma de mantenimiento preventivo para determinar con qué frecuencia se debe atender un determinado sistema o subsistema de la maquinaria. Por último, los registros necesarios para desarrollar de forma efectiva y estructurada el plan, de forma que, no se omitan elementos por atender y revisar.

### **Rutina de revisión diaria**

Esta revisión se diseñó para identificar problemas y fallas, tanto menores como mayores, previo a la operación de los equipos. De esta forma se reducirán y/o evitarán los daños mayores y paradas no programadas que afectarán la productividad de los trabajos. En estos casos se remiten los equipos para trabajos correctivos de mantenimiento.

Las actividades preventivas se desarrollarán acorde al diagrama de flujo mostrado a continuación.



**Figura 13.** Proceso de mantenimiento preventivo

Acorde con los pasos descritos en la figura anterior, todo el proceso de mantenimiento parte de una revisión diaria con la cual se detectará si el equipo es apto para operaciones, si requiere de un mantenimiento preventivo o si requiere de un mantenimiento correctivo. Se utilizará el formato de revisión diaria (checklist) para verificar los aspectos básicos de cada sistema de los equipos y se validará con el PMP si el mismo alcanzó las horas de servicio establecidas para realizar los trabajos de mantenimiento preventivo.

De acuerdo al resultado de la inspección, se liberará el equipo para sus operaciones rutinarias o se utilizará el formato de solicitud de mantenimiento para realizar los trabajos de prevención o corrección pertinentes.

### **Cronograma**

El diseño del cronograma parte de la clasificación de los mantenimientos preventivos por frecuencia. Estos se clasificaron acorde con el tiempo que transcurre entre la ejecución de los mismos. La tabla mostrada a continuación describe la categorización.

**Tabla 14**

*Clasificación de los trabajos por frecuencia*

<b>Clasificación</b>	<b>Frecuencia (Horas)</b>	<b>Frecuencia alternativa</b>
A	48	2 días
B	250	6 semanas
C	500	3 meses
D	1000	6 meses
E	2000	12 meses

Como se puede observar, se organizaron 5 categorías identificadas por letras. La primera clasificación (letra A) fue la catalogada con una menor frecuencia, la cual, fue de 2 días. Por su parte la clasificación con mayor frecuencia entre un mantenimiento y otro (letra E) requiere de un total de 2000 horas o 12 meses entre un trabajo y otro. Partiendo de esta clasificación, se desarrollaron los

requerimientos de mantenimiento preventivo por sistema y el mismo se describe a continuación:

**Tabla 15**  
*Mantenimiento preventivo sistema de motor*

<b>Clasificación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Personal</b>	<b>Duración</b>
B	Cambiar aceite y filtro	Mecánico	1 hora
C	Toma de muestra de aceite	Mecánico	15 minutos
B	Cambiar el elemento filtrante de aire externo	Mecánico	1 hora
C	Cambiar el elemento filtrante de aire interno	Mecánico	1 hora
A	Examinar y limpiar la válvula de polvo en filtro de aire	Mecánico	30 minutos
E	Cambio de refrigerante	Mecánico	1 hora
B	Cambio de filtro de combustible (bomba)	Mecánico	1 hora
B	Cambio de filtro de combustible (primario)	Mecánico	1 hora
B	Chequeo de correa de ventilador (tensión y estado)	Mecánico	30 minutos
E	Chequeo y ajuste de válvulas	Mecánico	2 horas
C	Chequeo y ajuste de tornillos	Mecánico	1 hora
B	Chequeo y ajuste de sistema de escape	Mecánico	30 minutos
D	Chequeo y limpieza de radiador	Mecánico y Contratista	8 horas

**Tabla 16**  
*Mantenimiento preventivo sistema hidráulico*

<b>Clasificación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Personal</b>	<b>Duración</b>
C	Toma de muestra de aceite	Mecánico	30 minutos
C	Cambiar aceite y filtro	Mecánico	3 hora
B	Cambiar elemento del filtrante del servo	Mecánico	30 minutos
D	Cambiar elemento del filtrante de retorno	Mecánico	30 minutos
B	Cambiar elemento del filtrante de drenaje	Mecánico	30 minutos
B	Cambiar elemento del filtrante de pre-aspiración	Mecánico	1 hora
C	Chequeo de estado de los cilindros	Mecánico	30 minutos
C	Limpieza de refrigerador de aceite	Mecánico	1 hora
B	Limpieza de depósito de agua	Mecánico	30 minutos
D	Chequeo de respiradero del depósito hidráulico	Mecánico	15 minutos
E	Cambio de manguera de salida (línea de la bomba)	Mecánico	2 horas
E	Cambio de manguera (línea del balancín)	Mecánico	2 horas
E	Cambio de manguera cilindro (línea de cazo)	Mecánico	2 horas
D	Cambio de manguera cilindro (pluma)	Mecánico	1 hora

**Tabla 17**  
*PMP específico para el sistema eléctrico*

<b>Clasificación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Personal</b>	<b>Duración</b>
B	Chequeo de nivel de electrolito de la batería	Mecánico	30 minutos
A	Chequeo general del cableado (integridad física y continuidad)	Mecánico y Contratista	1 hora
A	Pruebas de tiempo	Mecánico y 1 Operador	1 hora

**Tabla 18**  
*PMP específico para el frame*

<b>Clasificación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Personal</b>	<b>Duración</b>
B	Chequeo pintura	Mecánico	30 minutos
A	Chequeo estado del frame	Mecánico	30 minutos
A	Limpieza y engrase de mecanismos del frame	Mecánico	1 hora
A	Pruebas de tiempo	Mecánico y Operador	1 hora

Las tablas 15 a 18, agrupan el: Sistema de motor; Sistema hidráulico; Sistema eléctrico y Frame. En estas se detalla la actividad a desarrollar, la frecuencia establecida, el personal requerido y el tiempo de duración de cada tarea.







ACTIVIDAD	DÍAS																													
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14	Día 15	Día 16	Día 17	Día 18	Día 19	Día 20	Día 21	Día 22	Día 23	Día 24	Día 25	Día 26	Día 27	Día 28	Día 29	Día 30
Examinar y limpiar la válvula de polvo en filtro de aire		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X
Chequeo general del cableado (integridad física y continuidad)		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X
Pruebas de tiempo		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X
Chequeo estado del frame	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Limpieza y engrase de mecanismos del frame	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
Pruebas de tiempo	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	

**Figura 17.** Cronograma mensual de trabajos calcificación A (frecuencia 48 horas)

## Registros

A continuación, se indican los formatos (registros) que conforman el PMP.

**Tabla 19**

*Listado de formatos y registros del PMP*

Ítem	Descripción
1	Registro de revisión diaria
2	Registro de solicitud de mantenimiento
3	Registro histórico de mantenimiento preventivo

Esta serie de formatos y registros complementan el funcionamiento del plan de mantenimiento preventivo permitiendo que el mismo funcione de forma eficiente. En estos facilitarán el control de las actividades en los equipos, la elaboración de registros históricos de fallas y reparaciones, y demás información de interés para las labores de mantenimiento.



<b>REGISTRO DE SOLICITUD DE MANTENIMIENTO</b>																				
<b>Solicitante:</b> <b>Equipo</b>	<b>Fecha:</b> <b>Horometro:</b>	<b>Hora:</b>																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 33%; text-align: center;">Tipo de Mantenimiento</th> <th style="width: 33%; text-align: center;">Sistema</th> <th style="width: 33%; text-align: center;">Mano de Obra</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Preventivo <input style="width: 20px; height: 15px;" type="checkbox"/></td> <td>Motor <input style="width: 20px; height: 15px;" type="checkbox"/></td> <td>Personal propio <input style="width: 20px; height: 15px;" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Correctivo <input style="width: 20px; height: 15px;" type="checkbox"/></td> <td>Hidraulico <input style="width: 20px; height: 15px;" type="checkbox"/></td> <td>Personal externo <input style="width: 20px; height: 15px;" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Electrico <input style="width: 20px; height: 15px;" type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Frame <input style="width: 20px; height: 15px;" type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Otro: <input style="width: 20px; height: 15px;" type="checkbox"/></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Tipo de Mantenimiento	Sistema	Mano de Obra	Preventivo <input style="width: 20px; height: 15px;" type="checkbox"/>	Motor <input style="width: 20px; height: 15px;" type="checkbox"/>	Personal propio <input style="width: 20px; height: 15px;" type="checkbox"/>	Correctivo <input style="width: 20px; height: 15px;" type="checkbox"/>	Hidraulico <input style="width: 20px; height: 15px;" type="checkbox"/>	Personal externo <input style="width: 20px; height: 15px;" type="checkbox"/>		Electrico <input style="width: 20px; height: 15px;" type="checkbox"/>			Frame <input style="width: 20px; height: 15px;" type="checkbox"/>			Otro: <input style="width: 20px; height: 15px;" type="checkbox"/>			
Tipo de Mantenimiento	Sistema	Mano de Obra																		
Preventivo <input style="width: 20px; height: 15px;" type="checkbox"/>	Motor <input style="width: 20px; height: 15px;" type="checkbox"/>	Personal propio <input style="width: 20px; height: 15px;" type="checkbox"/>																		
Correctivo <input style="width: 20px; height: 15px;" type="checkbox"/>	Hidraulico <input style="width: 20px; height: 15px;" type="checkbox"/>	Personal externo <input style="width: 20px; height: 15px;" type="checkbox"/>																		
	Electrico <input style="width: 20px; height: 15px;" type="checkbox"/>																			
	Frame <input style="width: 20px; height: 15px;" type="checkbox"/>																			
	Otro: <input style="width: 20px; height: 15px;" type="checkbox"/>																			
<b>Diagnostico</b>	<b>Descripción del trabajo</b>																			
<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>	<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>																			
<b>Trabajos Realizados</b>																				
<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>																				
<b>Repuestos</b>																				
1 <hr/>	6 <hr/>	7 <hr/>																		
2 <hr/>	8 <hr/>	8 <hr/>																		
3 <hr/>	9 <hr/>	9 <hr/>																		
4 <hr/>	10 <hr/>	10 <hr/>																		
5 <hr/>																				
<b>Prueba</b>																				
Fecha: _____	Satisfactorio <input style="width: 20px; height: 15px;" type="checkbox"/>																			
Responsable: _____	No satisfactorio <input style="width: 20px; height: 15px;" type="checkbox"/>																			
<b>Observaciones</b>																				
<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>																				
<hr/> <b>Elaborado por:</b>		<hr/> <b>Aprobado por:</b>																		

**Figura 19.** Registro de solicitud de mantenimiento



## Mejora estimada con las herramientas de gestión de mantenimiento

Acorde con investigadores como Bravo y Castro (2012) y Espinoza (2018), la implementación de un programa o plan de mantenimiento preventivo reduce el índice de falla de los equipos entre un 40% y un 60%. Para efectos de estimación de esta investigación, se tomará la media de este rango, tomando como referencia una reducción del 50% en las fallas presentadas en equipos y sistemas.

Partiendo de esta premisa, se estimaron las fallas o eventos no deseados tanto por equipo como por sistema, así como, la reducción de las horas invertidas en labores de mantenimiento. La tabla 20 resume la estimación de la reducción de fallas por equipos.

**Tabla 20**  
*Eventos de fallas por equipos antes y después*

Equipo	Eventos por Equipo		
	Antes	Después	Reducción (%)
Pala Hidráulica 4	4	2	50%
Pala Hidráulica 6	2	1	50%
Pala Hidráulica 7	4	2	50%
Pala Hidráulica 8	1	1	0%
Pala Hidráulica 9	3	1	66.7%
Pala Hidráulica 10	5	3	40%
<b>Total</b>	<b>19</b>	<b>10</b>	<b>47.4%</b>

Como se puede observar, se estima una reducción de 19 fallas registradas en el periodo de estudio a 10 fallas, lo que representa una reducción del 47.4%. En el caso de la pala hidráulica 7, se mantuvo la posibilidad de la ocurrencia de una falla.

Seguidamente, se realizó la estimación de la reducción de las horas de mantenimiento tomando como referencia el valor de la reducción porcentual de la tabla 20.

**Tabla 21**

*Resumen tiempo global requerido para mantenimiento por equipo antes y después*

Equipo	Tiempo por Equipo		
	Antes (horas)	Después (horas)	Reducción (%)
Pala Hidráulica 4	35	17,5	50%
Pala Hidráulica 6	10	5	50%
Pala Hidráulica 7	71	35,5	50%
Pala Hidráulica 8	5	2,5	50%
Pala Hidráulica 9	20	10	50%
Pala Hidráulica 10	67	33,5	50%
<b>Total</b>	<b>208</b>	<b>104</b>	<b>50%</b>

Tal como se puede observar en la tabla 21, la reducción estimada resulta en un tiempo actual de mantenimiento de 104 horas en contraste de las 208 horas originales. Esto significa una reducción de 104 horas (50%) durante el periodo de estudio. Seguidamente, se presentó el escenario por sistema.

**Tabla 22**

*Eventos de fallas por sistema antes y después*

Equipo	Eventos por Sistema		
	Antes (horas)	Después (horas)	Reducción (%)
Eléctrico	7	4	42.9%
Frame	2	1	50%
Hidráulico	3	1	66.7%
Lubricación	5	3	40%
Motor	2	1	50%
<b>Total</b>	<b>19</b>	<b>10</b>	<b>47.4%</b>

Como se puede observar, se estima una reducción de 19 fallas registradas en el periodo de estudio a 10 fallas, lo que representa una reducción del 47.4%. Seguidamente, se realizó la estimación de la reducción de las horas de mantenimiento tomando como referencia el valor de la reducción porcentual de la tabla 22.

**Tabla 23**

*Resumen tiempo global requerido para mantenimiento por sistema antes y después*

Equipo	Eventos por Equipo		
	Antes	Después	Reducción (%)
Eléctrico	87	43,5	50%
Frame	15	7,5	50%
Hidráulico	22	11	50%
Lubricación	19	9,5	50%
Motor	65	32,5	50%
<b>Total</b>	<b>208</b>	<b>104</b>	<b>50%</b>

Tal como se puede observar en la tabla 23, la reducción estimada resulta en un tiempo actual de mantenimiento de 104 horas en contraste de las 208 horas originales. Esto significa una reducción de 104 horas (50%) durante el periodo de estudio.

Tomando como referencia los datos de las tablas 21 a 23 se calcularon nuevamente los indicadores de mantenimiento para el escenario estimado. Los resultados se presentan en las tablas 24 y 25.

**Tabla 24***Indicadores de mantenimiento actuales por equipo antes y después*

Equipo	MTBF		MTTR		Disponibilidad	
	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Pala 10	61,60	102,67	13,40	11,17	78,25%	89,12%
Pala 4	77,00	154,00	8,75	8,75	88,64%	94,32%
Pala 6	154,00	308,00	5,00	5,00	96,75%	98,38%
Pala 7	77,00	154,00	17,75	17,75	76,95%	88,47%
Pala 8	308,00	308,00	5,00	2,50	98,38%	99,19%
Pala 9	102,67	308,00	6,67	10,00	93,51%	96,75%

**Tabla 25***Indicadores de mantenimiento actuales por sistema antes y después*

Equipo	MTBF		MTTR		Disponibilidad	
	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
Eléctrico	44,00	77,00	12,43	10,88	71,75%	85,88%
Frame	154,00	308,00	7,50	7,50	95,13%	97,56%
Hidráulico	102,67	308,00	7,33	11,00	92,86%	96,43%
Lubricación	61,60	102,67	3,80	3,17	93,83%	96,92%
Motor	154,00	308,00	32,50	32,50	78,90%	89,45

Como se puede observar de las tablas 24 y 25, tanto en la consideración por equipos como por sistemas, se mejoró el desempeño del MTTR, MTBF y disponibilidad. En los equipos, se alcanzó una disponibilidad mínima del 88.47% (pala 7) y de 89.12% (pala 10), mientras que, el resto de los equipos superaron la media del 90%. Con respecto a los sistemas, se alcanzó una disponibilidad mínima del 85.88% (sistema eléctrico) y de 89.45% (motor), mientras que, el resto de los sistemas superaron la media del 90%

En referencia a los indicadores de costos de mantenimiento, la propuesta del plan de mantenimiento preventivo incrementa el gasto mensual en trabajos rutinarios de prevención y revisión de la maquinaria, sin embargo, estos trabajos resultaron en una disminución de las fallas y de los requerimientos de trabajos correctivos. Se estima una reducción del 50% en los costos de los trabajos correctivos.

**Tabla 26**

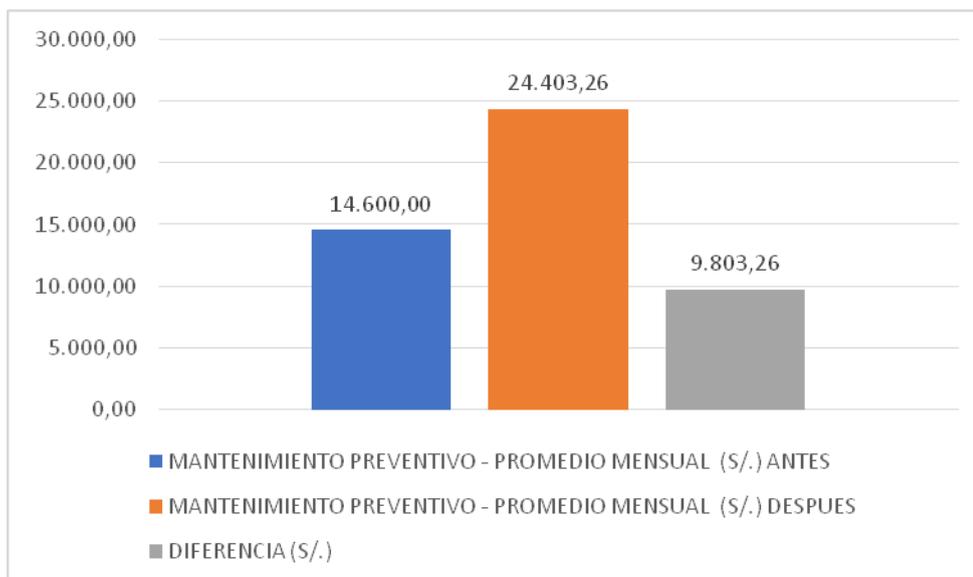
*Indicadores de costos mantenimiento mensuales antes y después*

Ítem	Equipo	Moneda	Valor (antes)	Valor (después)	Variación
A	Costo de mantenimiento correctivo	S/.	49,200.00	24,600.00	50%
B	Costo de mantenimiento preventivo	S/.	14,600.00	24,403.26	67.1%
C	Costo de mantenimiento (A+B)	S/.	63,800.00	49,003.26	23.2%

*Nota:* ver anexo 1 para estimado de costo de mantenimiento preventivo.

Tal como se puede apreciar en la tabla 26, con el incremento de las actividades y costos del mantenimiento preventivo, se estima la reducción del costo de los mantenimientos correctivos, antes tasados en S/. 49,200.00 y con la mejora se espera un gasto de S/. 24,600.00. De manera que, aunque se incrementa el costo de las tareas preventivas, el costo general del mantenimiento mensual disminuye en un 23.2%. Por lo tanto, se requiere incluir S/. 117,639.12 por año al presupuesto actual de mantenimiento preventivo para la puesta en marcha del plan de mantenimiento preventivo.

Por otro lado, al observar con detalle el costo global del mantenimiento tenemos.



**Figura 21.** Comparación de costo de mantenimiento preventivo antes y después

Tal como se puede observar de la figura 21, la relación de los costos del antes y después de la propuesta arroja una diferencia mensual de S/. 9,803.26, lo que representa un costo de oportunidad por concepto de ahorro al disminuir los trabajos correctivos. Para un año se estima un ahorro en los costos de mantenimiento de S/.177,560.88 por año.

### Evaluación costo-beneficio

La evaluación económica se realizó bajo las siguientes premisas:

- Horizonte de la evaluación de 3 años.
- Tasa de descuento del 10%.
- Inversión inicial de S/.117,639.12, que corresponde, el requerimiento presupuestario adicional para incrementar el presupuesto de mantenimiento preventivo actual.
- Costos recurrente año 2 y 3 de S/. 117,639.12
- Beneficio de S/.177,560.88, correspondiente a, el costo de oportunidad o ahorro mensual por la disminución del costo de mantenimiento correctivo.
- Indicadores considerados: Valor presente neto (VPN); Tasa interna de retorno (TIR) y; Índice costo-beneficio (IR).

**Tabla 27**  
*Flujo de caja*

<b>Descripción</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>
Inversión inicial (S/.)	117,639.12			
Costo (S/.)		117,639.12	117,639.12	117,639.12
Beneficio (S/.)		177,560.88	177,560.88	177,560.88
Flujo de caja (S/.)	-117,639.12	59,921.76	59,921.76	59,921.76

Como se puede observar en la tabla 27, el flujo de caja para el horizonte evaluado es positivo durante todos los 3 años. Con esta información se obtuvieron los siguientes resultados.

- VPN = S/. 149,016.55
- TIR = 24.6%
- IR = S/. 1.27

Los resultados de la evaluación costo-beneficio arrojan que el plan de mantenimiento preventivo es factible económicamente, ya que, el VPN es mayor a 0 (S/. 149,016.55), la TIR (24.6%) supera la tasa de descuento del 10% y el IR obtenido indica que por cada Nuevo Sol invertido se obtiene S/.0.27 de beneficio.

### **3.2. Discusión de resultados.**

Para el desarrollo de esta investigación, la mayor limitación estuvo representada por la falta de registros detallados de mantenimiento, de manera que, se pudiera evaluar de forma más estructurada el comportamiento de las fallas de los equipos y de sus sistemas por un periodo de tiempo más amplio (6 meses o 1 año). Se contó datos sobre fallas y mantenimientos para las semanas 1 y 2 de mayo 2021.

Dentro de los hallazgos de la investigación se determinó que el equipo con mayor criticidad y fallas sería la pala 7 por sus elevados ratios detectados y

que todos los equipos evaluados presentaron al menos una falla o evento no deseado dentro del periodo de estudio, en un rango de 1 a 5 fallas (ver figura 1) siendo las palas 4, 7, 9 y 10 las que agrupan el 84.2% de los problemas (ver figura 2). Por su parte, los sistemas que más fallas presentaron fueron el eléctrico, hidráulico y de lubricación, los cuales, como se puede ver en la figura 6 agruparon el 78.9% de las fallas presentadas con un total de 15 entre los tres (ver figura 5). En total, motivado a los eventos registrados se emplearon un total de 85 horas para labores de mantenimiento correctivo para los 6 equipos (ver tabla 5). En total, motivado a los eventos registrados se emplearon un total de 208 horas para labores de mantenimiento correctivo para los 6 equipos (ver tabla 5).

Los indicadores de mantenimiento de los equipos mostraron (ver tabla 9) que el MTBF está entre un rango de 61.60 horas (pala 10) a 308 horas (pala 8), el MTTR está entre 5 horas (palas 6 y 8) a 17.75 horas (pala 7), dando como resultado que, dos de los equipos lograron una disponibilidad menor al 85% (pala 7 con 78.25% y 10 con 76.95%) mientras que el resto superó el 85% de disponibilidad. Por sistema (ver tabla 11), que el MTBF está entre un rango de 44 horas (sistema eléctrico) a 154 horas (motor y frame), el MTTR está entre 3.8 horas (lubricación) a 32.50 horas (motor), dando como resultado que, dos de los sistemas lograron una disponibilidad menor al 85% (sistema eléctrico 71.75% y motor 78.90%) mientras que el resto superó el 85% de disponibilidad. Desde la perspectiva del costo de mantenimiento (ver tabla 12), los trabajos preventivos actualmente están en el orden de S/.14.600.00 y los correctivos en S/.49,200.00

Estos resultados se asemejan a los encontrados por Shibarov et al. (2020) o Drygin y Kuryshkin (2018), quienes en sus investigaciones encontraron que la carencia o debilidad de los trabajos de mantenimiento preventivo afecta en gran medida las horas de trabajo de los equipos y por ende la disponibilidad. Esto implica que, una planificación y estrategias inadecuadas para mantener las condiciones de trabajo óptimas de los equipos según el desempeño histórico de los mismos y según las recomendaciones del fabricante, genera una mayor ocurrencia de fallas espontáneas, así como, de los costos de reparación.

El diseño de estrategias de mantenimiento preventivo con base al diagnóstico inicial y literatura técnica (especializada y del fabricante) resultó en el esquema mostrado en la figura 12, el cual, tendrá una rutina diaria de verificación de los equipos (ver figura 13) que servirá para garantizar el cumplimiento de los cronogramas de mantenimiento preventivo, detectar problemas y asegurar la integridad y funcionamiento de las máquinas según. Los cronogramas se estructuraron por sistema (figura 14 a 17). Igualmente, se diseñaron unos registros de mantenimiento (ver figuras 18 a 20), con lo cual, operadores y mantenedores podrán atender efectivamente los equipos. En contraste con los resultados de Ranjan, Agrawal y Mishra (2020) y Auda (2019), se encuentran semejanza dado que ambos autores tanto el cronograma de mantenimiento como una hoja de ruta para la verificación periódica de los equipos pesados son elementos claves dentro de la gestión de mantenimiento de manera efectiva. Esto implica que, las herramientas diseñadas (cronograma y registros de mantenimiento) serán útiles para el personal y su misión de mantener en óptimas condiciones las palas hidráulicas y disminuir e incrementar las horas de trabajo de las mismas de manera segura.

En cuanto a las mejoras estimadas (ver tablas 19, 20, 21 y 22), se proyecta reducir de un resultado global de las 6 palas desde 19 fallas por equipo/sistema hasta 10 fallas (reducción del 47.4%), disminución de las horas de mantenimiento por equipo/sistema de 208 a 104 (reducción del 50%). En cuanto a los indicadores de mantenimiento (ver tablas 23 y 24), se estima incrementar el desempeño de las palas 7 y 10 a una disponibilidad de 88.47% y 89.12% respectivamente, así como, el sistema eléctrico y motor a 85.88% y 89.45% respectivamente, con lo cual, todos los equipo/sistema superarán la marca del 85% de disponibilidad al mejorar sus condiciones operacionales y disminuir la probabilidad de paros y ocurrencia de fallas inesperadas. Por su parte, los indicadores de costo muestran qué (ver tabla 25) los trabajos de mantenimiento preventivo incrementaron su valor S/.14,600 a S/.24,403.26, mientras que, los trabajos correctivos disminuirán desde S/. 49,200.00 a S/.24,600.00. Por esta razón, el costo de mantenimiento (preventivo + correctivo) disminuirá de forma

global en un 23.2% representando un ahorro mensual de S/. 14,796.74 por concepto de trabajos de mantenimiento.

Al comparar estos resultados con los hallazgos de Palomino-Valles et al. (2020) y Drygin y Kuryshkin (2018) se encuentra coincidencia en la mejora de la disponibilidad y de los indicadores de mantenimiento en general, ya que, los autores lograron mejorar la disponibilidad desde 61% hasta 81% porque estas iniciativas preventivas pueden disminuir hasta en un 44% la ocurrencia eventos no deseados. Igualmente, en el apartado de costos, estos investigadores y otros como Clement y Kemkom (2019) logran mejorar este escenario, porque, al reducir las fallas con planes preventivos mejoran el costo de propiedad de los equipos y se alcanzan ahorros mensuales en la gestión de mantenimiento. Esto implica que, una gestión de mantenimiento con filosofía preventiva, aunque requiere de una inversión y costos de operación mensual, resulta en el corto y largo plazo beneficio al mejorar los indicadores de mantenimiento de los equipos pesados y al presentar costos de oportunidad en la forma de ahorros en los trabajos correctivos.

### **3.3. Aporte práctico.**

El aporte práctico de la presente investigación va centrado en motivar al personal a lograr considerar la importancia necesaria a controlar los costos, tomando las medidas necesarias para minimizar las fallas, lo cual se traduce en una disminución de los costos por mantenimiento, lo cual implica un cumplimiento de la planificación del mantenimiento de los equipos ya que esto garantiza su vida útil.

## IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones.

- Como se puede observar en el estudio el equipo con mayor criticidad encontrado según el análisis de criticidad y los cálculos de los valores tomados en la operación fue la pala 7 ya que es un equipo prioritario y que presenta constantes fallas.
- La situación actual de la flota pesada conformada por excavadoras y palas hidráulicas Hitachi (2 modelo Ex-5500 y 4 palas modelo Ex-2500), evidencia que, equipos como la pala 10 (78.25%) y la pala 7 (76.95%) presentan una disponibilidad menor a 80%, siendo los problemas en el sistema eléctrico y motor los mayores detonantes de esta situación.
- El uso de una rutina de revisión diaria siguiendo los pasos del diagrama de flujo del proceso de mantenimiento preventivo, así como, del registro de revisión diaria facilitan las labores de las tareas preventivas al indicar al responsable de la inspección de los equipos, los aspectos específicos a considerar para determinar si un equipo es apto para operar o no. Adicionalmente, el seguimiento del cronograma de mantenimiento preventivo servirá para garantizar/prolongar la vida útil de los equipos.
- A través del plan de mantenimiento propuesto, se estima una reducción de las fallas de hasta un 50%, lo cual, mejorará todos los indicadores de mantenimiento preventivo reflejándose en un incremento de la disponibilidad, en la cual, todos los equipos estarán sobre el 85% y la mayoría (4 de 6) sobre el 90%.
- Por medio de una inversión inicial de S/. 117,639.12 y recurrente por el mismo monto en los años recurrentes para la implantación de la propuesta, se logra obtener un flujo de caja neto de S/. 59,921.76 durante el horizonte de 3 años propuesto para la evaluación económica, determinando que el proyecto es económicamente

factible con un VPN de S/. 149,016.55, una TIR de 24.6% y un IR de S/. 1.27

#### **4.2. Recomendaciones.**

- La puesta en marcha del plan de mantenimiento preventivo para la atención de las excavadoras y palas hidráulicas Hitachi (2 modelo Ex-5500 y 4 palas modelo Ex-2500) y su extensión al resto de la maquinaria pesada.
- Cumplir de manera rigurosa con el proceso de revisión diaria y con las tareas mostradas en el cronograma de mantenimiento preventivo.
- Fomentar una cultura de mantenimiento preventivo y preservación de la maquinaria y equipos con todo el personal de la empresa.
- Diseñar un plan de formación que sirva para preparar al personal para las tareas de mantenimiento preventivo y que incluya aspectos relacionados a la productividad (5S's, diseño de layout, otros) enfocados en el éxito del plan de mantenimiento preventivo.

## REFERENCIAS.

- Adreeva, L., & Krasnikova, T. (2020). Integral estimation of the activity of the maintenance department of the mining company. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1-8.
- Alberti, A. (2020). Desafíos y Soluciones en el Mantenimiento de Equipos de Minería. Obtenido de: <https://www.alsglobal.com/es-co/news/articulos/2020/08/lines-and-solutions-in-the-maintenance-of-mining-equipment>.
- Auda, S. (2019). The Analysis of Doosan S500-LCV Excavator Maintenance Planning to Reduce Downtime Using Reliability Centered Maintenance (RCM) Method. Journal of Proceedings Series, 333-338.
- Borjas, M. (2012). Metodología de la Investigación científica para ingenieros. México.
- Bravo, H., & Castro, L. (2012). Plan de Mantenimiento Preventivo de Maquinaria Pesada de la Empresa INSER SAS. Cartagena de Indias: Universidad Tecnológica de Bolívar.
- Bulakina, E., Nedzelskaya, O., Bikineeva, A., Moiseev, V., Pochufarov, D., & Ketov, A. (2021). Management of maintenance service and repair of heavy-duty mining equipment during its adaptation to the working conditions by the company Minetech Machinery LLC, official dealer of HITACHI. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1-7.
- Castañeda, J., & Gonzáles, K. (2016). Plan de mejora para reducir los costos en la gestión de mantenimiento de la empresa Transportes Chiclayo. Chiclayo - Perú: Universidad Señor de Sipán.
- Clement, E., & Kemkom, A. (2019). Using Diagnosis and Life Cycle Cost to Improve Reliability of An Excavator. European Journal of Engineering Research and Science, 21-26.
- Drygin, M., & Kuryshkin, N. (2018). Diagnostics of heavy mining equipment during the scheduled preventive maintenance. Journal of Physics: Conference Series, 1-8.

- Espinoza, C. (2018). Implementación de un Plan de Mantenimiento Preventivo para la Maquinaria Pesada de la Municipalidad Distrito Curahuasi. Lima: Universidad Tecnológica del Perú.
- García, S. (2019). Manual del jefe de Mantenimiento. Obtenido de Renovotec: <http://mantenimiento.renovotec.com/plan-de-mantenimiento>
- Gazbon, E., & Berrio, J. (2009). Implementación de un programa de mantenimiento preventivo "Inline Maintenance" para maquinaria pesada (Retroexcavadoras y motoniveladoras). Cartagena de Indias: Universidad Tecnológica Bolívar.
- Guerra-López, E., & Oca-Risco, A. (2019). Relación entre la productividad, el mantenimiento y el reemplazo del equipamiento minero en la gran minería. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 14-21.
- Grobot, B. (2020). Rule mining in maintenance: Analyzing large knowledge bases. *Computers & Industrial Engineering*, 1-15.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la Investigación (2 ED. ed.). DF, México: Mc. Graw Hill.
- Hernández, V., Castellent, L., & Hernández, F. (2020). Preventive maintenance versus cost of repairs in asset management: An efficiency analysis in wastewater treatment plants. *Process Safety and Environmental Protection*, 215-221.
- Kumar, H., Choudhary, R., & Murthy, C. (2019). Failure rate and reliability of the KOMATSU hydraulic excavator in surface limestone mine. *Advances in Mechanical Design, Materials and Manufacture*, 1-11
- Holguín, G. (2018). Propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento para reducir los costos de la empresa transporte los Titos Paz S.A.C. Trujillo - Perú: Universidad Privada del Norte.
- Integra Markets. (2017). Gestión y planificación del mantenimiento industrial. Integra Markets.
- Jiménez, H., Rodríguez, R., & Tiparra, J. (1978). Diagnóstico de TEA. Madrid: Latino América SA.
- Lazarevic, Z., Arandelovic, I., & Kirin, S. (2018). The Reliability of Bucket Wheel Excavator - Review of Random Mechanical Failures. *Tehnicki Vjesnik*, 1254-1269

- León, M. (2020). Propuesta de mejora en la gestión de mantenimiento y aplicación de herramientas logística y de gestión de procesos para reducir los costos operacionales en el área de mantenimiento de la empresa Servicios Santa Gabriela S.A.C. Trujillo - Perú: Universidad Privada del Norte.
- Martínez, N., & Osorio, J. (2018). Gestión de inventarios de repuestos considerando el riesgo. *Espacios*, 29 - 41.
- Mejía, I., Ramírez, R., Jiménez, H., & Rosas, J. (2019). A new method for an architecture enterprise. *Conference IEEE business*, 200-215.
- Mejía, I., Tuesta, M., & Forero, M. (2020). A new method of enterprise architecture small organizations. *Computer Science Technology*, 150-170.
- Meza, L. (2020). Plan de mantenimiento preventivo apoyado en el RCM para mejorar el rendimiento de disponibilidad mecánica maquinaria pesada excavadora CAT 336 – Compañía Minera Raura S. A. 2019. Huancayo: Universidad Continental.
- Palma, J., & Marín, R. (2008). *Inteligencia Artificial*. Madrid: McGrawHill. doi:978-84-481-5618-3
- Rojas, G. (2021). Modelo de gestión de almacén para disminuir los costos de almacenamiento en la empresa Abengoa Perú S.A. Pimentel - Perú: Universidad de Sipán.
- Palomino-Valles, A., Tokumori-Wong, M., Castro-Rangel, P., Raymundo-Ibáñez, C., & Domínguez, P. (2020). TPM Maintenance Management Model Focused on Reliability that Enables the Increase of the Availability of Heavy equipment in the Construction Sector. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 796 012008, 1-11.
- Poor, P., Zenísek, D., & Basl, J. (2019). Historical Overview of Maintenance Management Strategies: Development from Breakdown Maintenance to Predictive Maintenance in Accordance with Four Industrial Revolutions. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 495-504.
- Repin, S., Maximov, S., Zazykin, A., & Voropaev, N. (2020). Development of strategy for ensuring operability of transport and technological machines. *E3S Web of Conferences*, 1-11.

- Rojas, K. (2018). Identificación de efectos negativos de la TEA en el aprendizaje. IEEE conference Technology children special, 200-215.
- Serrano, G. (2020). Gestión de Mantenimiento. Obtenido de Predictiva 21: <https://predictiva21.com/gestion-del-mantenimiento/>
- Shibanov, D., Ivanov, S., Safronchuk, K., & Knyazkina, V. (2020). Adapting standard maintenance approaches for mining Adapting standard maintenance approaches for mining. 15th International Conference on Industrial Manufacturing and Metallurgy, 1-6.
- Sznajdleder, P. (2012). Java a fondo - estudio del lenguaje y desarrollo de aplicaciones - 2a ed. México: Alfaomega.
- Tavares, L. (2015). Administración Moderna de Mantenimiento. Brasil.
- Verano, V. (2021). Costos de Mantenimiento y paradas de planta. Colombia.
- Vilchez, P. (2017). Reparación o mantenimiento es costo o gasto según las NIIF. Revista asesoría especializada, 1 - 4.
- Wenting, L., Qingliang, Z., Lirong, W., Jinxia, L., & Hanzheng, D. (2022). Reliability Importance Measures considering Performance and Costs of Mechanical Hydraulic System for Hydraulic Excavators. Journal of Sensors, 1-13.
- Zeng, Q., Liu, W., Wan, L., Wang, C., & Gao, K. (2020). Maintenance Strategy Based on Reliability Analysis and FMEA: A Case Study for Hydraulic Cylinders of Traditional Excavators with ERRS. Mathematical Problems in Engineering, 1-12.

## ANEXOS.

### Anexo 1. Resolución de aprobación del proyecto de investigación



#### FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO

#### RESOLUCIÓN N°0136-2022/FIAU-USS

Pimentel, 30 de marzo 2022

#### VISTO:

El Acta de reunión N°2203-2022, remitida mediante Mensaje de correo electrónico de fecha 24 de marzo de 2022, para la ejecución de la Tesis: "**GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA REDUCIR COSTOS POR PARADAS NO PLANIFICADAS EN LA FLOTA DE PALAS HIDRÁULICAS HITACHI EN MINERÍA SUPERFICIAL EN MINERA YANACocha 2021**", presentado por **PRADO LOPEZ JOHN BROOKLYN**, y;

#### CONSIDERANDO:

Que, de conformidad con la ley universitaria N° 30220 en su artículo 48° a letra dice: "La investigación constituye una función esencial y obligatoria de la universidad, que la fomenta y realiza, respondiendo a través de la producción de conocimiento y desarrollo de tecnologías a las necesidades de la sociedad, con especial énfasis en la realidad nacional. Los docentes, estudiantes y graduados participan en la actividad investigadora en su propia institución o en redes de investigación nacional o internacional creadas, por las instituciones universitarias públicas o privadas.";

Que, de conformidad con el Reglamento de investigación, en su artículo 34° a la letra dice: "El asesor del proyecto de investigación y del trabajo de investigación es designado mediante Resolución de Facultad".

Que, mediante documento de vistos el Comité de investigación de la Escuela profesional de INGENIERÍA INDUSTRIAL, acuerda proponer a **DR. VASQUEZ CORONADO MANUEL HUMBERTO** como Asesor especialista de la Tesis "**GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA REDUCIR COSTOS POR PARADAS NO PLANIFICADAS EN LA FLOTA DE PALAS HIDRÁULICAS HITACHI EN MINERÍA SUPERFICIAL EN MINERA YANACocha 2021**" presentado por **PRADO LOPEZ JOHN BROOKLYN**, en condición de egresado (s) del Programa de estudios de INGENIERÍA INDUSTRIAL.

Que, mediante Resolución de Facultad N°0135-2022/FIAU-USS se aprueba el tema de la Tesis en referencia.

Estando a lo expuesto, y en uso de las atribuciones conferidas y de conformidad con las normas y reglamentos vigentes;

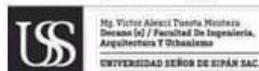
#### SE RESUELVE:

**ARTÍCULO 1°: DESIGNAR**, al docente **DR. VASQUEZ CORONADO MANUEL HUMBERTO**, como Asesor especialista de la Tesis: "**GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA REDUCIR COSTOS POR PARADAS NO PLANIFICADAS EN LA FLOTA DE PALAS HIDRÁULICAS HITACHI EN MINERÍA SUPERFICIAL EN MINERA YANACocha 2021**", presentado por el (los) tesista(s) **PRADO LOPEZ JOHN BROOKLYN**, egresado(a) del Programa de estudios de INGENIERÍA INDUSTRIAL.

**ARTÍCULO 2°: DISPONER**, que el Asesor especialista de la Tesis, así como el (los) aspirante(s) al Título profesional, deberán ajustarse a lo normado en el Reglamento de Grados y Títulos de la USS.

**ARTÍCULO 3°: DEJAR SIN EFECTO**, toda Resolución emitida por la Facultad que se oponga a la presente Resolución.

#### REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



Cc: Interesado, Escuela profesional

## Anexo 2. Carta de aceptación de la institución para la recolección de datos



**Carta N° 04 – 2022 RI&G- AAEE**

**Cajamarca, 04 de abril del 2022**

**Señor:**  
**Victor Tuesta Monteza**  
**Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Industrial**  
**Universidad Señor de Sipán S.A.C**  
**Presente.-**

De nuestra consideración:

Sirva la presente para saludarlo y manifestarle nuestro agradecimiento a nombre de Newmont Yanacocha por habernos considerado como una opción para el desarrollo y crecimiento profesional de sus estudiantes.

Asimismo, confirmamos que nuestra representada ha decidido aceptar el desarrollo del tema de tesis: "Gestión de mantenimiento para reducir costos por paradas no planificadas en la flota de palas hidráulicas en minería superficial en Minería Yanacocha 2021", que investigará el Bachiller de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Señor de Sipán:

- John Brooklyn Prado López identificado con DNI 41694816

La información brindada para la elaboración de la tesis debe ser considerada estrictamente para fines académicos, debiéndose guardar la reserva correspondiente, excepto durante y sólo para el acto público de sustentación. Adjunto formato de confidencialidad para la firma respectiva del estudiante.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para expresarle mis sentimientos de especial consideración y estima.

Atentamente,

**Nahil Hirsh Carrillo**  
**Gerente Senior de Políticas Públicas**  
**y Asuntos Gubernamentales**

### Anexo 3. Análisis de Precios Unitarios del Mantenimiento Preventivo

<b>MOTOR</b>				
<b>CAMBIO DE ACEITE Y FILTRO</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (S/.)</b>	<b>Valor Total (S/.)</b>
Mano de obra	Hora	1,00	13,44	13,44
Aceite 15W40	Galón	6,20	56,00	347,20
Filtro	Unidad	1,00	22,40	22,40
Total				383,04
<b>TOMA DE MUESTRA DE ACEITE</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (S/.)</b>	<b>Valor Total (S/.)</b>
Mano de obra	Hora	0,25	13,44	3,36
Total				3,36
<b>CAMBIO DE ELEMENTO FILTRANTE - AIRE EXTERNO</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (S/.)</b>	<b>Valor Total (S/.)</b>
Mano de obra	Hora	1,00	13,44	13,44
Filtro	Unidad	1,00	33,60	33,60
Total				47,04
<b>CAMBIO DE ELEMENTO FILTRANTE - AIRE INTERNO</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (S/.)</b>	<b>Valor Total (S/.)</b>
Mano de obra	Hora	1,00	13,44	13,44
Filtro	Unidad	1,00	33,60	33,60
Total				47,04
<b>REVISIÓN Y LIMPIEZA DE VÁLVULA DE POLVO EN FILTRO DE AIRE</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (S/.)</b>	<b>Valor Total (S/.)</b>
Mano de obra	Hora	0,50	15,68	7,84
Total				7,84
<b>CAMBIO DE REFRIGERANTE</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (S/.)</b>	<b>Valor Total (S/.)</b>
Mano de obra	Hora	1,00	13,44	13,44
Refrigerante	Galón	5,00	67,20	336,00
Total				349,44
<b>CAMBIO DE FILTRO DE COMBUSTIBLE (BOMBA)</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (S/.)</b>	<b>Valor Total (S/.)</b>
Mano de obra	Hora	1,00	13,44	13,44
Filtro	Unidad	1,00	448,00	448,00
Total				461,44

<b>CAMBIO DE FILTRO DE COMBUSTIBLE (PRIMARIO)</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (S/.)</b>	<b>Valor Total (S/.)</b>
Mano de obra	Hora	1,00	13,44	13,44
Filtro	Unidad	1,00	56,00	56,00
Total				69,44
<b>CHEQUEO DE CORREA DE VENTILADOR (ESTADO Y TENSIÓN)</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (S/.)</b>	<b>Valor Total (S/.)</b>
Mano de obra	Hora	0,50	13,44	6,72
Total				6,72
<b>CHEQUEO Y AJUSTE DE VÁLVULAS</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (S/.)</b>	<b>Valor Total (S/.)</b>
Mano de obra	Hora	2,00	13,44	26,88
Total				26,88
<b>CHEQUEO Y AJUSTE DE TORNILLOS</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (S/.)</b>	<b>Valor Total (S/.)</b>
Mano de obra	Hora	1,00	13,44	13,44
Total				13,44
<b>CHEQUEO Y AJUSTE DE SISTEMA DE ESCAPE</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (S/.)</b>	<b>Valor Total (S/.)</b>
Mano de obra	Hora	0,50	13,44	6,72
Total				6,72
<b>CHEQUEO Y LIMPIEZA DE RADIADOR</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (S/.)</b>	<b>Valor Total (S/.)</b>
Mano de obra	Hora	8,00	13,44	107,52
Mano de obra (Contratista)	Hora	8,00	31,36	250,88
Consumibles e insumos	SG	1,00	28,00	28,00
Total				386,40

<b>SISTEMA HIDRAULICO</b>				
<b>TOMA DE MUESTRA DE ACEITE</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (S/.)</b>	<b>Valor Total (S/.)</b>
Mano de obra	Hora	0,25	13,44	3,36
Total				3,36

<b>CAMBIO DE ACEITE Y FILTRO</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (S/.)</b>	<b>Valor Total (S/.)</b>
Mano de obra	Hora	3,00	13,44	40,32
Aceite 68	Galón	4,00	89,60	358,40
Filtro	Unidad	1,00	28,00	28,00
Total				426,72
<b>CAMBIO DE ELEMENTO FILTRANTE - SERVO</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (S/.)</b>	<b>Valor Total (S/.)</b>
Mano de obra	Hora	0,50	13,44	6,72
Filtro	Unidad	1,00	28,00	28,00
Total				34,72
<b>CAMBIO DE ELEMENTO FILTRANTE - RETORNO</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (S/.)</b>	<b>Valor Total (S/.)</b>
Mano de obra	Hora	0,50	13,44	6,72
Filtro	Unidad	1,00	44,80	44,80
Total				51,52
<b>CAMBIO DE ELEMENTO FILTRANTE - DRENAJE</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (S/.)</b>	<b>Valor Total (S/.)</b>
Mano de obra	Hora	0,50	13,44	6,72
Filtro	Unidad	1,00	28,00	28,00
Total				34,72
<b>CAMBIO DE ELEMENTO FILTRANTE - PRE ASPIRACIÓN</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (S/.)</b>	<b>Valor Total (S/.)</b>
Mano de obra	Hora	0,50	13,44	6,72
Filtro	Unidad	1,00	28,00	28,00
Total				34,72
<b>CHEQUEO DE ESTADO DE CILINDROS</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (S/.)</b>	<b>Valor Total (S/.)</b>
Mano de obra	Hora	0,50	13,44	6,72
Total				6,72
<b>LIMPIEZA DE REFRIGERADOR DE ACEITE</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (S/.)</b>	<b>Valor Total (S/.)</b>
Mano de obra	Hora	1,00	13,44	13,44
Consumibles e insumos	SG	1,00	28,00	28,00
Total				41,44
<b>LIMPIEZA DE DEPÓSITO DE AGUA</b>				

Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (S/.)	Valor Total (S/.)
Mano de obra	Hora	1,00	13,44	13,44
Consumibles e insumos	SG	1,00	28,00	28,00
Total				41,44
CHEQUEO DE RESPIRADERO DEL DEPÓSITO HIDRÁULICO				
Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (S/.)	Valor Total (S/.)
Mano de obra	Hora	0,50	13,44	6,72
Total				6,72
CAMBIO DE MANGUERA DE SALIDA (LÍNEA DE LA BOMBA)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (S/.)	Valor Total (S/.)
Mano de obra	Hora	0,50	13,44	6,72
Manguera	Unidad	1,00	672,00	672,00
Total				678,72
CAMBIO DE MANGUERA DE SALIDA (LÍNEA DEL BALANCÍN)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (S/.)	Valor Total (S/.)
Mano de obra	Hora	0,50	13,44	6,72
Manguera	Unidad	1,00	504,00	504,00
Total				510,72
CAMBIO DE MANGUERA DE SALIDA (LÍNEA DE CAZO)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (S/.)	Valor Total (S/.)
Mano de obra	Hora	0,50	13,44	6,72
Manguera	Unidad	1,00	504,00	504,00
Total				510,72
CAMBIO DE MANGUERA DE SALIDA (PLUMA)				
Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (S/.)	Valor Total (S/.)
Mano de obra	Hora	0,50	13,44	6,72
Manguera	Unidad	1,00	504,00	504,00
Total				510,72

SISTEMA ELÉCTRICO				
CHEQUEO DE NIVEL DE ELECTROLITO DE LA BATERÍA				
Descripción	Unidad	Cantidad	Valor Unitario (S/.)	Valor Total (S/.)
Mano de obra	Hora	0,25	13,44	3,36
Agua desmineralizada	Litro	0,25	5,60	1,40
Total				4,76

<b>CHEQUEO GENERAL DEL CABLEADO (CONTINUIDAD E INTEGRIDAD)</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (S/.)</b>	<b>Valor Total (S/.)</b>
Mano de obra	Hora	1,00	13,44	13,44
Mano de obra (Contratista)	Hora	1,00	31,36	31,36
Total				44,80
<b>PRUEBAS DE TIEMPO</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (S/.)</b>	<b>Valor Total (S/.)</b>
Mano de obra	Hora	1,00	13,44	13,44
Mano de obra (Operador)	Hora	1,00	23,52	23,52
Total				36,96

<b>FRAME</b>				
<b>CHEQUEO DE PINTURA</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (S/.)</b>	<b>Valor Total (S/.)</b>
Mano de obra	Hora	0,50	13,44	6,72
Total				6,72
<b>CHEQUEO DE ESTADO DEL FRAME</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (S/.)</b>	<b>Valor Total (S/.)</b>
Mano de obra	Hora	0,50	13,44	6,72
Total				6,72
<b>LIMPIEZA Y ENGRASE DE MECANISMOS DEL FRAME</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (S/.)</b>	<b>Valor Total (S/.)</b>
Mano de obra	Hora	1,00	13,44	13,44
Consumibles e insumos	SG	1,00	28,00	28,00
Total				41,44
<b>PRUEBAS DE TIEMPO</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (S/.)</b>	<b>Valor Total (S/.)</b>
Mano de obra	Hora	1,00	13,44	13,44
Mano de obra (Operador)	Hora	1,00	23,52	23,52
Total				36,96

#### Anexo 4. Resumen de Costos del Mantenimiento Preventivo

ÍTE M	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO (S./.)	FRECUENCIA	EQUIPOS	VALOR TOTAL (S./.)
<b>MOTOR</b>					
1	CAMBIO DE ACEITE Y FILTRO	383,04	9,00	6,00	20.684,16
2	TOMA DE MUESTRA DE ACEITE	3,36	4,00	6,00	80,64
3	CAMBIO DE ELEMENTO FILTRANTE - AIRE EXTERNO	47,04	9,00	6,00	2.540,16
4	CAMBIO DE ELEMENTO FILTRANTE - AIRE INTERNO	47,04	4,00	6,00	1.128,96
5	REVISIÓN Y LIMPIEZA DE VÁLVULA DE POLVO EN FILTRO DE AIRE	7,84	180,00	6,00	8.467,20
6	CAMBIO DE REFRIGERANTE	349,44	1,00	6,00	2.096,64
7	CAMBIO DE FILTRO DE COMBUSTIBLE (BOMBA)	461,44	9,00	6,00	24.917,76
8	CAMBIO DE FILTRO DE COMBUSTIBLE (PRIMARIO)	69,44	9,00	6,00	3.749,76
9	CHEQUEO DE CORREA DE VENTILADOR (ESTADO Y TENSIÓN)	6,72	9,00	6,00	362,88
10	CHEQUEO Y AJUSTE DE VÁLVULAS	26,88	9,00	6,00	1.451,52
11	CHEQUEO Y AJUSTE DE TORNILLOS	13,44	4,00	6,00	322,56
12	CHEQUEO Y AJUSTE DE SISTEMA DE ESCAPE	6,72	9,00	6,00	362,88
13	CHEQUEO Y LIMPIEZA DE RADIADOR	386,40	1,00	6,00	2.318,40
<b>TOTAL MOTOR</b>					<b>68.483,52</b>
ÍTE M	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO (S./.)	FRECUENCIA	EQUIPOS	VALOR TOTAL (S./.)
<b>SISTEMA HIDRÁULICO</b>					
14	TOMA DE MUESTRA DE ACEITE	3,36	4,00	6,00	80,64
15	CAMBIO DE ACEITE Y FILTRO	426,72	4,00	6,00	10.241,28
16	CAMBIO DE ELEMENTO FILTRANTE - SERVO	34,72	9,00	6,00	1.874,88
17	CAMBIO DE ELEMENTO FILTRANTE - RETORNO	51,52	2,00	6,00	618,24
18	CAMBIO DE ELEMENTO FILTRANTE - DRENAJE	34,72	9,00	6,00	1.874,88
19	CAMBIO DE ELEMENTO FILTRANTE - PRE ASPIRACIÓN	34,72	9,00	6,00	1.874,88
20	CHEQUEO DE ESTADO DE CILINDROS	6,72	4,00	6,00	161,28
21	LIMPIEZA DE REFRIGERADOR DE ACEITE	41,44	4,00	6,00	994,56
22	LIMPIEZA DE DEPÓSITO DE AGUA	41,44	9,00	6,00	2.237,76
23	CHEQUEO DE RESPIRADERO DEL DEPÓSITO HIDRÁULICO	6,72	2,00	6,00	80,64
24	CAMBIO DE MANGUERA DE SALIDA (LÍNEA DE LA BOMBA)	678,72	2,00	6,00	8.144,64
25	CAMBIO DE MANGUERA DE SALIDA (LÍNEA DEL BALANCÍN)	510,72	2,00	6,00	6.128,64
26	CAMBIO DE MANGUERA DE SALIDA (LÍNEA DE CAZO)	510,72	2,00	6,00	6.128,64
27	CAMBIO DE MANGUERA DE SALIDA (PLUMA)	510,72	1,00	6,00	3.064,32
<b>TOTAL SISTEMA HIDRÁULICO</b>					<b>43.505,28</b>

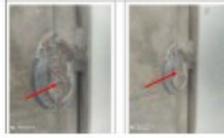
ÍTE M	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO (S/.)	FRECUENCIA	EQUIPOS	VALOR TOTAL (S/.)
<b>SISTEMA ELÉCTRICO</b>					
28	CHEQUEO DE NIVEL DE ELECTROLITO DE LA BATERÍA	4,76	9,00	6,00	257,04
29	CHEQUEO GENERAL DEL CABLEADO (CONTINUIDAD E INTEGRIDAD)	44,80	180,00	6,00	48.384,00
30	PRUEBAS DE TIEMPO	36,96	180,00	6,00	39.916,80
<b>TOTAL SISTEMA ELÉCTRICO</b>					<b>88.557,84</b>
ÍTE M	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO (S/.)	FRECUENCIA	EQUIPOS	VALOR TOTAL (S/.)
<b>FRAME</b>					
31	CHEQUEO DE PINTURA	6,72	9,00	6,00	362,88
31	CHEQUEO DE ESTADO DEL FRAME	6,72	180,00	6,00	7.257,60
31	LIMPIEZA Y ENGRASE DE MECANISMOS DEL FRAME	41,44	180,00	6,00	44.755,20
31	PRUEBAS DE TIEMPO	36,96	180,00	6,00	39.916,80
<b>TOTAL FRAME</b>					<b>92.292,48</b>

<b>TOTAL, MANTENIMIENTO PREVENTIVO ANUAL (S/.)</b>	<b>292.839,12</b>
<b>TOTAL, MANTENIMIENTO PREVENTIVO - PROMEDIO MENSUAL (S/.)</b>	<b>24.403,26</b>
<b>TOTAL MANTENIMIENTO PREVENTIVO ANUAL (\$)</b>	<b>73.209,78</b>
<b>TOTAL, MANTENIMIENTO PREVENTIVO - PROMEDIO MENSUAL (\$)</b>	<b>6.100,82</b>
<b>TASA DE CAMBIO REFERENCIAL S/. POR \$</b>	<b>4,00</b>

## Anexo 5. Registro Fotográfico

Equipo	Numero	NIP	Descripción	Cantidad	Comentarios	Imagen	estado de falla	Tiempo	Personas	Reportado por	Prioridad	AUTORIA	CONSERVACION
(HOMNCA91ED0002086)	840006422	J833604	Bolt	1	ZAM.WA.SS Extraer y reponer perno de anclaje de guarda protectora de propulsión LH.		Rotura de la cabeza hexagonal del perno .	5	1	Emilio Rodríguez Sánchez	Media		
		J222006	Washer	1									
(HOMNCA91ED0002086)	840006459	4157675	Hose	1	ZAM.WA.CC. Manguera del drenaje de aceite de TX GP LH .		Rotura de la cubierta de caucho exterior. (Fuga de aceite ).	1	1	Emilio Rodríguez Sánchez	Alta		
(HOMNCA91ED0002086)	840006466				ZAM.CC . Manguera adicional del abastecimiento de combustible. Ubicada en Fast Filling. Se requiere mandar a fabricar.		Fuga de combustible por los adaptadores inferior y superior a si mismo fuga por el prefado inferior	2	2	Emilio Rodríguez Sánchez	Media		
(HOMNCA91ED0002086)	840006472				ZAM.WA.SS. Reparar guarda de compresores del A/C..		Presenta fisura en la parte inferior RH .	0	2	Emilio Rodríguez Sánchez	Alta		
(HOMNCA91ED0002086)	840006473				ZAM .CC Ubicación limpiador de zapatos.		Obstaculiza el libre tránsito para para el acceso de la escalera de emergencia .	1	1	Emilio Rodríguez Sánchez	Alta		
(HOMNCA91ED0002086)	840006474	19M7407	Bolt	2	ZAM.WA. Reponer pernos de sujeción de guarda LH del ventilador de motor Diesel LH .		Falta dos pernos en la parte inferior de la guarda .	1	1	Emilio Rodríguez Sánchez	Media		
		A590906	Washer spring	2									
		A590106	Washer	2									
(HOMNCA91ED0002086)	840006476	0695005	Pressure relief v	6	ZAM.WA.CC .De válvulas relief principales de las válvulas de control principal.		Implemento de levante de boom lento ,baja presión en las bombas principales .	1	1	Emilio Rodríguez Sánchez	Alta		

[HOMKCA91E00002086]	842008477	06RS006	Pressure relief va	2	DAM.WA.CC. Válvula relief 343-53C. Funciones de extender boom.		El boom cae lentamente, fuga interna de aceite hidráulico (degrate interno de componente).	1	1	Enrillo Rodriguez Sanchez	Alta		
[HOMKCA91E00002086]	842008476	7YA00070207	Sensor	3	DAM.WA.CC. Señales de contaminación de bombas # 2-4, sensor de cester jobit		Dependimiento de la carcasa del conector.	1	1	Enrillo Rodriguez Sanchez	Medio		
[HOMKCA91E00002086]	842008481				DAM. WA. CUMMINS CC Empaque de unión adaptador y bomba de refrigerante. Solicitar verificación de repuestos a Cummins, motor en Garantía.		Se evidencian fugas de aceite por unión de bomba y adaptador de bomba de refrigerante. Nivel O1.	4	1	Miguel Alvarado Martos	Baja		
[HOMKCA91E00002086]	842008484				DAM. WA. CUMMINS Corregir fuga interna de Riel común banco RH, Motor LH. Solicitar verificación de repuestos a Cummins, motor en Garantía.		Se evidencian fugas de combustible por boquete de riel común del banco RH. Nivel O3	5	1	Miguel Alvarado Martos	Medio		
[HOMKCA91E00002086]	842008485				DAM. WA. SL Reparar protector de tubo de escape del banco RH, del motor LH.		Se evidencian protector de tubo de escape del banco LH, con fisuras en los puntos de soldadura. Nivel O2.	1	2	Miguel Alvarado Martos	Baja		
[HOMKCA91E00002086]	842008486				DAM. WA. CUMMINS Corregir fuga interna de refrigerante por tubería de suministro al turbo RH. Motor RH. Solicitar verificación de repuestos a Cummins, motor en Garantía.		Se evidencian fugas de refrigerante por suministro de refrigerante al turbo RH. Nivel O3.	2	1	Miguel Alvarado Martos	Alta		
[HOMKCA91E00002086]	842008487				DAM. WA. CC manguera de ventosa del banco LH - Motor RH.		Se evidencian mangueras de ventosa del banco LH con condición, fuga mínima de refrigerante. Nivel O2.	1	1	Miguel Alvarado Martos	Medio		
[HOMKCA91E00002086]	842008488				DAM. WA. CUMMINS CC de manguera de respiradero. Motor RH. Solicitar verificación de repuestos a Cummins, motor en Garantía.		Se evidencian manguera de unión respiradero con cámara con condición. Nivel O1.	1	1	Miguel Alvarado Martos	Baja		
[HOMKCA91E00002086]	842008489				DAM. WA. Verificar ajuste de abrazaderas de manguera de suministro de refrigerante a la bomba.		Se evidencian fuga por manguera de suministro de refrigerante a la bomba principal. Nivel O1.	1	1	Miguel Alvarado Martos	Baja		

(HCMKCB91E00002086)	BK0008490				ZAM. WA. SS. Reparar protector de tubo de escape del banco RH, del motor RH.		Se evidencia protector de tubo de escape del banco LB, con fisura en los puntos de soldadura. Nivel 01	1	2	Miguel Alvarado Martos	Medio		
(HCMKCB91E00002086)	BK0008491	4633050	Gasket	1	ZAM. CC Empaque de unión acordeón y adaptador a silenciador LH.		Se evidencia fuga de gases de escape por unión (empaque) de ducto metálico con acordeón de gases de escape del banco RH. Nivel 03.	3	3	Miguel Alvarado Martos	Alto		
		J90L050	Bolt	9									
(HCMKCB91E00002086)	BK0008492				ZAM.WA. CUMMINS Limpieza de conectores de sensores de presión barométrica en ambos motores. Aseguramiento de conectores.		Datos intermitentes.	2	1	Miguel Alvarado Martos	Medio		
(HCMKCB91E00002086)	BK0008493				ZAM. WA. CUMMINS Corregir fuga de aceite por fitting de manguera de suministro a bombas pre lube, Motor LH. Solicitar verificación de repuestos a Cummins, motor en Garantía.		Fuga de aceite, Nivel 01.	3	1	Miguel Alvarado Martos	Bajo		
(HCMKCB91E00002086)	BK0008494				ZAM.CC. Jebes protectores de vástagos de los cilindros de dumping.		están deteriorados por el mismo contacto directo con material de carguío.	2	3	Emilio Rodríguez Sánchez	Alto		
(HCMKCB91E00002086)	BK0008496	1036886	Wiring harness	1	Cambio de Harness eléctrico		Aislante y cables rotos debido al desgaste y rozamiento con el chasis (Pertenece a las válvulas EHC: reducción y aumento de potencia), posición izquierda	4	1	Eric Huamani De La Cruz	Medio		