



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Industrial

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE  
MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA INCREMENTAR LA  
DISPONIBILIDAD MECÁNICA DE UNA FLOTA DE  
MAQUINARIA PESADA DE UNA EMPRESA DE SERVICIOS  
DE MAQUINARIA”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERA INDUSTRIAL

Autor:

Bachiller: Sheila Karina Ravines Abanto

Asesor:

Mg. Ing. Wilson Alcides Gonzales Abanto

Cajamarca - Perú

2020

## DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen por darme la oportunidad de lograr  
un objetivo más en vida.

A mis padres Carlos Ravines y Rosa Abanto por inculcarme el valor  
del esfuerzo para lograr los objetivos trazados en la vida.

A mis hijas María Joaquina Vargas Ravines y Ximena Vargas Ravines, por ser  
mi motivo de seguir adelante y esforzarme en alcanzar mis metas.

## AGRADECIMIENTO

A Dios y la Virgen, mis padres y mis hijas por todo su apoyo mostrado  
en todo el tiempo que demandó realizar este proyecto.

A mis hermanos que me muestran su ayuda y apoyo  
en cada uno de mis proyectos.

A todas las personas que de alguna u otra manera contribuyeron  
con culminar mi carrera y presentar este proyecto.

## TABLA DE CONTENIDOS

|   |            |
|---|------------|
| <b>DEDICATORIA .....</b>  | <b>2</b>   |
| <b>AGRADECIMIENTO.....</b>  | <b>3</b>   |
| <b>TABLA DE CONTENIDOS.....</b>   | <b>4</b>   |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>   | <b>6</b>   |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>  | <b>8</b>   |
| <b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>   | <b>9</b>   |
| <b>RESUMEN .....</b>  | <b>10</b>  |
| <b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>   | <b>11</b>  |
| 1.1. Realidad problemática.....   | 11         |
| 1.2. Formulación del problema .....   | 14         |
| 1.3. Objetivos .....  | 14         |
| 1.4. Hipótesis.....   | 15         |
| <b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA .....</b>   | <b>16</b>  |
| 2.1 Tipo de investigación .....   | 16         |
| 2.2. Operacionalización de variables .....  | 16         |
| 2.3 Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos.....                            | 17         |
| 2.4 Procedimiento.....  | 18         |
| 2.5 Técnicas, Instrumentos y Métodos para el Procesamiento y Análisis de Datos..... | 20         |
| <b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>   | <b>26</b>  |
| 3.1. Diagnostico Actual de la Empresa.....  | 26         |
| 3.2. Diagnóstico de la Investigación:.....  | 27         |
| 3.3. Propuesta de Mejora .....  | 36         |
| 3.4. Resultados después de la propuesta.....  | 78         |
| 3.5. Análisis Económico.....  | 85         |
| <b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>                                  | <b>96</b>  |
| 4.1 Discusión .....   | 96         |
| 4.2. Conclusiones.....  | 97         |
| 4.3. Recomendaciones .....  | 98         |
| <b>REFERENCIAS .....</b>  | <b>99</b>  |
| <b>ANEXOS .....</b>   | <b>102</b> |

**CONSTANCIA DE REVISIÓN DEL  
PROYECTO DE TESIS..... 112**

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Tabla 1</b> <i>Matriz de Operacionalización de Variables</i> .....  | <b>17</b> |
| <b>Tabla 2</b> <i>Técnicas de Recolección y Análisis de Datos</i> .....  | <b>18</b> |
| <b>Tabla 3</b> <i>Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos</i> .....  | <b>18</b> |
| <b>Tabla 4</b> <i>Procedimiento de la Recopilación de Datos</i> .....  | <b>19</b> |
| <b>Tabla 5</b> <i>Procedimiento de la Aplicación de la Entrevista</i> .....  | <b>19</b> |
| <b>Tabla 6</b> <i>Procedimiento de Observación Directa</i> .....   | <b>20</b> |
| <b>Tabla 7</b> <i>Diseño Metodológico del Sistema de Mantenimiento Predictivo</i> .....  | <b>25</b> |
| <b>Tabla 8</b> <i>Personal de la Empresa</i> .....   | <b>26</b> |
| <b>Tabla 9</b> <i>Tiempo Promedio entre Fallas (MTBF) en horas de las máquinas críticos en un el periodo del 2015 – 2019</i> ..... | <b>30</b> |
| <b>Tabla 10</b> <i>Tiempo Promedio de Reparación (MTTR) en horas de las Máquinas en el periodo (2015-2019)</i> .....               | <b>32</b> |
| <b>Tabla 11</b> <i>Tiempo de Reparación Acumulada en horas de las máquinas críticas en el periodo (2015-2019)</i> .....            | <b>32</b> |
| <b>Tabla 12</b> <i>Porcentaje de Disponibilidad Inherente de las máquinas críticas en el periodo 2015-2019</i> .....               | <b>34</b> |
| <b>Tabla 13</b> <i>Operacionalizacion de Variables Cuantificadas</i> .....   | <b>35</b> |
| <b>Tabla 14</b> <i>Actividades del Mantenimiento Predictivo de la Retroexcavadora CAT 446</i> .....                                | <b>38</b> |
| <b>Tabla 15</b> <i>Programación de Mantenimiento Predictivo de Retroexcavadora CAT 446</i> .....                                   | <b>42</b> |
| <b>Tabla 16</b> <i>Actividades del Mantenimiento Predictivo de la Motoniveladora DD 120</i> .....                                  | <b>44</b> |
| <b>Tabla 17</b> <i>Programación de Mantenimiento Predictivo de Motoniveladora DD 120</i> .....                                     | <b>48</b> |
| <b>Tabla 18</b> <i>Actividades del Mantenimiento Predictivo de la Volquete FH 420 4x2T</i> .....                                   | <b>52</b> |
| <b>Tabla 19</b> <i>Programación de Mantenimiento Predictivo de Volquete FH 420 4x2T</i> .....                                      | <b>54</b> |
| <b>Tabla 20</b> <i>Cronograma de Mantenimiento Predictivo de Retroexcavadora CAT 446</i> .....                                     | <b>57</b> |
| <b>Tabla 21</b> <i>Cronograma de Mantenimiento Predictivo de Motoniveladora DD 120</i> .....                                       | <b>63</b> |
| <b>Tabla 22</b> <i>Cronograma de Mantenimiento Predictivo de Volquete FH 420 4x2T</i> .....  | <b>70</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Tabla 23</b> <i>Tiempo Promedio entre Fallas (MTBF) en horas de las máquinas críticos en un el periodo del 2020 – 2024</i> ..... | <b>81</b> |
| <b>Tabla 24</b> <i>Tiempo Promedio de Reparación (MTTR) en horas de las Máquinas en el periodo (2020-2024)</i> .....                | <b>81</b> |
| <b>Tabla 25</b> <i>Porcentaje de Disponibilidad Inherente de las máquinas críticas en el periodo 2020-2024</i> .....                | <b>82</b> |
| <b>Tabla 26</b> <i>Operacionalizacion de Variables Cuantificadas después de la Propuesta de Mejora</i> .....                        | <b>84</b> |
| <b>Tabla 27</b> <i>Costo de Implementación</i> .....  | <b>85</b> |
| <b>Tabla 28</b> <i>Sueldo de Personal Técnico</i> .....   | <b>87</b> |
| <b>Tabla 29</b> <i>Sueldo de Personal Administrativo</i> .....  | <b>87</b> |
| <b>Tabla 30</b> <i>Costos Proyectados</i> .....   | <b>88</b> |
| <b>Tabla 31</b> <i>Indicadores de Ahorro</i> .....  | <b>89</b> |
| <b>Tabla 32</b> <i>Flujo de Caja Neto Proyectado</i> .....  | <b>89</b> |
| <b>Tabla 33</b> <i>Evaluación de Indicadores Financieros</i> .....  | <b>90</b> |
| <b>Tabla 34</b> <i>Indicadores de Ahorro en un Escenario Optimista</i> .....  | <b>92</b> |
| <b>Tabla 35</b> <i>Flujo de Caja Neto Proyectado en un Escenario Optimista</i> .....  | <b>92</b> |
| <b>Tabla 36</b> <i>Evaluación de Indicadores Financieros en un Escenario Optimista</i> .....  | <b>93</b> |
| <b>Tabla 37</b> <i>Indicadores de Ahorro en un escenario Pesimista</i> .....  | <b>94</b> |
| <b>Tabla 38</b> <i>Flujo de Caja Neto Proyectado en un Escenario Pesimista</i> .....  | <b>94</b> |
| <b>Tabla 39</b> <i>Evaluación de indicadores Financieros en un Escenario Pesimista</i> .....  | <b>95</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Figura 1:</b> Organigrama de la empresa .....   | <b>27</b> |
| <b>Figura 2.</b> Comportamiento del Tiempo Promedio entre Fallas (MTBF) en horas, de las máquinas críticas en el periodo (2015-2019) ..... | <b>31</b> |
| <b>Figura 3.</b> Comportamiento del Tiempo de Reparación Acumulada en hora de las máquinas críticas en el periodo (2015-2019).....         | <b>33</b> |
| <b>Figura 4.</b> Comportamiento de la Disponibilidad Inherente de las Máquinas críticas en el periodo 2015-2019.....                       | <b>34</b> |
| <b>Figura 5.</b> Flujograma de Mantenimiento Predictivo.....   | <b>36</b> |
| <b>Figura 6.</b> Flujograma del Diseño y Desarrollo del Mantenimiento Predictivo .....   | <b>37</b> |
| <b>Figura 7.</b> Retroexcavadora CAT 446 (Maquinarias Pesada.org, 2015) .....  | <b>41</b> |
| <b>Figura 8.</b> Motoniveladora DD 120 (Maquinarias Pesada.org, 2015) .....  | <b>47</b> |
| <b>Figura 9.</b> Volquete FH 420 4x2T Mecánica del camión volvo (Yalpa Ravello, 2016) .....  | <b>53</b> |
| <b>Figura 10.</b> Volquete FH 420 4x2T Mecánica del camión volvo (Yalpa Ravello, 2016) ...   | <b>54</b> |
| <b>Figura 11.</b> Ficha del estado técnico de la Retroexcavadora .....   | <b>75</b> |
| <b>Figura 12.</b> Ficha del estado técnico de la Motoniveladora.....   | <b>76</b> |
| <b>Figura 13.</b> Ficha del estado técnico del Volquete.....   | <b>77</b> |
| <b>Figura 14.</b> Comportamiento de la Disponibilidad Inherente de las máquinas críticas del periodo proyectado. ....                      | <b>83</b> |
| <b>Figura 15:</b> Flujo de Caja Proyectado.....  | <b>90</b> |



## ÍNDICE DE ECUACIONES

|   |    |
|---|----|
| <i>Ecuación 1: % Total de Tareas Predictivas</i> .....                    | 22 |
| <i>Ecuación 2: Porcentaje de Cumplimiento de Tareas Predictivas</i> ..... | 22 |
| <i>Ecuación 3: Porcentaje de Cumplimiento de Inspección</i> .....         | 22 |
| <i>Ecuación 4: Tiempo Promedio entre Fallas (MTBF)</i> .....              | 23 |
| <i>Ecuación 5: Tiempo Promedio en Reparación (MTTR)</i> .....             | 23 |
| <i>Ecuación 6: Porcentaje de Disponibilidad Inherente (%DI)</i> .....     | 24 |
| <i>Ecuación 7: Mantenimiento Predictivo</i> .....                         | 24 |

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar un sistema de gestión de mantenimiento predictivo para incrementar la disponibilidad mecánica de una flota de maquinaria pesada de una empresa de servicios de maquinaria; los métodos y técnicas que se consideraron en esta investigación fueron la entrevista, encuesta, observación directa y análisis de indicadores; todas ellas nos ayudaron a la recolección, procesamiento y análisis de datos. Los resultados que se obtuvieron es una disponibilidad de las máquinas que fue de 84%, la cual es baja considerando un porcentaje aceptable de 90% a más; se logró aumentar la disponibilidad de las máquinas de 84% a 91%; en un escenario optimista se obtuvo un valor del VAN de S/. 148,622.77 el valor del TIR es de 116.7%, por lo cual el VAN es mayor a 0 y el TIR es mayor al COK generando una ganancia de S/. 4.06 por cada Sol invertido; en un escenario pesimista se obtuvo un valor VAN de S/. 323.58 el valor del TIR es de 10.3%, por lo cual el VAN es mayor a 0 y el TIR mayor al COK con una ganancia de S/. 0.01 por cada Sol invertido; aceptando la propuesta económica. Así mismo se concluye que el diseño del sistema de gestión de mantenimiento predictivo aumenta la disponibilidad de las máquinas.

**Palabras clave:** Sistema, Gestión, Mantenimiento, Predictivo, Disponibilidad, máquinas.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

A finales del siglo XVIII y comienzo del siglo XIX durante la revolución industrial, con las primeras máquinas se iniciaron los trabajos de reparación, el inicio de los conceptos de competitividad de costos, planteo en las grandes empresas, las primeras preocupaciones hacia las fallas o paro que se producían en la producción. Hacia los años 20 ya aparecen las primeras estadísticas sobre tasas de falla en motores y equipos de aviación. (Molina José, 2006, *Mantenimiento y seguridad industrial*).

La maquinaria pesada o maquinaria amarilla son equipos de alta potencia que requieren cuidados específicos para conservar su buen estado y extender su vida útil. Cuando estos equipos han cumplido cierto tiempo se deben realizar mantenimientos que además de reparar las posibles fallas, previenen algunas futuras, de modo que no se afectan los procesos para los cuales fueron creados. (Grúas y aparejos).

La labor del departamento de mantenimiento, está relacionada muy estrechamente en la prevención de accidentes y lesiones del trabajador ya que tiene la responsabilidad de mantener en buenas condiciones, la máquina y herramienta, equipo de trabajo, lo cual permite un mejor desenvolvimiento y seguridad evitando en parte riesgos en el área laboral. (Molina José, 2006, *Mantenimiento y seguridad industrial*).

“El mantenimiento es un conjunto de actividades técnicas, de aplicación directa, estructurales y de control económico que tiene como objetivo conseguir que la vida útil de las instalaciones, máquinas y edificios sea la mayor posible, lo que permite que el valor de las inversiones permanezca activo durante el tiempo de amortización e inclusive después” (Avellaneda M., 2012).

El diseño e implementación de cualquier sistema organizativo y su posterior información debe siempre tener presente que está al servicio de unos determinados objetivos. Cualquier sofisticación del sistema debe ser completa con gran prudencia en evitar, precisamente, de que se enmascaren dichos objetivos o se dificulte su consecución.

En el caso de mantenimiento su organización e información debe estar encaminada a la permanente consecución de los siguientes objetivos:

- Optimización de la disponibilidad del equipo productivo.
- Disminución de los costos de mantenimiento.
- Optimización de los recursos humanos.
- Maximización de la vida de la máquina.

(Molina José, 2006, Pág. 2-3, Mantenimiento y seguridad industrial)

El mantenimiento predictivo consiste en realizar evaluaciones programadas, a fin de obtener parámetros de funcionamiento de las máquinas y compararlos con los parámetros dados por los fabricantes. Incluye inspecciones visuales y auditivas, a fin de descubrir ruidos o señas fuera de lo esperado. (Grúas y aparejos).

El objetivo del mantenimiento predictivo es anticipar la ocurrencia de un fallo en un equipo, basándose en los datos relativos a su estado. El mantenimiento predictivo también incluye actividades de mantenimiento regular, con la menor frecuencia posible, para evitar que se produzcan fallos.

La empresa que es objeto de nuestra investigación se dedica al alquiler de maquinaria pesada con una experiencia de 5 años en el mercado, dicha empresa presenta algunos inconvenientes y/o problemas en el área de servicios que radica en el tema de la maquinaria pesada, algunas de las maquinarias tienen constantes paralizaciones y no se encuentran disponibles para realizar su trabajo lo que genera la falta de disponibilidad para ser

alquiladas, dicha empresa carece de un plan de mantenimiento predictivo en sus maquinarias que garantice su disponibilidad.

Los algoritmos de mantenimiento predictivo se basan en datos proporcionados por diversas herramientas de monitorización, como el análisis de vibraciones o el análisis de aceite. La diferencia entre el estado esperado del activo y su deterioro progresivo permite identificar tendencias y anticipar así las intervenciones de mantenimiento. Además, el mantenimiento predictivo supervisa el estado y el rendimiento de los equipos durante el funcionamiento normal para reducir las interrupciones debidas a las operaciones diarias. (Fuente: Movility Work).

Una de las herramientas de monitorización de equipos que se utilizan con mayor frecuencia para el mantenimiento predictivo.

- Los análisis de vibraciones se utilizan principalmente para detectar desalineaciones, desequilibrios, aflojamientos mecánicos o desgastes de una bomba o motor.
- La termografía infrarroja permite identificar las diferencias de temperatura en las transmisiones, cajas de cambios, rodamiento, etc.
- El análisis del aceite se utiliza para determinar el estado de un lubricante y su posible contaminación, dependiendo del número y tamaño de las partículas de un equipo.
- El análisis ultrasónico se utiliza para detectar fugas en tubos y tanques, fallas mecánicas en piezas en movimientos y fallas en equipos electrónicos.
- El análisis de corriente mide la corriente y el voltaje de la electricidad que alimenta un motor eléctrico.

Existen otras técnicas para monitorizar el estado de los equipos, incluso los impulsos de choque, el análisis de fluidos, la evolución del rendimiento y los ensayos de materiales no destructivos (ultrasonidos, corrientes inducidas, inspecciones endoscópicas).

(Fuente: Movility Work).

La Disponibilidad puede ser definida también como la “confianza, que se tiene de que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica, durante un periodo de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación (Ortiz, 2016). El factor principal que distinguen a las empresas líderes en disponibilidad es que ellas reconocen que la confiabilidad no es simplemente un resultado de esfuerzo de reparación, la eliminación de las fallas crónicas es su misión primordial.

La Disponibilidad mecánica está definida como la relación entre las horas trabajadas y las horas usadas en reparación.

Para un periodo determinado, es calculado dividiendo el número de horas trabajadas entre la suma de horas trabajadas y las horas usadas en las paradas mecánicas. (Zegarra M., 2014).

## **1.2. Formulación del problema**

¿En qué medida el diseño de un sistema de gestión de mantenimiento predictivo incrementará la disponibilidad mecánica de una flota de maquinaria pesada de una empresa de servicios de maquinaria pesada?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo General**

Diseñar un sistema de gestión de mantenimiento predictivo para incrementar la disponibilidad mecánica de una flota de maquinaria pesada de una empresa de servicios de maquinaria.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Diagnosticar la situación actual de la disponibilidad mecánica de una flota de maquinaria pesada de una empresa de servicios de maquinaria pesada.
- Diseñar un sistema de gestión de mantenimiento predictivo en la empresa de servicios de maquinaria pesada.
- Evaluar la disponibilidad mecánica de una flota de maquinaria pesada después del diseño del sistema de gestión de mantenimiento predictivo.
- Realizar la evaluación económica del diseño del sistema de gestión de mantenimiento predictivo.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

El diseño de un sistema de mantenimiento predictivo incrementará la disponibilidad mecánica de una flota de maquinaria pesada de una empresa de servicios de maquinaria.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1 Tipo de investigación

#### 2.1.1 Tipo de Investigación:

**Según el propósito:** Es Aplicada, porque está enfocada a un ámbito específico y aborda a resolver problemas.

**Según el enfoque:** Es Cuantitativo, porque se basa en el estudio y análisis de la realidad a través de diferentes procedimientos basados en la medición.

**Según el grado de manipulación de las variables:** Es cuasi – experimental, porque se pretende manipular una o varias variables concretas, pero no se posee un control total sobre todas las variables.

### 2.2. Operacionalización de variables

El presente trabajo de investigación está conformado por una variable dependiente y una variable independiente, para desarrollarlas se necesita métodos basados en indicadores que sean capaces de monitorear las diferentes variables, como se muestra en la Matriz de Operación de Variables Tabla 1.

#### **Variable Dependiente: Disponibilidad de los Equipos**

Conjunto de actividades destinadas a la conservación de equipos o maquinaria mediante la realización de revisión y limpieza que garanticen su buen funcionamiento y fiabilidad.

#### **Variable Independiente: Sistema de Mantenimiento Predictivo**

Es la confianza que se tiene de que un componente, equipo o maquinaria que sufrió mantenimiento, ejerza su función satisfactoriamente en un tiempo establecido.



**Tabla 1**

*Matriz de Operacionalización de Variables*

| Tipo de Variable              | Variable                                   | Definición Conceptual  | Dimensiones                            | Indicadores                          |
|-------------------------------|--|--|--|--------------------------------------|
| <b>Variable Independiente</b> | <b>Sistema de Mantenimiento Predictivo</b> | Según (Grúas y Aparejos) El Mantenimiento Predictivo consiste en realizar evaluaciones programadas, a fin de obtener parámetros de funcionamiento de las máquinas y compararlos con los parámetros dados por los fabricantes. Incluye inspecciones visuales y auditivas, a fin de descubrir ruidos o señas fuera de lo esperado. | Política de mantenimiento              | % Política de mantenimiento          |
|                               |  |  | Total de tareas predictivas            | % Total de tareas predictivas        |
|                               |  |  | Cumplimiento de tareas predictivas     | % Cumplimiento de tareas predictivas |
|                               |  |  | Cumplimiento de inspecciones           | % Cumplimiento de inspecciones       |
|                               |  |  | Mantenimiento Predictivo               | % Mantenimiento Predictivo           |
| <b>Variable Dependiente</b>   | <b>Disponibilidad de los Equipos</b>       | Según (Ticlavilca, 2016), la Disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente.  | Tiempo Promedio en Entre Fallas (MTBF) | Cantidad de Tiempo (Horas)           |
|                               |  |  | Tiempo Promedio en Reparación (MTTR)   | Cantidad de Tiempo (Horas)           |
|                               |  |  | Disponibilidad                         | % de Disponibilidad inherente        |

Fuente: Elaboración propia

### 2.3 Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos

Para la presente investigación se ha considerado tres métodos, que incluyen datos cuantitativos y observación, teniendo en cuenta las técnicas que se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 2**

*Técnicas de Recolección y Análisis de Datos*

| <b>Método</b> | <b>Técnica</b>       |
|---------------|----------------------|
| Cuantitativo  | Recolección de datos |
| Cuantitativo  | Entrevista           |
| Observación   | Observación Directa  |

Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo detallamos las técnicas e instrumentos utilizados, que facilitarán la recolección de datos, en colaboración con el personal involucrado con el mantenimiento de maquinaria.

**Tabla 3**

*Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos*

| <b>Técnicas</b>              | <b>Justificación</b>   | <b>Instrumentos</b>            | <b>Aplicado en</b>                                    |
|------------------------------|--|--------------------------------|---|
| <b>Recopilación de Datos</b> | Para obtener la información Histórica de la empresa  | Ficha resumen                  | Historial de la empresa                               |
| <b>Entrevista</b>            | Permitirá identificar los procesos actuales dentro de la gestión de mantenimiento predictivo.                      | Guía de entrevista<br>Lapicero | Encargados de la gestión de mantenimiento predictivo. |
| <b>Observación directa</b>   | Podemos observar el grado de participación de cada uno de los integrantes del proceso de mantenimiento predictivo. | Guías de observación           | Personal del área de mantenimiento predictivo.        |

Fuente: Elaboración Propia

## 2.4 Procedimiento

### **Recopilación de datos:**

En el análisis de documentos se realiza la recopilación de datos donde se definirá las causas de las máquinas en mal estado del área de servicios. Se programarán las

fechas con el personal encargado del área para realizar la recolección de datos y evitar cualquier inconveniente. Se utilizará el Formato de Recopilación de Datos (Anexo n°1)

**Tabla 4**

*Procedimiento de la Recopilación de Datos*

| <b>Secuencia</b>   | <b>Acción</b>   | <b>Instrumento</b>               |
|--------------------|---|----------------------------------|
| 1.- Identificación | Revisar el reporte de fallas, informes de análisis de fallas, etc.  | Cámara fotográfica               |
| 2.- Recopilación   | Seleccionar la información necesaria sobre las fallas de máquinas entre los años 2015 – 2019.   | Lapicero y papel                 |
| 3.- Registro       | Registrar la información a la base de datos.  | Formato de recopilación de datos |
| 4.- Análisis       | Realizar un diagnóstico de las fallas de las máquinas según los datos obtenidos, junto con indicadores de productividad para su posterior plan de mejora. | Microsoft Excel                  |

Fuente: Elaboración propia

**Entrevista:**

Conocer la situación actual de las máquinas mediante la entrevista de los trabajadores que tienen la relación directa en la gestión de mantenimiento predictivo de la empresa. Para ello se contará con la ayuda de del Formato Entrevista (Anexo n°2)

**Tabla 5**

*Procedimiento de la Aplicación de la Entrevista*

| <b>Secuencia</b>  | <b>Acción</b>  | <b>Instrumento</b> |
|-------------------|--|--------------------|
| 1.- Planificación | Solicitar un tiempo de 10 minutos para realizar la entrevista. |                    |

|                     |   |                       |
|---------------------|---|-----------------------|
| 2.- Aplicación      | Realizar las preguntas y escribir las respuestas.   | Formato de Entrevista |
| 3.- Profesionalismo | Entregar una copia al entrevistado, solicitando su conformidad, correcciones o adiciones. |                       |
| 4.- Registro        | Archivar los resultados para las referencias y sus análisis posteriores.                  | Microsoft Exel        |

Fuente: Elaboración propia

### **Observación Directa:**

Permite identificar las fallas críticas de las máquinas, originadas en el proceso productivo. Para ello se contará con la ayuda del Formato Check-List de Observación Directa (Anexo n°3)

### **Tabla 6**

#### *Procedimiento de Observación Directa*

| <b>Secuencia</b>  | <b>Acción</b>  | <b>Instrumento</b> |
|-------------------|--|--------------------|
| 1.- Participación | Se realizará una observación por las instalaciones para observar las condiciones de las máquinas. Dicha actividad se realizará en los cambios de turno con ayuda del Formato Check-List. | Cámara fotográfica |
| 2.- Registro      | Capturar fotos del personal interactuando con las máquinas y sus diferentes herramientas.  |                    |
| 3.- Análisis      | Descargar los archivos multimedia recolectados para realizar un análisis del estado y condiciones de las máquinas.   | Laptop             |

Fuente: Elaboración Propia

## **2.5 Técnicas, Instrumentos y Métodos para el Procesamiento y Análisis de Datos**

Para el procesamiento y análisis de toda la información recopilada anteriormente, se hará mediante la elaboración de herramientas de calidad, técnicas estadísticas, softwares, indicadores de mantenimiento y otros según detalle:

## Técnicas Estadísticas

- **Diagrama de Barras:** Técnica para representar gráficamente un conjunto de datos o valores mediante barras rectangulares de longitud proporcional a los valores representados, pueden ser usados para comparar cantidades de una variable o variables en diferentes o el mismo momento; análisis de disponibilidad y confiabilidad; así como para demostrar el resultado de la entrevista.

## Herramientas de Calidad

- **Diagrama Causa y Efecto:** Un Diagrama de Causa y Efecto es la representación de varios elementos (causas) de un sistema que pueden contribuir a un problema (efecto). Esta técnica nos sirve para identificar los problemas primarios y secundarios, así como las causas de las fallas de las máquinas en el área de servicios.
- **Diagrama de Pareto:** Permite asignar un orden de prioridades para la toma de decisiones de una organización y determinar cuáles son los problemas más graves que se deben resolver primero. Se utilizará para identificar las máquinas más críticas en el área de servicios y poder planificar un plan de mantenimiento predictivo para estas.

## Software

- **Mini Tab:** Esta herramienta nos sirve para elaborar Diagramas de Causa y Efecto del actual sistema de mantenimiento.
- **Microsoft Word:** Esta herramienta nos ayuda a realizar el plan de mantenimiento predictivo propuesto en esta investigación.

- **Microsoft Excel:** Esta herramienta

nos ayuda a la elaboración de cálculos y diferentes formatos del plan de mantenimiento predictivo propuesto en esta investigación.

## Métodos

- **Porcentaje Total de Tareas Predictivas:** El índice de cumplimiento de mantenimiento predictivo se mide por la cantidad de tareas predictivas que se realizan en relación con las tareas programadas.

*Ecuación 1: % Total de Tareas Predictivas:*

$$\% \text{ Total de Tareas Predictivas} = \frac{\text{Tareas Predictivas Ejecutadas}}{\text{Tareas Programadas}} \times 100$$

- **Porcentaje de Cumplimiento de Tareas Predictivas:** Este indicador es el porcentaje de mantenimiento predictivo efectuado dentro del tiempo esperado con relación al total de tareas programadas, con el fin de supervisar el número de tareas cumplidas dentro de los plazos establecidos.

*Ecuación 2: Porcentaje de Cumplimiento de Tareas Predictivas*

$$\% \text{ Cumplimiento de Tareas Predictivas} = \frac{\text{Total de tareas predictivas realizadas}}{\text{Total de tareas predictivas programadas}} \times 100$$

- **Porcentaje de Cumplimiento de Inspección:** Se aplica por este medio con el propósito de anticiparse a algunas fallas de las máquinas, tanto en su funcionamiento, como la seguridad eléctrica, ajustes y reparación, etc. Que se realizan en forma periódica en base a un cronograma establecido.

El porcentaje de Cumplimiento de Inspección se halla mediante la ecuación siguiente:

*Ecuación 3: Porcentaje de Cumplimiento de Inspección*

$$\% \text{ Cumplimiento de Inspección} = \frac{\text{Total de Inspecciones Realizadas}}{\text{Total de Inspecciones Programadas}} \times 100$$

- **Tiempo Promedio Entre Fallas**

**(MTBF):** El indicador MTBF es Tiempo Medio Entre Fallas (Mean Time Between Failures), por lo tanto, es el tiempo medio o promedio que la máquina trabaja sin presentar alguna falla.

(Sierra & Calvo, 2013) lo define como una medida básica de confiabilidad para artículos reparables, el número medio de unidades de vida durante las cuales todas las partes del tiempo se desempeñan dentro de sus límites especificados, durante un intervalo de medición particular en las condiciones establecidas.

Este indicador se expresa matemáticamente de la siguiente manera:

*Ecuación 4: Tiempo Promedio entre Fallas (MTBF)*

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo Total de Funcionamiento}}{\text{Número de Fallas}}$$

- **Tiempo Promedio de Reparación (MTTR):**

Del inglés Mean Time To Repair, es una medida de mantenibilidad de máquinas y piezas reparables, representa el Promedio del Tiempo necesario para reparar una avería hasta que la actividad de la máquina se restablezca. Según (Sierra & Calvo, 2013) lo define como el tiempo de trabajo on site (en el lugar) del equipo de mantenimiento; es decir desde que el equipo de reparación llega al lugar de la avería hasta que vuelve a poner en funcionamiento la unidad averiada.

Se halla mediante la siguiente ecuación:

*Ecuación 5: Tiempo Promedio en Reparación (MTTR)*

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo Total de Inactividad}}{\text{Número de Fallas}}$$

- **Porcentaje de Disponibilidad**

**Inherente (%DI):** La Disponibilidad Inherente representa el porcentaje del Tiempo que un equipo está en condiciones de operar durante un periodo de análisis, teniendo en cuenta solo los paros no programados. El objetivo de este indicador es medir la Disponibilidad inherente de los equipos, con la finalidad de incrementarla, ya que en la medida que esto ocurra, significará que se disminuye el tiempo de los paros por falla o paros no programados del equipo. (Fuenmayor, 2018)

El porcentaje de Disponibilidad Inherente se halla mediante la ecuación siguiente:

*Ecuación 6: Porcentaje de Disponibilidad Inherente (%DI)*

$$\% \text{ Disponibilidad Inherente} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$$

- **Mantenimiento Predictivo:** Es el porcentaje de mantenimiento predictivo efectuado dentro de lo esperado con relación al total de las tareas programadas, con el fin de supervisar el número de tareas cumplidas dentro de los plazos establecidos.

El porcentaje de Mantenimiento predictivo se halla mediante la ecuación siguiente:

*Ecuación 7: Mantenimiento Predictivo*

$$\% \text{ Mantenimiento Predictivo} = \frac{\text{Actividades ejecutadas}}{\text{Actividades Programadas}} \times 100$$

- **Política de mantenimiento:** Es el desarrollo de conceptos, criterios y técnicas requeridas para el mantenimiento, proporcionando una guía de políticas o criterios para toma de decisiones en la administración y aplicación de programas de mantenimientos. Medida en porcentaje.



## Sistema de Mantenimiento Predictivo

**Tabla 7**

*Diseño Metodológico del Sistema de Mantenimiento Predictivo*

| <b>Secuencia</b> | <b>Acción</b>  | <b>Instrumento</b>                            |
|------------------|--|---|
| 1.Recopilación   | Se realizará una entrevista al personal del área de mantenimiento para obtener la información de la situación actual de las máquinas.  | Entrevista<br>Encuesta                        |
| 2.Procesamiento  | Se diseñarán formatos que permitan generar base de datos para realizar seguimientos y sirvan de mecanismo de control para las máquinas.<br>El proceso a seguir se describe de manera clara para poder realizar un correcto mantenimiento.  | Hojas de cálculo<br>Flujograma                |
| 3.Aplicación     | Elaboración del plan de mantenimiento alineado a los objetivos, al plan de trabajo para llevar a cabo la ejecución de las actividades, con ayuda de fichas de las máquinas e inspecciones de las condiciones operativas y físicas, para tener información de las máquinas y sistemas utilizados. | Manual de Equipos<br>Cronograma<br>Check-List |
| 4.Resultados     | Evaluar a través de un análisis  | Análisis<br>Económico<br>Financiero           |

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Diagnostico Actual de la Empresa

#### 3.1.1. Datos Generales de la Empresa

La empresa que es objeto de nuestro estudio es una empresa peruana creada en el año 2015, dedicada al alquiler de maquinaria pesada.

Teniendo una visión de gestión integral preservando los valores de la empresa, los objetivos de los clientes, la comunidad y preservar el medio ambiente, garantizando las condiciones de trabajo y seguridad para los trabajadores.

Su misión es brindar un servicio confiable y especializado empleando los mejores estándares de gestión y tecnología.

**Equipo Humano:** La empresa cuenta con 13 personas, las cuales cumplen sus actividades en dos turnos de trabajo, donde el personal administrativo y personal de limpieza realizan jornadas de 8 horas diarias de lunes a sábado.

**Tabla 8**

*Personal de la Empresa*

| Puesto                   | Cantidad  |
|--------------------------|-----------|
| Gerente                  | 1         |
| Administrador            | 1         |
| Secretaria               | 1         |
| Mecánicos                | 6         |
| Supervisor               | 1         |
| Asistente Contable       | 1         |
| Auxiliar de Limpieza     | 2         |
| <b>Total de Personal</b> | <b>13</b> |

Fuente: Elaboración Propia

### Organigrama:

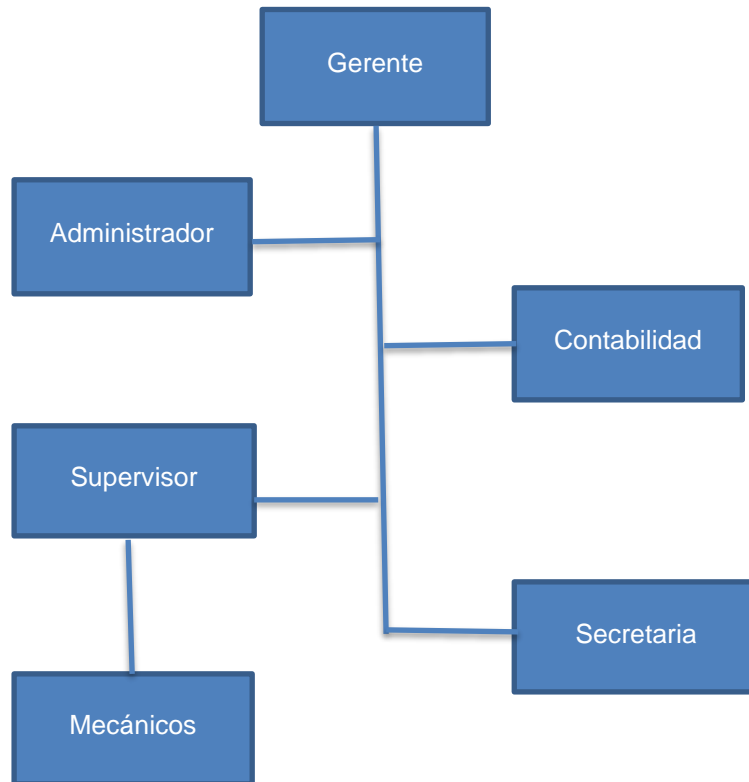


Figura 1: Organigrama de la empresa

### 3.1.2. Descripción de la Empresa (Rubro y Productos)

La empresa se creó con la visión de convertirse en una de las principales empresas que ofrecen el servicio de alquiler de maquinaria pesada en el rubro de minería y de construcción.

La actividad de la empresa se enfoca en el alquiler de maquinaria pesada y en el mantenimiento de las mismas tales como: Retroexcavadoras, Motoniveladoras y Volquetes, de las marcas Caterpillar y Volvo. Estos servicios se realizarán en el local del cliente y de acuerdo a sus necesidades. Para esto se contará con las herramientas que se requieran para realizar su trabajo.

### 3.2. Diagnóstico de la Investigación:

### 3.2.1 Variable Independiente: Sistema de Mantenimiento Predictivo

**3.2.1.1. Política de mantenimiento:** Es el desarrollo de conceptos, criterios y técnicas requeridas para el mantenimiento, proporcionando una guía de políticas o criterios para toma de decisiones en la administración y aplicación de programas de mantenimientos. Con la investigación realizada no se ha encontrado políticas de mantenimiento debido a que no se cuenta con un sistema de mantenimiento, por ello se considera 0 el valor de este indicador.

$$\% \text{ Política de mantenimiento} = 0\%$$

#### 3.2.1.2. Porcentaje Total de Tareas Predictivas:

El índice de cumplimiento de mantenimiento predictivo se mide por la cantidad de tareas predictivas que se realizan en relación con las tareas programadas. Para obtener el valor de este indicador se ha considerado 0 el número de tareas predictivas, puesto que en la investigación realizada no se encontró ninguna tarea predictiva dado que la empresa no cuenta con un sistema de Mantenimiento Predictivo, el valor de tareas programadas se ha considerado el total de fallas de las máquinas en el periodo estudiado (Anexo 1), mediante la fórmula de la *Ecuación 1*.

$$\% \text{ Total de Tareas Predictivas} = \frac{0}{66} \times 100$$

$$\% \text{ Total de Tareas Predictivas} = 0 \%$$

#### 3.2.1.3. Porcentaje de Cumplimiento de Tareas Predictivas:

Es el porcentaje de mantenimiento predictivo efectuado dentro del tiempo esperado con relación al total de tareas programadas, con el fin de supervisar el número de tareas cumplidas dentro de los plazos establecidos. Para

obtener este indicador se ha considerado 0 el número de tareas predictivas, porque no hay evidencia de dichas tareas en la investigación, ya que no hay un Sistema de Mantenimiento Predictivo.

Este indicador se encuentra mediante la fórmula de la *Ecuación 2*.

$$\frac{\% \text{ Cumplimiento de Tareas Predictivas}}{\% \text{ Cumplimiento de Tareas Predictivas}} = 0\%$$

#### **3.2.1.4. Porcentaje de Cumplimiento de Inspecciones:**

Con el propósito de anticiparse a algunas fallas de las máquinas, tanto en su funcionamiento, como la seguridad eléctrica, ajustes y reparación, etc. que se realizan en forma periódica en base a un cronograma establecido. Para obtener el valor de este indicador se ha considerado 0 en el número de inspecciones, ya que no se evidencia en la investigación realizada, al no tener un sistema de mantenimiento predictivo, obtenemos este indicador con la fórmula de la *Ecuación 3*.

$$\% \text{ Cumplimiento de Inspección} = 0\%$$

**3.2.1.5. Mantenimiento Predictivo:** Para obtener este indicador se ha considerado 0 el número de Actividades ejecutadas, porque no hay evidencia de dichas actividades en la investigación, ya que no hay un Sistema de Mantenimiento Predictivo.

Este indicador se encuentra mediante la fórmula de la *Ecuación 7*.

$$\% \text{ Mantenimiento Predictivo} = 0\%$$

### **3.2.2. Variable Dependiente: Disponibilidad de los Equipos**

#### **3.2.2.1. Tiempo Promedio Entre Fallas (MTBF):**

Es el tiempo medio o promedio que la máquina trabaja sin presentar

alguna falla. Para hallar este indicador se ha considerado los valores del Tiempo Total de Funcionamiento y el Número de Fallas de las Máquinas críticas en el periodo de 5 años (Anexo 5), mediante la Ecuación 4.

$$MTBF = \frac{\text{Tiempo Total de Funcionamiento}}{\text{Número de Fallas}}$$

Dónde:

Tiempo Total de Funcionamiento = Tiempo Total de  
Operación (Anexo 4) – Hora de inactividad por Falla (Anexo 6)

**Tabla 9**

*Tiempo Promedio entre Fallas (MTBF) en horas de las máquinas críticos en un el periodo del 2015 – 2019*

| MTBF              | Años            |                 |                 |                 |                 |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                   | 2015<br>(Horas) | 2016<br>(Horas) | 2017<br>(Horas) | 2018<br>(Horas) | 2019<br>(Horas) |
| Retroexcavadora 4 | 6796            | 1929            | 3146            | 1929            | 1929            |
| Motoniveladora 1  | 3482            | 3482            | 2265            | 2265            | 1657            |
| Volquete 1        | 2978            | 1761            | 2978            | 1761            | 1761            |

Fuente. Elaboración Propia

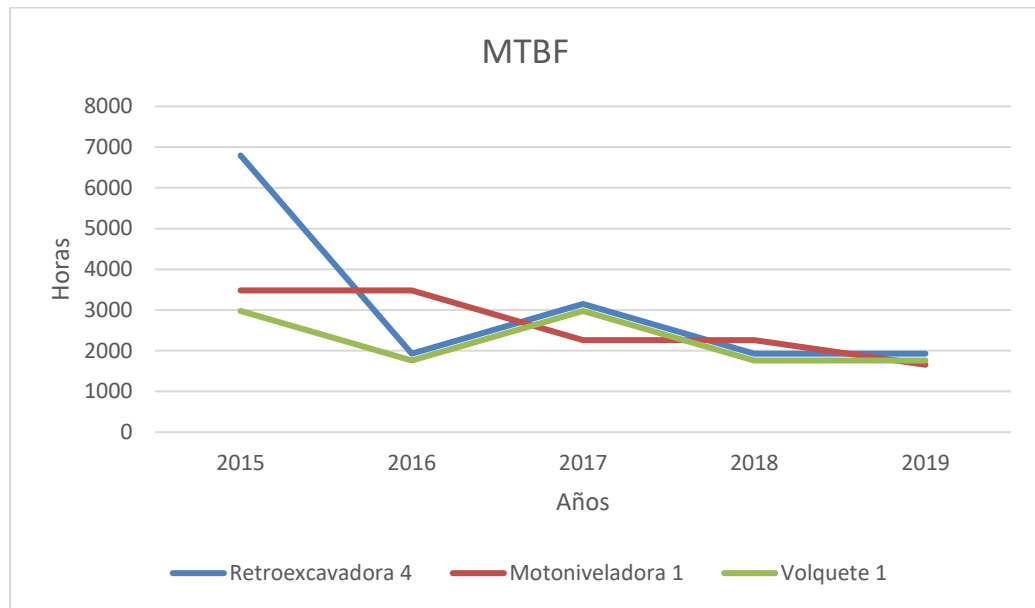


Figura 2. Comportamiento del Tiempo Promedio entre Fallas (MTBF) en horas, de las máquinas críticas en el periodo (2015-2019)

Como se puede observar en la Tabla 8 y Figura 1, las horas que estuvieron en actividad las máquinas críticas, muestran una tendencia a decrecer en el periodo estudiado.

### 3.2.2.2. Tiempo Promedio en Reparación (MTTR):

Representa el Promedio del Tiempo necesario para reparar una avería hasta que la actividad de la máquina se restablezca.

Para hallar este indicador se ha considerado los valores del Tiempo Total de Inactividad de las máquinas (Anexo 6) y el Número de Fallas de las Máquinas críticas en el periodo estudiado (Anexo 5), mediante la fórmula de la Ecuación 5.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo Total de Inactividad}}{\text{Número de Fallas}}$$

**Tabla 10**

*Tiempo Promedio de Reparación (MTTR) en horas de las Máquinas en el periodo (2015-2019)*

| MTTR              | N° de horas de inactividad por falla (Año) |                 |                 |                 |                 |
|-------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                   | 2015<br>(Horas)                            | 2016<br>(Horas) | 2017<br>(Horas) | 2018<br>(Horas) | 2019<br>(Horas) |
| Retroexcavadora 4 | 504  | 504             | 504             | 504             | 504             |
| Motoniveladora 1  | 168  | 168             | 168             | 168             | 168             |
| Volquete 1        | 672  | 672             | 672             | 672             | 672             |

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa, el tiempo de inactividad de las máquinas críticas es constante a través del tiempo, pero cada máquina tiene diferente tiempo de inactividad.

**Tabla 11**

*Tiempo de Reparación Acumulada en horas de las máquinas críticas en el periodo (2015-2019)*

| Máquinas Críticas | N° de horas de inactividad por falla (Año) |      |      |      |      |
|-------------------|--|------|------|------|------|
|                   | 2015                                       | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| Retroexcavadora 4 | 504  | 1512 | 1008 | 1512 | 1512 |
| Motoniveladora 1  | 336  | 336  | 504  | 504  | 672  |
| Volquete 1        | 1344                                       | 2016 | 1344 | 2016 | 2016 |

Fuente: Elaboración Propia



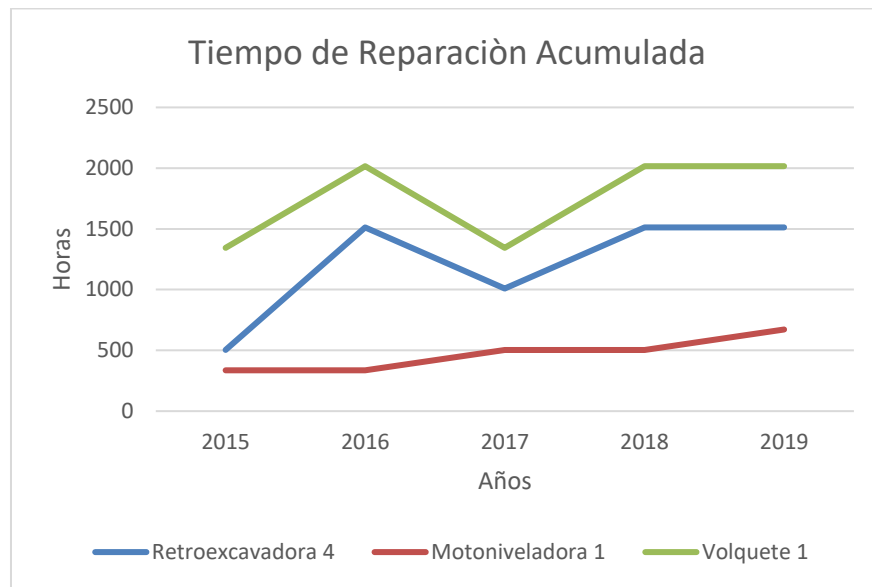


Figura 3. Comportamiento del Tiempo de Reparación Acumulada en hora de las máquinas críticas en el periodo (2015-2019)

Como podemos observar el comportamiento del tiempo de reparación acumulada en horas de las máquinas críticas es ascendente en el tiempo, lo cual aumenta significativamente las horas de inactividad de las máquinas.

### 3.2.2.3. Disponibilidad

La Disponibilidad Inherente representa el porcentaje del Tiempo que un equipo está en condiciones de operar durante un periodo de análisis, teniendo en cuenta solo los paros no programados.

Para hallar este indicador usaremos los datos hallados en la Tabla 8 y en la Tabla 9 mediante la *Ecuación 6*:

$$\% \text{ Disponibilidad Inherente} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100$$

**Tabla 12**

*Porcentaje de Disponibilidad Inherente de las máquinas críticas en el periodo 2015-2019*

| Disponibilidad<br>Inherente | Años |      |      |      |      |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|
|                             | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| Retroexcavadora 4           | 93%  | 79%  | 86%  | 79%  | 79%  |
| Motoniveladora 1            | 95%  | 95%  | 93%  | 93%  | 91%  |
| Volquete 1                  | 82%  | 72%  | 82%  | 72%  | 72%  |

Fuente: Elaboración Propia

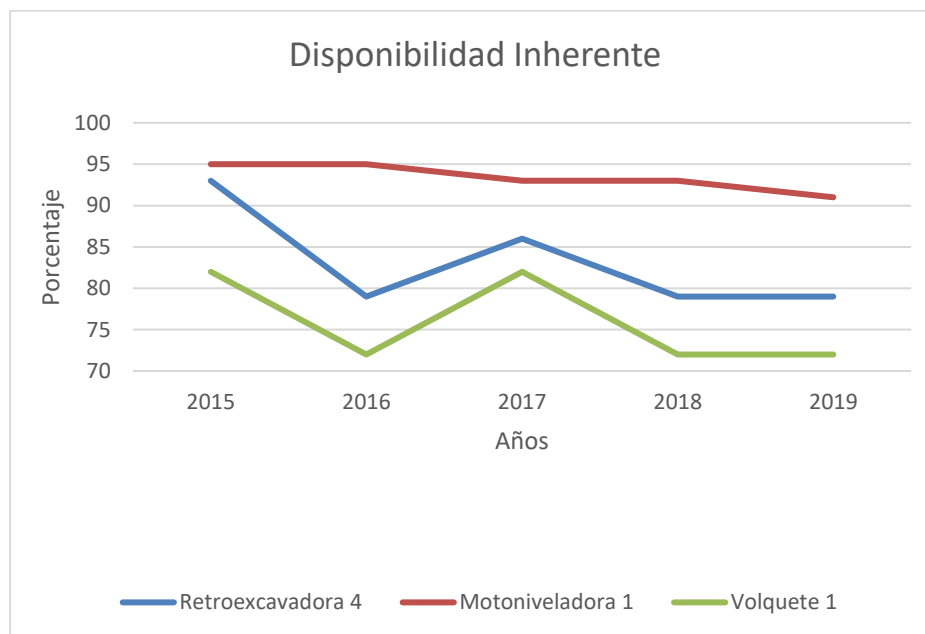


Figura 4. Comportamiento de la Disponibilidad Inherente de las Máquinas críticas en el periodo 2015-2019

Como podemos observar en la Tabla 11 y Figura 3, el porcentaje de la Disponibilidad Inherente en tiempo de las máquinas críticas muestran una tendencia decreciente, las máquinas estaban en condiciones de operar durante el periodo estudiado. Se considera Buena una Disponibilidad superior al 90%.

**Tabla 13**

***Operacionalización de Variables Cuantificadas***

| <b>Tipo de Variable</b>       | <b>Variable</b>                            | <b>Definición Conceptual</b>   | <b>Dimensiones</b>                     | <b>Indicadores</b> |
|-------------------------------|--|--|--|--------------------|
| <b>Variable Independiente</b> | <b>Sistema de Mantenimiento Predictivo</b> | Según (Grúas y Aparejos) El Mantenimiento Predictivo consiste en realizar evaluaciones programadas, a fin de obtener parámetros de funcionamiento de las máquinas y compararlos con los parámetros dados por los fabricantes. Incluye inspecciones visuales y auditivas, a fin de descubrir ruidos o señas fuera de lo esperado. | Políticas de Mantenimiento             | 0%                 |
|                               |  |  | Total de tareas predictivas            | 0%                 |
|                               |  |  | Cumplimiento de tareas predictivas     | 0%                 |
|                               |  |  | Cumplimiento de inspecciones           | 0%                 |
| <b>Variable Dependiente</b>   | <b>Disponibilidad de los Equipos</b>       | Según (Ticlavilca, 2016), la Disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente.  | Tiempo Promedio en Entre Fallas (MTBF) | 2675 Horas         |
|                               |  |  | Tiempo Promedio en Reparación (MTTR)   | 448 Horas          |
|                               |  |  | Disponibilidad                         | 84 %               |

Fuente: Elaboración propia

### 3.3. Propuesta de Mejora

#### 3.3.1. Propuesta 1: Flujo de Mantenimiento Predictivo

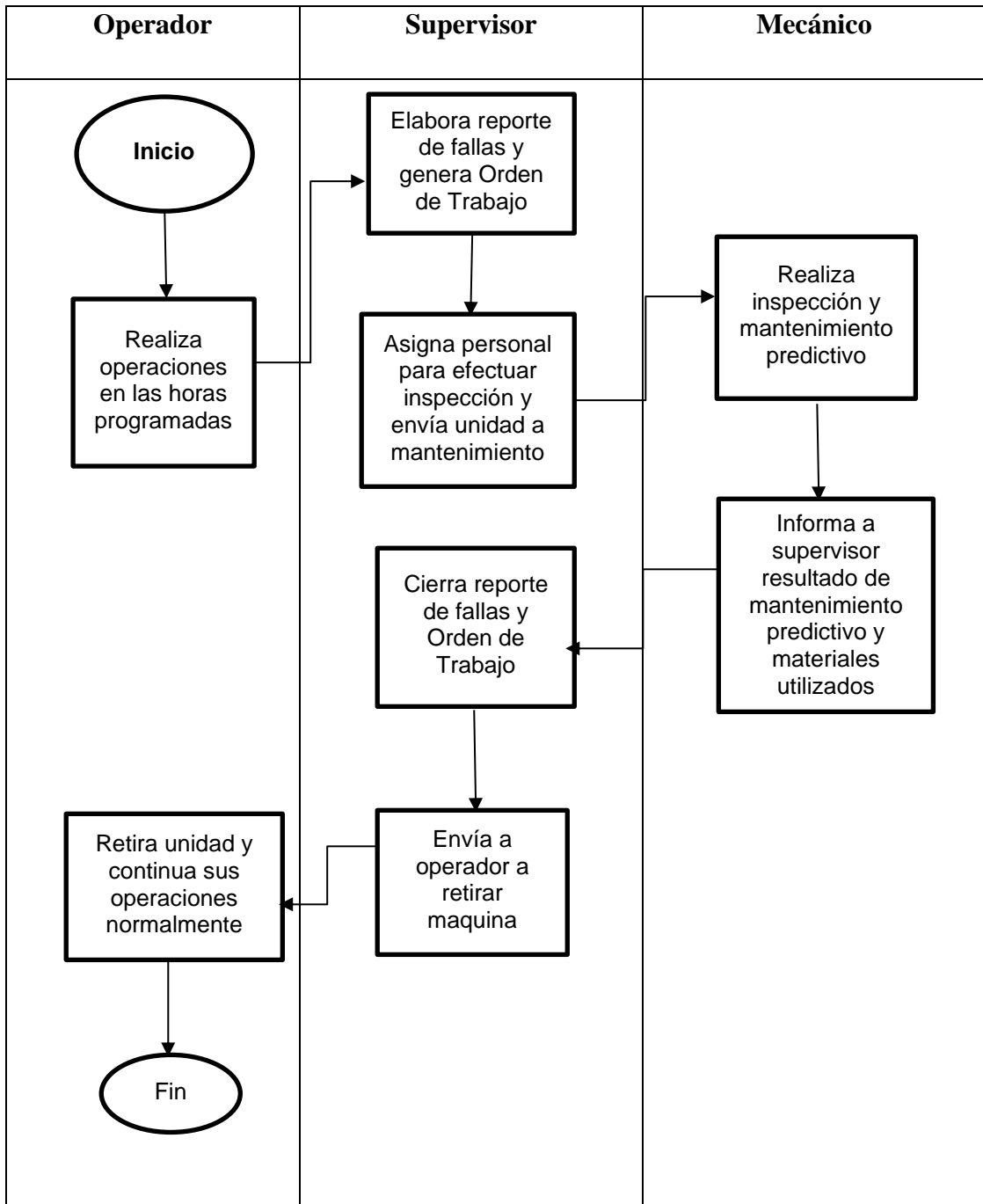


Figura 5. Flujograma de Mantenimiento Predictivo

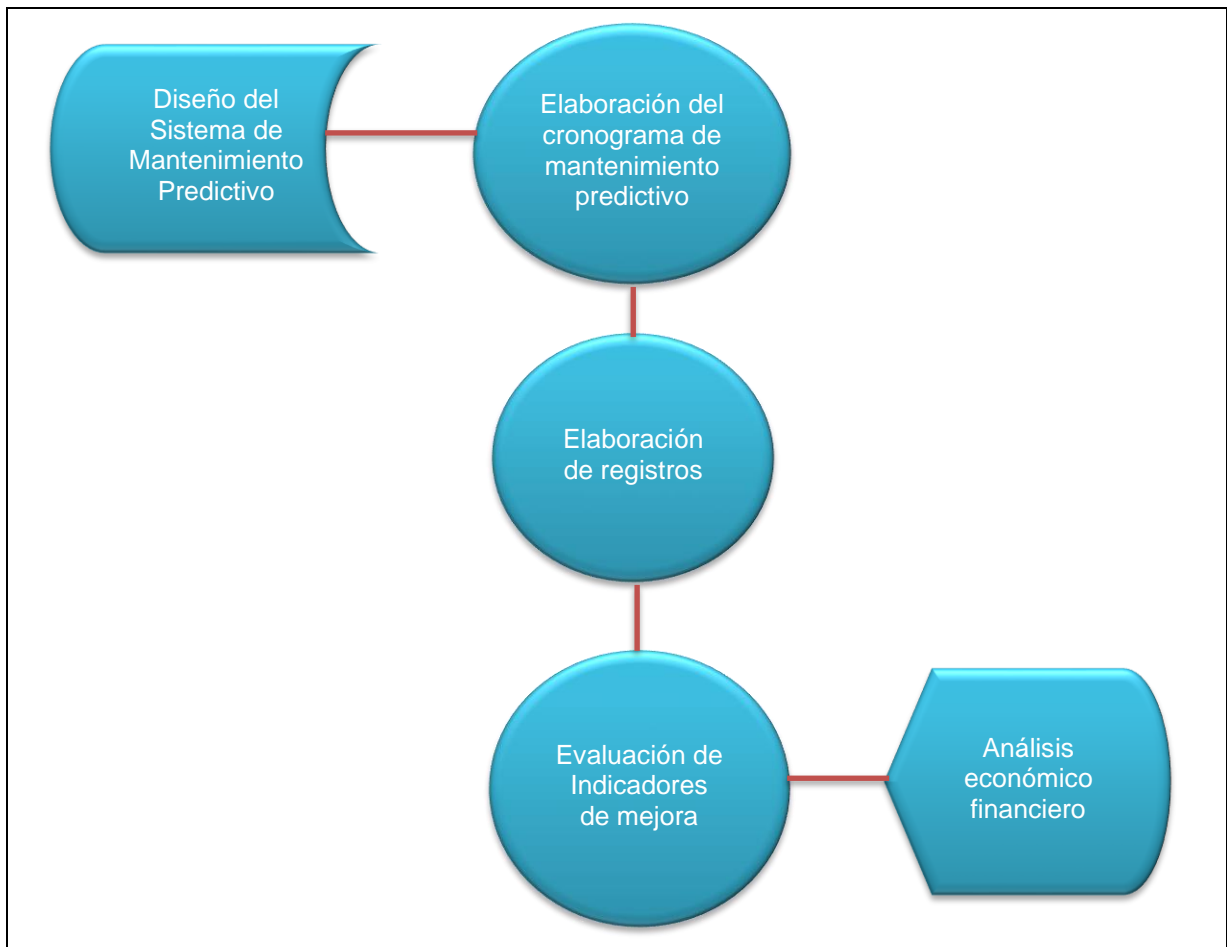


Figura 6. Flujograma del Diseño y Desarrollo del Mantenimiento Predictivo

El Diseño y desarrollo de la propuesta de mejora permitirá tener una visión de cada uno de los pasos para realizar el diseño del Sistema de Mantenimiento Predictivo para la empresa, los indicadores de mantenimiento serán evaluados para definir la eficiencia de dicho mantenimiento que serán evaluados por el Gerente y supervisor para su aplicación.

Para ello usaremos los indicadores siguientes:

- Porcentaje Políticas de Mantenimiento
- Porcentaje Total de Tareas Predictivas
- Porcentaje de Cumplimiento de Tareas Predictivas
- Porcentaje de Cumplimiento de Inspecciones
- Mantenimiento Predictivo

- Tiempo Promedio Entre Fallas (MTBF)
- Tiempo Promedio en Reparación (MTTR)
- Disponibilidad

### 3.3.2. Propuesta 2: Planificación de Mantenimiento Predictivo de las máquinas críticas

Para aumentar la disponibilidad de las máquinas es necesario aumentar la confiabilidad, por tal motivo es necesario contar con un sistema de mantenimiento predictivo y garantizar el funcionamiento de las máquinas.

Se realizará un sistema de mantenimiento predictivo para cada una de las máquinas críticas, se ha considerado a las máquinas críticas a la Retroexcavadora 4, Motoniveladora 1 y Volquete 1 como se puede apreciar en el Anexo 1.

#### 3.3.2.1. Planificación de Mantenimiento Predictivo del Retroexcavadora 4

La Retroexcavadora es una máquina de construcción utilizada para realizar trabajos de excavación.

La Retroexcavadora 4 es una de las máquinas que ha presentado fallas durante su vida operacional, con el sistema de mantenimiento predictivo se lograra reducir las paradas no programadas y aumentara su disponibilidad evitando así el retraso en las operaciones de las empresas.

**Tabla 14**

*Actividades del Mantenimiento Predictivo de la Retroexcavadora CAT 446*

| <b>Factor de Mantenimiento</b> | <b>Actividad</b> |
|--------------------------------|------------------|
|                                |                  |

---

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Inspección Visual       | Se pueden detectar fallos que se manifiestan físicamente mediante grietas, fisuras, desgastes, soldaduras de elementos de fijación, etc. Se aplican a zonas que se pueden observar directamente.  |
| Líquidos Penetrantes    | Se realiza una inspección no destructiva para encontrar fisuras superficiales o fallas internas del material que presentan aperturas en la superficie.  |
| Partículas Magnéticas   | Para descubrir fisuras superficiales, así como no superficiales, se limpia bien la superficie a examinar, se somete a un campo magnético uniforme y finalmente se esparcen partículas magnéticas de pequeña dimensión. Los defectos se ponen de manifiesto por las discontinuidades que crean en la distribución de las partículas. |
| Ultrasonidos            | Se genera y detecta mediante fenómenos de piezoelectricidad y magnetostricción, se detectan grietas y otras discontinuidades (fisuras por fatiga, corrosión o defectos de fabricación del material), además estimar su tamaño lo que facilita llevar un seguimiento del estado y evolución del defecto.                             |
| Análisis de lubricantes | Verificar el nivel y cambio del lubricante. El control de estado de los lubricantes alerta de fallas incipientes en los órganos lubricantes.  |
| Medida de la Presión    | Para evaluar la cavitación, condensación de vapores o existencia de golpes de ariete, detectar deficiencias funcionales en los cojinetes o problemas en los cierres por una presión insuficiente o poco estable.  |

---

---

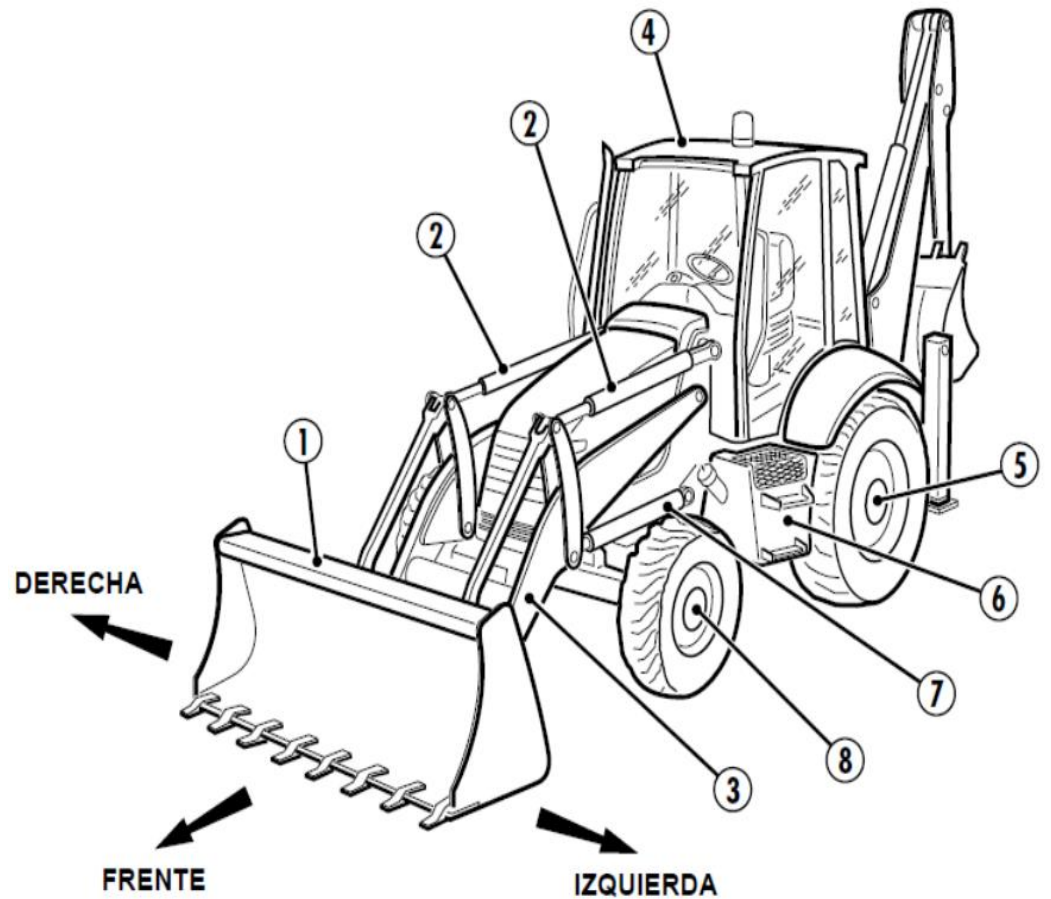
|                       |   |
|-----------------------|---|
| Medida de Temperatura | Medición de temperatura en los lubricantes.<br>Medición de temperatura de los rodamientos y cojinetes de deslizamiento para detectar deterioro.<br>Medición de temperatura en el sistema de refrigeración.  |
| Termografía           | Fotografía de rayos infrarrojos para detectar zonas calientes en dispositivos electromecánicos. Control de líneas de líneas eléctricas, cuadros eléctricos y motores, maquinas. Se requiere hacer seguimiento que nos permita comparar periódicamente la imagen térmica actual con la normal de referencia. |

---

Fuente: Elaboración Propia



### 3.3.2.1.1. Reconocimiento de Piezas y Componentes de Retroexcavadora CAT 446



- |   |                               |
|---|-------------------------------|
| 1 - Cucharón delantero                  | 5 - Eje posterior             |
| 2 - Cilindro de vuelco del cucharón     | 6 - Tanque del combustible    |
| 3 - Brazo de levantamiento del cucharón | 7 - Cilindro de levantamiento |
| 4 - Cabina                              | 8 - Eje delantero             |

Figura 7. Retroexcavadora CAT 446 (Maquinarias Pesada.org, 2015)

### 3.3.2.1.2. Programación de Mantenimiento Predictivo de Retroexcavadora CAT 446

**Tabla 15**

*Programación de Mantenimiento Predictivo de Retroexcavadora CAT 446*

| <b>Programación de Mantenimiento Predictivo</b> |                                     |                                 |                           |          |
|---|-------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|----------|
| <b>Factor de Mantenimiento</b>                  | <b>Componente</b>                   | <b>Frecuencia (Horas)</b>       | <b>Personal Encargado</b> |          |
| Inspección Visual                               | Cucharón delantero                  | 125                             | Mecánico                  |          |
|   | Cilindro de vuelco del cucharón     | 125                             | Mecánico                  |          |
|   | Brazo de levantamiento del cucharón | 125                             | Mecánico                  |          |
|   | Cabina                              | 125                             | Mecánico                  |          |
|   | Eje posterior                       | 125                             | Mecánico                  |          |
|   | Tanque del combustible              | 125                             | Mecánico                  |          |
|   | Cilindro de levantamiento           | 125                             | Mecánico                  |          |
|   | Eje delantero                       | 125                             | Mecánico                  |          |
|   | Líquidos Penetrantes                | Cucharón delantero              | 250                       | Mecánico |
|   |                                     | Cilindro de vuelco del cucharón | 250                       | Mecánico |
| Brazo de levantamiento del cucharón             |                                     | 250                             | Mecánico                  |          |
| Cabina  |                                     | 250                             | Mecánico                  |          |
| Eje posterior                                   |                                     | 250                             | Mecánico                  |          |
| Tanque del combustible                          |                                     | 250                             | Mecánico                  |          |
| Cilindro de levantamiento                       |                                     | 250                             | Mecánico                  |          |
| Eje delantero                                   |                                     | 250                             | Mecánico                  |          |
| Partículas Magnéticas                           |                                     | Cucharón delantero              | 250                       | Mecánico |
|   |                                     | Cilindro de vuelco del cucharón | 250                       | Mecánico |
|   |                                     | 250                             | Mecánico                  |          |

|                            |  |     |          |
|----------------------------|--|-----|----------|
|                            | <b>Brazo de levantamiento</b>          |     |          |
|                            | del cucharón                           | 250 | Mecánico |
|                            | Cabina                                 | 250 | Mecánico |
|                            | Eje posterior                          | 250 | Mecánico |
|                            | Tanque del combustible                 | 250 | Mecánico |
|                            | Cilindro de levantamiento              | 250 | Mecánico |
|                            | Eje delantero                          |     |          |
| Ultrasonidos               | Cucharón delantero                     | 250 | Mecánico |
|                            | Cilindro de vuelco del<br>cucharón     | 250 | Mecánico |
|                            | Brazo de levantamiento<br>del cucharón | 250 | Mecánico |
|                            | Eje posterior                          | 250 | Mecánico |
|                            | Tanque del combustible                 | 250 | Mecánico |
|                            | Cilindro de levantamiento              | 250 | Mecánico |
|                            | Eje delantero                          | 250 | Mecánico |
| Análisis de<br>lubricantes | Cilindro de vuelco del<br>cucharón     | 250 | Mecánico |
|                            | Cabina                                 | 250 | Mecánico |
|                            | Eje posterior                          | 250 | Mecánico |
|                            | Cilindro de levantamiento              | 250 | Mecánico |
|                            | Eje delantero                          | 250 | Mecánico |
| Medida de la<br>Presión    | Cilindro de vuelco del<br>cucharón     | 250 | Mecánico |
|                            | Eje posterior                          | 250 | Mecánico |
|                            | Cilindro de levantamiento              | 250 | Mecánico |
|                            | Eje delantero                          |     |          |
| Medida de<br>Temperatura   | Cilindro de vuelco del<br>cucharón     | 250 | Mecánico |

|             |                                    |     |          |
|-------------|------------------------------------|-----|----------|
|             | Eje posterior                      | 250 | Mecánico |
|             | Tanque del combustible             | 250 | Mecánico |
|             | Cilindro de levantamiento          | 250 | Mecánico |
|             | Eje delantero                      | 250 | Mecánico |
| Termografía | Cilindro de vuelco del<br>cucharón | 250 | Mecánico |
|             | Eje posterior                      | 250 | Mecánico |
|             | Tanque del combustible             | 250 | Mecánico |
|             | Cilindro de levantamiento          | 250 | Mecánico |
|             | Eje delantero                      | 250 | Mecánico |

Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.2.2. Planificación de Mantenimiento Predictivo del Motoniveladora 1

La Motoniveladora es una máquina mecánica hidráulica, cuenta con dos bastidores en el cual está instalado el motor, el tren de fuerza y el sistema hidráulico para controlar los implementos, tiene una vertedera para realizar el movimiento del material.

La Motoniveladora 1 ha presentado fallas durante su vida operacional, con el sistema de mantenimiento predictivo se logrará reducir las paradas no programadas y aumentará su disponibilidad, evitando así el retraso en las operaciones de las empresas.

**Tabla 16**

*Actividades del Mantenimiento Predictivo de la Motoniveladora DD 120*

| <b>Factor de<br/>Mantenimiento</b> | <b>Actividad</b> |
|------------------------------------|------------------|
|------------------------------------|------------------|

---

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Inspección Visual       | Se pueden detectar fallos que se manifiestan físicamente mediante grietas, fisuras, desgastes, soldaduras de elementos de fijación, etc. Se aplican a zonas que se pueden observar directamente.  |
| Líquidos Penetrantes    | Se realiza una inspección no destructiva para encontrar fisuras superficiales o fallas internas del material que presentan aperturas en la superficie.  |
| Partículas Magnéticas   | Para descubrir fisuras superficiales, así como no superficiales, se limpia bien la superficie a examinar, se somete a un campo magnético uniforme y finalmente se esparcen partículas magnéticas de pequeña dimensión. Los defectos se ponen de manifiesto por las discontinuidades que crean en la distribución de las partículas. |
| Ultrasonidos            | Se genera y detecta mediante fenómenos de piezoelectricidad y magnetostricción, se detectan grietas y otras discontinuidades (fisuras por fatiga, corrosión o defectos de fabricación del material), además estimar su tamaño lo que facilita llevar un seguimiento del estado y evolución del defecto.                             |
| Análisis de lubricantes | Verificar el nivel y cambio del lubricante. El control de estado de los lubricantes alerta de fallas incipientes en los órganos lubricantes.  |
| Medida de la Presión    | Para evaluar la cavitación, condensación de vapores o existencia de golpes de ariete, detectar deficiencias funcionales en los cojinetes o problemas en los cierres por una presión insuficiente o poco estable.  |

---

---

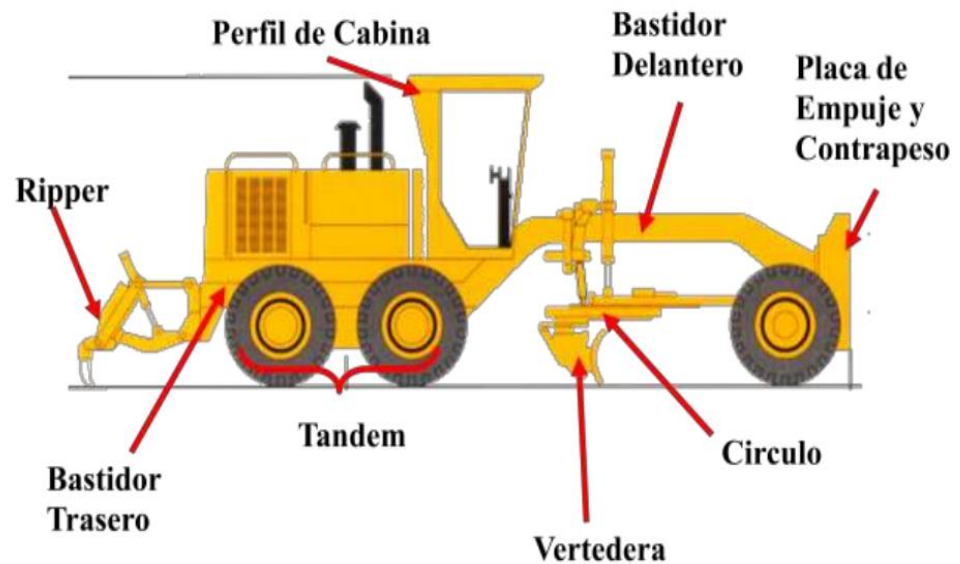
|                       |   |
|-----------------------|---|
| Medida de Temperatura | Medición de temperatura en los lubricantes.<br>Medición de temperatura de los rodamientos y cojinetes de deslizamiento para detectar deterioro.<br>Medición de temperatura en el sistema de refrigeración.  |
| Termografía           | Fotografía de rayos infrarrojos para detectar zonas calientes en dispositivos electromecánicos. Control de líneas de líneas eléctricas, cuadros eléctricos y motores, maquinas. Se requiere hacer seguimiento que nos permita comparar periódicamente la imagen térmica actual con la normal de referencia. |

---

Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.2.2.1. Reconocimiento de Piezas y Componentes de Motoniveladora DD 120

#### COMPONENTES, PARTES E IMPLEMENTOS



- 1.- Cilindros de Levante
- 2.- Barra de Tiro
- 3.- Bola de Tiro
- 4.- Cilindro del desplazamiento lateral del circulo.
- 5.- Cilindro del desplazamiento lateral de la vertedera
- 6.- Cilindro de la inclinación vertical de la hoja.
- 7.- Barra de 7 orificios
- 8.- Contrapeso delantero.



Figura 8. Motoniveladora DD 120 (Maquinarias Pesada.org, 2015)

**Tabla 17**

*Programación de Mantenimiento Predictivo de Motoniveladora DD 120*

| <b>Programación de Mantenimiento Predictivo</b> |  |                           |                           |          |
|---|--|---------------------------|---------------------------|----------|
| <b>Factor de Mantenimiento</b>                  | <b>Componente</b>                                  | <b>Frecuencia (Horas)</b> | <b>Personal Encargado</b> |          |
| Inspección Visual                               | Cilindros de Levante                               | 125                       | Mecánico                  |          |
|   | Bastidor delantero                                 | 125                       | Mecánico                  |          |
|   | Bastidor trasero                                   | 125                       | Mecánico                  |          |
|   | Cilindro de desplazamiento lateral del circulo     | 125                       | Mecánico                  |          |
|   | Cilindro de desplazamiento lateral de la vertedera | 125                       | Mecánico                  |          |
|   | Cilindro de la inclinación vertical de la hoja     | 125                       | Mecánico                  |          |
|   | Placa de empuje y contrapeso                       | 125                       | Mecánico                  |          |
|   | Vertedero  | 125                       | Mecánico                  |          |
|   | Líquidos Penetrantes                               | Cilindros de Levante      | 250                       | Mecánico |
|   |  | Bastidor delantero        | 250                       | Mecánico |
| Bastidor trasero                                |  | 250                       | Mecánico                  |          |
| Cilindro de desplazamiento lateral del circulo  |  | 250                       | Mecánico                  |          |
| Cilindro de desplazamiento                      |  | 250                       | Mecánico                  |          |



|              |   |     |          |
|--------------|---|-----|----------|
|              | lateral de la<br>vertedera                                  | 250 | Mecánico |
|              | Cilindro de la<br>inclinación vertical<br>de la hoja        | 250 | Mecánico |
|              | Placa de empuje y<br>contrapeso                             | 250 | Mecánico |
|              | Vertedero   |     |          |
| Partículas   | Cilindros de Levante  | 250 | Mecánico |
| Magnéticas   | Bastidor delantero  | 250 | Mecánico |
|              | Bastidor trasero  | 250 | Mecánico |
|              | Cilindro de<br>desplazamiento<br>lateral del círculo        | 250 | Mecánico |
|              | Cilindro de<br>desplazamiento<br>lateral de la<br>vertedera | 250 | Mecánico |
|              | Cilindro de la<br>inclinación vertical<br>de la hoja        | 250 | Mecánico |
|              | Placa de empuje y<br>contrapeso                             | 250 | Mecánico |
|              | Vertedero   | 250 | Mecánico |
| Ultrasonidos | Cilindros de Levante  | 250 | Mecánico |
|              | Bastidor delantero  | 250 | Mecánico |
|              | Bastidor trasero  | 250 | Mecánico |
|              | Cilindro de<br>desplazamiento<br>lateral del círculo        | 250 | Mecánico |

|                         |  |     |          |
|-------------------------|--|-----|----------|
|                         | Cilindro de desplazamiento lateral de la vertedera | 250 | Mecánico |
|                         | Cilindro de la inclinación vertical de la hoja     | 250 | Mecánico |
| Análisis de lubricantes | Cilindros de Levante                               | 250 | Mecánico |
|                         | Cilindro de desplazamiento lateral del circulo     | 250 | Mecánico |
|                         | Cilindro de desplazamiento lateral de la vertedera | 250 | Mecánico |
|                         | Cilindro de la inclinación vertical de la hoja     | 250 | Mecánico |
| Medida de la Presión    | Cilindros de levante                               | 250 | Mecánico |
|                         | Cilindro de desplazamiento lateral del circulo     | 250 | Mecánico |
|                         | Cilindro de desplazamiento lateral de la vertedera | 250 | Mecánico |
|                         | Cilindro de la inclinación vertical de la hoja     | 250 | Mecánico |
| Medida de Temperatura   | Cilindros de levante                               | 250 | Mecánico |

|             |  |     |          |
|-------------|--|-----|----------|
|             | Cilindro de desplazamiento lateral del círculo     | 250 | Mecánico |
|             | Cilindro de desplazamiento lateral de la vertedera | 250 | Mecánico |
|             | Cilindro de la inclinación vertical de la hoja     | 250 | Mecánico |
| Termografía | Cilindros de Levante                               | 250 | Mecánico |
|             | Cilindro de desplazamiento lateral del círculo     | 250 | Mecánico |
|             | Cilindro de la inclinación vertical de la hoja     | 250 | Mecánico |

Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.2.3. Planificación de Mantenimiento Predictivo del Volquete 1

Los volquetes se utilizan principalmente para el transporte de materiales sueltos. El volquete esta articulado y la descarga se realiza mediante cilindros basculantes (Scania CV AB 2016).

El Volquete 1 ha presentado fallas durante su vida operacional, con el sistema de mantenimiento predictivo se logrará reducir las paradas no programadas y aumentará su disponibilidad, evitando así el retraso en las operaciones de las empresas.

**Tabla 18**

*Actividades del Mantenimiento Predictivo de la Volquete FH 420 4x2T*

| <b>Factor de Mantenimiento</b> | <b>Actividad</b>  |
|--------------------------------|---|
| Inspección Visual              | Se pueden detectar fallos que se manifiestan físicamente mediante grietas, fisuras, desgastes, soldaduras de elementos de fijación, etc. Se aplican a zonas que se pueden observar directamente.  |
| Líquidos Penetrantes           | Se realiza una inspección no destructiva para encontrar fisuras superficiales o fallas internas del material que presentan aperturas en la superficie.  |
| Partículas Magnéticas          | Para descubrir fisuras superficiales, así como no superficiales, se limpia bien la superficie a examinar, se somete a un campo magnético uniforme y finalmente se esparcen partículas magnéticas de pequeña dimensión. Los defectos se ponen de manifiesto por las discontinuidades que crean en la distribución de las partículas. |
| Ultrasonidos                   | Se genera y detecta mediante fenómenos de piezoelectricidad y magnetostricción, se detectan grietas y otras discontinuidades (fisuras por fatiga, corrosión o defectos de fabricación del material), además estimar su tamaño lo que facilita llevar un seguimiento del estado y evolución del defecto.                             |
| Análisis de lubricantes        | Verificar el nivel y cambio del lubricante. El control de estado de los lubricantes alerta de fallas incipientes en los órganos lubricantes.  |
| Medida de la Presión           | Para evaluar la cavitación, condensación de vapores o existencia de golpes de ariete, detectar deficiencias funcionales en los cojinetes o problemas en los cierres por una presión insuficiente o poco estable.  |

|                       |   |
|-----------------------|---|
| Medida de Temperatura | Medición de temperatura en los lubricantes.<br>Medición de temperatura de los rodamientos y cojinetes de deslizamiento para detectar deterioro.<br>Medición de temperatura en el sistema de refrigeración.  |
| Termografía           | Fotografía de rayos infrarrojos para detectar zonas calientes en dispositivos electromecánicos. Control de líneas de líneas eléctricas, cuadros eléctricos y motores, maquinas. Se requiere hacer seguimiento que nos permita comparar periódicamente la imagen térmica actual con la normal de referencia. |

Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.2.3.1. Reconocimiento de Piezas y Componentes de Volquete FH

#### 420 4x2T

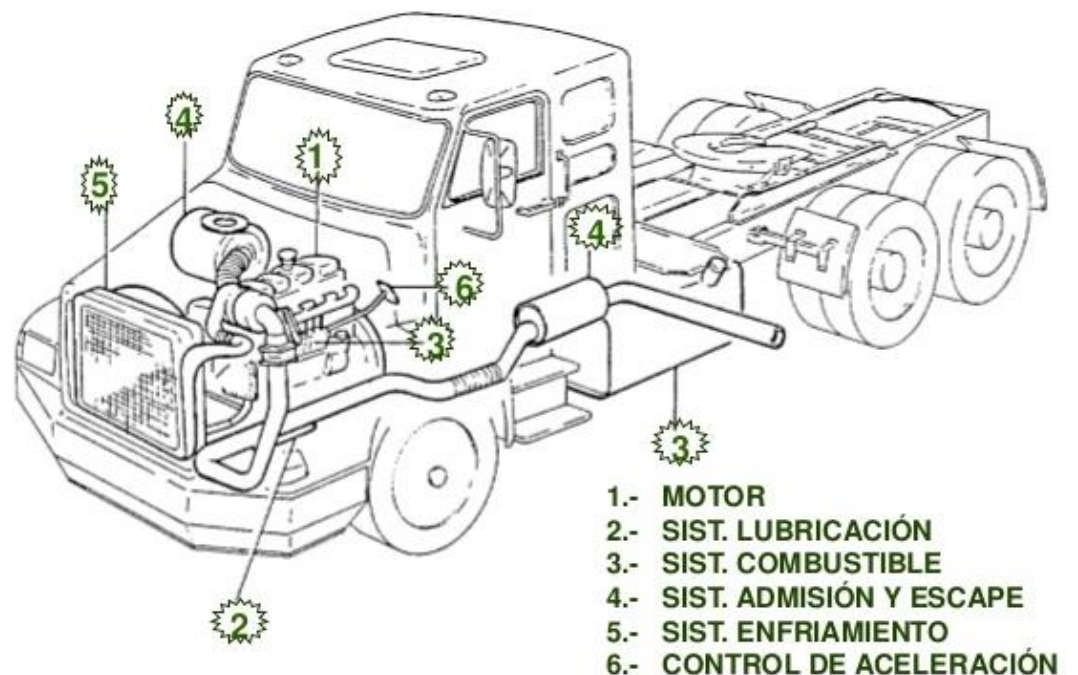


Figura 9. Volquete FH 420 4x2T Mecánica del camión volvo (Yalpa Ravello, 2016)

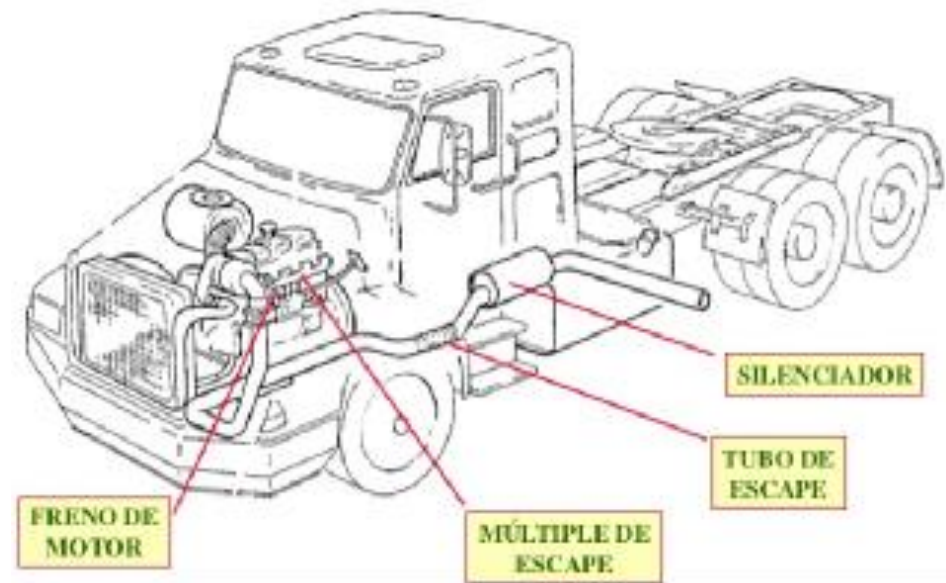


Figura 10. Volquete FH 420 4x2T Mecánica del camión volvo (Yalpa Ravello, 2016)

**Tabla 19**

*Programación de Mantenimiento Predictivo de Volquete FH 420 4x2T*

| <b>Programación de Mantenimiento Predictivo</b> |                           |                           |                           |
|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| <b>Factor de Mantenimiento</b>                  | <b>Componente</b>         | <b>Frecuencia (Horas)</b> | <b>Personal Encargado</b> |
| Inspección Visual                               | Motor                     | 125                       | Mecánico                  |
|   | Sistema de lubricación    | 125                       | Mecánico                  |
|   | Sistema combustible       | 125                       | Mecánico                  |
|   | Sistema admisión y escape | 125                       | Mecánico                  |
|   | Sistema enfriamiento      | 125                       | Mecánico                  |
|   | Control de aceleración    | 125                       | Mecánico                  |
|   | Freno de motor            | 125                       | Mecánico                  |
|   | Múltiple de escape        | 125                       | Mecánico                  |
|   | Tubo de escape            | 125                       | Mecánico                  |

|                         |                           |     |          |
|-------------------------|---------------------------|-----|----------|
| Líquidos                | Sistema admisión y escape | 250 | Mecánico |
| Penetrantes             | Sistema enfriamiento      | 250 | Mecánico |
|                         | Control de aceleración    | 250 | Mecánico |
|                         | Freno de motor            | 250 | Mecánico |
|                         | Múltiple de escape        | 250 |          |
|                         | Tubo de escape            | 250 | Mecánico |
| Partículas              | Sistema enfriamiento      | 250 | Mecánico |
| Magnéticas              | Control de aceleración    | 250 | Mecánico |
|                         | Freno de motor            | 250 | Mecánico |
|                         | Múltiple de escape        | 250 | Mecánico |
|                         | Tubo de escape            | 250 | Mecánico |
| Análisis de lubricantes | Motor                     | 250 | Mecánico |
|                         | Sistema de lubricación    | 250 | Mecánico |
|                         | Sistema combustible       | 250 | Mecánico |
|                         | Sistema enfriamiento      | 250 | Mecánico |
| Medida de la Presión    | Motor                     | 250 | Mecánico |
|                         | Sistema de lubricación    | 250 | Mecánico |
|                         | Sistema combustible       | 250 | Mecánico |
|                         | Sistema admisión y escape | 250 | Mecánico |
|                         | Sistema enfriamiento      | 250 | Mecánico |
| Medida de Temperatura   | Motor                     | 250 | Mecánico |
|                         | Sistema de lubricación    | 250 | Mecánico |
|                         | Sistema combustible       | 250 | Mecánico |
|                         | Sistema admisión y escape | 250 | Mecánico |
|                         | Sistema enfriamiento      | 250 | Mecánico |

|             |                           |     |          |
|-------------|---------------------------|-----|----------|
|             | Freno de motor            | 250 | Mecánico |
|             | Múltiple de escape        | 250 | Mecánico |
|             | Tubo de escape            | 250 | Mecánico |
| Termografía | Motor                     | 250 | Mecánico |
|             | Sistema de lubricación    | 250 | Mecánico |
|             | Sistema admisión y escape | 250 | Mecánico |
|             | Sistema enfriamiento      | 250 | Mecánico |
|             | Freno de motor            | 250 | Mecánico |
|             | Múltiple de escape        | 250 | Mecánico |
|             | Tubo de escape            | 250 | Mecánico |

Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.3. Propuesta 3: Cronograma de Mantenimiento Predictivo de las máquinas

#### Críticas

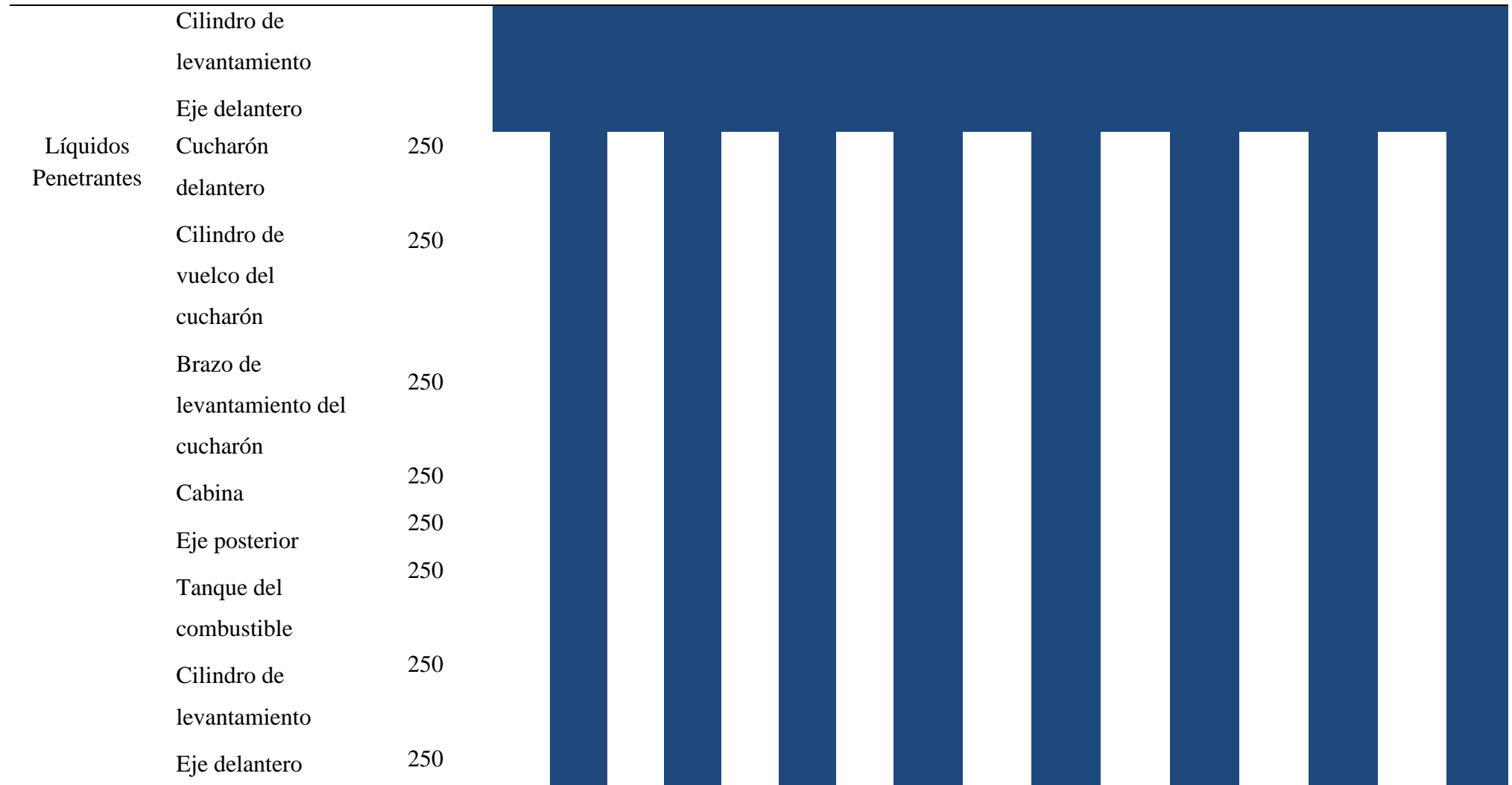


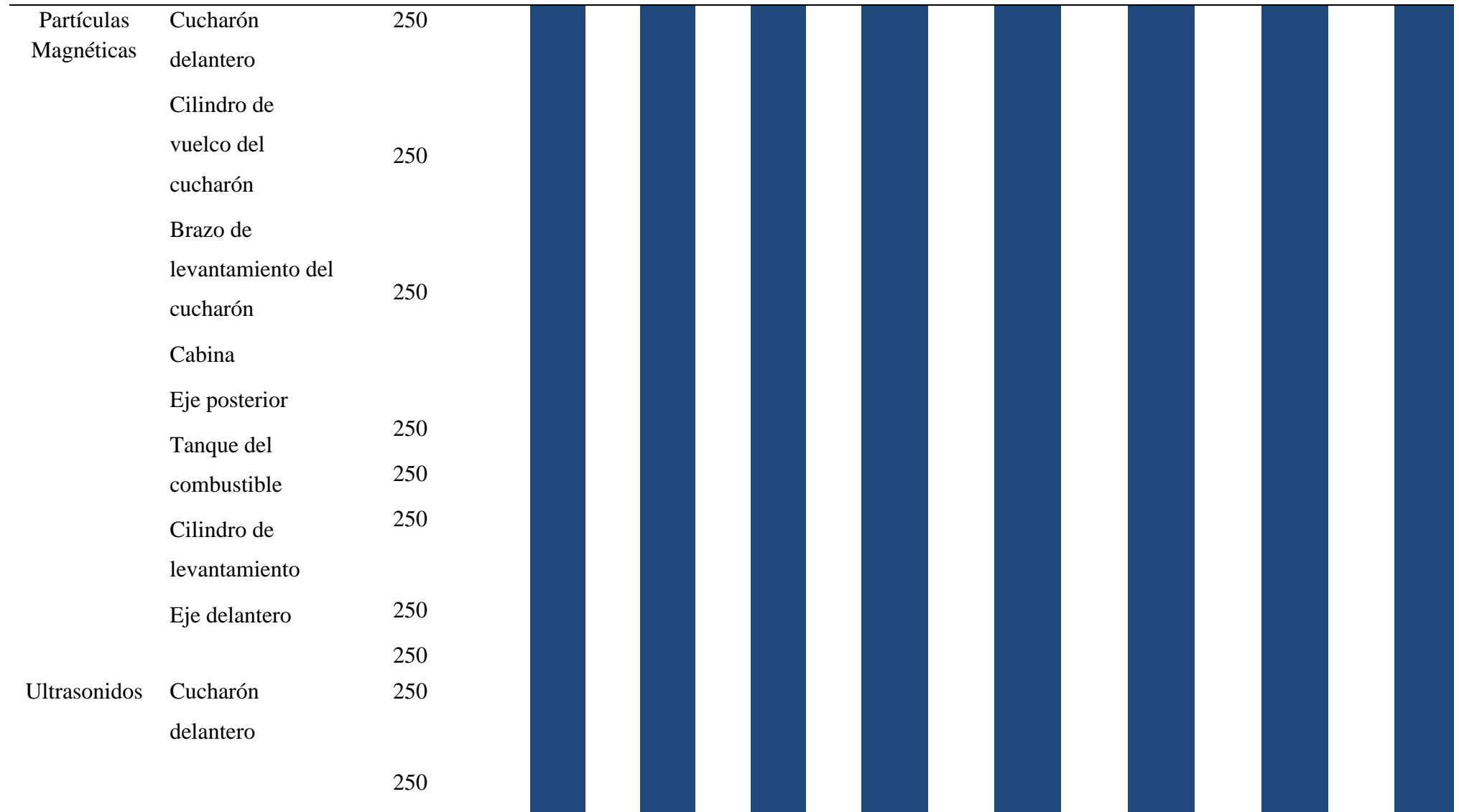
### 3.3.3.1. Cronograma de Mantenimiento Predictivo de Retroexcavadora 4

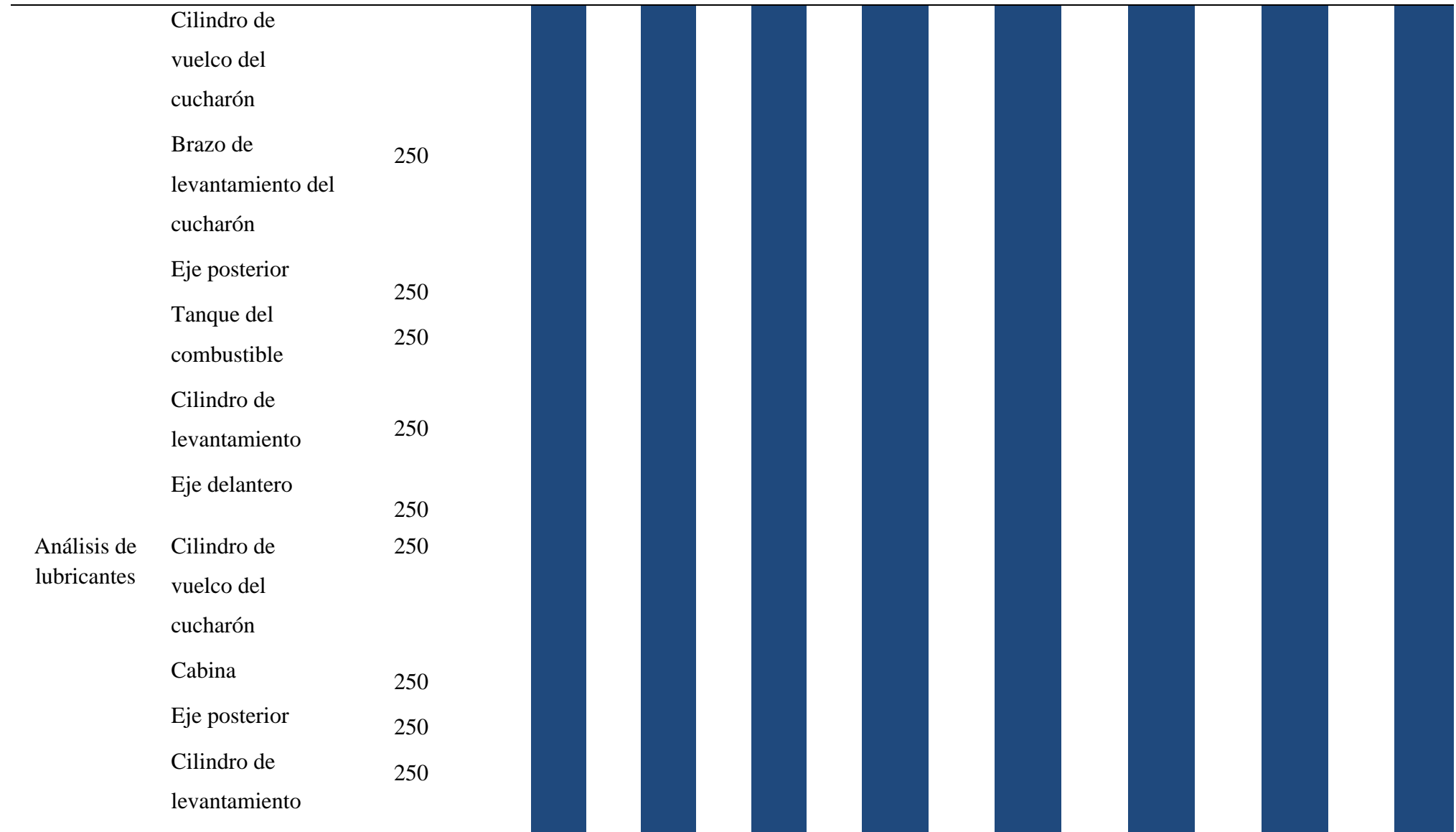
**Tabla 20**

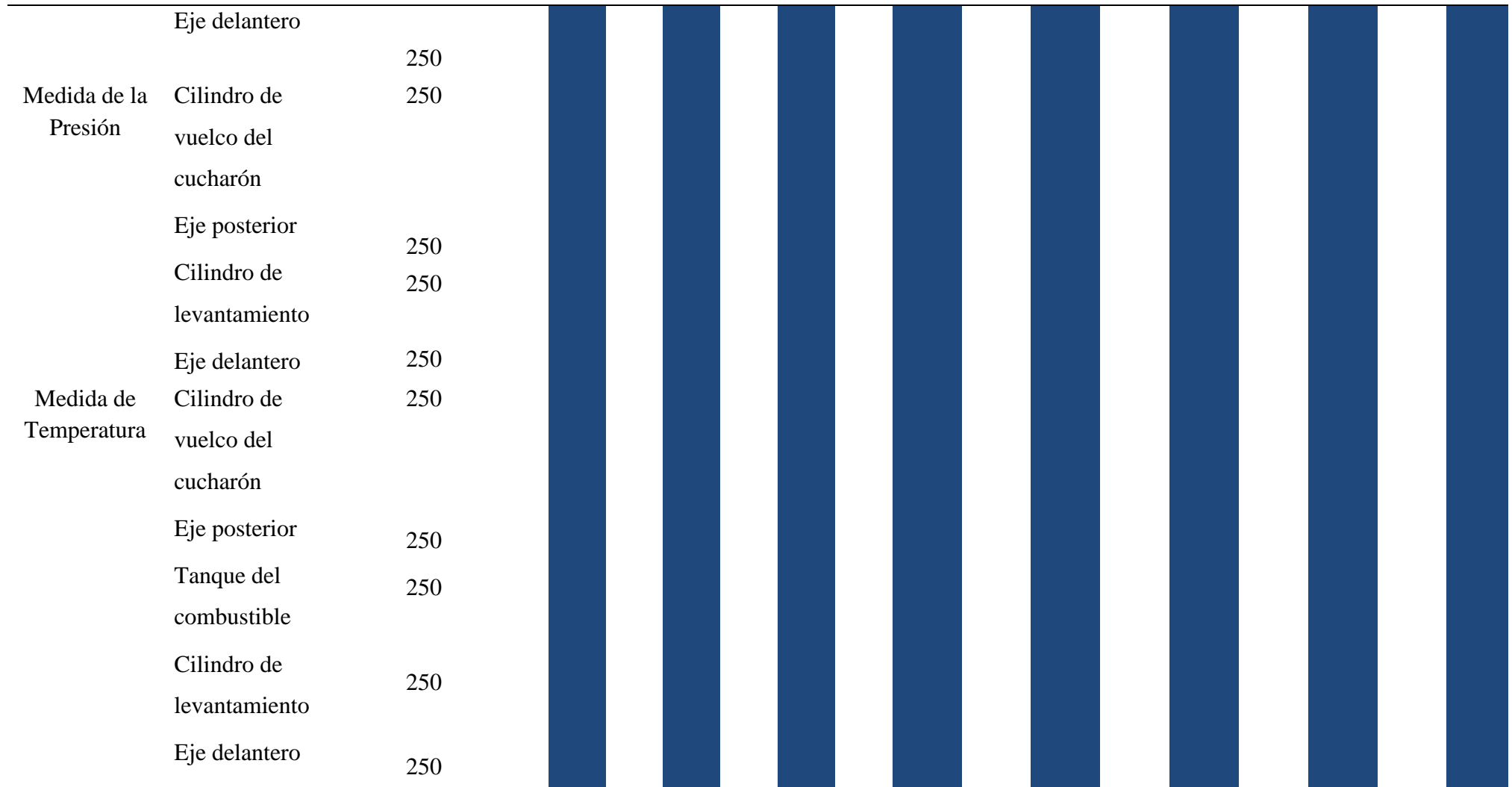
*Cronograma de Mantenimiento Predictivo de Retroexcavadora CAT 446*

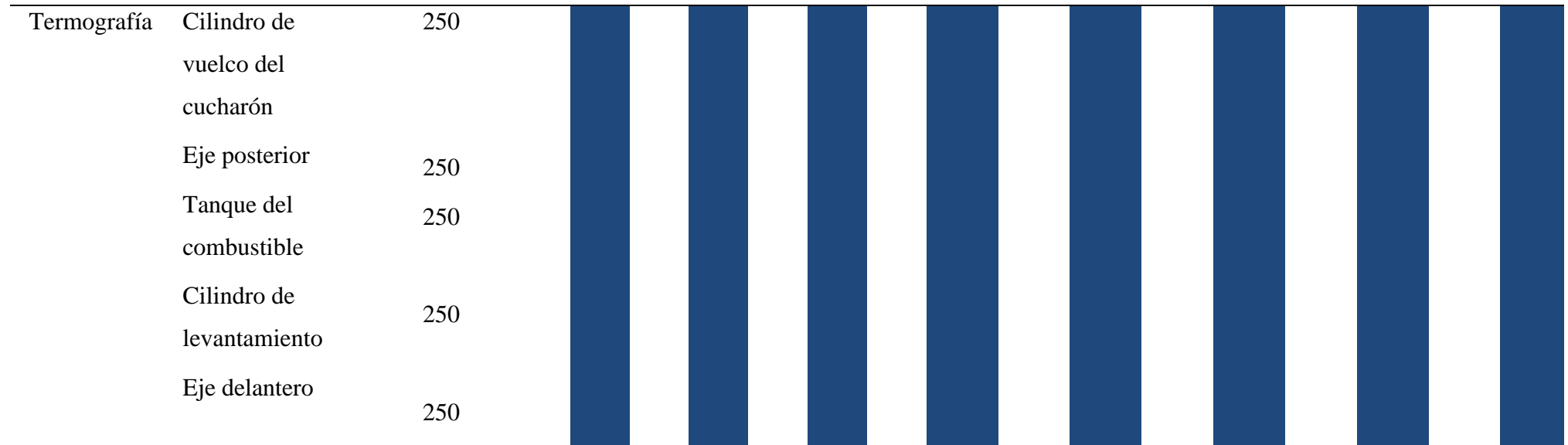
| Factor de Mantenimiento | Componente                          | Frecuencia (Horas) | Horas |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|-------------------------|-------------------------------------|--------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
|                         |                                     |                    | 125   | 250 | 375 | 500 | 625 | 750 | 875 | 1000 | 1125 | 1250 | 1375 | 1500 | 1625 | 1750 | 1875 | ... |
| Inspección Visual       | Cucharón delantero                  | 125                |       |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|                         | Cilindro de vuelco del cucharón     | 125                |       |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|                         | Brazo de levantamiento del cucharón | 125                |       |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|                         | Cabina                              | 125                |       |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|                         | Eje posterior                       | 125                |       |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|                         | Tanque del combustible              | 125                |       |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|                         |                                     | 125                |       |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|                         |                                     | 125                |       |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |











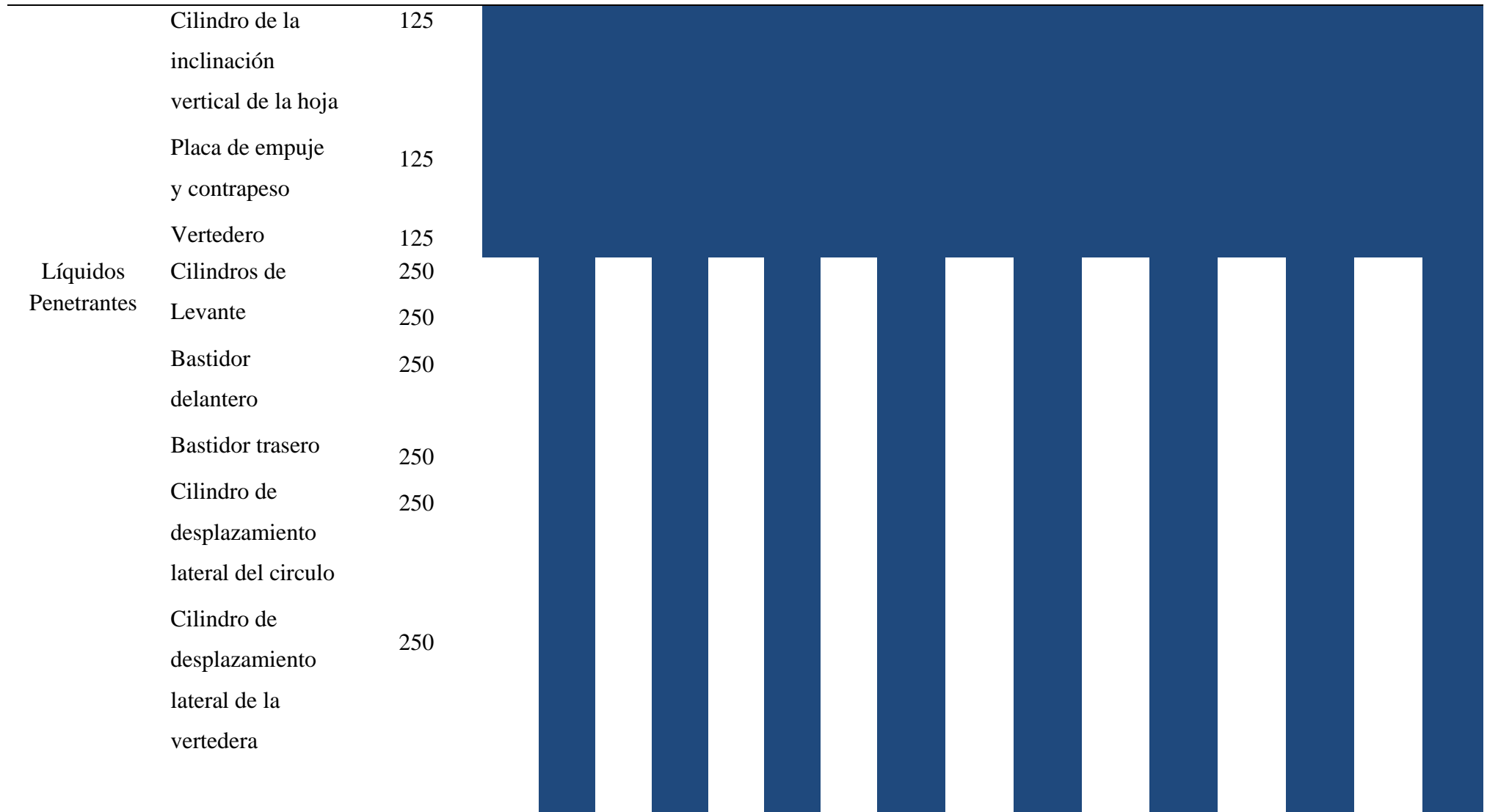
Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.3.2. Cronograma de Mantenimiento Predictivo de Motoniveladora 1

**Tabla 21**

*Cronograma de Mantenimiento Predictivo de Motoniveladora DD 120*

| Factor de Mantenimiento | Componente   | Frecuencia (Horas) | Horas |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |  |
|-------------------------|--|--------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|--|
|                         |  |                    | 125   | 250 | 375 | 500 | 625 | 750 | 875 | 1000 | 1125 | 1250 | 1375 | 1500 | 1625 | 1750 | 1875 | ... |  |
| Inspección Visual       | Cilindros de Levante                               | 125                |       |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |  |
|                         | Bastidor delantero                                 | 125                |       |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |  |
|                         | Bastidor trasero                                   | 125                |       |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |  |
|                         | Cilindro de desplazamiento lateral del circulo     | 125                |       |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |  |
|                         | Cilindro de desplazamiento lateral de la vertedera | 125                |       |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |  |
|                         |  |                    |       |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |  |
|                         |  |                    |       |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |  |



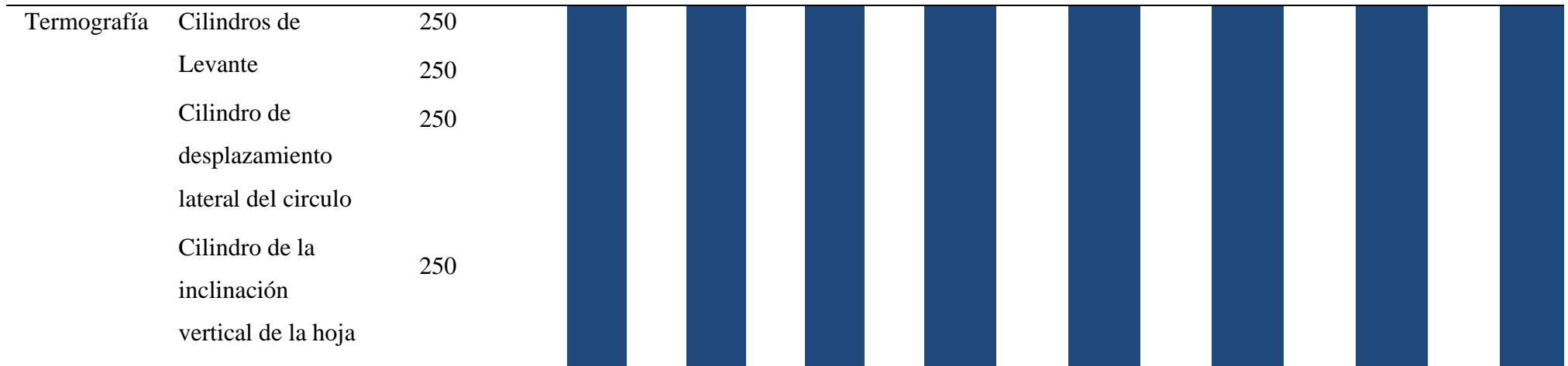


|                       |  |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-----------------------|--|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|                       | Cilindro de la inclinación vertical de la hoja     | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Placa de empuje y contrapeso                       | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Vertedero  | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Partículas Magnéticas | Cilindros de Levante                               | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Bastidor delantero                                 | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Bastidor trasero                                   | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Cilindro de desplazamiento lateral del circulo     | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Cilindro de desplazamiento lateral de la vertedera | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

|              |  |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--------------|--|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Ultrasonidos | Cilindro de la inclinación vertical de la hoja     | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|              | Placa de empuje y contrapeso                       | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|              | Vertedero  | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|              | Cilindros de Levante                               | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|              | Bastidor delantero                                 | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|              | Bastidor trasero                                   | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|              | Cilindro de desplazamiento lateral del circulo     | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|              | Cilindro de desplazamiento lateral de la vertedera | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

|                         |  |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-------------------------|--|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|                         | Cilindro de la inclinación vertical de la hoja     | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Análisis de lubricantes | Cilindros de Levante                               | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                         | Cilindro de desplazamiento lateral del circulo     | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                         | Cilindro de desplazamiento lateral de la vertedera | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                         | Cilindro de la inclinación vertical de la hoja     | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Medida de la Presión    | Cilindros de levante                               | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                         | Cilindro de desplazamiento lateral del circulo     | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

|                       |  |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-----------------------|--|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Medida de Temperatura | Cilindro de desplazamiento lateral de la vertedera | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Cilindro de la inclinación vertical de la hoja     | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Cilindros de levante                               | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Cilindro de desplazamiento lateral del circulo     | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Cilindro de desplazamiento lateral de la vertedera | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Cilindro de la inclinación vertical de la hoja     | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                       |  |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |



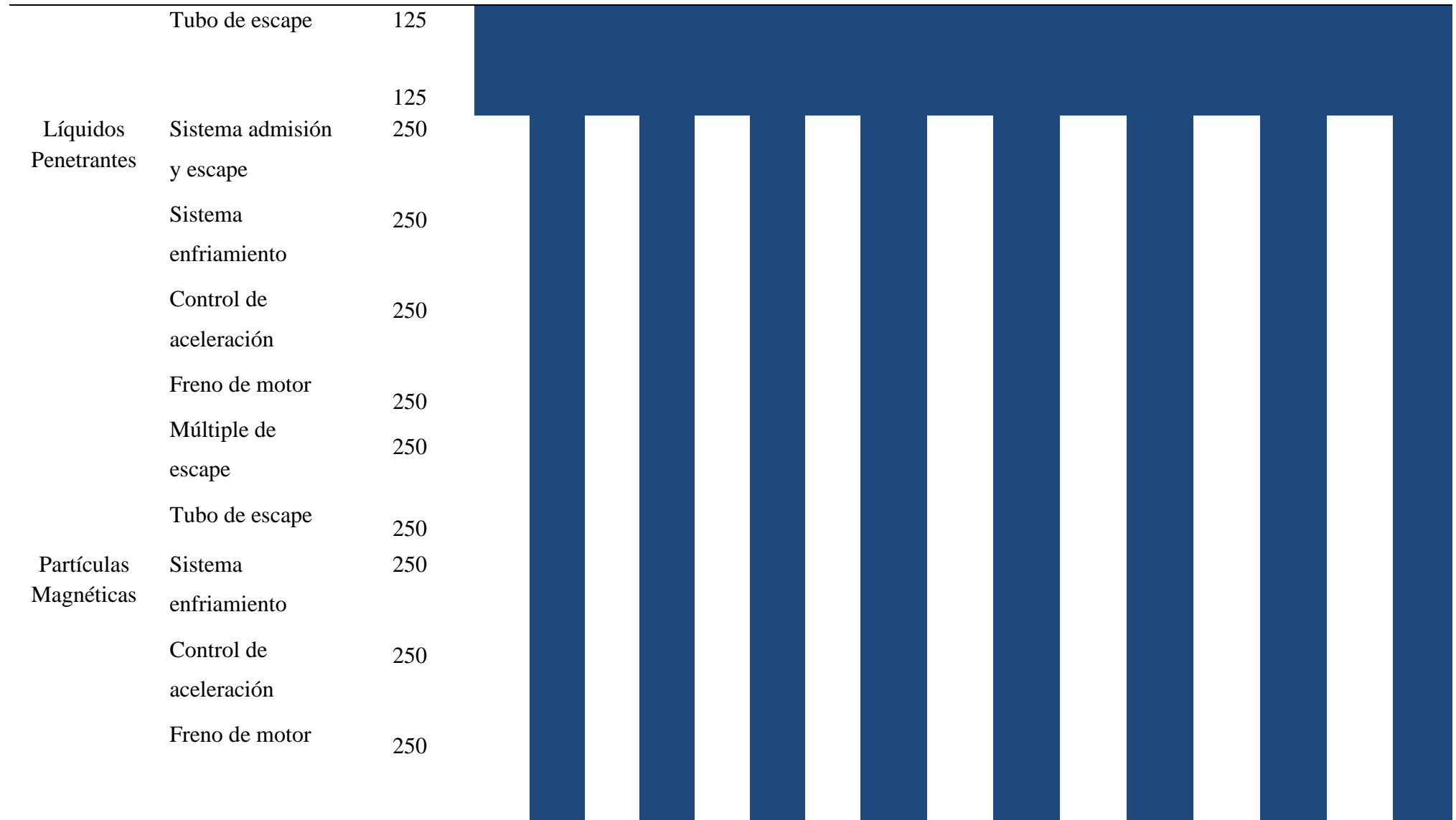
Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.3.3. Cronograma de Mantenimiento Predictivo de Volquete 1

**Tabla 22**

*Cronograma de Mantenimiento Predictivo de Volquete FH 420 4x2T*

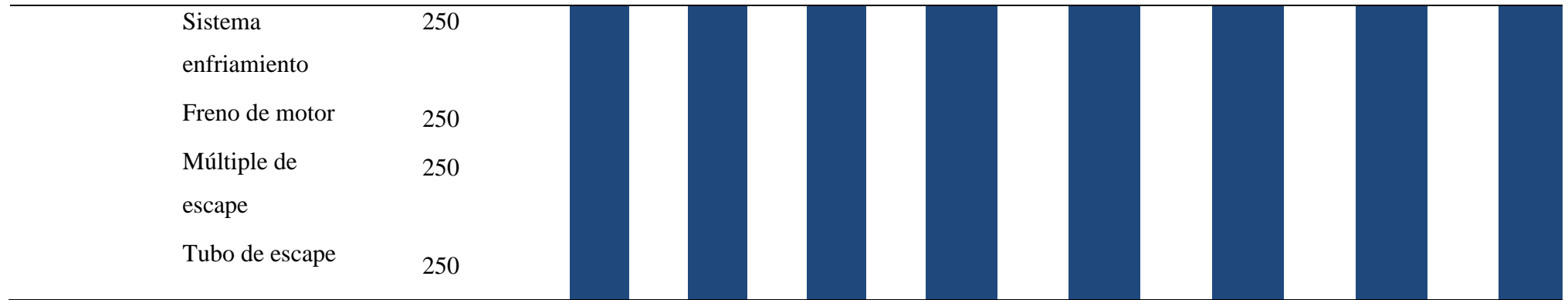
| Factor de Mantenimiento | Componente                | Frecuencia (Horas) | Horas |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|-------------------------|---------------------------|--------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
|                         |                           |                    | 125   | 250 | 375 | 500 | 625 | 750 | 875 | 1000 | 1125 | 1250 | 1375 | 1500 | 1625 | 1750 | 1875 | ... |
| Inspección Visual       | Motor                     | 125                |       |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|                         | Sistema de lubricación    | 125                |       |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|                         | Sistema combustible       | 125                |       |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|                         | Sistema admisión y escape | 125                |       |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|                         | Sistema enfriamiento      | 125                |       |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|                         | Control de aceleración    | 125                |       |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|                         | Freno de motor            | 125                |       |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |
|                         | Múltiple de escape        | 125                |       |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |



|                         |                           |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-------------------------|---------------------------|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|                         | Múltiple de escape        | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                         | Tubo de escape            | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Análisis de lubricantes | Motor                     | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                         | Sistema de lubricación    | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                         | Sistema combustible       | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                         | Sistema enfriamiento      | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Medida de la Presión    | Motor                     | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                         | Sistema de lubricación    | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                         | Sistema combustible       | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                         | Sistema admisión y escape | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                         | Sistema enfriamiento      | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |



|                       |                           |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-----------------------|---------------------------|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Medida de Temperatura | Motor                     | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Sistema de lubricación    | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Sistema combustible       | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Sistema admisión y escape | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Sistema enfriamiento      | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Freno de motor            | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Múltiple de escape        | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Tubo de escape            | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Termografía           | Motor                     | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Sistema de lubricación    | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                       | Sistema admisión y escape | 250 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |



Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.4. Propuesta 4: Ficha del Estado Técnico de las Máquinas Críticas

Los técnicos realizan su inspección diaria, de acuerdo a los reportes se informa al supervisor para los posibles trabajos a realizar, para esto se usan las Fichas técnicas de las Maquinas Criticas, según Anexo 1.

#### 3.3.4.1. Ficha del estado técnico de la Retroexcavadora 4

| <b>Ficha del Estado Técnico de las Maquinas</b> |                 |                        |                |              |
|---|-----------------|------------------------|----------------|--------------|
| <b>Maquina:</b> Retroexcavadora                 |                 | <b>Modelo:</b> CAT 446 |                |              |
| <b>Fecha:</b>                                   |                 | <b>Elaborado por:</b>  |                |              |
| <b>Estado Técnico</b>                           |                 |                        |                |              |
| <b>Componente</b>                               | <b>Obsoleto</b> | <b>Malo</b>            | <b>Regular</b> | <b>Bueno</b> |
| Cucharón delantero                              |                 |                        |                |              |
| Cilindro de vuelco del cucharón                 |                 |                        |                |              |
| Brazo de levantamiento del cucharón             |                 |                        |                |              |
| Cabina  |                 |                        |                |              |
| Eje posterior                                   |                 |                        |                |              |
| Tanque del combustible                          |                 |                        |                |              |
| Cilindro de levantamiento                       |                 |                        |                |              |
| Eje delantero                                   |                 |                        |                |              |
| <b>Conclusión:</b>                              |                 |                        |                |              |

Figura 11. Ficha del estado técnico de la Retroexcavadora

### 3.3.4.2. Ficha del estado técnico de

#### la Motoniveladora 1

| Ficha del Estado Técnico de las Maquinas           |          |                       |         |       |
|--|----------|-----------------------|---------|-------|
| <b>Maquina:</b> Motoniveladora                     |          | <b>Modelo:</b> DD 120 |         |       |
| <b>Fecha:</b>                                      |          | <b>Elaborado por:</b> |         |       |
| Estado Técnico                                     |          |                       |         |       |
| Componente   | Obsoleto | Malo                  | Regular | Bueno |
| Cilindros de Levante                               |          |                       |         |       |
| Bastidor delantero                                 |          |                       |         |       |
| Bastidor trasero                                   |          |                       |         |       |
| Cilindro de desplazamiento lateral del circulo     |          |                       |         |       |
| Cilindro de desplazamiento lateral de la vertedera |          |                       |         |       |
| Cilindro de la inclinación vertical de la hoja     |          |                       |         |       |
| Placa de empuje y contrapeso                       |          |                       |         |       |
| Vertedero  |          |                       |         |       |
| <b>Conclusión:</b>                                 |          |                       |         |       |

Figura 12. Ficha del estado técnico de la Motoniveladora

### 3.3.4.3. Ficha del estado técnico del Volquete 1

| Ficha del Estado Técnico de las Maquinas |          |                            |         |       |
|--|----------|----------------------------|---------|-------|
| <b>Maquina:</b> Volquete                 |          | <b>Modelo:</b> FH 420 4x2T |         |       |
| <b>Fecha:</b>                            |          | <b>Elaborado por:</b>      |         |       |
| Estado Técnico                           |          |                            |         |       |
| Componente                               | Obsoleto | Malo                       | Regular | Bueno |
| Motor                                    |          |                            |         |       |
| Sistema de lubricación                   |          |                            |         |       |
| Sistema combustible                      |          |                            |         |       |
| Sistema admisión y escape                |          |                            |         |       |
| Sistema enfriamiento                     |          |                            |         |       |
| Control de aceleración                   |          |                            |         |       |
| Freno de motor                           |          |                            |         |       |
| Múltiple de escape                       |          |                            |         |       |
| Tubo de escape                           |          |                            |         |       |
| Silenciador                              |          |                            |         |       |
| <b>Conclusión:</b>                       |          |                            |         |       |

Figura 13. Ficha del estado técnico del Volquete

### 3.4. Resultados después de la propuesta

Para obtener los resultados de la implementación del Sistema de Mantenimiento Predictivo mostrado anteriormente, desarrollaremos los indicadores de las variables Dependiente e Independiente. Se ha considerado como referencia a Tuesta (2014), quien, en su proyecto de tesis, ha demostrado reducir un 61% el número de fallas y aumentar en un 70% el Cumplimiento del Mantenimiento de la Empresa OBRAINSA, en un periodo de 4 años.

#### 3.4.1. Variable Independiente: Sistema de Mantenimiento Predictivo

**3.4.1.1. Porcentaje políticas de Mantenimiento:** Con la implementación del sistema de gestión de mantenimiento predictivo se ha obtenido un valor de Políticas de mantenimiento de 100%.

**3.4.1.2. Porcentaje Total de Tareas Predictivas:** Para obtener el valor de Este indicador se ha considerado el número de tareas predictivas propuestas en la investigación de las máquinas más críticas, asignadas en la programación de mantenimiento predictivo, como se muestra en las tablas 13, 15 y 17. Se ha considerado el total de tareas predictivas como el número de fallas proyectadas en los periodos (2020-2024). Mediante la fórmula de la Ecuación 1.

$$\% \text{ Total de Tareas Predictivas} = \frac{56}{60} \times 100$$

$$\% \text{ Total de Tareas Predictivas} = 0.93 \times 100$$

$$\% \text{ Total de Tareas Predictivas} = 93 \%$$

Se espera que el total de tareas predictivas sean un 93% con respecto a las tareas programadas.

**3.4.1.3. Porcentaje Cumplimiento de Tareas Predictivas:** Para obtener el valor de este indicador se considera 60 el valor de tareas predictivas y 56 el valor de tareas predictivas realizadas para el periodo proyectado (2020-2024). Mediante la fórmula de la Ecuación 2.

$$\% \text{ Cumplimiento de Tareas Predictivas} = \frac{56}{60} \times 100$$

$$\% \text{ Cumplimiento de Tareas Predictivas} = 0.93 \times 100$$

$$\% \text{ Cumplimiento de Tareas Predictivas} = 93 \%$$

Se espera que el porcentaje del cumplimiento de tareas predictivas sea de 93% con respecto al total.

**3.4.1.4. Porcentaje de Cumplimiento de Inspecciones:** Para medir este indicador se ha considerado los factores de mantenimiento predictivo de las tres máquinas críticas, como se muestra en las tablas 18, 19 y 20. El indicador anterior es 93% de cumplimiento del sistema de gestión, siendo el total de inspecciones programadas 22 y 18 el total de inspecciones realizadas. Se desarrolla mediante la fórmula de la Ecuación 3.

$$\% \text{ Cumplimiento de Inspección} = \frac{18}{22} \times 100$$

$$\% \text{ Cumplimiento de Inspección} = 0.82 \times 100$$

$$\% \text{ Cumplimiento de Inspección} = 82 \%$$

Se espera que el porcentaje de inspecciones realizadas sea del 82 % con respecto al total.

**3.4.1.5. Mantenimiento Predictivo:** Para obtener el valor de este indicador se considera 60 el valor de Actividades predictivas programadas y 56 el valor

de Actividades predictivas ejecutadas para el periodo proyectado (2020-2024). Mediante la fórmula de la Ecuación 7.

$$\% \text{ Mantenimiento Predictivo} = \frac{56}{60} \times 100$$

$$\% \text{ Mantenimiento Predictivo} = 0.93 \times 100$$

$$\% \text{ Mantenimiento Predictivo} = 93 \%$$

Se espera que el porcentaje del Mantenimiento Predictivo sea de 93% .

### **3.4.2. Variable Dependiente: Disponibilidad de los Equipos**

Se tomaron los datos de las fallas del último año de estudio de esta investigación, reduciendo a un 80% para cada año proyectado, por lo cual los valores mostrarán un comportamiento estacional.

#### **3.4.2.1. Tiempo Promedio Entre fallas (MTBF)**

Para hallar este indicador se ha considerado los valores del Tiempo Total de Funcionamiento (Anexo 4) y el Número de Fallas de las máquinas críticas en el periodo proyectado (Anexo 7), mediante la fórmula de la Ecuación 4.

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo Total de Funcionamiento}}{\textit{Número de Fallas}}$$

Dónde:

Tiempo Total de Funcionamiento = Tiempo Total de

Operación (Anexo 4) – Hora de inactividad por Falla (Anexo 8)



**Tabla 23**

*Tiempo Promedio entre Fallas (MTBF) en horas de las máquinas críticas en un el periodo del 2020 – 2024*

| MTBF              | Años            |                 |                 |                 |                 |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                   | 2020<br>(Horas) | 2021<br>(Horas) | 2022<br>(Horas) | 2023<br>(Horas) | 2024<br>(Horas) |
| Retroexcavadora 4 | 3346            | 3346            | 3346            | 3346            | 3346            |
| Motoniveladora 1  | 3582            | 3582            | 3582            | 3582            | 3582            |
| Volquete 1        | 6828            | 6828            | 6828            | 6828            | 6828            |

Fuente. Elaboración Propia

Como se puede observar el número de horas que estarán en funcionamiento las máquinas demuestran una tendencia estacional en el periodo estudiado.

### 3.4.2.1. Tiempo Promedio en Reparación (MTTR)

Para hallar este indicador se ha considerado los valores del Tiempo Total de Inactividad esperados en las máquinas (Anexo 8), y el Numero de Fallas de las Maquinas en el periodo proyectado (Anexo 7), mediante la fórmula de la Ecuación 5.

**Tabla 24**

*Tiempo Promedio de Reparación (MTTR) en horas de las Máquinas en el periodo (2020-2024)*

| MTTR              | N° de horas de inactividad por falla (Año) |                 |                 |                 |                 |
|-------------------|--|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                   | 2020<br>(Horas)                            | 2021<br>(Horas) | 2022<br>(Horas) | 2023<br>(Horas) | 2024<br>(Horas) |
| Retroexcavadora 4 | 304  | 304             | 304             | 304             | 304             |
| Motoniveladora 1  | 68   | 68              | 68              | 68              | 68              |
| Volquete 1        | 472  | 472             | 472             | 472             | 472             |

Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la tabla anterior, el Tiempo de Inactividad de las máquinas críticas es constante.

### 3.4.2.1. Porcentaje de Disponibilidad

Para hallar los valores de este indicador, usamos los valores de los indicadores desarrollados anteriormente, Tiempo Promedio entre Fallas Tabla 21 y Tiempo Promedio de Reparación Tabla 22, mediante la fórmula de la Ecuación 6.

$$\% \text{ Disponibilidad Inherente} = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \times 100$$

**Tabla 25**

*Porcentaje de Disponibilidad Inherente de las máquinas críticas en el periodo 2020-2024*

| Disponibilidad<br>Inherente | Años |      |      |      |      |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|
|                             | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |
| Retroexcavadora 4           | 92%  | 92%  | 92%  | 92%  | 92%  |
| Motoniveladora 1            | 98%  | 98%  | 98%  | 98%  | 98%  |
| Volquete 1                  | 94%  | 94%  | 94%  | 94%  | 94%  |

Fuente: Elaboración Propia

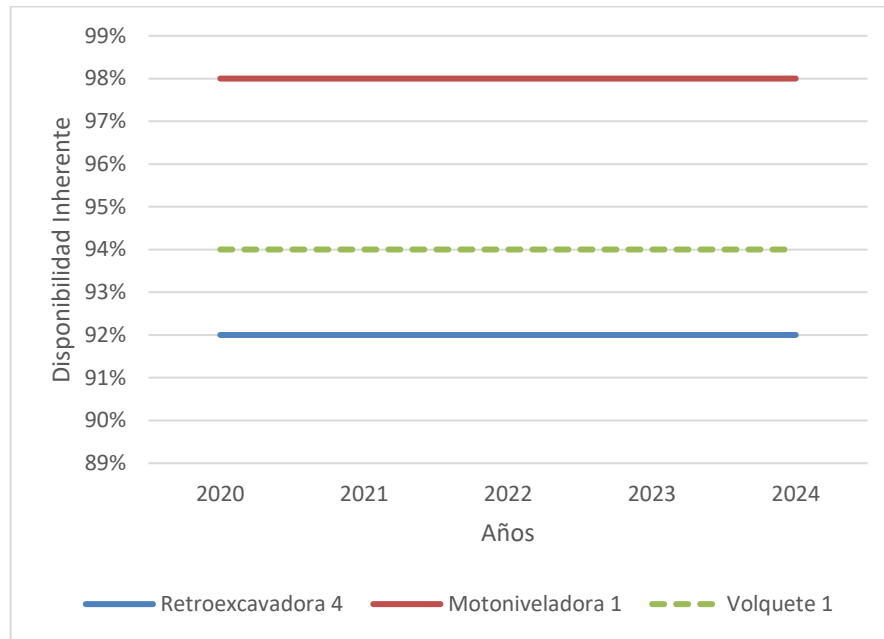


Figura 14. Comportamiento de la Disponibilidad Inherente de las máquinas críticas del periodo proyectado.

Como se puede observar, el porcentaje del tiempo que las máquinas críticas estarán disponibles para operar durante el periodo proyectado, muestra una tendencia estacional en el tiempo.

**Tabla 26**

*Operacionalización de Variables Cuantificadas después de la Propuesta de Mejora*

| <b>Tipo de Variable</b>       | <b>Variable</b>                            | <b>Definición Conceptual</b>   | <b>Dimensiones</b>                     | <b>Antes de la Propuesta</b> | <b>Después de la Propuesta</b> | <b>Mejora (Variación)</b> |
|-------------------------------|--|--|--|------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| <b>Variable Independiente</b> | <b>Sistema de Mantenimiento Predictivo</b> | Según (Grúas y Aparejos) El Mantenimiento Predictivo consiste en realizar evaluaciones programadas, a fin de obtener parámetros de funcionamiento de las máquinas y compararlos con los parámetros dados por los fabricantes. Incluye inspecciones visuales y auditivas, a fin de descubrir ruidos o señas fuera de lo esperado. | Políticas de mantenimiento             | 0%                           | 100%                           | 100%                      |
|                               |  |  | Total de tareas predictivas            | 0%                           | 93%                            | 93%                       |
|                               |  |  | Cumplimiento de tareas predictivas     | 0%                           | 93%                            | 93%                       |
|                               |  |  | Cumplimiento de inspecciones           | 0%                           | 82%                            | 82%                       |
|                               |  |  | Mantenimiento Predictivo               | 0%                           | 93%                            | 93%                       |
| <b>Variable Dependiente</b>   | <b>Disponibilidad de los Equipos</b>       | Según (Ticlavilca, 2016), la Disponibilidad se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente.  | Tiempo Promedio en Entre Fallas (MTBF) | 2675 Horas                   | 4585 Horas                     | 1910 Horas                |
|                               |  |  | Tiempo Promedio en Reparación (MTTR)   | 448 Horas                    | 281 Horas                      | 167 Horas                 |
|                               |  |  | Disponibilidad                         | 84 %                         | 94 %                           | 10 %                      |

Fuente: Elaboración propia

Como se detalla en la Tabla 26, los valores de los indicadores antes de la propuesta muestran los resultados obtenidos en el periodo (2015-2019), los valores de los indicadores después de la propuesta muestran los resultados en el periodo proyectado (2020-2024), logrando así un aumento del 10 % en la Disponibilidad de las máquinas.

### 3.5. Análisis Económico

**Costo de Implementación:** Para elaborar el análisis económico financiero se consideraron todos los costos usados para la implementación del sistema de mantenimiento predictivo como: útiles de escritorio, materiales, herramientas personales y capacitación de personal. Como se detalla en la siguiente tabla.

**Tabla 27**

*Costo de Implementación*

| <b>Ítem</b>                 | <b>Medida</b> | <b>Cantidad</b> | <b>Precio Unitario</b> | <b>Inversión Total</b> |
|-----------------------------|---------------|-----------------|------------------------|------------------------|
|                             |               |                 | <b>S/.</b>             | <b>S/.</b>             |
| <b>ÚTILES DE ESCRITORIO</b> |               |                 |                        |                        |
| Papel bond A4               | Millar        | 4               | 15.00                  | 60.00                  |
| Check List                  | Millar        | 3               | 60.00                  | 180.00                 |
| Lapiceros                   | Caja          | 1               | 8.00                   | 8.00                   |
| Perforador                  | Unidad        | 1               | 6.00                   | 6.00                   |
| Tinta de impresora          | Unidad        | 2               | 35.00                  | 70.00                  |
| Engrapador                  | Unidad        | 1               | 5.00                   | 5.00                   |
| Archivadores                | Unidad        | 3               | 7.00                   | 21.00                  |
| Plumones indelebles         | Caja          | 1               | 8.00                   | 8.00                   |
| <b>EQUIPOS DE OFICINA</b>   |               |                 |                        |                        |
| Laptop                      | Unidad        | 1               | 2,000.00               | 2,000.00               |
| Escritorio                  | Unidad        | 1               | 200.00                 | 200.00                 |
| Impresora                   | Unidad        | 1               | 400.00                 | 400.00                 |
| Cámara fotográfica          | Unidad        | 1               | 260.00                 | 260.00                 |
| Memorias USB                | Unidad        | 2               | 18.00                  | 36.00                  |
| <b>MATERIALES</b>           |               |                 |                        |                        |
| Detergente                  | Kilogramo     | 15              | 13.00                  | 195.00                 |

|  |           |    |        |                 |
|--|-----------|----|--------|-----------------|
| Trapos industriales                            | Kilogramo | 1  | 4.00   | 4.00            |
| Desinfectante                                  | Galón     | 2  | 14.00  | 28.00           |
| <b>EQUIPOS Y<br/>HERRAMIENTAS</b>              |           |    |        |                 |
| Líquidos Penetrantes                           | Unidad    | 2  | 80.00  | 160.00          |
| Partículas Magnéticas                          | Unidad    | 2  | 90.00  | 180.00          |
| Termógrafo                                     | Unidad    | 1  | 200.00 | 200.00          |
| Manómetro                                      | Unidad    | 1  | 250.00 | 250.00          |
| Pirómetro                                      | Unidad    | 1  | 220.00 | 220.00          |
| <b>HERRAMIENTAS<br/>PERSONALES</b>             |           |    |        |                 |
| Zapatos puntas de acero                        | Par       | 7  | 150.00 | 1,050.00        |
| Overol   | Unidad    | 7  | 60.00  | 420.00          |
| Guantes  | Par       | 14 | 30.00  | 420.00          |
| Lentes de seguridad                            | Unidad    | 7  | 25.00  | 175.00          |
| Casco  | Unidad    | 7  | 35.00  | 245.00          |
| Respirador                                     | Unidad    | 7  | 35.00  | 245.00          |
| <b>CAPACITACIÓN AL<br/>PERSONAL</b>            |           |    |        |                 |
| Capacitación de<br>mantenimiento<br>predictivo | Horas     | 8  | 90.00  | 720.00          |
| <b>Total de Inversión S/.</b>                  |           |    |        | <b>7,836.00</b> |

Fuente: Elaboración Propia

Según la tabla anterior el costo total de inversión para la implementación del mantenimiento predictivo propuesto es de S/. 7,656.00.

**Inversión:** Para la inversión se ha considerado los sueldos del personal técnico, administrativo y los costos de las herramientas básicas y especiales.

Para la ejecución del mantenimiento predictivo se contratará mecánicos, los que cumplirán las actividades de mantenimiento de las máquinas.

**Tabla 28**

*Sueldo de Personal Técnico*

| <b>Cantidad</b> | <b>Técnico</b> | <b>Sueldo base +<br/>beneficios</b> | <b>Costo Anual<br/>S/.</b> |
|-----------------|----------------|-------------------------------------|----------------------------|
| 1               | Mantenimiento  | 1,200.00                            | 14,400.00                  |

Fuente: Elaboración propia

Par la asignación de sueldo del personal técnico se consideró el sueldo mínimo en el Perú desde el año 2019, con un valor de S/. 930.00 y se asignó los beneficios de ley con un valor de S/. 270.00, generando así un sueldo mensual de S/. 1,200.00.

También se contratará personal administrativo de mantenimiento para garantizar un buen manejo del sistema de mantenimiento predictivo.

**Tabla 29**

*Sueldo de Personal Administrativo*

| <b>Cantidad</b> | <b>Administrativo</b> | <b>Sueldo base +<br/>beneficios</b> | <b>Costo Anual<br/>S/.</b> |
|-----------------|-----------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| 1               | Personal              | 1,200.00                            | 14,400.00                  |

Fuente: Elaboración propia

Para asignar el sueldo del personal administrativo también se ha considerado un sueldo mínimo y asignación de sus beneficios.

**Flujo de Inversión:** Para desarrollar el flujo de caja se ha considerado los montos correspondientes al año cero y su permanencia en los siguientes años. Para los costos de herramientas y equipos, capacitación, solo se considera el año cero. Así también en los costos de útiles de escritorio y oficina, el costo del primer año, se ha reducido ya que solo se ha considerado la compra de los formatos de check-list de mantenimiento predictivo que serán utilizarán constantemente.

**Tabla 30***Costos Proyectados*

| Descripción  | Flujo de Inversión Anual |                  |                  |                  |                  |                  |
|--|--------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|  | Año 0                    | Año 1            | Año 2            | Año 3            | Año 4            | Año 5            |
|  | S/.                      | S/.              | S/.              | S/.              | S/.              | S/.              |
| Sueldo de Personal Técnico                         | 14,400.00                | 14,400.00        | 14,400.00        | 14,400.00        | 14,400.00        | 14,400.00        |
| Sueldo de Personal Administrativo                  | 14,400.00                | 14,400.00        | 14,400.00        | 14,400.00        | 14,400.00        | 14,400.00        |
| Costos de Herramientas y Equipos                   | 1,010.00                 | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                |
| Costos de Implementos de Seguridad                 | 2,625.00                 | 2,625.00         | 2,625.00         | 2,625.00         | 2,625.00         | 2,625.00         |
| Costo de Mantenimiento de Equipos                  | 227.00                   | 227.00           | 227.00           | 227.00           | 227.00           | 227.00           |
| Costo de Capacitación                              | 720.00                   | 0                | 0                | 0                | 0                | 0                |
| Costo de Útiles de Escritorio y Equipos de Oficina | 3,194.00                 | 180.00           | 180.00           | 180.00           | 180.00           | 180.00           |
| <b>Costo Total</b>                                 | <b>36,576.00</b>         | <b>31,832.00</b> | <b>31,832.00</b> | <b>31,832.00</b> | <b>31,832.00</b> | <b>31,832.00</b> |

Fuente: Elaboración Propia

La tabla anterior nos muestra los costos proyectados en el periodo de cinco años, donde en el año cero la inversión inicial dará inicio al sistema de Mantenimiento Predictivo con un valor de S/. 36,576.00. Los siguientes años muestran un costo constante para la continuidad del mismo, con un valor de S/. 31,832.00.



**Tabla 31**

*Indicadores de Ahorro*

| <b>Indicadores de Ahorro</b>           |              | <b>2020</b>      | <b>2021</b>      | <b>2022</b>      | <b>2023</b>      | <b>2024</b>      |
|--|--------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>Indicadores</b>                     | <b>Año 0</b> | <b>Año1</b>      | <b>Año 2</b>     | <b>Año 3</b>     | <b>Año 4</b>     | <b>Año 5</b>     |
| Retroexcavadora 4                      | 0            | 24,600.00        | 26,750.00        | 27,900.00        | 29,000.00        | 30,600.00        |
| Retroexcavadora 4                      | 0            | 15,400.00        | 18,700.00        | 19,500.00        | 19,000.00        | 27,900.00        |
| Volquete 1                             | 0            | 14,000.00        | 14,000.00        | 14,000.00        | 14,000.00        | 14,000.00        |
| <b>Total Indicadores de Ahorro S/.</b> | <b>0</b>     | <b>54,000.00</b> | <b>59,450.00</b> | <b>61,400.00</b> | <b>62,000.00</b> | <b>72,500.00</b> |

Fuente: Elaboración Propia

Para los indicadores de ahorro que muestra la tabla anterior, se ha considerado los costos de las máquinas en un escenario donde no reciben mantenimiento predictivo.

**Tabla 32**

*Flujo de Caja Neto Proyectado*

| <b>Año 0</b>   | <b>Año 1</b> | <b>Año 2</b> | <b>Año 3</b> | <b>Año 4</b> | <b>Año 5</b> |
|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| S/. -36,576.00 | 22,168.00    | 27,618.00    | 29,568.00    | 30,168.00    | 40,668.00    |

Fuente: Elaboración Propia

El flujo de caja en un periodo de cinco años, en el año cero es negativo por el costo que se invertirá para la aplicación del sistema de mantenimiento predictivo. En los siguientes años tenemos un valor positivo por el ingreso que se recupera mediante la aplicación del mantenimiento predictivo.

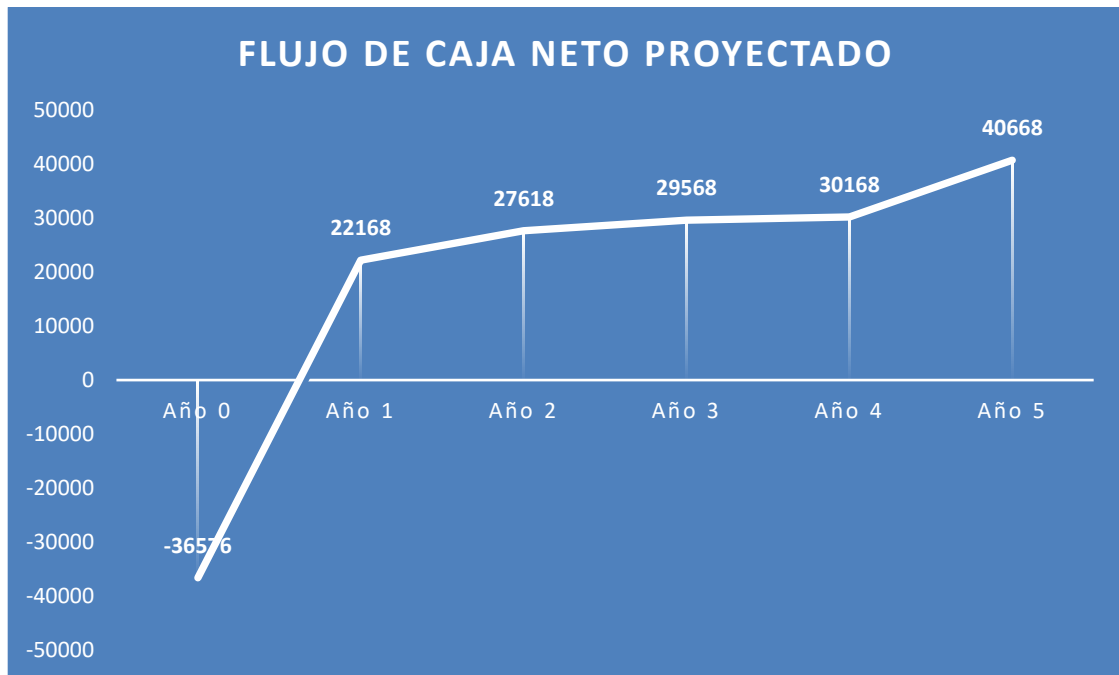


Figura 15: Flujo de Caja Proyectado

**Tabla 33**

*Evaluación de Indicadores Financieros*

|            |                |           |                                  |
|------------|----------------|-----------|----------------------------------|
| <b>COK</b> | 10%            |           | Costo de Oportunidad del Capital |
| <b>VA</b>  | S/. 111,049.17 |           | Valor Actual                     |
| <b>VAN</b> | S/. 74,473.17  | VAN > 0   | Valor Actual Neto                |
| <b>TIR</b> | 66.9%          | TIR > COK | Tasa Interna de Retorno          |
| <b>IR</b>  | 3.04           | IR > 1    | Índice de rentabilidad           |

Fuente: Elaboración Propia

**VAN:** La implementación del sistema de mantenimiento predictivo se acepta porque el valor del VAN es mayor a cero y permitirá generar una utilidad de S/. 74,473.17 en un periodo de 5 años.

**TIR:** La implementación del sistema de mantenimiento predictivo se acepta porque la Tasa Interna de Retorno es mayor al Costo de Oportunidad del Capital y es mayor a la tasa que ofrece cualquier identidad financiera en el mercado en la actualidad.

**IR:** La Implementación del sistema de mantenimiento predictivo está generando una rentabilidad de S/. 2.04 por cada sol invertido en el proyecto.

## Flujo de Inversión en un Escenario Optimista

**Tabla 34**

*Indicadores de Ahorro en un Escenario Optimista*

| INDICADORES                            | 2020     |                  | 2021             |                  | 2022             |                  | 2023  |       | 2024  |  |
|--|----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------|-------|-------|--|
|  | Año 0    | Año1             | Año 2            | Año 3            | Año 4            | Año 5            | Año 6 | Año 7 | Año 8 |  |
| Retroexcavadora 4                      | 0        | 32,472.00        | 35,310.00        | 36,828.00        | 38,280.00        | 40,392.00        |       |       |       |  |
| Motoniveladora 1                       | 0        | 20,328.00        | 24,684.00        | 25,740.00        | 25,080.00        | 26,828.00        |       |       |       |  |
| Volutes 1                              | 0        | 18,480.00        | 18,480.00        | 18,480.00        | 18,480.00        | 18,480.00        |       |       |       |  |
| <b>Total Indicadores de Ahorro S/.</b> | <b>0</b> | <b>71,280.00</b> | <b>78,474.00</b> | <b>81,048.00</b> | <b>81,840.00</b> | <b>85,700.00</b> |       |       |       |  |

Fuente: Elaboración Propia

Como muestra la tabla anterior, para este escenario se ha considerado un aumento del 32% en los indicadores de ahorro.

**Tabla 35**

*Flujo de Caja Neto Proyectado en un Escenario Optimista*

| Año 0          | Año 1     | Año 2     | Año 3     | Año 4     | Año 5     |
|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| S/. -36,576.00 | 39,448.00 | 46,642.00 | 49,216.00 | 50,008.00 | 63,868.00 |

Fuente: Elaboración Propia

Como muestra la tabla anterior, los ingresos han aumentado considerablemente con respecto al flujo de caja neto proyectado en un escenario normal.

**Tabla 36***Evaluación de Indicadores Financieros en un Escenario Optimista*

|            |                |             |                                  |
|------------|----------------|-------------|----------------------------------|
| <b>COK</b> | 10%            |             | Costo de Oportunidad del Capital |
| <b>VA</b>  | S/. 185,198.77 |             | Valor Actual                     |
| <b>VAN</b> | S/. 148,622.77 | $VAN > 0$   | Valor Actual Neto                |
| <b>TIR</b> | 116,7%         | $TIR > COK$ | Tasa Interna de Retorno          |
| <b>IR</b>  | 5,06           | $IR > 1$    | Índice de rentabilidad           |

Fuente: Elaboración Propia

**VAN:** La implementación del sistema de mantenimiento predictivo se acepta por que el valor del VAN es mayor a cero y permitirá generar una utilidad de S/. 148,622.77 en un periodo de 5 años.

**TIR:** La implementación del sistema de mantenimiento predictivo se acepta por que la tasa interna de retorno es mayor al costo de oportunidad del capital, así también es mayor a la tasa que ofrecen cualquier identidad financiera en el mercado en la actualidad.

**IR:** La implementación del sistema de mantenimiento predictivo está generando una rentabilidad de S/. 4.06 por cada sol invertido en el proyecto.

## Flujo de Inversión en un Escenario Pesimista

**Tabla 37**

*Indicadores de Ahorro en un escenario Pesimista*

| INDICADORES                            | 2020     |                  | 2021             |                  | 2022             |                  | 2023 |  | 2024 |  |
|--|----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------|--|------|--|
|  | Año 0    | Año1             | Año 2            | Año 3            | Año 4            | Año 5            |      |  |      |  |
| Retroexcavadora 4                      | 0        | 16,728.00        | 18,190.00        | 18,972.00        | 19,720.00        | 20,808.00        |      |  |      |  |
| Motoniveladora 1                       | 0        | 10,472.00        | 12,716.00        | 13,260.00        | 12,920.00        | 18,972.00        |      |  |      |  |
| Volquete 1                             | 0        | 9,520.00         | 9,520.00         | 9,520.00         | 9,520.00         | 9,520.00         |      |  |      |  |
| <b>Total Indicadores de Ahorro S/.</b> | <b>0</b> | <b>36,720.00</b> | <b>40,426.00</b> | <b>41,752.00</b> | <b>42,160.00</b> | <b>49,300.00</b> |      |  |      |  |

Fuente: Elaboración Propia

Como muestra la tabla anterior, para este escenario se ha considerado una disminución de 32% en los indicadores de ahorro.

**Tabla 38**

*Flujo de Caja Neto Proyectado en un Escenario Pesimista*

| Año 0          | Año 1    | Año 2    | Año 3    | Año 4     | Año 5     |
|----------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|
| S/. -36,576.00 | 4,888.00 | 8,594.00 | 9,920.00 | 10,328.00 | 17,468.00 |

Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar en la tabla anterior, los ingresos han disminuido considerablemente con respecto al flujo de caja neto proyectado en un escenario normal.

**Tabla 39***Evaluación de indicadores Financieros en un Escenario Pesimista*

|            |               |             |  |                                  |
|------------|---------------|-------------|--|----------------------------------|
| <b>COK</b> | 10%           |             |  | Costo de Oportunidad del Capital |
| <b>VA</b>  | S/. 36,899.58 |             |  | Valor Actual                     |
| <b>VAN</b> | S/. 323.58    | $VAN > 0$   |  | Valor Actual Neto                |
| <b>TIR</b> | 10,3%         | $TIR > COK$ |  | Tasa Interna de Retorno          |
| <b>IR</b>  | 1,01          | $IR > 1$    |  | Índice de rentabilidad           |

Fuente: Elaboración Propia

**VAN:** La implementación del sistema de mantenimiento predictivo se acepta por que el valor del VAN es mayor que cero y permite generar una utilidad de S/. 323.58 en un periodo de 5 años.

**TIR:** La implementación del sistema de mantenimiento predictivo se acepta por que la tasa interna de retorno es mayor al costo de oportunidad del capital.

**IR:** La implementación del sistema de mantenimiento predictivo está generando una rentabilidad de S/. 0.01 por cada sol invertido en el proyecto.

Podemos concluir que, el proyecto económicamente es viable ya que en los tres escenarios (real, optimista y pesimista) se obtienen valores del VAN mayores a 0, TIR mayor a la tasa COK y el IR de manera positiva.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

Según William Olarte, Marcela Botero y Benhur Cañón (2010), el mantenimiento predictivo permite identificar problemas de máquinas de una forma rápida y eficaz, se pueden programar adecuadamente todas las reparaciones de las máquinas sin interrumpir el proceso de producción, el costo de mantenimiento predictivo es menor comparado con los costos que genera el mantenimiento correctivo en cuanto a la reparación de equipos y al tiempo muerto que se produce cuando se detiene la producción; en la presente investigación dentro de las propuestas principales es hacer revisiones diarias y detectar problemas en las máquinas de una forma rápida y programar adecuadamente la reparación de las máquinas, la Disponibilidad Inherente en el tiempo de las máquinas críticas muestran una tendencia decreciente las máquinas estaban en condiciones de operar durante el periodo estudiado.

Así también según Edgar A. Estupiñan y Pedro N. Saavedra (2007), la productividad de una industria aumentará en la medida que las fallas en las máquinas disminuyan de una forma sustentable en el tiempo, para lograr lo anterior, resulta indispensable contar con la estrategia de mantenimiento más apropiada y con personal capacitado tanto en el uso de las técnicas de análisis y diagnóstico de fallas implementadas como también con conocimiento suficiente sobre las características de diseño y funcionamiento de las máquinas; para lograr esto, en el diseño propuesto se ha considerado la capacitación del personal técnico (mecánicos).

Así mismo en el 2011, Olarte C.W., Botero A.M. & Cañón Zabaleta B., la Termografía es una herramienta muy utilizada en el mantenimiento predictivo porque permite detectar fallas en los componentes de las máquinas o equipos a través de los cambios en su temperatura, un estudio termográfico es de gran ayuda dentro del mantenimiento predictivo porque permite descubrir fallas que son invisibles al ojo humano y ayudando a



prevenir errores que implican grandes pérdidas económicas; por ello, la Termografía es un Factor de Mantenimiento en el diseño de las actividades del mantenimiento predictivo de este proyecto.

#### **4.2. Conclusiones**

El diseño de un sistema de gestión de mantenimiento predictivo permite incrementar la disponibilidad mecánica de una flota de maquinaria pesada de una empresa de servicios de maquinaria por lo que se concluye:

- La disponibilidad mecánica de la empresa de servicios de maquinaria pesada antes de la propuesta es de 84% y teniendo un estándar de 90% se concluye ser necesario realizar un plan de mantenimiento predictivo.
- Se diseñó un sistema de gestión de mantenimiento predictivo en la empresa de servicios de maquinaria pesada, para lo cual se elaboraron formatos Check-List, formatos de registro y cronogramas de mantenimiento para cada una de las máquinas con las que cuenta la empresa.
- Se realizó el análisis de los indicadores de la variable independiente y dependiente después del sistema de mantenimiento predictivo, concluyendo que la propuesta aumenta el total de tareas predictivas en un 93%, el Mantenimiento predictivo en un 93% y la disponibilidad en un 10%.
- Finalmente, se realizó la evaluación económica financiera del diseño del sistema de gestión del mantenimiento predictivo de la empresa, generando en un escenario real un Valor Anual Neto de S/. 74,473.17, una Tasa Interna de Retorno de 66.9% y un Índice de Retorno de S/. 2.04 por cada sol invertido; en un escenario optimista un Valor Anual Neto de S/. 148,622.77, una Tasa Interna de Retorno de 116.7% y un

Índice de Retorno de S/. 4.06 por cada sol invertido y en un escenario pesimista un Valor Anual Neto de S/. 323.58, una Tasa Interna de Retorno de 10.3% y un Índice de Retorno de S/. 0.01 por cada sol invertido, concluyendo que el proyecto es viable económicamente.

#### **4.3. Recomendaciones**

Se debe diseñar y aplicar un sistema de gestión de mantenimiento predictivo para todas las máquinas que tiene la empresa.

Se debe realizar una capacitación constante al personal técnico de la empresa para garantizar un sistema de gestión de mantenimiento predictivo de calidad.

Se debe elaborar un análisis de disponibilidad de todas las máquinas de la empresa, en especial a las máquinas que faltó analizar en este proyecto de investigación y así tener un mejor control de las máquinas.

Se debe monitorear el sistema de mantenimiento predictivo anualmente, y analizar los indicadores de mantenimiento para seguir el desarrollo de dicho sistema.

Por último, se debe implementar un plan de mejora continua para poder observar los problemas y/o errores que puedan surgir en el sistema de mantenimiento predictivo propuesto.

## REFERENCIAS

Achancaray, D. y Leandro, J. (2019). Plan de negocios de una empresa de servicios de mantenimiento de maquinaria pesada (Trabajo de investigación de Máster en Dirección de Empresas). Universidad de Piura. PAD-Escuela de Dirección. Lima, Perú. Recuperado de página web.

[https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4445/MDE\\_1917.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4445/MDE_1917.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Avellaneda Zamorano, Manuel (2012). GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA UN HOSPITAL DE MÁS DE 100 CAMAS.

Ballesteros Robles, F. (2017), La estrategia predictiva en el mantenimiento industrial. Recuperado de página web.

<http://www.preditec.com/mantenimiento-predictivo/>

Cádiz, Alcides (2016). Políticas de mantenimiento. Recuperado de página web.

<https://es.slideshare.net/NarcisoFigueras/politicas-de-mantenimiento#:~:text=Principalmente%20se%20basa%20en%20el,aplicaci%C3%B3n%20de%20programas%20de%20mantenimientos.>

Edgar A. Estupiñan P., Pedro N. Saavedra G. (2003), ALCANCES DE LA IMPLEMENTACION DE NUEVAS TECNICAS DE ANALISIS EN LOS PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO – PROACTIVO EN LA INDUSTRIA. Recuperado de página web.

[http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO\\_archivos/Tecnicas%20mantenimiento%20predictivo%20DE%20ACIEM.ORG.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO_archivos/Tecnicas%20mantenimiento%20predictivo%20DE%20ACIEM.ORG.pdf)

Fuenmayor, E. (2018). Analisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad de un Sistema de Bombeo. Venezuela: LinkedIn Corporation © 2020. Recuperado de página web.

<https://www.linkedin.com/pulse/analisis-de-confiabilidad-disponibilidad-y-un-sistema-edgar/>

García Garrido, Santiago (2009-2012), Ingeniería de Mantenimiento Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento, pag. 327. Recuperado de página web.

<http://www.renovetec.com/ingenieria-del-mantenimiento.pdf>

Gruas y Aparejos, Gestión de Mantenimiento de Maquinaria Pesada. Recuperado de página web.

[https://www.gruasyaparejos.com/maquinaria/gestion-de-mantenimiento-de-maquinaria-pesada/#mantenimiento\\_de\\_maquinaria\\_pesada](https://www.gruasyaparejos.com/maquinaria/gestion-de-mantenimiento-de-maquinaria-pesada/#mantenimiento_de_maquinaria_pesada)

Minitab LLC. (2019). ¿Qué es el tiempo promedio para fallar (MTTF)? Métrica de Fiabilidad, 01 - 02.

Molina J. (2006), Mantenimiento y seguridad industrial. Recuperado de página web.

<http://ugr.unsl.edu.ar/documentos/Mantenimiento%20Industrial.doc>

Movility Work. Recuperado de página web.

<https://www.mobility-work.com/es/blog/estrategia-de-mantenimiento-gmao>

Mullet N., Stefany; Pérez B., Yoad; Cujabante B., Pedro (2018), SERVICIO DE ALQUILER DE MAQUINARIA PESADA PARA PROCESOS CONSTRUCTIVOS EN LOS SECTORES PRODUCTIVOS. Recuperado de página web.

<http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00004359.pdf>

Olarte C., William; Botero A., Marcela; Cañon Z., Benhur A. (2010), ANÁLISIS DE VIBRACIONES: UNA HERRAMIENTA CLAVE EN EL MANTENIMIENTO PREDICTIVO Scientia Et Technica, vol. XVI, núm. 45, agosto, 2010, pp. 219-222 Universidad Tecnológica de Pereira Pereira, Colombia. Recuperado de página web.

<https://www.redalyc.org/pdf/849/84917249040.pdf>

Olarte C.W., Botero A.M., & Cañón ZabaletaB. (2011), Scientia et Technica Año XVI, No 48, Agosto de 2011. Universidad Tecnológica Pereira. ISSN 0122-1701

Olarte C.W., Botero A.M., & Cañón ZabaletaB. (2011). Aplicación de la termografía en el mantenimiento predictivo. Scientia Et Technica, 2(48), 253 - 256. Recuperado de página web.

<https://doi.org/10.22517/23447214.1303>

Olarte C., William; Botero A., Marcela; Cañon Z., Benhur A.,( 2010), Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria, Scientia et Technica, ISSN 0122-1701, Vol. 2, N°. 45, 2010, págs. 223-226. Recuperado de página web.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4546591>

Ortiz, S. (2016). La Confiabilidad, La Disponibilidad y La Mantenibilidad, Disciplinas. En S. e. XII, *La Confiabilidad, La Disponibilidad y La Mantenibilidad, Disciplinas* (pág. 156). Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.

Propymes (2014), PROGRAMA: GESTION DEL MANTENIMIENTO. Recuperado de página web.

<https://cecma.com.ar/wp-content/uploads/2019/04/modulo-iv-ingenieria-de-mantenimiento-a.-de-Fallas.pdf>

SÁNCHEZ GÓMEZ, ANA MARÍA (2017), TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO. METODOLOGÍA DE APLICACIÓN EN LAS ORGANIZACIONES. Recuperado de página web.

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15585/1/T%C3%89CNICAS%20DE%20MANTENIMIENTO%20PREDICTIVO.%20METODOLOGIA%20DE%20APLICACION%20EN%20LAS%20ORGANIZACIONES.pdf>

Scania CV AB (2016), Recuperado de página web.

<https://www.scania.com/es/es/home/products>

Ticlavilca Rauz, Jhan Carlo (2016), Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para mejorar la disponibilidad mecánica del equipo ALPHA20 de la empresa Robocon SAC. Recuperado de página web.

<http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3657/Ticlavilca%20Rauz.pdf?seque>

Tuesta Yliquin, Jehyson Miguel (2014), Plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos pesados de la Empresa Obrainsa. Recuperado de página web.

<http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/257>

## ANEXOS

### ANEXO n° 1. Formato de Recolección de Datos de Maquinaria

| <b>HISTORIAL DE MÁQUINAS DAÑADAS</b> |           |                   |               |              |                  |              |                                     |
|--------------------------------------|-----------|-------------------|---------------|--------------|------------------|--------------|-------------------------------------|
| <b>AÑO</b>                           | <b>N°</b> | <b>Máquina</b>    | <b>Modelo</b> | <b>Marca</b> | <b>N° Fallas</b> | <b>Fecha</b> | <b>Observaciones</b>                |
|                                      | 1         | Retroexcavadora 1 | CAT 225       | Caterpillar  | 1                | Ene-20       | Nivel de fluido                     |
|                                      | 2         | Retroexcavadora 2 | CAT 225       | Caterpillar  | 1                | Ene-20       | Nivel de fluido                     |
|                                      | 3         | Retroexcavadora 3 | CAT 225       | Caterpillar  | 1                | Feb-20       | Fisuras marcas de desgaste en motor |
|                                      | 4         | Retroexcavadora 4 | CAT 446       | Caterpillar  | 1                | Abr-20       | Fisuras marcas de desgaste en motor |
|                                      | 5         | Retroexcavadora 5 | CAT 446       | Caterpillar  | 2                | May-20       | Falla humana                        |
| 2015                                 | 6         | Motoniveladora 1  | DD 120        | Caterpillar  | 2                | May-20       | Limpieza en cabina                  |
|                                      | 7         | Motoniveladora 2  | DD 120        | Caterpillar  | 1                | Jul-20       | Tierra y escombros                  |
|                                      | 8         | Motoniveladora 3  | H 140         | Caterpillar  | 1                | Jul-20       | Limpieza en cabina                  |
|                                      | 9         | Volquete 1        | FH 420 4x2T   | Volvo        | 2                | Ago-20       | Engrase correcto                    |
|                                      | 10        | Volquete 2        | FH 420 4x2T   | Volvo        | 1                | Ago-20       | Tierra, escombros y tensión         |
|                                      | 11        | Retroexcavadora 1 | CAT 225       | Caterpillar  | 1                | Feb-15       | Luces rotas                         |
|                                      | 12        | Retroexcavadora 2 | CAT 225       | Caterpillar  | 1                | Mar-15       | Condición y limpieza                |
|                                      | 13        | Retroexcavadora 3 | CAT 225       | Caterpillar  | 1                | May-15       | Daños y fugas                       |
|                                      | 14        | Retroexcavadora 4 | CAT 446       | Caterpillar  | 3                | Jul-15       | Nivel de fluido                     |
|                                      | 15        | Retroexcavadora 5 | CAT 446       | Caterpillar  | 1                | Ago-15       | Luces rotas                         |
| 2016                                 | 16        | Motoniveladora 1  | DD 120        | Caterpillar  | 2                | Ago-15       | Tensión desgaste en correas         |
|                                      | 17        | Motoniveladora 2  | DD 120        | Caterpillar  | 1                | Sep-15       | Nivel de fluido                     |
|                                      | 18        | Motoniveladora 3  | H 140         | Caterpillar  | 1                | Oct-15       | Falla humana                        |
|                                      | 19        | Volquete 1        | FH 420 4x2T   | Volvo        | 3                | Oct-15       | Ajuste de asiento                   |
|                                      | 20        | Volquete 2        | FH 420 4x2T   | Volvo        | 1                | Nov-15       | Daños y fugas                       |

|      |    |                   |             |             |   |        |   |
|------|----|-------------------|-------------|-------------|---|--------|---|
|      | 21 | Retroexcavadora 1 | CAT 225     | Caterpillar | 1 | Mar-16 | Daños y cortes en cadenas                 |
|      | 22 | Retroexcavadora 2 | CAT 225     | Caterpillar | 1 | Mar-16 | Tuercas y pernos faltantes                |
|      | 23 | Retroexcavadora 3 | CAT 225     | Caterpillar | 1 | Abr-16 | Daños y fugas en tuberías                 |
|      | 24 | Retroexcavadora 4 | CAT 446     | Caterpillar | 2 | May-16 | Tensión desgaste en correas               |
|      | 25 | Retroexcavadora 5 | CAT 446     | Caterpillar | 1 | Jul-16 | Luces rotas                               |
|      | 26 | Motoniveladora 1  | DD 120      | Caterpillar | 3 | Ago-16 | Condición y limpieza                      |
|      | 27 | Motoniveladora 2  | DD 120      | Caterpillar | 1 | Sep-16 | Limpieza en cabina                        |
|      | 28 | Motoniveladora 3  | H 140       | Caterpillar | 1 | Oct-16 | Tierra y escombros                        |
| 2017 | 29 | Volquete 1        | FH 420 4x2T | Volvo       | 2 | Oct-16 | Acumulación de residuos en el motor       |
|      | 30 | Volquete 2        | FH 420 4x2T | Volvo       | 1 | Dic-16 | Luces rotas                               |
|      | 31 | Retroexcavadora 1 | CAT 225     | Caterpillar | 1 | Feb-15 | Daños y desgaste en cinturón de seguridad |
|      | 32 | Retroexcavadora 2 | CAT 225     | Caterpillar | 2 | Mar-15 | Daños y fugas                             |
|      | 33 | Retroexcavadora 3 | CAT 225     | Caterpillar | 1 | Mar-15 | Nivel de fluido                           |
|      | 34 | Retroexcavadora 4 | CAT 446     | Caterpillar | 3 | Abr-15 | Condición y limpieza                      |
|      | 35 | Retroexcavadora 5 | CAT 446     | Caterpillar | 1 | May-15 | Fisuras marcas de desgaste en motor       |
|      | 36 | Motoniveladora 1  | DD 120      | Caterpillar | 3 | Jun-15 | Daños estructurales en caja               |
|      | 37 | Motoniveladora 2  | DD 120      | Caterpillar | 1 | Jun-15 | Limpieza en filtro de aire                |
| 2018 | 38 | Motoniveladora 3  | H 140       | Caterpillar | 1 | Jul-15 | Luces rotas                               |
|      | 39 | Volquete 1        | FH 420 4x2T | Volvo       | 3 | Ago-15 | Limpieza en filtro de aire                |
|      | 40 | Volquete 2        | FH 420 4x2T | Volvo       | 1 | Nov-15 | Daños y desgaste en cinturón de seguridad |
|      | 41 | Retroexcavadora 1 | CAT 225     | Caterpillar | 1 | Ene-17 | Engrase correcto                          |
|      | 42 | Retroexcavadora 2 | CAT 225     | Caterpillar | 1 | Ene-17 | Daños y fugas                             |
|      | 43 | Retroexcavadora 3 | CAT 225     | Caterpillar | 1 | Feb-17 | Nivel de fluido                           |
|      | 44 | Retroexcavadora 4 | CAT 446     | Caterpillar | 3 | Mar-17 | Condición y limpieza                      |
|      | 45 | Retroexcavadora 5 | CAT 446     | Caterpillar | 1 | Abr-17 | Ajuste de asiento                         |

|      |    |                  |             |             |   |        |                           |
|------|----|------------------|-------------|-------------|---|--------|---------------------------|
| 2019 | 46 | Motoniveladora 1 | DD 120      | Caterpillar | 4 | May-17 | Daños y fugas             |
|      | 47 | Motoniveladora 2 | DD 120      | Caterpillar | 1 | Jun-17 | Daños y cortes en cadenas |
|      | 48 | Motoniveladora 3 | H 140       | Caterpillar | 1 | Jul-17 | Engrase correcto          |
|      | 49 | Volquete 1       | FH 420 4x2T | Volvo       | 3 | Ago-17 | Condición y limpieza      |
|      | 50 | Volquete 2       | FH 420 4x2T | Volvo       | 1 | Sep-17 | Daños y fugas             |

Fuente: Elaboración propia

66



## ANEXO n° 2. Formato Entrevista

La entrevista tiene como finalidad conocer la situación actual de las máquinas, está dirigida al personal encargado del mantenimiento de dicha área.

**Nombre:**

**Fecha:**

1. ¿Cuál es el sistema de gestión de mantenimiento que se realiza en el área?
2. ¿Se cumple con el sistema de mantenimiento?
3. ¿Cuánto tiempo demora el área de mantenimiento en reparar la falla hallada en una máquina?
4. ¿Cómo se actúa al detectar una falla en una máquina?
5. ¿Cada que tiempo se realiza las inspecciones a las máquinas?
6. ¿Qué calificación le daría a la disponibilidad de las máquinas en un rango de 0% al 100%, siendo el nivel óptimo un valor superior al 90%?
7. ¿Por cuánto tiempo permanece operativa una máquina antes de presentar una falla?
8. ¿Cuál cree usted que es la falla más frecuente en las máquinas?
9. ¿Qué se puede hacer para prevenir o predecir una falla en las máquinas?
10. ¿Qué se puede hacer si no se encuentra ninguna tarea para evitar o minimizar la consecuencia de la falla?

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO n°3. Formato Check-List de Observación Directa

| <b>CHECK LIST DE MAQUINARIA</b>                          |                  |                                     |                    |                     |                              |
|--|------------------|-------------------------------------|--------------------|---------------------|------------------------------|
| <b>Máquina :</b>   |                  |                                     |                    |                     |                              |
| <b>Fecha:</b>  |                  |                                     |                    |                     |                              |
| <b>Responsable del Check-List:</b>                       |                  |                                     |                    |                     |                              |
| <b>Revisiones básicas de mantenimiento predictivo</b>    |                  | <b>Antes de comenzar el trabajo</b> | <b>Diariamente</b> | <b>Semanalmente</b> | <b>Según las necesidades</b> |
| Máquina completa   | Control visual   |                                     |                    |                     |                              |
|  | Limpieza         |                                     |                    |                     |                              |
| Nivel de aceite, fugas de aceite                         | Control visual   |                                     |                    |                     |                              |
|  | Rellenado        |                                     |                    |                     |                              |
| Neumáticos   | Control visual   |                                     |                    |                     |                              |
|  | Sustitución      |                                     |                    |                     |                              |
| Cadenas  | Control visual   |                                     |                    |                     |                              |
|  | Sustitución      |                                     |                    |                     |                              |
| Luces, rotativos y avisadores acústicos de movimiento    | Control visual   |                                     |                    |                     |                              |
|  | Sustitución      |                                     |                    |                     |                              |
| Frenos   | Comprobar        |                                     |                    |                     |                              |
|  | Servicio técnico |                                     |                    |                     |                              |
| Placas de instrucciones y señales                        | Control visual   |                                     |                    |                     |                              |
|  | Cambio           |                                     |                    |                     |                              |
| Mandos en vacío  | Comprobar        |                                     |                    |                     |                              |
|  | Servicio técnico |                                     |                    |                     |                              |
| Parada de emergencia                                     | Comprobar        |                                     |                    |                     |                              |
|  | Servicio técnico |                                     |                    |                     |                              |
| Conexiones eléctricas                                    | Comprobar        |                                     |                    |                     |                              |
|  | Servicio técnico |                                     |                    |                     |                              |
| Puerta de acceso   | Comprobar        |                                     |                    |                     |                              |
|  | Servicio técnico |                                     |                    |                     |                              |
| Interrupción de movimientos con dispositivo de seguridad | Comprobar        |                                     |                    |                     |                              |
|  | Servicio técnico |                                     |                    |                     |                              |

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO n° 4. Tiempo total de operación en horas disponibles de las máquinas críticas

| Máquinas Críticas | N° de horas<br>de operación<br>al día | N° de<br>horas en<br>un año | Años |      |      |      |      |
|-------------------|---------------------------------------|-----------------------------|------|------|------|------|------|
|                   |                                       |                             | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| Retroexcavadora 4 | 20                                    | 365                         | 7300 | 7300 | 7300 | 7300 | 7300 |
| Motoniveladora 1  | 20                                    | 365                         | 7300 | 7300 | 7300 | 7300 | 7300 |
| Volquete 1        | 20                                    | 365                         | 7300 | 7300 | 7300 | 7300 | 7300 |

Fuente: Elaboración Propia

En este cuadro se muestra las horas disponibles de cada máquina en 5 años, considerando que cada máquina opera 20 horas al día.

ANEXO n° 5. Número de paradas de las máquinas por fallas en los últimos 5 años

| Maquinas Críticas | Años |      |      |      |      |
|-------------------|------|------|------|------|------|
|                   | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| Retroexcavadora 4 | 1    | 3    | 2    | 3    | 3    |
| Motoniveladora 1  | 2    | 2    | 3    | 3    | 4    |
| Volquete 1        | 2    | 3    | 2    | 3    | 3    |

Fuente: Elaboración Propia

En este cuadro se muestra el número de fallas que tuvieron las máquinas críticas en los últimos 5 años.

ANEXO n°6. Tiempo Total de reparación predictivo de las máquinas por fallas.

| Máquinas Críticas | N° de horas de inactividad por falla | N° de horas de inactividad por falla (Año) |      |      |      |      |
|-------------------|--------------------------------------|--|------|------|------|------|
|                   |                                      | 2015                                       | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| Retroexcavadora 4 | 504                                  | 504  | 1512 | 1008 | 1512 | 1512 |
| Motoniveladora 1  | 168                                  | 336  | 336  | 504  | 504  | 672  |
| Volquete 1        | 672                                  | 1344                                       | 2016 | 1344 | 2016 | 2016 |

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO n° 7. Número de paradas de las maquinas críticas por fallas proyectadas

| Maquinas Críticas | Años |      |      |      |      |
|-------------------|------|------|------|------|------|
|                   | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |
| Retroexcavadora 4 | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    |
| Motoniveladora 1  | 2    | 2    | 2    | 2    | 2    |
| Volquete 1        | 1    | 1    | 1    | 1    | 1    |

Fuente: Elaboración Propia

En este cuadro se muestra las paradas por fallas que tuvieron las maquinas en los cinco años proyectados.

ANEXO n°8. Tiempo total de reparación predictivo de las maquinas por fallas

| <b>Maquinas<br/>Críticas</b> | <b>N° de horas de<br/>inactividad por<br/>fallas</b> | <b>N° de horas de inactividad por fallas (Año)</b> |             |             |             |             |
|------------------------------|--|--|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                              |  | <b>2020</b>  | <b>2021</b> | <b>2022</b> | <b>2023</b> | <b>2024</b> |
| Retroexcavadora 4            | 304  | 608  | 608         | 608         | 608         | 608         |
| Motoniveladora 1             | 68   | 136  | 136         | 136         | 136         | 136         |
| Volquete 1                   | 472  | 472  | 472         | 472         | 472         | 472         |

Fuente: Elaboración Propia

## CONSTANCIA DE REVISIÓN DEL PROYECTO DE TESIS

### ACTA DE CONFORMIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN, TESIS O TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

El Asesor completa las líneas puntuadas, marca con una "X" en los paréntesis "( )" según corresponda. El Asesor Ing. Wilson Alcides Gonzales Abanto, docente de la (X)carrera o (...)programa de Elija un elemento. de Ingeniería Industrial; ha realizado el seguimiento del proceso de formulación, desarrollo, revisión y verificación en programa de anti plagio del (...)Trabajo de Investigación, (X) Tesis o (...) Trabajo de Suficiencia Profesional de:

- Sheila Karina Ravines Abanto  
(Nombre completo del egresado/bachiller)

Por cuanto, **CONSIDERA** que el (...)Trabajo de Investigación, (X)Tesis o el (...) Trabajo de Suficiencia Profesional titulado: "DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD MECÁNICA DE UNA FLOTA DE MAQUINARIA PESADA DE UNA EMPRESA DE SERVICIOS DE MAQUINARIA", para aspirar al Grado Académico o Título Profesional de: Ingeniera Industrial por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, **AUTORIZA**, al o los interesados para su presentación/sustentación.

Con respecto al uso de la información de la empresa; el Asesor declara, según los criterios definidos por la universidad, lo siguiente:

- Este trabajo Requiere la autorización de uso de información de la empresa.  
 Este trabajo No requiere autorización de uso de información de la empresa.

Cajamarca, 19/10/2020



Ing. Wilson Alcides Gonzales Abanto

Asesor

|                     |                    |                |    |        |               |
|---------------------|--------------------|----------------|----|--------|---------------|
| CÓDIGO DE DOCUMENTO | F-P11-COD2-0002.01 | NÚMERO VERSIÓN | 01 | PÁGINA | Página 1 de 1 |
| FECHA DE VIGENCIA   | 12/05/2020         |                |    |        |               |