



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**

“Estudio comparativo técnico y económico de barredoras hidromecánicas en los servicios de limpieza pública de las Municipalidades del Departamento de La Libertad, para mejorar sus indicadores de gestión de mantenimiento”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECÁNICO**

**AUTOR**

Pablo Jhunion Casana Custodio

**ASESOR**

Ing. Luis Alberto Julca Verástegui

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Sistemas y Planes de Mantenimiento

**TRUJILLO – PERÚ**

2018

## **PÁGINA DEL JURADO**

**“ESTUDIO COMPARATIVO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE BARREDORAS  
HIDROMECÁNICAS EN LOS SERVICIOS DE LIMPIEZA PÚBLICA DE LAS  
MUNICIPALIDADES DEL DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD, PARA MEJORAR  
SUS INDICADORES DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO”**

---

Pablo Jhuniór Casana Custodio

Autor

Presentada a la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad César Vallejo de Trujillo  
para obtener el título de Ingeniero Mecánico.

---

Ing. Jorge Antonio Inciso Vásquez

Presidente

---

Ing. Martín Teófilo Sifuentes Inostroza

Secretario

---

Ing. Luis Alberto Julca Verástegui

Vocal

i

## DEDICATORIA

*A mis padres Pablo y María,  
por aconsejarme en todo momento,  
por nunca dejar de creer en mí,  
porque gracias a ellos me educaron e infundieron  
los correctos valores de la vida.*

*A mis hermanos Maikol y Maricielo  
porque ellos son mi inspiración.*

*A mi hijo Leonardo Jhuciel quien  
por el lucho cada día y quien debo  
ser un ejemplo a seguir.*

## AGRADECIMIENTO

*A Dios, por iluminar nuestro camino y nuestros pensamientos para seguir adelante con nuestro crecimiento profesional.*

*A mis padres, por ser el motivo de perseverancia, el ejemplo a seguir y por brindarnos todas las condiciones para escalar un paso más en mi vida profesional.*

*A la institución Universidad Cesar Vallejo por su formación como un profesional con visión de futuro para contribuir a la sociedad.*

*Al Ing. Luis Julca Verástegui, por su direccionamiento en este trabajo de desarrollo de tesis.*

*A todos mis amigos por todos los momentos compartidos y vividos durante la vida universitaria.*

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo: Pablo Jhunior Casana Custodio, con DNI N° 70443220, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Ingeniería Mecánica, declaro bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, julio del 2018.

---

Pablo Jhunior Casana Custodio

## PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado, presento ante ustedes la tesis titulada “*Estudio comparativo técnico y económico de barredoras hidromecánicas en los servicios de limpieza pública de las Municipalidades del Departamento de La Libertad, para mejorar sus indicadores de gestión de mantenimiento*”, con el propósito comparar los distintos tipos de barredoras hidromecánicas y aumentar la disponibilidad y confiabilidad, mejorando su operación. En cumplimiento con el reglamento de grados y títulos de la Universidad César Vallejo, con el propósito de cumplir con los requisitos para obtener el Título profesional de Ingeniero Mecánico.

Por tanto, considero que el esfuerzo en el desarrollo del presente trabajo cumpla y satisfaga sus expectativas. Pongo a su consideración, este documento para su respectiva evaluación y de esta manera poder obtener su aprobación.

El Autor.

## ÍNDICE

<b>DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD</b>	iv
<b>PRESENTACIÓN</b>	v
<b>RESUMEN</b>	vi
<b>ABSTRACT</b>	vii
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	1
1.1 Realidad Problemática	2
1.2 Trabajos previos	3
1.3 Teorías relacionadas al tema	5
1.4 Formulación del problema	11
1.5 Justificación del estudio	11
1.6 Hipótesis	12
1.7 Objetivos	12
<b>II. MÉTODO</b>	14
2.1 Diseño de investigación	15
2.2 Variables, operacionalización	17
2.3 Población y muestra	19
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	19
2.5 Métodos de análisis de datos	19
2.6 Aspectos éticos	20
<b>III. RESULTADOS</b>	21
<b>IV. DISCUSIÓN</b>	85
<b>V. CONCLUSIÓN</b>	89
<b>VI. RECOMENDACIONES</b>	92
<b>VII. REFERENCIAS</b>	94
<b>ANEXOS</b>	97

## RESUMEN

El presente proyecto se basa en el análisis comparativo técnico y económico de las barredoras hidromecánicas de limpieza pública de las Municipalidades del Departamento de La Libertad, con la finalidad de evaluar la barredora hidromecánica más desfavorable desde el punto de vista de sus especificaciones técnicas, impacto ambiental e indicadores de mantenimiento, permitiendo plantear un plan de mantenimiento RCM para mejorar su operación. Al evaluar las características técnicas de las barredoras de 5m<sup>3</sup>, la barredora Dulevo 5000 en comparación a la barredora Macro S45L cuesta 27.50% menos, 22KW de potencia menos por lo cual consume 1 galón menos de diésel, con un incremento de productividad de 22500 m<sup>2</sup>/h y 15 Km/día más de barrido. Asimismo el impacto ambiental fue favorable para la barredora Dulevo 5000 evacuando 42.18 TM/h de dióxido de carbono y 0.81 TM/h de dióxido de azufre menos que la barredora Macro S45L. El análisis de sus parámetros de mantenimiento determinó que la barredora Macro S45L perdió un total de 479.08 horas producto de 26 fallas originando un costo económico de 333517.60 S/. /año y la barredora Dulevo 5000 perdió un total 502.42 horas producto de 34 fallas que conllevaron a un costo de mantenimiento de 413616.63 S/. /año. El análisis de los indicadores de mantenimiento, determinó que la barredora Macro S45L tiene una disponibilidad de 82.05%, confiabilidad 72.85% y mantenibilidad 76.50%, mientras que la barredora Dulevo 5000 posee una disponibilidad de 78.88%, confiabilidad 65% y mantenibilidad 80.02%. El análisis de criticidad se aplicó a 15 elementos de la barredora hidromecánica Dulevo 5000 relacionados con las 34 fallas, de los cuales se encontraron 9 elementos son críticos. El AMEF encontró un total de 76 modos de fallas distintos que son los causantes de las fallas en los elementos de la barredora Dulevo, de los cuales 54 modos son fallas indeseables. Determinando que con la aplicación de un mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM, se puede llegar a reducir el 71% de las fallas. Se diseñó el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar los indicadores de mantenimiento planteando 57 tareas para eliminar 356.72 horas perdidas aumentando la disponibilidad en 93.88%, confiabilidad 90% y la mantenibilidad 80.46% con un beneficio de 248357.83 S/. /año, inversión de S/. 70450.00 y un retorno operacional de la inversión de 102 días.

*Palabras claves: barredoras hidromecánicas, indicadores de mantenimiento, análisis de criticidad, mantenimiento centrado en la confiabilidad.*

## ABSTRACT

This project is based on the technical and economic comparative analysis of the hydromechanical sweepers of public cleaning of the Municipalities of the Department of La Libertad, with the purpose of evaluating the most unfavorable hydromechanical sweeper from the point of view of its technical specifications, environmental impact and maintenance indicators, allowing to propose an RCM maintenance plan to improve its operation. When evaluating the technical characteristics of the sweepers of 5m <sup>3</sup>, the sweeper Dulevo 5000 in comparison to the sweeper Macro S45L costs 27.50% less, 22KW of presentation less for which consumes 1 gallon less of diesel, with an increase of productivity of 22500 m <sup>2</sup> / h and 15 Km / day more sweeping. Likewise, the environmental impact was favorable for the Dulevo 5000 sweeper evacuating 42.18 TM / h of carbon dioxide and 0.81 TM / h of sulfur dioxide less than the Macro S45L sweeper. The analysis of its maintenance parameters determined that the Macro S45L sweeper lost a total of 479.08 hours, product of 26 faults, causing an economic cost of 333517.60 S / . / year and the Dulevo 5000 sweeper lost a total of 502.42 hours, product of 34 failures that led to a maintenance cost of 413616.63 S / . / year. The analysis of the maintenance indicators, determined that the sweeper Macro S45L has an availability of 82.05%, reliability 72.85% and maintainability 76.50%, while the sweeper Dulevo 5000 has an availability of 78.88%, reliability 65% and maintainability 80.02%. The criticality analysis was applied to 15 elements of the Dulevo 5000 hydromechanical sweeper related to the 34 faults, of which 9 elements were found to be critical. The AMEF found a total of 76 different failure modes that are the cause of the faults in the elements of the Dulevo sweeper, of which 54 modes are undesirable faults. Determining that with the application of a maintenance focused on RCM reliability, it is possible to reduce 71% of the faults. The maintenance plan focused on reliability was designed to increase the maintenance indicators by raising 57 tasks to eliminate 356.72 lost hours, increasing availability by 93.88%, reliability 90% and maintainability 80.46% with a profit of 248357.83 S / . / year, investment of S / . 70450.00 and an operational return on investment of 102 days.

**Key Word:** *hydromechanical sweepers, maintenance indicators, criticality analysis, maintenance focused on reliability.*

# **I. INTRODUCCIÓN**

## **1.1 Realidad problemática:**

En la actualidad mundial el uso correcto de los recursos económicos del estado, se fundamenta en la eficiencia de reducción de sus gastos, permitiendo adquirir equipos o máquinas con especificaciones técnicas favorables desde el panorama de responsabilidad social de impacto ambiental y de su mantenimiento a través de sus indicadores de mantenimiento, permitiendo tener equipos con alta disponibilidad y confiabilidad pero con reducida mantenibilidad, siendo todo esto posible mediante la aplicación de un plan de mantenimiento de acuerdo a las condiciones requeridas por el equipo, (Aduato, 2008).

El estado peruano, a través de sus Municipalidades Distritales y Provinciales, cuenta en la actualidad con 21 barredoras hidromecánicas para el mejoramiento de la eficiencia en limpieza pública de residuos sólidos, contando con tres tipos de barredoras hidromecánicas: 7 barredoras Macro S45L de 5m<sup>3</sup>, 12 barredoras Dulevo 5000 de 5m<sup>3</sup> y 2 barredoras Ausa B400H de 4m<sup>3</sup>, de las cuales 2 barredoras pertenecen al Departamento de La Libertad, 1 barredora hidromecánica Macro S45L de la Municipalidad Provincial de Trujillo y 1 barredora hidromecánica Dulevo 5000 de la Municipalidad Distrital de Víctor Larco Herrera, (SEGAT, 2016).

La Municipalidad Provincial de Trujillo, adquirió en el año 2013 una barredora hidromecánica Macro S45L a un precio de 200000 U\$\$, para aumentar los espacios de limpieza pública en las áreas del centro histórico y AV. España, reemplazando a un equivalente de 22 auxiliares de limpieza, pero desde su inicio de operación se han presentado diferentes fallas en sus elementos dejando la barredora inoperativa en tiempos programados para la limpieza pública, solo en el año 2017 se perdieron de trabajar 479.08 horas/año producto de 34 fallas con un costo en mantenimiento de 333517.60 S/. /año, no cumpliendo con lo requerido por la administración de la Municipalidad que tiene una programación establecida para la barredora de 6 horas/día, 7 días/semana es decir 2190 horas/año (Anexo A.1), (Departamento de mantenimiento de la MPT, 2017).

Asimismo, la Municipalidad Distrital de Víctor Larco Herrera adquirió en el año 2011 una barredora hidromecánica Dulevo 5000 que reemplaza el trabajo de 17 auxiliares de limpieza,

con un costo de 145000.00 U\$\$ , para recolectar los residuos sólidos del Golf, California y Las Flores, trabajando 6 horas/día, 6 días/semana equivalentes a 1877.14 horas/año, pero debido a las diversas fallas recurrentes en los elementos de la barredora se han perdido 502.42 horas en el año 2017, debido a la aparición de 34 fallas que ocasionan que el costo de mantenimiento de la barredora sea de 413616.63 S/. /año (Anexo A.2), (Departamento de mantenimiento de la Municipalidad Distrital de Víctor Larco Herrera, 2017).

Por lo expuesto anteriormente, se plantea realizar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad a la barredora hidromecánicas más desfavorable, es decir con los indicadores de mantenimiento más deficientes, permitiendo encontrar los elementos críticos donde se presenta la falla, para su prevención o eliminación, lo que conlleva a reducir los costos de mantenimiento y aumentar la disponibilidad y confiabilidad de la barredora.

## **1.2 Trabajos previos**

Ortiz (2016), en el trabajo de investigación para recibir el grado de Ingeniero Mecánico. Elaborada en el Instituto Politécnico Nacional (México – México D.F), titulada: “Proyecto de mantenimiento mecánico programado para una barredora automática de 2.6 m<sup>3</sup>”. Realizó un estudio pre-experimental a la barredora hidromecánica modelo Tennant Sentinel con una capacidad de residuos sólidos de 2.6 m<sup>3</sup>, cuyas especificaciones más relevantes son: potencia 63KW, velocidad de rotación 400 RPM, patrón total de barrido de todos sus cepillos de 3200 mm, torque 790 N.m y consumo de combustible diésel 3.8 gal/h, se analizaron los principales parámetros del mantenimiento de la barredora la cual presento 50 fallas/año con un MTBF de 23.25 horas útil/falla, MTTR de 3.6 horas reparar/falla, para el estudio se analizó inicialmente la situación del mantenimiento de la barredora mediante el método exponencial de los indicadores de mantenimiento, obteniendo una disponibilidad de 86.50%, confiabilidad 90% y mantenibilidad 73%, concluyendo que con la implementación de un mantenimiento preventivo se pudieron llegar a reducir las fallas en un 50% (25 fallas/año), aumentando la disponibilidad en 91%, la confiabilidad 95.14% y la mantenibilidad en 45%, con un costo anual para la implementación del mantenimiento de S/. 20678.76.

Quispe (2016), en su investigación para la obtención del grado de Ingeniero Mecánico. Elaborada en la Universidad Nacional Del Centro Del Perú (Huancayo - Perú), titulada: “Evaluación del sistema colector de polvo de la barredora Tennant para disminuir sus emisiones en la empresa UNACEM” expone un plan de mantenimiento preventivo para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a través de un modelo de estudio cuasi-experimental, implementando los criterios metodológicos del RCM, como el análisis crítico de elementos de máquinas y el análisis de modos y efectos de fallas. El análisis de sensibilidad de criticidad se aplicó según cinco ponderaciones: la frecuencia de intervención de fallas, costos netos de mantenimiento, flexibilidad de repuestos, impacto en el equipo e impacto ambiental, determinando que los componentes más críticos de la barredora Tennant son 4 (Cepillo lateral derecho, Cepillo lateral izquierdo, ventilador de aspiración y cadena de transporte de residuos sólidos) obteniendo una disponibilidad mecánica de 75%. Por otro lado el AMEF encontró 55 causas de modos de fallas severas, que contribuyen a una pérdida de 1346 horas/año obteniendo un costo por inoperatividad de 54777.17 S/. /año. Concluyendo que con la implementación de un diseño de mantenimiento basado en la confiabilidad la disponibilidad incrementará en 90% y los gases de dióxido de carbono se reducen en 52 TM/año (21% menos).

Ortega y Verona (2004), en su trabajo titulado para la obtención del grado de Ingeniero Mecánico. Realizada en la Universidad Tecnológica De Bolívar (Cartagena - Colombia), titulada: “Implementación de indicadores de mantenimiento en el taller industrial ADIFE LTDA.”. Este estudio pre-experimental que usa como metodología el análisis de criticidad de equipos, AMEF y NPR, para analizar la causa raíz de las fallas de la maquinaria de maestranza, empleando el método exponencial del principio de la distribución de Weibull para determinar los valores más ajustados a la realidad de los equipos encontrando una disponibilidad mecánica de 79%, una confiabilidad operacional del 81% y mantenibilidad constante de 70%, que han conllevado a la empresa a perder 1910 horas/año. La evaluación de la criticidad se ejecutó a través del análisis de 4 consecuencias: costos generales del mantenimiento correctivo, impacto en el equipo, flexibilidad de opción de repuestos e impacto ambiental, encontrando 8 máquinas de clasificación crítica (Máquinas de soldar, taladro vertical, fresa, torno, plegadora, compresor, prensa y sierra eléctrica), efectuando hojas de información que responden a las 3 primeras preguntas de evaluación del RCM y las

hojas de decisiones que responden a las 4 preguntas de diagnóstico y propuestas de tareas del RCM para cada elemento crítico, donde se encontraron 98 causas de modos que mediante el índice de riesgo se determinó que 76% fallas son indeseables, 21% fallas reducibles y 9% fallas de características aceptables. Concluyendo que con la implementación de un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad la disponibilidad mecánica incremento en 93%, la confiabilidad operacional 95% y la mantenibilidad 60%, con beneficio de 156777.86 S/./año, con una recuperación de la inversión de 5 meses (150 días).

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

- Mantenimiento centrado en la confiabilidad:

Es el mantenimiento más avanzado referente a la identificación y causa raíz de las fallas que afectan un elemento de máquina, tiene como finalidad incrementar la disponibilidad mecánica, la confiabilidad operacional y reducir la mantenibilidad mediante la eliminación de las fallas indeseables (catastróficas), para ello se evalúan cada falla crítica a través de hojas de información, obteniendo los diferentes modos de fallas por cada falla crítica, estos modos de falla son evaluados mediante hojas de decisiones que proponen tareas preventivas y predictivas para la eliminación del modo de falla, contribuyendo a la reducción de los costos de mantenimiento de un equipo y la buena operatividad en la productividad eficiente de una organización u empresa, (Moubray, 2004).

Asimismo, podemos indicar que el mantenimiento centrado en la confiabilidad es una herramienta de un sistema de gestión de mantenimiento, que permite optimizar los indicadores de mantenimiento, mediante la identificación de los modos, efectos y causas de las fallas que provocan los tiempos perdidos, logrando tomar medidas correctivas, preventivas o predictivas para evitar dichas fallas, para lo cual se formulan 7 preguntas: ¿Qué funciones cumple el elemento de máquina?, ¿Cómo se origina la falla en el elemento de máquina?, ¿Cuál es la causa de cada falla?, ¿Qué indicadores alertan la falla del elemento de máquina?, ¿Qué consecuencias trae la falla en el elemento de máquina?, ¿Cómo se puede prevenir la falla en el elemento de máquina? y ¿Qué acciones se pueden tomar para evitar la falla en el elemento de máquina?, (Moubray, 2004).

- Mantenimiento Correctivo:

Es el tipo de mantenimiento inicial o básico, se le conoce también como reactivo, y se aplica o se ejecuta después de haberse producido una avería o falla en un elemento de máquina de una determina equipo o máquina, cuando se ejecutan este tipo de mantenimientos los procesos se detienen originando pérdidas de producción debido al aumento de las horas perdidas TTR (tiempo para reparar), y la reparación de una determina falla depende de la existencia de repuestos disponibles, si la empresa cuenta con un stock de repuestos se le denomina mantenimiento correctivo programado. Este tipo de mantenimiento eleva los costos de producción y reduce la vida útil de los elementos de máquina, (Moubray, 2004).

- Mantenimiento Preventivo:

El mantenimiento de prevención nace con la necesidad de reducir el TTR (tiempo para reparar) del mantenimiento correctivo, a través de intervenciones periódicas y el cambio de elementos según el tiempo de vida. Este mantenimiento busca la programación en intervalos de tiempos, con la finalidad de examinar, reponer, proteger y remplazar los elementos de un equipo, dichas intervenciones se pueden llevar a cabo mientras el equipo siga en funcionamiento u operatividad, aumentando de esta manera el TBF (tiempo entre fallas, o tiempo útil), (Moubray, 2004).

- Mantenimiento Predictivo:

Este mantenimiento nace con la finalidad de reforzar el mantenimiento preventivo, cuantificando de una manera correcta los tiempos o periodos de intervención según el tipo de elementos de máquina, este tipo de mantenimiento trabaja por lo general con las variables más importantes de funcionamiento de una maquina como: temperatura, humedad, contenido de ppm en una sustancia (caso de aceite), vibración, otros, cuya diferenciación de estos parámetros en una máquina ocasionan fallas en los elementos de máquinas. Para aplicar este tipo de mantenimiento es necesario la utilización de equipos como: Cámaras termográficas, banco de aceites, vibrometros, tintes penetrantes, etc. La gran ventaja de este mantenimiento es que se puede realizar cuando el equipo está en funcionamiento, (Moubray, 2004).

- Indicadores del mantenimiento:

Los indicadores generales del mantenimiento son: la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad, los cuales son los fundamentos de guía de un equipo, para evaluar si el equipo está en buen estado o no de operatividad, el objetivo es aumentar la disponibilidad y la confiabilidad, pero reducir o mantener constante la mantenibilidad. Existen diferentes métodos para evaluar los indicadores de mantenimiento, pero el más acertado a los valores reales es el método exponencial cuando se tienen los tiempos perdidos por cada falla y el tiempo entre fallas, (Benjamín, 2016).

a). Evaluación de los tiempos de ejecución del mantenimiento:

Tiempo medio entre fallas (TMEF): Es el periodo promedio útil de funcionamiento de un elemento de máquina u equipo.

$$TMEF = \frac{\sum TEF}{F} \dots \dots \dots (01)$$

Dónde:

- ✓ TMEF: Periodo o tiempo promedio entre fallas (horas útiles promedio/falla).
- ✓ TEF: Tiempo entre fallas (horas útil/año).
- ✓ F: Cantidad de averías o fallas (veces/año), se contabilizan también las fallas repetitivas.

Tiempo medio para reparar (TMPR): Es el tiempo promedio para reparar un elemento de máquina, tiempo que origina la paralización del equipo.

$$TMPR = \frac{\sum TPR}{F} \dots \dots \dots (02)$$

Dónde:

- ✓ TMEF: Periodo o tiempo promedio para reparar (horas de reparación/falla).
- ✓ TPR: Tiempo para reparar (horas de reparación/año).
- ✓ F: Cantidad de averías o fallas (veces/año).

b). Disponibilidad: Es el porcentaje de tiempo para que un elemento de máquina u equipo pueda trabajar sin presentar una avería o falla, se determina:

$$D(t) = \left( \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \right) * 100\% \quad \dots \dots \dots (03)$$

Dónde:

- ✓ D(t): Disponibilidad operacional (%).
- ✓ TMEF: Tiempo promedio entre fallas (horas útiles promedio/falla).
- ✓ TMPR: Tiempo promedio para reparar (horas de reparación/falla).

c). Confiabilidad: Es la fracción de tiempo para que un determinado elementos de máquina trabaje en un intervalo de tiempo propuesto y bajo condiciones específicas.

$$C(t) = \left( e^{\frac{-TF * TTP}{100}} \right) * 100\% \quad \dots \dots \dots (04)$$

Dónde:

- ✓ C(t): Confiabilidad operacional (%)
- ✓ TTP: Tiempo total programado (horas totales/año).
- ✓ TF: mantenimiento de tasa de fallas  $\left( \frac{\text{Fallas}}{\text{horas útil}} \right)$ .

Y se expresa:

$$TF = \frac{1}{TMEF} \quad \dots \dots \dots (05)$$

d). Mantenibilidad: Es la probabilidad de reponer un elemento de máquina que ha sufrido una avería o falla en una determinada fracción de tiempo.

$$M(t) = \left( 1 - e^{\frac{-TR * TTP}{100}} \right) * 100\% \quad \dots \dots \dots (06)$$

Dónde:

- ✓ M(t): Mantenibilidad mecánica (%)
- ✓ TTP: Tiempo total de estudio o programado (horas totales/año).
- ✓ TR: mantenimiento de tasa de reparaciones  $\left(\frac{\text{fallas}}{\text{horas de reparación}}\right)$ .

Y se expresa:

$$RR = \frac{1}{TMPR} \dots \dots \dots (07)$$

- Análisis de Criticidad de equipos:

La evaluación del análisis de criticidad de elementos de máquina u/o equipo, permite clasificar los elementos desde el más crítico al menos crítico, según cinco condiciones: la cantidad de frecuencias de intervenciones de falla, el impacto en la producción, la flexibilidad de respuesta a través del stock de repuestos, los costos generales de mantenimiento y del impacto en seguridad humana y medio ambiente, (Amendola, 2010).

En el anexo A3, se detalla gráficamente la matriz de criticidad de elementos de máquina, donde en el eje vertical se destina la ponderación de frecuencia de fallas y en el eje horizontal las consecuencias que origina cada falla en el elemento de máquina a evaluar.

Para evaluar la criticidad:

$$\text{Valor de criticidad} = FF * CO \dots \dots \dots (08)$$

Donde:

- FF: Ponderación de frecuencia de falla
- CO: Consecuencia

Asimismo, la consecuencia se determina:

$$CO = (IO * FO) + CM + ISMA \dots \dots \dots (09)$$

Donde:

- IO: Criterio del impacto operacional del elemento de máquina
- FO: Criterio de flexibilidad operacional de los repuestos del elemento de máquina

- CM: Criterio de los costos de mantenimiento generales
- ISMA: Criterio del impacto de seguridad humana y medio ambiente (impacto ambiental)

Para evaluar el nivel de criticidad de un elemento de máquina, se debe utilizar las tablas del Anexo A.4, donde las tablas de frecuencia de fallas y costos de mantenimiento deben ser modificadas de acuerdo al número de fallas existentes en elemento de máquina a evaluar.

- Análisis de modos y efectos de fallas:

Es la metodología más compleja del mantenimiento centrado en la confiabilidad, donde se evalúa cada falla, según las 7 preguntas del RCM, para ello se formulan hojas de información y hojas de decisiones, las hojas de información se dividen las 3 primeras preguntas (¿Qué funciones cumple el elemento de máquina?, ¿Cómo se origina la falla en el elemento de máquina?, ¿Cuál es la causa de cada falla?), con la finalidad de determinar la mayor cantidad de modos de fallas y las hojas de decisiones responden las últimas preguntas del RCM con ayuda del árbol lógico de decisiones del mantenimiento (¿Qué indicadores alertan la falla del elemento de máquina?, ¿Qué consecuencias trae la falla en el elemento de máquina?, ¿Cómo se puede prevenir la falla en el elemento de máquina? y ¿Qué acciones se pueden tomar para evitar la falla en el elemento de máquina?). Las hojas de información se visualizan en el Anexo A.5, las hojas de decisiones en el Anexo A.6 y el árbol lógico de decisiones del mantenimiento en el Anexo A.7, (Mora, 2009).

- Numero de prioridad de riesgo:

Es una herramienta fundamental del mantenimiento centrado en la confiabilidad, permite evaluar o estimar en que porcentaje se reduce el TTR (tiempo para reparar) de los elementos de máquina. Para ello es necesario evaluar los modos de fallas de cada falla crítica, determinando que porcentaje de fallas son indeseables, reducibles y aceptables, esto se logra a través de la ponderación persuasiva de los índices del número de prioridad de riesgo como: la gravedad, ocurrencia y detección que se pueden ver en el anexo A.8, (Lean, 2016).

$$NPR = G * O * D \quad \dots \dots \dots (10)$$

Dónde:

- ✓ Gravedad (G): Es el nivel de gravedad del modo de falla respecto a la paralización o inoperatividad del elemento de máquina.
- ✓ Ocurrencia (O): Es la cantidad de frecuencias de fallas estimadas del modo de falla.
- ✓ Detección (D): Es el nivel de dificultad para detectar para detectar el modo de falla, ya sea a través de los sentidos o con la utilización de equipos.

Las características de análisis del NPR (Número de Prioridad de Riesgo):

NPR > 200 Fallas Intolerables (I).

125 < NPR ≤ 200 Fallas reducibles deseables (R).

NPR ≤ 125 Fallas Aceptables (A).

- Periodo de retorno de la inversión:

Es la herramienta fundamental o principal de viabilidad de un estudio, pudiendo estimar la proyección en tiempo del retorno de la inversión inicial, mediante el beneficio constante ganado en un determinado proyecto, (Sowell, 2013).

$$PRI = \frac{\text{Inversión del proyecto}}{\text{Beneficio del proyecto}} \dots \dots \dots (11)$$

Dónde: La inversión del proyecto se mide en S. / y el beneficio del proyecto en S. /año.

## **1.4 Formulación del problema**

¿En qué medida el estudio comparativo técnico y económico de barredoras hidromecánicas en los servicios de limpieza pública de las Municipalidades del Departamento de La Libertad, contribuirá a mejorar sus indicadores de gestión de mantenimiento?

## **1.5 justificación del estudio**

Relevancia económica: La aplicación de un plan de mantenimiento de las barredoras hidromecánicas, aumentará la producción de recolección de residuos sólidos, logrando obtener un beneficio económico útil en los servicios de limpieza del sector público.

Relevancia tecnológica: Un sistema de gestión de mantenimiento, permite conocer tecnologías actuales en la aplicación del mantenimiento preventivo y predictivo, logrando reducir las fallas críticas que impiden el aumento de la recolección de residuos sólidos, permitiendo a las instituciones del estado, ser una entidad eficiente con respecto al mantenimiento de equipos de limpieza pública, como las barredoras hidromecánicas.

Relevancia institucional: La Universidad Cesar Vallejo como una institución educativa universitaria promueve el estudio de trabajos de tesis como: sistema de gestión de mantenimiento a barredoras hidromecánicas, permitiendo una relación laboral entre las entidades del sector público y la Universidad. Logrando que el alumno de la escuela de Ingeniería Mecánica extienda sus conocimientos hacia el campo laboral.

Relevancia socio-ambiental: La ejecución de un plan de mantenimiento para aumentar los indicadores de mantenimiento de las barredoras hidromecánicas, permite aumentar la vida útil de los elementos de máquina, minimizando la cantidad de repuestos deteriorados, contribuyendo al impacto ambiental. Y sobre todo aumentando la eficiencia en limpieza pública, mejorando la calidad de vida de los ciudadanos.

## **1.6 Hipótesis**

El estudio comparativo técnico y económico a las barredoras hidromecánicas en los servicios de limpieza pública de las Municipalidades del Departamento de La Libertad, permitirá mejorar sus indicadores de gestión de mantenimiento.

## **1.7 Objetivos.**

### **1.7.1 General:**

Realizar un estudio comparativo técnico y económico de barredoras hidromecánicas en los servicios de limpieza pública de las Municipalidades del Departamento de La Libertad, para mejorar sus indicadores de gestión de mantenimiento.

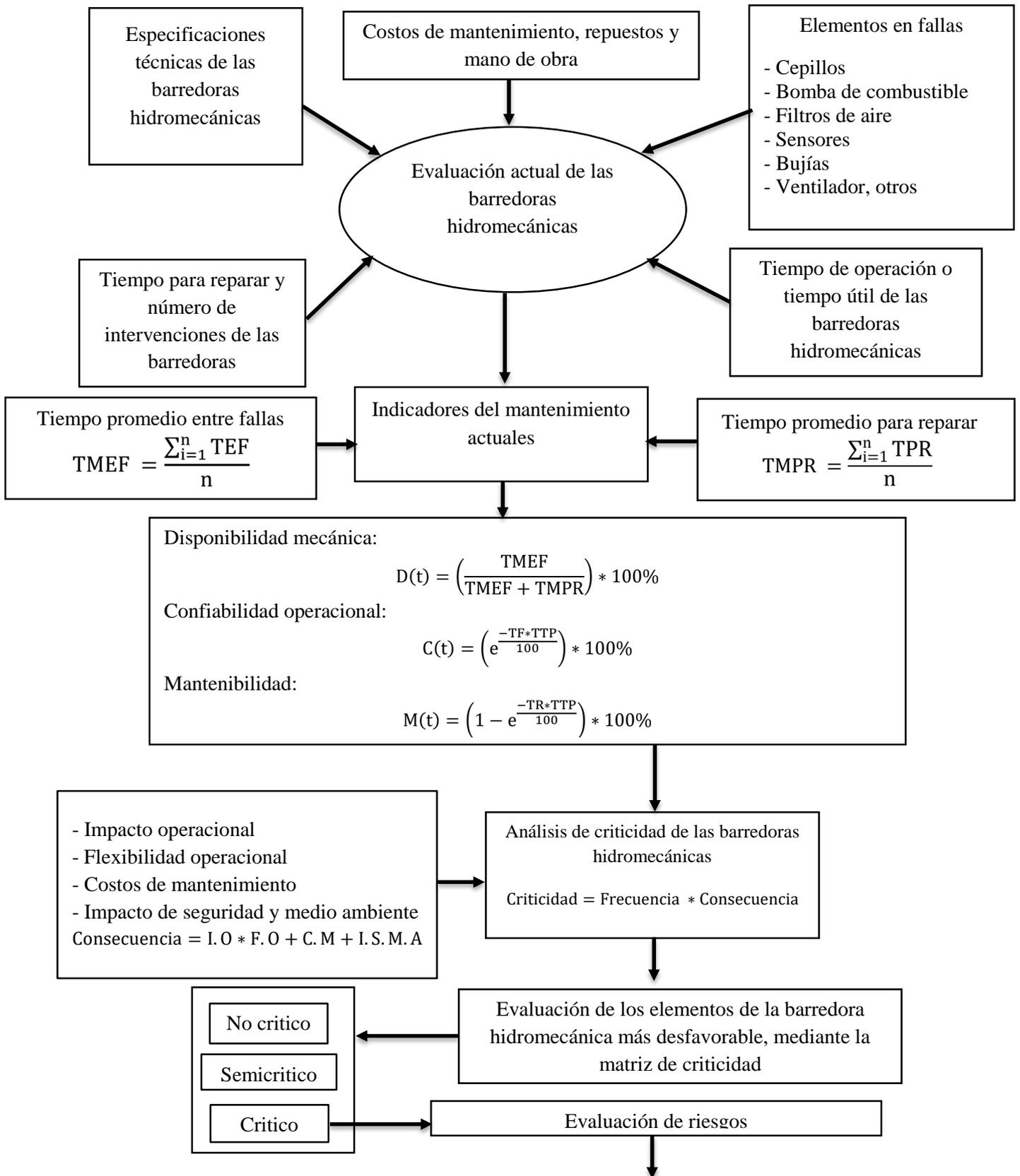
### **1.7.2 Objetivos específicos:**

1. Realizar un análisis comparativo de especificaciones técnicas e impacto ambiental a las barredoras hidromecánicas Macro S45L y Dulevo 5000 del Departamento de la Libertad.
2. Evaluar los parámetros del mantenimiento actuales de las barredoras hidromecánicas: Macro S45L y Dulevo 5000 del Departamento de la Libertad, para poder definir quien tiene los parámetros de mantenimiento más desfavorables.
3. Calcular los indicadores de mantenimiento en condiciones iniciales de las barredoras hidromecánicas Macro S45L y Dulevo 5000, para evaluar quien tiene los indicadores de mantenimiento porcentuales más desfavorables.
4. Realizar un análisis de criticidad a los elementos de la barredora hidromecánica más desfavorable, para clasificar sus elementos en críticos, semicríticos y no críticos.
5. Realizar el AMEF (Análisis de modos y efectos de fallos y NPR (número de prioridad de riesgos) para los elementos críticos de la barredora hidromecánica más desfavorable.
6. Elaborar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad basado en el mantenimiento preventivo y predictivo de los elementos críticos y la proyección de los indicadores de mantenimiento.

7. Realizar un análisis económico, fundamentado en el beneficio útil, inversión y retorno operacional de la inversión.

## **II. MÉTODO**

## 2.1 Diseño de investigación: Pre-experimental



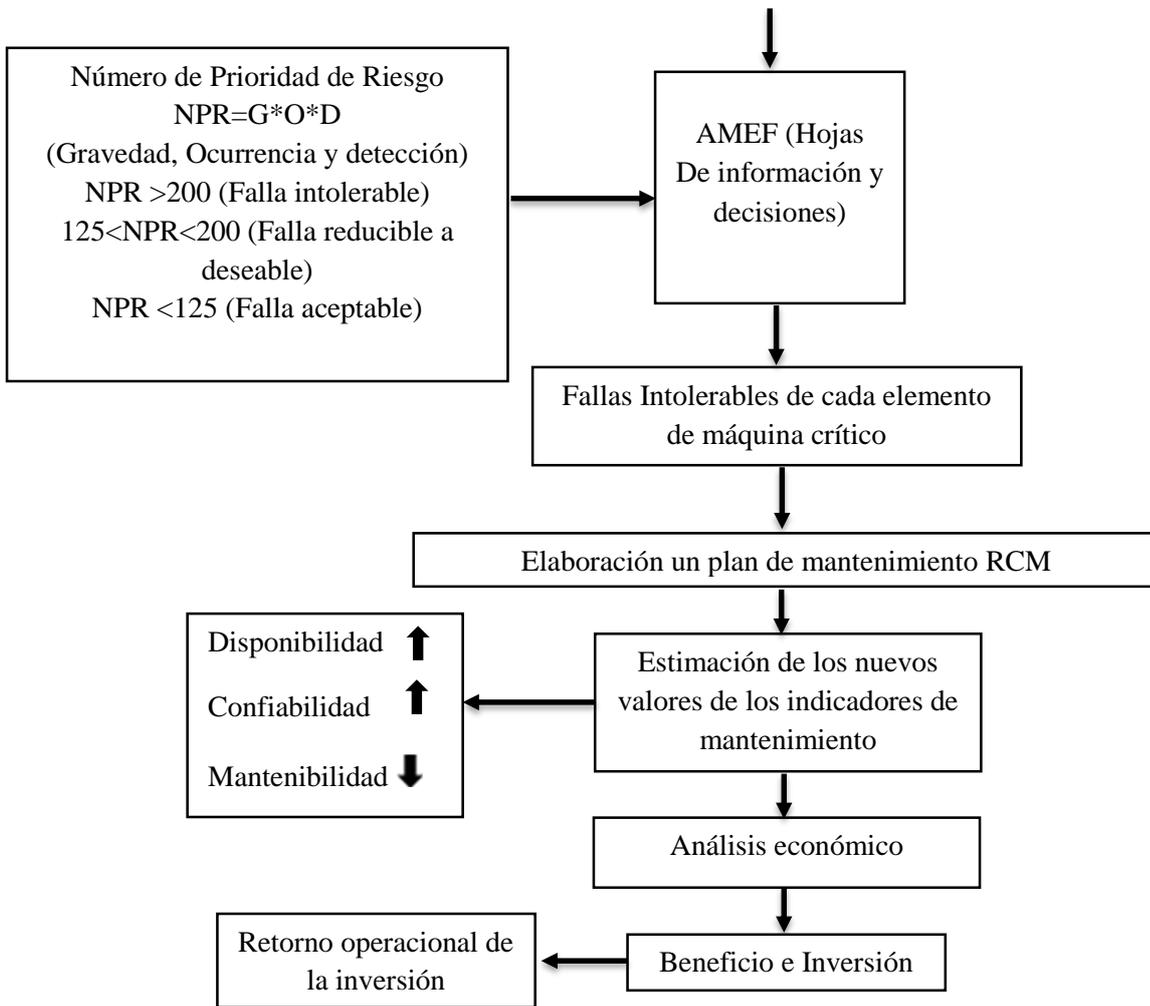


Figura 01: Diagrama de flujo del proyecto de investigación

## **2.2. Variables, operacionalización**

### **Variables Independientes:**

- **Estudio de un análisis técnico económico de las barredoras hidromecánicas**
  - ✓ Especificaciones técnicas
  - ✓ AMEF (Análisis de modos y efectos de fallas)

### **Variables Dependientes:**

- **Indicadores de gestión de mantenimiento**
  - ✓ Aumento de la confiabilidad (%)
  - ✓ Aumento de la disponibilidad (%)
  - ✓ Minimización de la mantenibilidad (%)
  - ✓ Costo/Beneficio



**Operacionalización de variables:**

Tabla 01: Operacionalización de variables independientes y dependientes

Variable	Indicador	Definición de Conceptual	Definición operacional	Escala de medición
Estudio de un análisis técnico económico de las barredoras hidromecánicas	Especificaciones técnicas	Es la información nominal y de operación de una máquina, que indica bajo que parámetros mínimos y máximos puede trabajar.	Fichas técnicas de equipos	Cualitativa
	AMEF (Análisis de modos y efectos de fallas)	Establece los diferentes modos de falla que pueden conllevar a que ocurra una falla catastrófica o indeseable en un elemento de máquina, beneficiando en la reducción del tiempo perdido y de los costos de mantenimiento generales.	Hojas de decisiones y hojas de información	Cualitativa
Indicadores de gestión de mantenimiento	Confiabilidad	Es un parámetro de probabilidad de disposición de una máquina o elemento en una tarea específica bajo condiciones dadas o determinadas, depende del tiempo entre falla o útil en relación al tiempo total programado.	$\left( e^{-\frac{TF * TTP}{100}} \right) * 100\%$	Cuantitativa (%)
	Mantenibilidad	Indicador de mantenimiento basado en la probabilidad de que un elemento de máquina expuesto a una falla, sea puesto en el tiempo más cortó a la continuidad de sus tareas.	$\left( 1 - e^{-\frac{TR * TTP}{100}} \right) * 100\%$	Cuantitativa (%)
	Disponibilidad	Indicador de mantenimiento basado en la probabilidad de que un elemento de máquina esté utilizable para desempeñar la función para la cual fue consignado.	$\frac{TMEF}{TMEF + TMPR}$	Cuantitativa (%)
	Costo/ beneficio	Es la proyección del tiempo de la recuperación inicial del proyecto, depende la caja de flujos constantes o beneficio constante.	$\frac{\text{Inversión}}{\text{Beneficio útil}}$	Cuantitativa (años)

## 2.3 Población y muestra

### 2.3.1. Población:

Barredoras hidromecánicas de las Municipalidades Distritales y Provinciales del Departamento de La Libertad.

### 2.3.2. Muestra:

- Barredora hidromecánica Macro S45L de la Municipalidad Provincial de Trujillo.
- Barredora hidromecánica Dulevo 5000 de la Municipalidad Distrital de Víctor Larco Herrera.

## 2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Tabla 02: Técnicas e instrumentos del proyecto

<b>Técnica</b>	<b>Instrumento</b>
El análisis documental	La ficha de registro

## 2.5 Métodos de análisis de datos

El análisis de datos que se recolectará en fichas de registro de las barredoras hidromecánicas Macro S45L y Dulevo 5000, se tabularan en gráficos de barras mediante el programa Microsoft Excel, para poder comparar las distintas diferencias de las barredoras hidromecánicas como el tiempo útil, el tiempo perdido, consumo de combustible, productividad de barrido, cantidad de gases evacuados al medio ambiente, indicadores de mantenimiento y costos de mantenimiento. Asimismo se realizó una programación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a la máquina barredora más desfavorable mediante una hoja de cálculo Excel.

## **2.6 Aspectos éticos**

El autor de la presente investigación se compromete a salvaguardar la propiedad intelectual, legitimidad de los resultados obtenidos en su estudio, así como la confiabilidad de los datos privados ofrecidos por la Municipalidad Provincial de Trujillo y Municipalidad Distrital de Víctor Larco Herrera, ha no exhibir la identidad de las individuos que sean partícipes de esta investigación.

# **III. RESULTADOS**

### **3.1. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS E IMPACTO AMBIENTAL DE LAS BARREDORAS HIDROMECAÑICAS DEL DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD:**

Este análisis comprenderá la comparación de las fundamentales características técnicas de las barredoras hidromecánicas Macro S45L y Dulevo 5000, tales como: valoración económica. Capacidad de residuos sólidos, potencia del motor, velocidad de rotación de trabajo, torque de operación, tipo de alimentación, tipo de barrido, Velocidad lineal máxima, velocidad de trabajo, diámetro de barrido de los cepillos, productividad y tipo de cerdas.

Y desde el punto ambiental, será calculará la cantidad de masa de dióxido de carbono CO<sub>2</sub> y dióxido de azufre que evacua cada barredora en el periodo de un año (2017), permitiendo evaluar que barredora tiene mayor responsabilidad con el medio ambiente.

#### **3.1.1. Especificaciones técnicas e impacto ambiental de la barredora hidromecánica Macro S45L:**

##### **3.1.1.1. Especificaciones técnicas de la barredora hidromecánica Macro S45L:**

*Tabla 03: Especificaciones técnicas de la barredora hidromecánica Macro S45L*

<b>Características técnicas</b>	<b>Valor/Descripción</b>	<b>Unidad</b>
Valoración económica de compra neta	200000.00	U\$\$
Capacidad de residuos sólidos	5	m <sup>3</sup>
Potencia del motor	129	KW
Velocidad de rotación de trabajo	710	rpm
Torque de operación	1740	N.m
Tipo de alimentación	Diésel	-
Tipo de barrido	Mecánico Aspirante	-
Velocidad lineal máxima	40	Km/h
Velocidad de trabajo	25	Km/h
Diámetro de barrido de los cepillos laterales	2500	mm
Diámetro de barrido del cepillo central	3300	mm
Productividad	82500	m <sup>2</sup> /h
Tipo de cerdas	Polypropileno y Metal	-
Consumo de combustible (real)	6 (21.6)	gal/h (Kg/h)
Distancia recorrida de barrido promedio	50	Km/día

### 3.1.1.2. Impacto ambiental de la barredora hidromecánica Macro S45L:

Para máquinas de consumo de combustible diésel, es importante evaluar dos agentes contaminantes de mayor relevancia para el medio ambiente, que son: el dióxido de carbono CO<sub>2</sub> y dióxido de azufre SO<sub>2</sub>. Para determinar la cantidad CO<sub>2</sub> se utiliza la formulación ( $\dot{m}_{CO_2} = 3.12 * \dot{m}_c$ ) y para la cantidad evacuada de CO<sub>2</sub> se emplea la ecuación ( $\dot{m}_{SO_2} = 0.06 * \dot{m}_c$ ), (Muñoz, 2011).

- Flujo másico CO<sub>2</sub> evacuado anual por la barredora hidromecánica Macro S45L:

$$\dot{m}_{CO_2} = 3.12 * \dot{m}_c$$

$$\dot{m}_{CO_2} = 3.12 \frac{KgCO_2}{Kgcombustible} * 21.60 \frac{Kgcombustible}{h} * 2190 \frac{h}{año} * \frac{1TM CO_2}{1000 CO_2} = 147.60 \frac{TM}{año}$$

- Flujo másico SO<sub>2</sub> evacuado anual por la barredora hidromecánica Macro S45L:

$$\dot{m}_{SO_2} = 0.06 * \dot{m}_c$$

$$\dot{m}_{SO_2} = 0.06 \frac{KgSO_2}{Kgcombustible} * 21.60 \frac{Kgcombustible}{h} * 2190 \frac{h}{año} * \frac{1TM SO_2}{1000 SO_2} = 2.84 \frac{TM}{año}$$

### 3.1.2. Especificaciones técnicas e impacto ambiental de la barredora hidromecánica Dulevo 5000:

#### 3.1.2.1. Especificaciones técnicas de la barredora hidromecánica Dulevo 5000:

Tabla 04: Especificaciones técnicas de la barredora hidromecánica Dulevo 5000

Características técnicas	Valor/Descripción	Unidad
Valoración económica de compra neta	145000.00	U\$\$
Capacidad de residuos sólidos	5	m <sup>3</sup>
Potencia del Motor	107	KW
Velocidad de rotación de trabajo	740	rpm
Torque de operación	1375	N.m
Alimentación	Diésel	-
Tipo de barrido	Mecánico Aspirante	-
Velocidad máxima	42	Km/h
Velocidad de trabajo	25	Km/h
Diámetro de barrido de los cepillos laterales	3500	mm
Diámetro de barrido del cepillo central	2600	mm
Productividad	105000	m <sup>2</sup> /h
Tipo de cerdas	Polypropileno y Metal	-
Consumo de combustible (real)	5 (18)	gal/h (Kg/h)
Distancia recorrida de barrido promedio	65	Km/día

### 3.1.2.2. Impacto ambiental de la barredora hidromecánica Dulevo 5000:

Para máquinas de consumo de combustible diésel, es importante evaluar dos agentes contaminantes de mayor relevancia para el medio ambiente, que son: el dióxido de carbono CO<sub>2</sub> y dióxido de azufre SO<sub>2</sub>. Para determinar la cantidad CO<sub>2</sub> se utiliza la formulación ( $\dot{m}_{CO_2} = 3.12 * \dot{m}_c$ ) y para la cantidad evacuada de CO<sub>2</sub> se emplea la ecuación ( $\dot{m}_{SO_2} = 0.06 * \dot{m}_c$ ), (Muñoz, 2011).

- Flujo másico CO<sub>2</sub> evacuado anual por la barredora hidromecánica Dulevo 5000:

$$\dot{m}_{CO_2} = 3.12 * \dot{m}_c$$

$$\dot{m}_{CO_2} = 3.12 \frac{KgCO_2}{Kgcombustible} * 18 \frac{Kgcombustible}{h} * 1877.14 \frac{h}{año} * \frac{1TM CO_2}{1000 CO_2} = 105.42 \frac{TM}{año}$$

- Flujo másico SO<sub>2</sub> evacuado anual por la barredora hidromecánica Dulevo 5000:

$$\dot{m}_{SO_2} = 0.06 * \dot{m}_c$$

$$\dot{m}_{SO_2} = 0.06 \frac{KgSO_2}{Kgcombustible} * 18 \frac{Kgcombustible}{h} * 1877.14 \frac{h}{año} * \frac{1TM SO_2}{1000 SO_2} = 2.03 \frac{TM}{año}$$

En la tabla 05, se muestra un comparativo entre las dos barredoras hidromecánicas que tienen la misma capacidad de residuos sólidos de 5m<sup>3</sup> alimentadas por diésel, donde la barredora Dulevo 5000 en comparación a la barredora Macro S45L cuesta U\$\$ 55000.00 (27.50% menos), tiene 22KW de potencia menos por lo cual consume 1 galón menos de diésel, pero tiene 1 m de diámetro más de barrido en sus cepillos laterales y 0.7 m en su cepillo central, con un incremento de productividad de 22500 m<sup>2</sup>/h y 15 Km/día más de barrido.

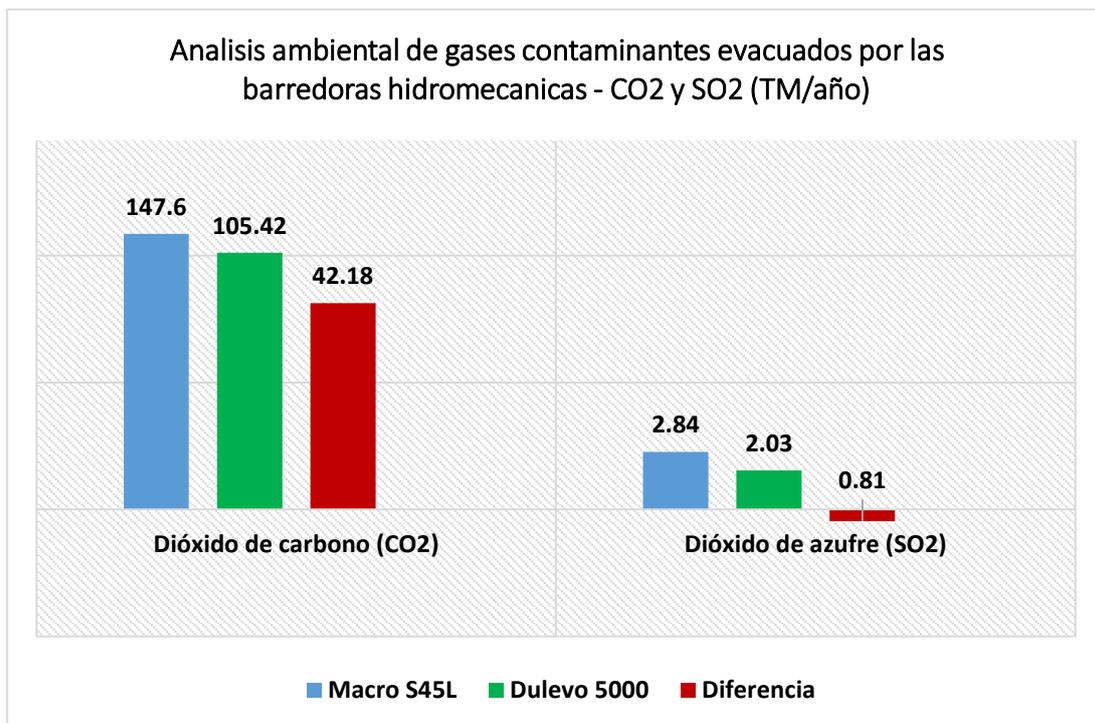
*Tabla 05: Comparativo de las características técnicas de las barredoras hidromecánicas*

Características técnicas de las barredoras hidromecánicas	Macro S45L	Dulevo 5000	Diferencia	Unidad
	Valor/Descripción			
Valoración económica de compra neta	200000.00	145000.00	55000.00	U\$\$
Capacidad de residuos sólidos	5	5	-	m <sup>3</sup>
Potencia del motor	129	107	22	KW
Velocidad de rotación de trabajo	710	740	30	rpm
Torque de operación	1740	1375	365	N.m
Tipo de alimentación	Diésel	Diésel	-	-
Tipo de barrido	Mecánico Aspirante	Mecánico Aspirante	-	-
Velocidad lineal máxima	40	42	2	Km/h
Velocidad de trabajo	25	25	-	Km/h
Diámetro de barrido de los cepillos laterales	2500	3500	1000	mm
Diámetro de barrido del cepillo central	3300	2600	700	mm
Productividad	82500	105000	22500	m <sup>2</sup> /h
Tipo de cerdas	Polypropileno y Metal	Polypropileno y Metal	-	-
Consumo de combustible (real)	6 (21.6)	5 (18)	1 (3.6)	gal/h (Kg/h)
Distancia recorrida de barrido promedio	50	65	15	Km/día

En la tabla 06, se muestra el comparativo del impacto ambiental de las barredoras hidromecánicas, donde la barredora Dulevo 5000 en comparación a la barredora Macro S45L, evacua 42.18 TM/h menos de dióxido de carbono y 0.81 TM/h menos de dióxido de azufre.

*Tabla 06: Comparativo del análisis de impacto ambiental a las barredoras hidromecánicas*

<b>Barredoras hidromecánicas</b>	<b>Macro S45L</b>	<b>Dulevo 5000</b>	<b>Diferencia</b>	<b>Unidad</b>
Dióxido de carbono (CO2)	147.60	105.42	42.18	TM/año
Dióxido de azufre (SO2)	2.84	2.03	0.81	TM/año



*Figura 02: Comparación ambiental de CO2 y SO2 evacuados por las barredoras hidromecánicas Macro S45L y Dulevo 5000, en el periodo 2017.*

### 3.1 EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MANTENIMIENTO ACTUAL DE LAS BARREDORAS HIDROMECÁNICAS DEL DEPARTAMENTO DE LA LIBERTAD:

La evaluación de los parámetros de mantenimiento actual o inicial a las barredoras hidromecánicas del Departamento de La Libertad, se fundamenta en el estudio de 2 modelos de barredoras hidromecánicas: Macro S45L (Pertenece a la Municipalidad Provincial de Trujillo) y Dulevo 5000 (Pertenece a la Municipalidad Distrital de Víctor Larco Herrera). Para lo cual analizaremos sus parámetros de mantenimiento como: Tiempo útil (TEF), tiempo para reponer (TPR) y costos de mantenimiento (costos de repuestos + costos de mano de obra), las cuales se encuentran en las Ordenes de Trabajo de Mantenimiento de las barredoras del periodo 2017.

#### 3.1.1. Análisis del TPR de las fallas de las barredoras hidromecánicas

##### a) Barredora hidromecánica Macro S45L:

*Tabla 07: Tiempos para reparar de la barredora hidromecánica Macro S45L*

ítem	Evaluación de la falla de la barredora hidromecánica Macro S45L	Fecha de Inicio de la falla, Periodo 2017		Fecha Final de la falla, Periodo 2017		Tiempo para reparar TPR (h)
1	Conductos obstruidos de la válvula de inclinación y elevación.	10/01/2017	9:40 a. m.	10/01/2017	5:30 p. m.	7.83
2	Filtro de aire obstruido.	17/01/2017	10:15 a. m.	17/01/2017	2:00 p. m.	3.75
3	Irregularidad de la velocidad de crucero.	25/01/2017	1:00 p. m.	26/01/2017	9:00 a. m.	20.00
4	Sobrecarga en el interruptor de inclinación.	13/02/2017	8:00 a. m.	13/02/2017	11:00 a. m.	3.00
5	Juego en liberación de frenos.	15/02/2017	9:00 a. m.	17/02/2017	1:30 p. m.	52.50
6	Corrosión en las placas positivas de la batería.	27/02/2017	2:45 p. m.	27/02/2017	6:00 p. m.	3.25
7	Rotura de válvula de tolva.	20/03/2017	10:00 a. m.	20/03/2017	4:00 p. m.	6.00
8	Fisura de la válvula de desplazamiento lateral.	4/04/2017	11:45 a. m.	5/04/2017	5:30 p. m.	29.75

9	Presión insuficiente en bomba de agua.	8/04/2017	1:40 p. m.	8/04/2017	3:00 p. m.	1.33
10	Convertidor de torsión en cierre de sensor.	19/04/2017	11:00 a. m.	19/04/2017	2:00 p. m.	3.00
11	Obstrucción de válvula de cepillo lateral derecho.	6/05/2017	8:00 a. m.	8/05/2017	10:00 a. m.	50.00
12	Articulaciones desgastadas del cepillo central.	10/05/2017	2:00 p. m.	13/05/2017	11:00 a. m.	69.00
13	Presión insuficiente en interruptor de elevador.	22/06/2017	9:45 a. m.	22/06/2017	1:30 p. m.	3.75
14	Válvula reguladora o dosificadora de frenado.	16/07/2017	2:00 p. m.	16/07/2017	4:00 p. m.	2.00
15	Recalentamiento de bujías de incandescencia.	19/07/2017	9:00 a. m.	19/07/2017	2:30 p. m.	5.50
16	Pérdida de flujo en bomba de inyección.	5/08/2017	8:00 a. m.	5/08/2017	11:00 a. m.	3.00
17	Derrame del ácido y reducción del nivel de electrolito de Baterías.	11/08/2017	1:15 p. m.	11/08/2017	5:00:00 p. m.	3.75
18	Fisuras en palas del ventilador de aspiración.	19/09/2017	11:00 a. m.	20/09/2017	1:30 p. m.	26.50
19	Conductos obstruidos de la válvula de inclinación y elevación.	28/10/2017	1:30 p. m.	1/11/2017	9:00 a. m.	91.50
20	Obstrucción de válvula de cepillo lateral derecho.	12/11/2017	8:40 a. m.	12/11/2017	11:00 a. m.	2.33
21	Interrupción en líneas de alimentación de combustible.	15/11/2017	2:00 p. m.	16/11/2017	11:00 a. m.	21.00
22	Obstrucción del tubo de aspiración.	17/11/2017	11:15 a. m.	17/11/2017	5:00 p. m.	5.75
23	Baja presión de succión del ventilador.	21/11/2017	7:45 a. m.	21/11/2017	2:00 p. m.	6.25
24	Filtración de aire en válvula de desplazamiento lateral.	7/12/2017	1:40 p. m.	7/12/2017	6:00 p. m.	4.33
25	Pérdida de flujo en bomba de inyección.	16/12/2017	1:00 p. m.	16/12/2017	4:00 p. m.	3.00
26	Estrechamiento de conducto en válvula de cepillo izquierdo.	26/12/2017	10:00 a. m.	28/12/2017	1:00 p. m.	51.00
						<b>479.08</b>

$$\sum \text{TPR} = 7.83 + 3.75 + 20 + 3 + 52.50 + 3.25 + 6 + 29.75 + 1.33 + 3 + 50 + 69 + 3.75 + 2 + 5.5 + 3 + 3.75 + 26.50 + 91.50 + 2.33 + 21 + 5.75 + 6.25 + 4.33 + 3 + 51 = 479.08 \text{ Horas pérdidas/año}$$

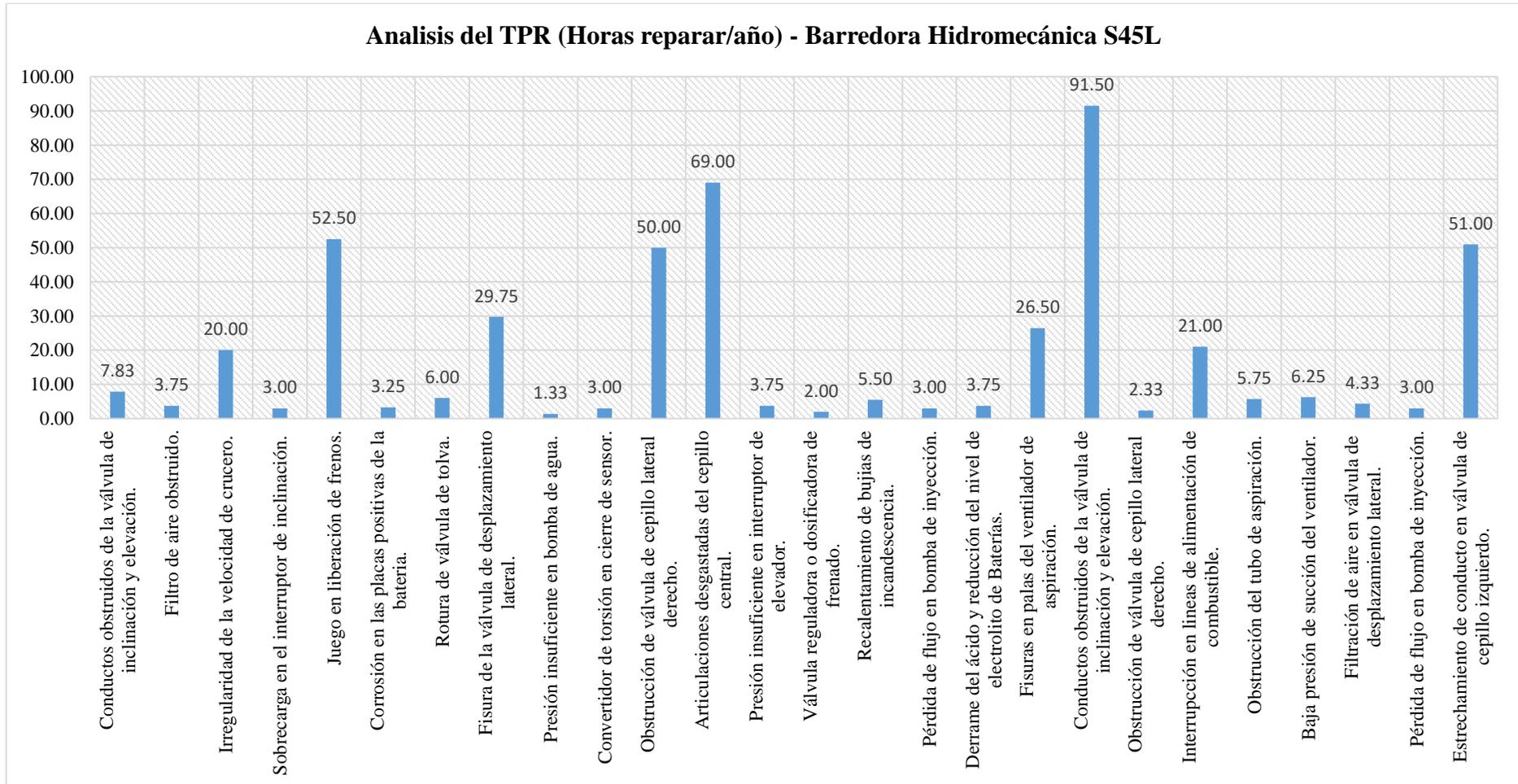


Figura 03: Análisis del tiempo para reparar de la barredora hidromecánica S45L

**b) Barredora hidromecánica Dulevo 5000:**

*Tabla 08: Tiempos para reparar de la barredora hidromecánica Dulevo 5000*

ítem	Evaluación de la falla de la barredora hidromecánica Macro S45L	Fecha de Inicio de la falla, Periodo 2017		Fecha Final de la falla, Periodo 2017		Tiempo para reparar TPR (h)
1	Bomba inyectora mal regulada.	4/01/2017	11:00:00 a. m.	4/01/2017	2:00:00 p. m.	3.00
2	Sulfato de plomo en las placas en baterías.	15/01/2017	1:00:00 p. m.	15/01/2017	5:00:00 p. m.	4.00
3	Termostato se pega o recuesta con el resorte.	17/01/2017	8:00:00 a. m.	17/01/2017	11:00:00 a. m.	3.00
4	Aislador y electrodos recubiertos por incrustaciones	18/01/2017	10:15:00 a. m.	18/01/2017	2:00:00 p. m.	3.75
5	Válvula de inclinación obstruida	20/01/2017	9:00:00 a. m.	21/01/2017	1:00:00 p. m.	28.00
6	Caída de presión en succión de bomba de refrigeración.	22/01/2017	10:15:00 a. m.	22/01/2017	2:30:00 p. m.	4.25
7	Irregularidad de la velocidad de crucero.	25/01/2017	1:00:00 p. m.	26/01/2017	9:00:00 a. m.	20.00
8	Sobrecarga en el interruptor de inclinación.	13/02/2017	8:00:00 a. m.	13/02/2017	11:00:00 a. m.	3.00
9	Juego en liberación de frenos.	15/02/2017	9:00:00 a. m.	15/02/2017	1:30:00 p. m.	4.50
10	Rotura de filtro de aire	27/02/2017	2:45:00 p. m.	27/02/2017	6:00:00 p. m.	3.25
11	Corrosión en las placas positivas de la batería.	28/02/2017	2:45:00 p. m.	28/02/2017	5:00:00 p. m.	2.25
12	Rotura de válvula de tolva.	20/03/2017	10:00:00 a. m.	20/03/2017	4:40:00 p. m.	6.67
13	Fisura de la válvula de desplazamiento lateral.	3/04/2017	1:40:00 p. m.	5/04/2017	5:30:00 p. m.	51.83
14	Presión insuficiente en bomba de agua.	6/04/2017	2:00:00 p. m.	6/04/2017	3:00:00 p. m.	1.00
15	Estrechamiento de conducto en válvula de cepillo izquierdo.	20/04/2017	11:00:00 a. m.	21/04/2017	2:00:00 p. m.	27.00
16	Obstrucción de válvula de cepillo lateral derecho.	6/05/2017	10:00:00 a. m.	8/05/2017	1:00:00 p. m.	51.00
17	Articulaciones desgastadas del cepillo central.	10/05/2017	2:00:00 p. m.	12/05/2017	11:00:00 a. m.	45.00
18	Presión insuficiente en interruptor de elevador.	22/06/2017	9:45:00 a. m.	22/06/2017	1:30:00 p. m.	3.75

19	Válvula reguladora o dosificadora de frenado.	16/07/2017	2:00:00 p. m.	16/07/2017	4:00:00 p. m.	2.00
20	Depósitos de carbón en bujías.	18/07/2017	9:00:00 a. m.	18/07/2017	2:30:00 p. m.	5.50
21	Pérdida de flujo en bomba de inyección.	7/08/2017	8:00:00 a. m.	7/08/2017	11:00:00 a. m.	3.00
22	Derrame del ácido y reducción del nivel de electrolito de Baterías.	11/08/2017	9:00:00 a. m.	11/08/2017	5:00:00 p. m.	8.00
23	Fisura en el área lateral del tubo de aspiración	20/09/2017	11:00:00 a. m.	21/09/2017	1:30:00 p. m.	26.50
24	Insuficiente alimentación en conductos eléctricos	29/10/2017	1:30:00 p. m.	29/10/2017	5:30:00 p. m.	4.00
25	Obstrucción de válvula de cepillo lateral derecho.	8/11/2017	8:40:00 a. m.	9/11/2017	11:00:00 a. m.	26.33
26	Interrupción en líneas de alimentación de combustible.	13/11/2017	8:00:00 a. m.	13/11/2017	11:00:00 a. m.	3.00
27	No llega a la velocidad de rotación de trabajo	18/11/2017	9:00:00 a. m.	20/11/2017	5:00:00 p. m.	56.00
28	Baja presión de succión del ventilador.	21/11/2017	11:00:00 a. m.	21/11/2017	4:00:00 p. m.	5.00
29	Filtración de aire en válvula de desplazamiento lateral.	23/11/2017	1:40:00 p. m.	24/11/2017	6:00:00 p. m.	28.33
30	Pérdida de flujo en bomba de inyección.	26/11/2017	9:00:00 a. m.	26/11/2017	1:00:00 p. m.	4.00
31	Obstrucción en válvula de inclinación.	29/11/2017	10:00:00 a. m.	29/11/2017	2:30:00 p. m.	4.50
32	Estrechamiento de conducto en válvula de cepillo izquierdo.	5/12/2017	11:30:00 a. m.	6/12/2017	1:30:00 p. m.	26.00
33	fisura en convertidor de torsión	14/12/2017	8:00:00 a. m.	14/12/2017	2:00:00 p. m.	6.00
34	Velocidad de rotación insuficiente	21/12/2017	10:00:00 a. m.	22/12/2017	3:00:00 p. m.	29.00
						<b>502.42</b>

$$\sum \text{TPR} = 3 + 4 + 3 + 3.75 + 28 + 4.25 + 20 + 3 + 4.5 + 3.25 + 2.25 + 6.67 + 51.83 + 1 + 27 + 51 + 45 + 3.75 + 2 + 5.5 + 3 + 8 + 26.50 + 4 + 26.33 + 3 + 56 + 5 + 28.33 + 4 + 4.5 + 26 + 6 + 29 = 502.42 \text{ Horas pérdidas/año}$$

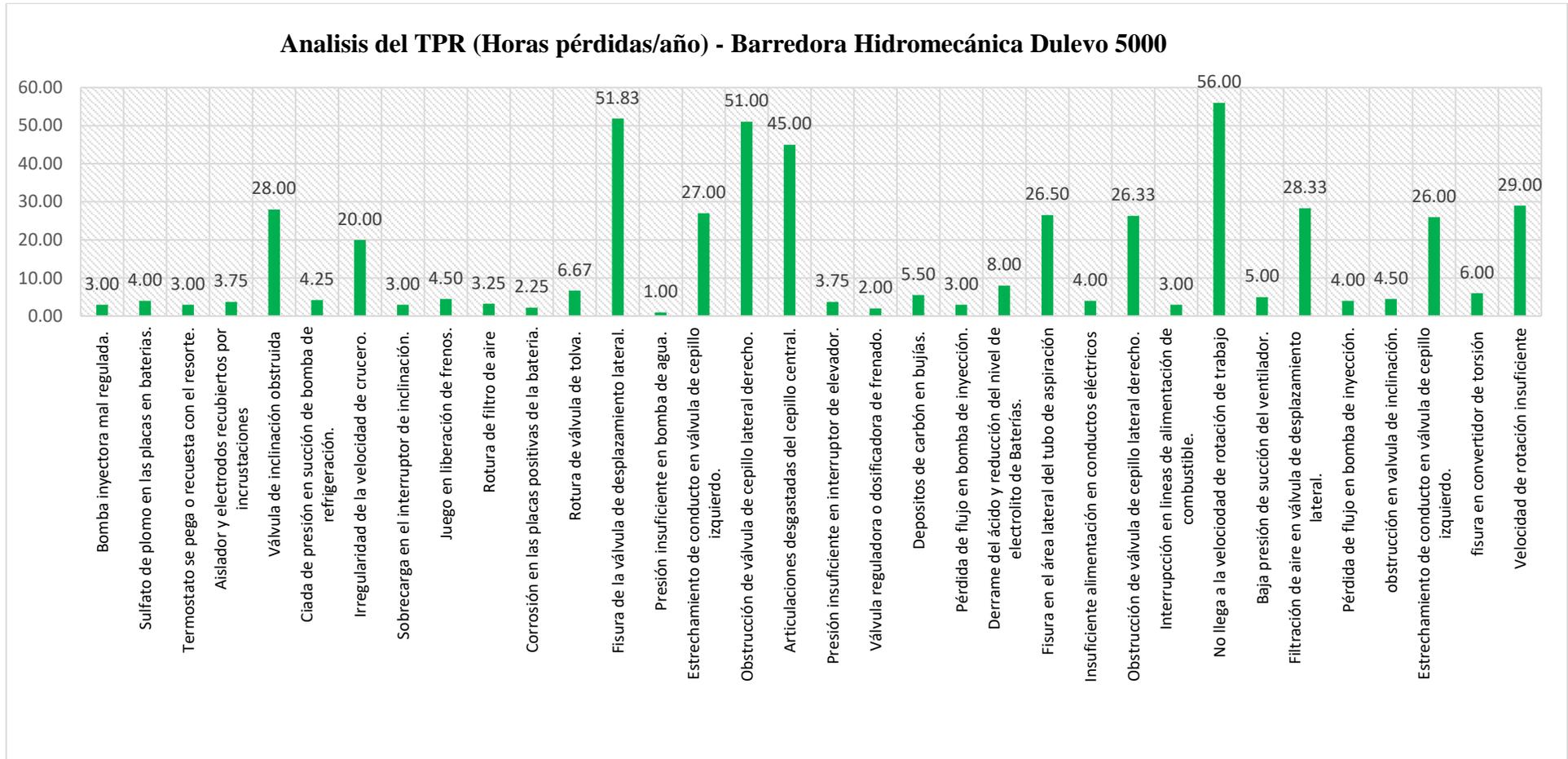


Figura 04: Análisis del tiempo para reparar de la barredora hidromecánica Dulevo 5000

### 3.1.2. Análisis del TEF de las fallas de las barredoras hidromecánicas

Las barredoras hidromecánicas, trabajan en un régimen constante de 6 horas/día, con la diferencia que la barredora hidromecánica Macro S45L trabaja 7 días/semana y la barredora hidromecánica Dulevo 5000 trabaja 6 días/semana.

#### 3.1.2.1. Horas útiles al año de operación de la barredora hidromecánica Macro S45L:

La barredora hidromecánica Macro S45L, opera 7 días/semana, con 6 horas/día, teniendo en cuenta que el año tiene 52.1429 semanas/año.

$$\text{TEF} = (7 \text{ días/semana}) * (6 \text{ horas/día}) * (52.1429 \text{ semanas/año}) = 2190 \text{ horas útil/año}$$

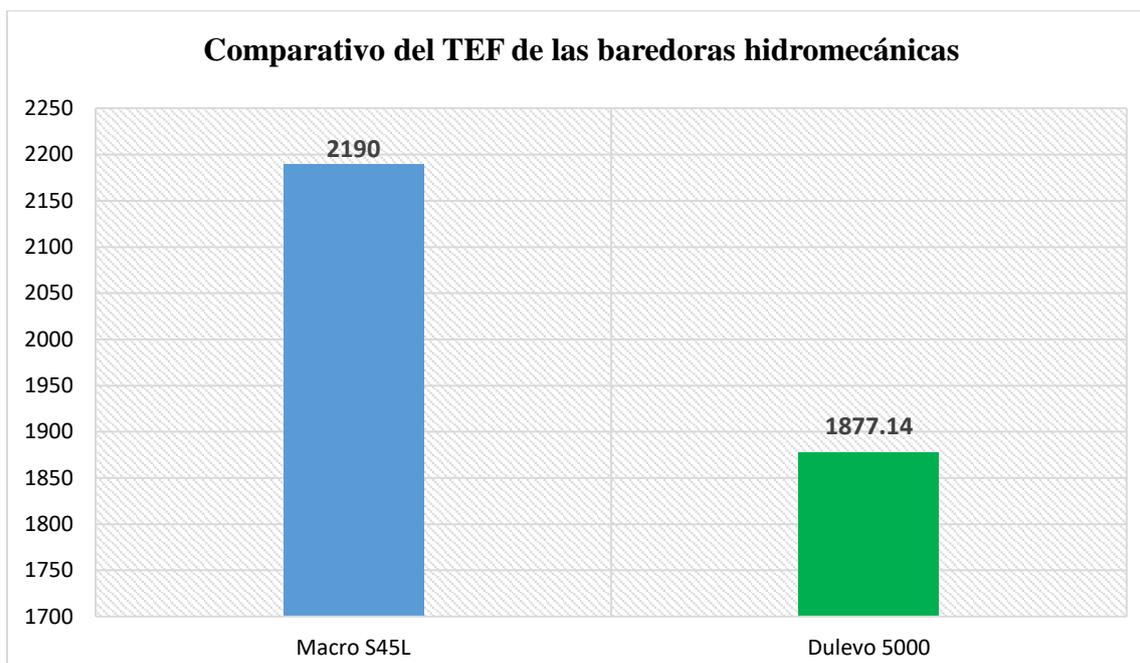
#### 3.1.2.2. Horas útiles al año de operación de la barredora hidromecánica Dulevo 5000:

La barredora hidromecánica Dulevo 5000, opera 6 días/semana, con 6 horas/día, teniendo en cuenta que el año tiene 52.1429 semanas/año.

$$\text{TEF} = (6 \text{ días/semana}) * (6 \text{ horas/día}) * (52.1429 \text{ semanas/año}) = 1877.14 \text{ horas útil/año}$$

*Tabla 09: Comparativo del TEF de las barredoras hidromecánicas*

<b>Barredora hidromecánica</b>	<b>Tiempos entre fallas o útil, TEF (horas/año)</b>
Macro S45L	2190.00
Dulevo 5000	1877.14



*Figura 05: Horas útil de operación de las barredoras hidromecánicas de la MPT y MDVLH en el periodo 2017.*

### 3.1.3. Análisis de los costos por inoperancia de las barredoras hidromecánicas

Para evaluar los costos por inoperancia de las barredoras hidromecánicas, nos basaremos en el número de personas equivalentes que realizarían las mismas tareas que las barredoras hidromecánicas, según el registro de auxiliares de limpieza de la Municipalidad Provincial de Trujillo y la Municipalidad Distrital de Víctor Larco Herrera.

*Tabla 10: Equivalencia de trabajadores auxiliares y costos unitarios en comparación a las barredoras hidromecánicas*

<b>Barredora hidromecánica</b>	<b>Equivalencia de numero de auxiliares de limpieza por día (N)</b>	<b>Costo unitario hora hombre (CUHH) S./hora</b>
Macro S45L	22	10.00
Dulevo 5000	17	8.333

### 3.1.3.1. Costo por inoperancia de la barredora hidromecánica Macro S45L:

$$\text{CPI} = N * \text{CUHH} * \text{TPR}$$

Donde:

N: Número de auxiliares de limpieza, N = 22

CUHH: costo unitario hora hombre, CUHH = 10.00 S/./hora

TPR: Tiempo para reparar de la barredora Macro S45L, TPR = 479.08 horas/año

Sustituyendo:

$$\text{CPI} = 22 * 10.00 \text{ S/./hora} * 479.08 \text{ horas/año}$$

$$\text{CPI} = 105397.60 \text{ S/./año}$$

### 3.1.3.2. Costo por inoperatividad de la barredora hidromecánica Dulevo 5000:

$$\text{CPI} = N * \text{CUHH} * \text{TPR}$$

Donde:

N: Número de auxiliares de limpieza, N = 17

CUHH: costo unitario hora hombre, CUHH = 8.333 S/./hora

TPR: Tiempo para reparar de la barredora Dulevo 5000, TPR = 502.42 horas/año

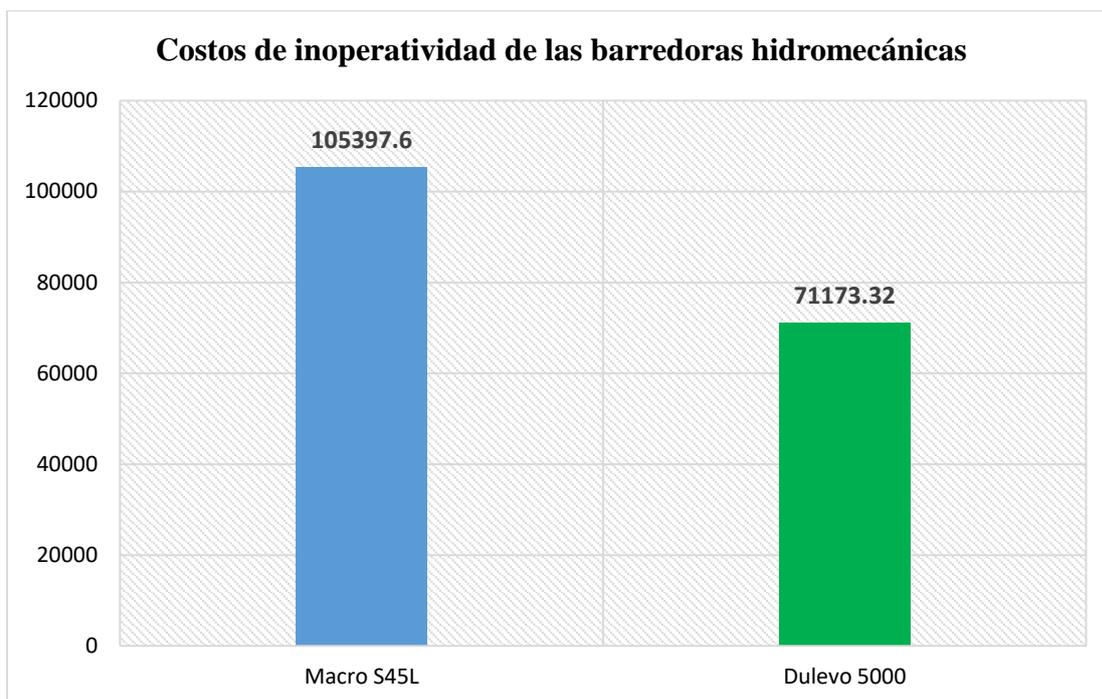
Sustituyendo:

$$\text{CPI} = 17 * 8.333 \text{ S/./hora} * 502.42 \text{ horas/año}$$

$$\text{CPI} = 71173.32 \text{ S/./año}$$

*Tabla 11: Resumen de los costos de inoperatividad de las barredoras hidromecánicas*

<b>Barredora hidromecánica</b>	<b>Costos de inoperatividad (CPI) S/./año</b>
Macro S45L	105397.60
Dulevo 5000	71173.32



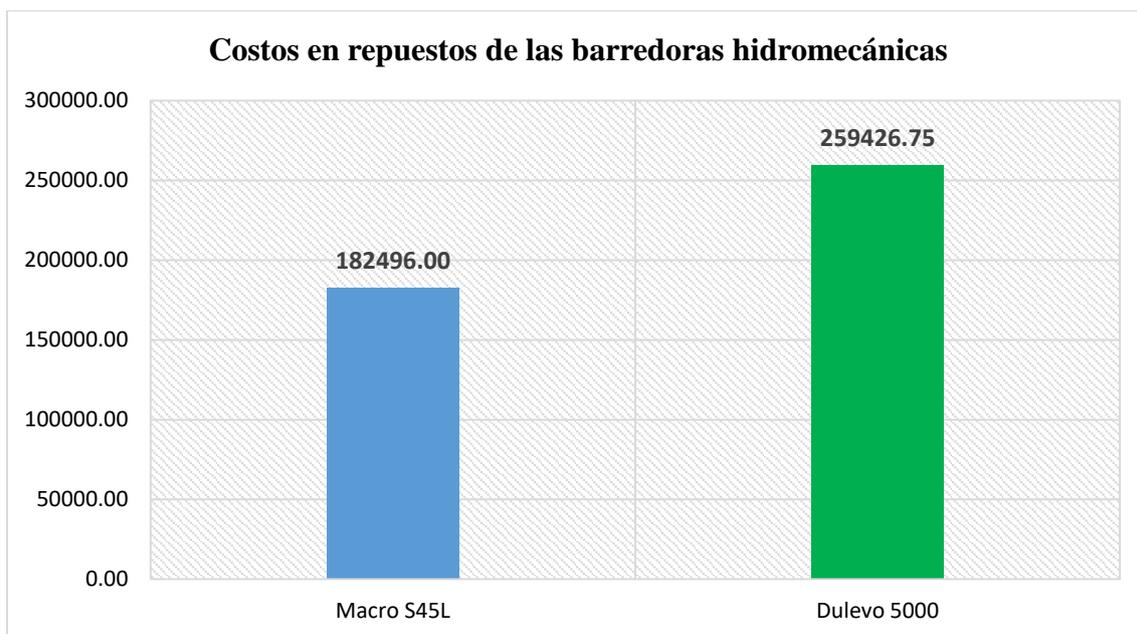
*Figura 06: Costos de inoperatividad de las barredoras hidromecánicas de la MPT y MDVLH en el periodo 2017.*

### 3.1.4. Análisis de los costos en repuestos de las barredoras hidromecánicas

Este análisis se fundamenta en los costos de repuestos de las barredoras hidromecánicas recurridos en el año 2017, tomados de la Municipalidad provincial de Trujillo para la barredora hidromecánica Macro S45L y de la Municipalidad Distrital de Víctor Larco Herrera para la barredora hidromecánica Dulevo 5000.

*Tabla 12: Costos en repuestos de las barredoras hidromecánicas*

Barredora hidromecánica	Costos en repuestos (CR) S./año
Macro S45L	182496.00
Dulevo 5000	259426.75



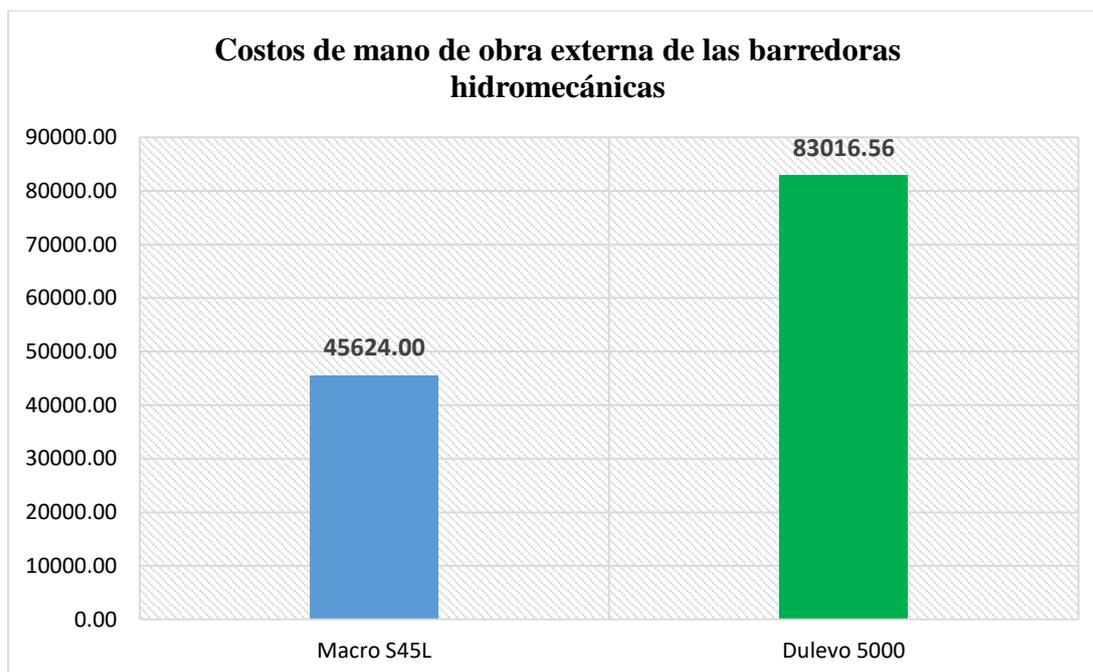
*Figura 07: Costos en repuestos de las barredoras hidromecánicas de la MPT y MDVLH en el periodo 2017.*

### 3.1.5. Análisis de costos en mano de obra efectuado en talleres externos

Se analizaran los costos en mano de obra de las barredoras hidromecánicas ocurridos en el año 2017, tomados de la Municipalidad provincial de Trujillo para la barredora hidromecánica Macro S45L y de la Municipalidad Distrital de Víctor Larco Herrera para la barredora hidromecánica Dulevo 5000.

*Tabla 13: Costos en mano de obra externa de las barredoras hidromecánicas*

Barredora hidromecánica	Costos mano de obra externa (CMOE) S/./año
Macro S45L	45624.00
Dulevo 5000	83016.56



*Figura 08: Costos en mano de obra externa de las barredoras hidromecánicas de la MPT y MDVLH en el periodo 2017.*

### 3.1.6. Análisis de los costos totales de mantenimiento de las barredoras hidromecánicas

Para la evaluación de los costos de mantenimientos totales de cada una de las barredoras, se procedió a través de la siguiente formulación:

$$CMT = CPI + CR + CMOE$$

#### 3.1.6.1. Barredora hidromecánica Macro S45L:

La barredora Macro S45L cuenta con un costo por inoperatividad de 105397.60 S/. /año, con un costo en repuestos de 182496.00 S/. /año y con un costo de mano de obra en talleres externos de 45624.00 S/. /año, por lo cual su costo de mantenimiento en el periodo 2017, es de 333517.60 S/. /año.

$$CMT = 105397.60 + 182496.00 + 45624.00$$

$$CTM = 333517.6 \text{ S/. /año}$$

### 3.1.6.2. Barredora hidromecánica Dulevo 5000:

La barredora Dulevo cuenta con un costo por inoperatividad de 71173.32 S/. /año, con un costo en repuestos de 259426.75 S/. /año y con un costo de mano de obra en talleres externos de 83016.56 S/. /año, por lo cual su costo de mantenimiento en el periodo 2017, es de 413616.63 S/. /año.

$$\text{CMT} = 71173.32 + 259426.75 + 83016.56$$

$$\text{CTM} = 413616.63 \text{ S/. /año}$$

Tabla 14: Resumen de los costos de mantenimiento total de barredoras hidromecánicas

Barredora hidromecánica	Costos de mantenimiento total (CMT) S./año
Macro S45L	333517.60
Dulevo 5000	413616.63

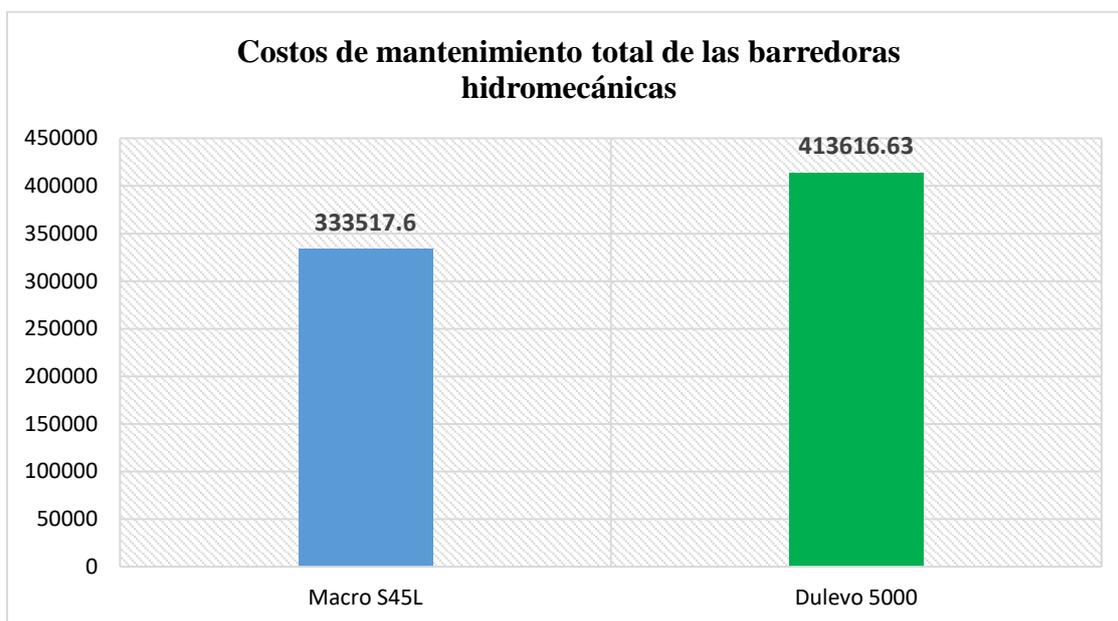


Figura 09: Costos de mantenimiento total de las barredoras hidromecánicas de la MPT y MDVLH en el periodo 2017.

En la tabla 15, se muestran los resultados del análisis de evaluación a las barredoras hidromecánicas, donde la barredora Dulevo 5000 tiene los parámetros de mantenimiento más desfavorables con respecto a la barredora S45L, con una ampliación de 8 fallas/año, con un aumento de 23.34 horas pérdidas/año, con una reducción de tiempo útil de 312.86 horas y con un aumento de los costos de mantenimiento de 80099.03 S/. /año.

*Tabla 15: Resultados de los principales parámetros o variables del mantenimiento de las barredoras hidromecánicas*

<b>Parámetros del mantenimiento</b>	<b>Barredora hidromecánica</b>		<b>Variación de los parámetros del mantenimiento</b>
	<b>Macro S45L</b>	<b>Dulevo 5000</b>	
Número de fallas (veces/año)	26	34	8
Tiempo para reparar (horas pérdidas/año)	479.08	502.42	23.34
Tiempo entre fallas (horas útil/año)	2190.00	1877.14	312.86
Costos de mantenimiento (S/. /año)	333517.60	413616.63	80099.03

### Comparativo de los principales parámetros del mantenimiento de las baredoras hidromecánicas

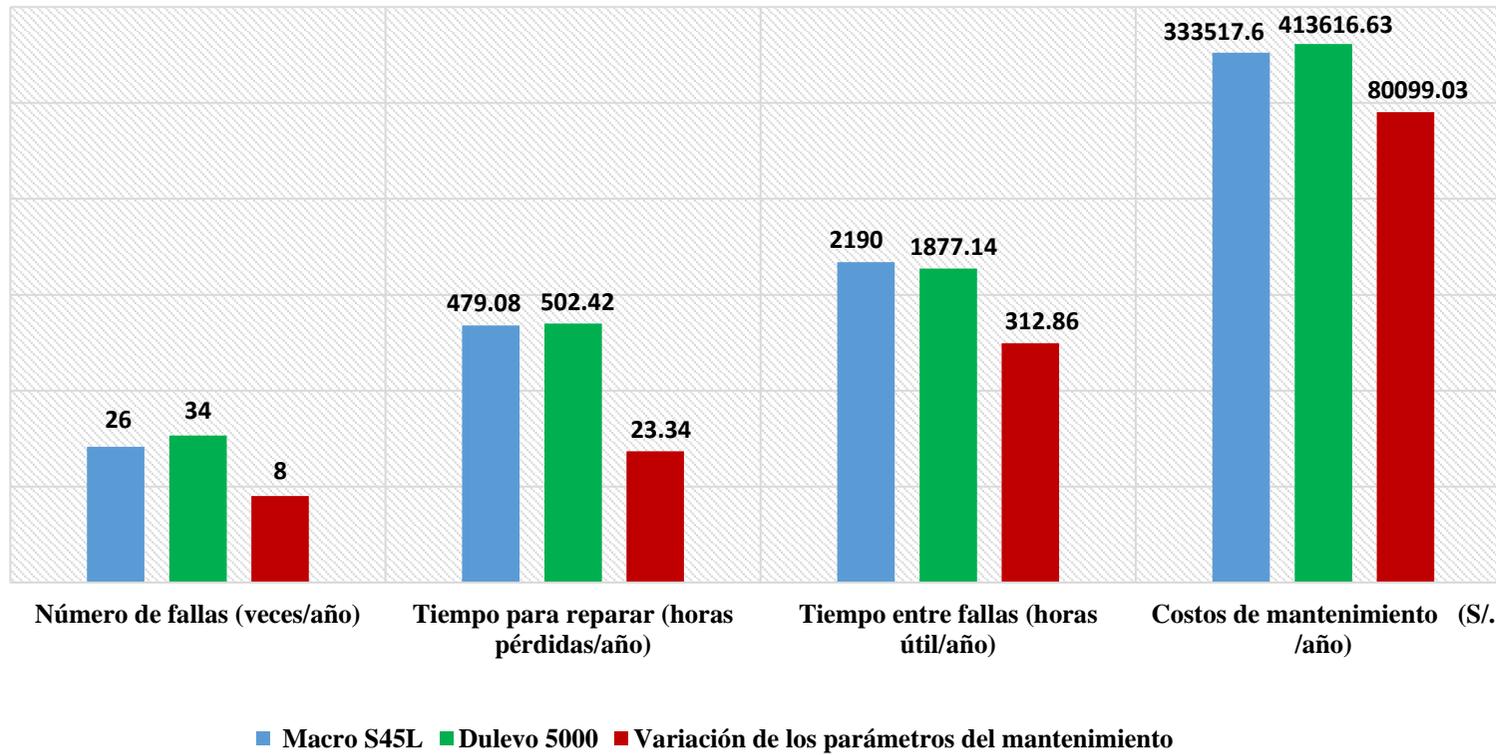


Figura 10: Comparación de los principales parámetros o variables de mantenimiento de las barredoras hidromecánicas de la MPT y MDVLH en el periodo 2017.

## 3.2. INDICADORES DE MANTENIMIENTO ACTUALES DE LAS BARREDORAS HIDROMECAICAS

### 3.2.1. Indicadores de mantenimiento de la barredora hidromecánica Macro S45L:

- **Tiempo entre fallas o tiempo útil:**

$$TEF_t = TEF_1 + TEF_2 + TEF_3 + \dots + TEF_{26}$$

$$TEF_t = 2190.00 \text{ Horas útil/año}$$

- **Tiempo para reparar:**

$$TPR_t = TPR_1 + TPR_2 + TPR_3 + \dots + TPR_{26}$$

$$TPR_t = 479.08 \text{ Horas pérdidas/año}$$

- **Cantidad de Fallas o averías:**

$$F_t = n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_{26}$$

$$F_t = 26 \text{ fallas/año}$$

- **Tiempo medio entre fallas:**

$$TMEF_t = \frac{TEF_t}{F_t}$$

$$TMEF_t = \frac{2190.00 \text{ Horas útil/año}}{26 \text{ fallas/año}}$$

$$TMEF_t = 84.23 \text{ Horas útil/falla}$$

- **Tiempo medio para reparar:**

$$TMPR_t = \frac{TPR_t}{F_t}$$

$$TMPR_t = \frac{479.08 \text{ Horas pérdidas/año}}{26 \text{ fallas/año}}$$

$$TMPR_t = 18.43 \text{ Horas pérdidas/falla}$$

- **Tasa de mantenimiento de fallas:**

$$TF = \frac{1}{TMEF_t}$$

$$TF = \frac{1}{84.23 \text{ Horas útil/falla}} = 0.01187 \frac{\text{Fallas}}{\text{Horas útil}}$$

- **Tasa de mantenimiento de reparaciones:**

$$TR = \frac{1}{TMPR_t}$$

$$TR = \frac{1}{18.43 \text{ Horas pérdidas/falla}} = 0.05426 \frac{\text{falla}}{\text{Horas pérdidas}}$$

⇒ **Disponibilidad mecánica:**

$$D(t) = \frac{TMEF_t}{TMEF_t + TMPR_t}$$

$$D(t) = \frac{84.23 \text{ Horas útil/falla}}{84.23 \text{ Horas útil/falla} + 18.43 \text{ Horas pérdidas/falla}}$$

$$D(t) = 82.05 \%$$

⇒ **Confiabilidad operacional:**

$$C(t) = \left( e^{\frac{-TF * TTP}{100}} \right) * 100\%$$

El TTP (Tiempo total programado), sería la suma de los totales del tiempo para reparar y tiempo entre fallas,  $TTP = TPR + TEF = 479.08 + 2190.00 = 2669.08$  horas totales/año.

$$C(t) = \left( e^{\frac{-0.01187 * 2669.08}{100}} \right) * 100\%$$

$$C(t) = 72.85 \%$$

⇒ **Mantenibilidad mecánica:**

$$M(t) = \left(1 - e^{\frac{-TR \cdot TTP}{100}}\right) * 100\%$$

$$M(t) = \left(1 - e^{\frac{-0.05426 \cdot 2669.08}{100}}\right) * 100\%$$

$$M(t) = 76.50 \%$$

### 3.2.2. Indicadores de mantenimiento de la barredora hidromecánica Dulevo 5000:

- **Tiempo entre fallas o tiempo útil:**

$$TEF_t = TEF_1 + TEF_2 + TEF_3 + \dots + TEF_{34}$$

$$TEF_t = 1877.14 \text{ Horas útil/año}$$

- **Tiempo para reparar:**

$$TPR_t = TPR_1 + TPR_2 + TPR_3 + \dots + TPR_{34}$$

$$TPR_t = 502.42 \text{ Horas pérdidas/año}$$

- **Cantidad de Fallas o averías:**

$$F_t = n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_{34}$$

$$F_t = 34 \text{ fallas/año}$$

- **Tiempo medio entre fallas:**

$$TMEF_t = \frac{TEF_t}{F_t}$$

$$TMEF_t = \frac{1877.14 \text{ Horas útil/año}}{34 \text{ fallas/año}}$$

$$TMEF_t = 55.21 \text{ Horas útil/falla}$$

- **Tiempo medio para reparar:**

$$TMPR_t = \frac{TPR_t}{F_t}$$

$$\text{TMPR}_t = \frac{502.42 \text{ Horas pérdidas/año}}{34 \text{ fallas/año}}$$

$$\text{TMPR}_t = 14.777 \text{ Horas pérdidas/falla}$$

- **Tasa de mantenimiento de fallas:**

$$\text{TF} = \frac{1}{\text{TMEF}_t}$$

$$\text{TF} = \frac{1}{55.21 \text{ Horas útil/falla}} = 0.01811 \frac{\text{Fallas}}{\text{Horas útil}}$$

- **Tasa de mantenimiento de reparaciones:**

$$\text{TR} = \frac{1}{\text{TMPR}_t}$$

$$\text{TR} = \frac{1}{14.777 \text{ Horas pérdidas/falla}} = 0.06767 \frac{\text{falla}}{\text{Horas pérdidas}}$$

⇒ **Disponibilidad mecánica:**

$$D(t) = \frac{\text{TMEF}_t}{\text{TMEF}_t + \text{TMPR}_t}$$

$$D(t) = \frac{55.21 \text{ Horas útil/falla}}{55.21 \text{ Horas útil/falla} + 14.777 \text{ Horas pérdidas/falla}}$$

$$D(t) = 78.88 \%$$

⇒ **Confiabilidad operacional:**

$$C(t) = \left( e^{-\frac{\text{TF} * \text{TTP}}{100}} \right) * 100\%$$

El TTP (Tiempo total programado), sería la suma de los totales del tiempo para reparar y tiempo entre fallas,  $\text{TTP} = \text{TPR} + \text{TEF} = 502.42 + 1877.14 = 2379.56$  horas totales/año.

$$C(t) = \left( e^{\frac{-0.01811 \cdot 2379.56}{100}} \right) * 100\%$$

$$C(t) = 65.00 \%$$

⇒ **Mantenibilidad mecánica:**

$$M(t) = \left( 1 - e^{\frac{-TR \cdot TTP}{100}} \right) * 100\%$$

$$M(t) = \left( 1 - e^{\frac{-0.06767 \cdot 2379.56}{100}} \right) * 100\%$$

$$M(t) = 80.02 \%$$

En la tabla 16, se muestra que la Barredora hidromecánica Dulevo 5000 tiene los indicadores de gestión más desfavorables con respecto a la barredora hidromecánica Macro S45L, con un 3.17% menos en disponibilidad, 7.85% menos en confiabilidad y 3.52% más en mantenibilidad.

*Tabla 16: Resultados de los indicadores de mantenimiento de las barredoras hidromecánicas*

Parámetros del mantenimiento	Barredora hidromecánica		Variación del indicador de mantenimiento
	Macro S45L	Dulevo 5000	
Disponibilidad (%)	82.05	78.88	3.17
Confiabilidad (%)	72.85	65	7.85
Mantenibilidad (%)	76.50	80.02	3.52

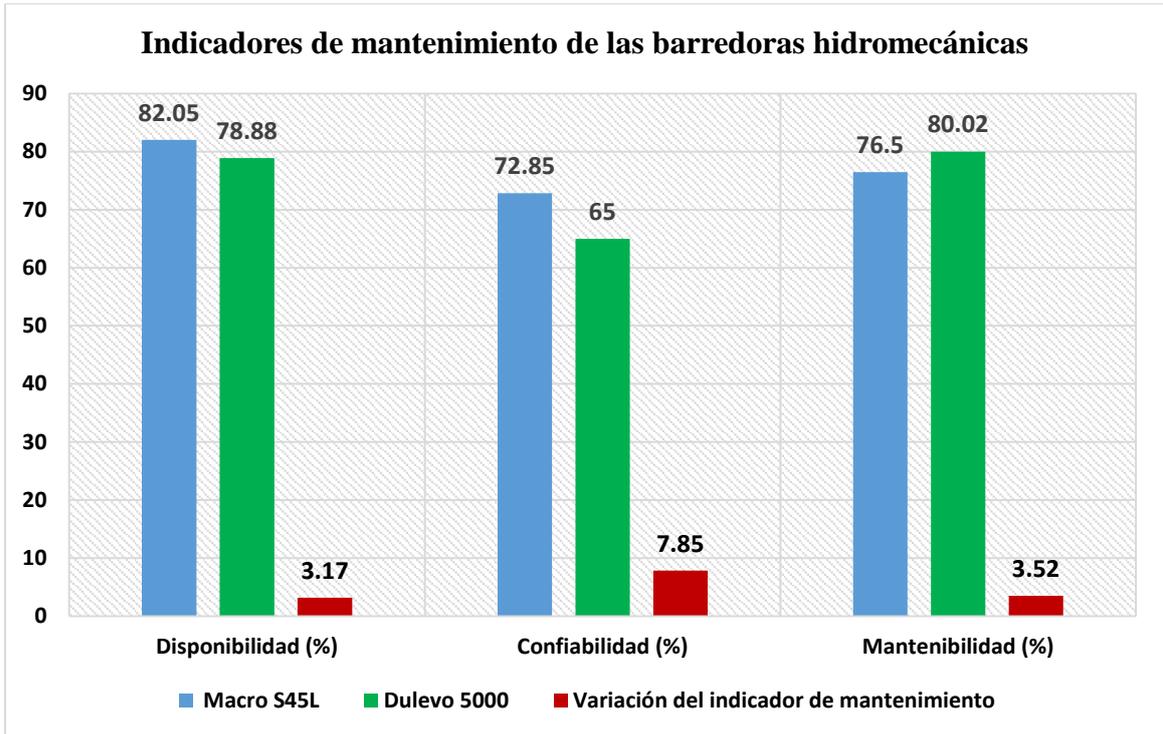


Figura 11: Comparación de los indicadores de mantenimiento de las barredoras hidromecánicas de la MPT y MDVLH en el periodo 2017.

### 3.3. ANÁLISIS DE CRITICIDAD A LOS ELEMENTOS DE LA BARREDORA HIDROMECAÁNICA DULEVO 5000

Para este análisis, se seleccionó a la barredora hidromecánica más desfavorable siendo en este caso la barredora hidromecánica Dulevo 5000 con un total de 34 fallas, las cuales se ubicaran de acuerdo a la pertenencia de su elemento o punto de origen. Por ejemplo: La falla *bomba inyectora mal regulada* pertenece al elemento *bomba de combustible*. En este análisis se encontró 15 diferentes elementos.

*Tabla 17: Fallas con sus respectivos elementos de la barredora hidromecánica Dulevo 5000*

Falla	Evaluación de la falla de la barredora hidromecánica Macro S45L	Elemento de las barredora hidromecánica en falla	Tiempo para reparar TPR (h)
1	Bomba inyectora mal regulada.	Bomba de combustible	3.00
2	Sulfato de plomo en las placas en baterías.	Baterías	4.00
3	Termostato se pega o recuesta con el resorte.	Ventilador de aspiración	3.00
4	Aislador y electrodos recubiertos por incrustaciones	Bujías	3.75
5	Válvula de inclinación obstruida	Cepillo central	28.00
6	Caída de presión en succión de bomba de refrigeración.	Bomba de agua	4.25
7	Irregularidad de la velocidad de crucero.	Sensor de velocidad	20.00
8	Sobrecarga en el interruptor de inclinación.	Interruptor de inclinación	3.00
9	Juego en liberación de frenos.	Interruptor de presión de frenos	4.50
10	Rotura de filtro de aire	Filtro de aire	3.25
11	Corrosión en las placas positivas de la batería.	Baterías	2.25
12	Rotura de válvula de tolva.	Motor de succión	6.67
13	Fisura de la válvula de desplazamiento lateral.	Cepillo central	51.83
14	Presión insuficiente en bomba de agua.	Bomba de agua	1.00
15	Estrechamiento de conducto en válvula de cepillo izquierdo.	Cepillo lateral izquierdo	27.00
16	Obstrucción de válvula de cepillo lateral derecho.	Cepillo lateral derecho	51.00
17	Articulaciones desgastadas del cepillo central.	Cepillo central	45.00
18	Presión insuficiente en interruptor de elevador.	Interruptor elevador	3.75
19	Válvula reguladora o dosificadora de frenado.	Interruptor de presión de frenos	2.00

20	Depósitos de carbón en bujías.	Bujías	5.50
21	Pérdida de flujo en bomba de inyección.	Bomba de combustible	3.00
22	Derrame del ácido y reducción del nivel de electrolito de Baterías.	Baterías	8.00
23	Fisura en el área lateral del tubo de aspiración	Tubo de aspiración	26.50
24	Insuficiente alimentación en conductos eléctricos	Sensor de velocidad	4.00
25	Obstrucción de válvula de cepillo lateral derecho.	Cepillo lateral derecho	26.33
26	Interrupción en líneas de alimentación de combustible.	Bomba de combustible	3.00
27	No llega a la velocidad de rotación de trabajo	Cepillo central	56.00
28	Baja presión de succión del ventilador.	Ventilador de aspiración	5.00
29	Filtración de aire en válvula de desplazamiento lateral.	Cepillo central	28.33
30	Pérdida de flujo en bomba de inyección.	Bomba de combustible	4.00
31	Obstrucción en válvula de inclinación.	Cepillo central	4.50
32	Estrechamiento de conducto en válvula de cepillo izquierdo.	Cepillo lateral izquierdo	26.00
33	fisura en convertidor de torsión	Sensor de velocidad	6.00
34	Velocidad de rotación insuficiente	Ventilador de aspiración	29.00
			<b>502.42</b>

Mientras en la tabla 18, se reúnen las fallas con un mismo elemento de la barredora hidromecánica. Ejemplo las fallas F1, F21 y F26, conciernen a un mismo elemento en este caso a la bomba de combustible con un TPR de 13 horas y con una frecuencia de intervención de 4 veces/año.

*Tabla 18: Reunión de fallas de un igual elemento de la barredora hidromecánica Dulevo 5000*

Falla	Evaluación de la falla de la barredora hidromecánica Macro S45L	Elemento de las barredora hidromecánica en falla	Tiempo para reparar TPR (h)	Frecuencia (Veces/año)
1	Bomba inyectora mal regulada.	Bomba de combustible	13.00	4
21	Pérdida de flujo en bomba de inyección.			
26	Interrupción en líneas de alimentación de combustible.			
30	Pérdida de flujo en bomba de inyección.			
2	Sulfato de plomo en las placas en baterías.	Baterías	14.25	3

11	Corrosión en las placas positivas de la batería.			
22	Derrame del ácido y reducción del nivel de electrolito de Baterías.			
3	Termostato se pega o recuesta con el resorte.	Ventilador de aspiración	37.00	3
28	Baja presión de succión del ventilador.			
34	Velocidad de rotación insuficiente.			
4	Aislador y electrodos recubiertos por incrustaciones	Bujías	9.25	2
20	Depósitos de carbón en bujías.			
5	Válvula de inclinación obstruida	Cepillo central	213.66	6
13	Fisura de la válvula de desplazamiento lateral.			
17	Articulaciones desgastadas del cepillo central.			
27	No llega a la velocidad de rotación de trabajo			
29	Filtración de aire en válvula de desplazamiento lateral.			
31	Obstrucción en válvula de inclinación.			
6	Caída de presión en succión de bomba de refrigeración.	Bomba de agua	5.25	2
14	Presión insuficiente en bomba de agua.			
7	Irregularidad de la velocidad de crucero.	Sensor de velocidad	30.00	3
24	Insuficiente alimentación en conductos eléctricos			
33	fisura en convertidor de torsión			
8	Sobrecarga en el interruptor de inclinación.	Interruptor de inclinación	3.00	1
9	Juego en liberación de frenos.	Interruptor de presión de frenos	6.50	2
19	Válvula reguladora o dosificadora de frenado.			
10	Rotura de filtro de aire	Filtro de aire	3.25	1
12	Rotura de válvula de tolva.	Motor de succión	6.67	1
15	Estrechamiento de conducto en válvula de cepillo izquierdo.	Cepillo lateral izquierdo	104.00	3
16	Obstrucción de válvula de cepillo lateral izquierdo.			
32	Estrechamiento de conducto en válvula de cepillo izquierdo.			
18	Presión insuficiente en interruptor de elevador.	Interruptor elevador	3.75	1
23	Fisura en el área lateral del tubo de aspiración	Tubo de aspiración	26.50	1
25	Obstrucción de válvula de cepillo lateral derecho.	Cepillo lateral derecho	26.33	1
			<b>502.42</b>	34

### 3.3.1. Ponderación de la frecuencia de fallas en los elementos

Para poder determinar el puntaje de criticidad respecto a la frecuencia de fallas de cada uno de los elementos de la barredora hidromecánica, se debe calcular la frecuencia de fallas efectiva (real), a partir de los rangos de frecuencia de fallas teórico (Amendola, 2010). Donde el objetivo es determinar el valor de “X”, para lo cual se procede de la siguiente manera:

Semejanza de la frecuencia de fallas teórico máxima = Frecuencia de fallas máximo de los elementos

En este caso la frecuencia máxima es 6, que le pertenece al cepillo central

$$4X = 6 \rightarrow X = 1.5 \approx 1$$

Con el valor numérico obtenido de “X”, sustituimos en la columna de semejanza de la frecuencia de fallas teórico para deducir la frecuencia de fallas real, tal como se pauta en la tabla 19.

*Tabla 19: Rangos de frecuencia de fallas real*

<b>PONDERACIÓN</b>	<b>FRECUENCIA DE FALLAS TEÓRICO (Veces/año) (Amendola, 2010)</b>	<b>SEMEJANZA DE LA FRECUENCIA DE FALLAS TEÓRICO</b>	<b>FRECUENCIA DE FALLAS REAL (veces/año)</b>
4	Mayor a 40 veces/año	Superior a 4X	Mayor a 4 fallas/año
3	20 - 40 veces/año	De 2X a 4X	2 - 4 Fallas/año
2	10 - 20 veces/año	De X a 2X	1 - 2 fallas/año
1	Inferior de 10 veces/año	Inferior de X	Inferior de 1 fallas/año

En la tabla 20, se detallan los resultados del criterio de ponderación de frecuencias de fallas por cada elemento de la barredora hidromecánica

*Tabla 20: Ponderación de frecuencia de fallas de los elementos de la barredora hidromecánica Dulevo 5000*

<b>Elemento de las barredora hidromecánica en falla</b>	<b>Frecuencia (Veces/año)</b>	<b>Ponderación de frecuencia de fallas (FF)</b>
Bomba de combustible	4	3
Baterías	3	3
Ventilador de aspiración	3	3
Bujías	2	2
Cepillo central	6	4
Bomba de agua	2	2
Sensor de velocidad	3	3
Interruptor de inclinación	1	1
Interruptor de presión de frenos	2	2
Filtro de aire	1	1
Motor de succión	1	1
Cepillo lateral izquierdo	3	3
Interruptor elevador	1	1
Tubo de aspiración	1	1
Cepillo lateral derecho	1	1

### **3.3.2. Ponderación de los costos de mantenimiento de los elementos de la barredora hidromecánica Dulevo 5000**

Para calcular la ponderación de los costos generales del mantenimiento de los elementos de la barredora hidromecánica, se procede a establecer el costo total por cada hora pérdida (CTHP), es decir:

$$\text{CTHP} = \text{Costo total de mantenimiento} / \text{número de horas pérdidas}$$

$$\text{CTHP} = 413616.63 / 502.42 = 823.2487 \text{ nuevos soles/ hora pérdida}$$

Una vez obtenido el costo total por cada hora pérdida, se procede a determinar los costos en pérdidas de mantenimiento ocasionados por cada elemento de máquina. Por ejemplo en el elemento de máquina *Bomba de combustible* se tiene un costo en mantenimiento de 10702.2331 nuevos soles/año (13 horas pérdidas/año\*823.2487 nuevos soles/ hora pérdida), tal como se detalla en la tabla 21, para todos los elementos de máquina.

*Tabla 21: Costos en pérdidas de mantenimiento de los elementos de la barredora hidromecánica Dulevo 5000*

N°	Elementos de las barredora hidromecánica en falla	TPR (Horas/año)	Costos en pérdidas de mantenimiento (S./año)
1	Bomba de combustible	13	10702.2331
2	Baterías	14.25	11731.29398
3	Ventilador de aspiración	37	30460.2019
4	Bujías	9.25	7615.050475
5	Cepillo central	213.66	175895.3172
6	Bomba de agua	5.25	4322.055675
7	Sensor de velocidad	30	24697.461
8	Interruptor de inclinación	3	2469.7461
9	Interruptor de presión de frenos	6.5	5351.11655
10	Filtro de aire	3.25	2675.558275
11	Motor de succión	6.67	5491.068829
12	Cepillo lateral izquierdo	104	85617.8648
13	Interruptor elevador	3.75	3087.182625
14	Tubo de aspiración	26.5	21816.09055
15	Cepillo lateral derecho	26.33	21676.13827

A continuación se procede determinar los rangos de los costos de mantenimiento real, a partir del costo de mantenimiento teórico, (Amendola, 2010). Según la siguiente formulación:

Semejanza de los costos de Mantenimiento (SCM) = Costo total de mantenimiento/ número de elementos de la barredora

$$ECM = 413616.63/15 = 27574.442 \text{ nuevos soles/año}$$

*Tabla 22: Rangos de costos de mantenimiento real*

PONDERACIÓN	EQUIVALENCIA DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO (SCM)	RANGO DE COSTOS DE MANTENIMIENTO REAL
2	Mayor igual a ECM	Mayor igual a 27574.442
1	Menor o inferior a ECM	Menor o inferior a 27574.442

Tabla 23: Ponderación de los costos de mantenimiento para cada elemento de la barredora hidromecánica Dulevo 5000

Nº	Elementos de las barredora hidromecánica en falla	Costos en pérdidas de mantenimiento (S/./año)	Ponderación de los costos de mantenimiento, CM
1	Bomba de combustible	10702.2331	1
2	Baterías	11731.29398	1
3	Ventilador de aspiración	30460.2019	2
4	Bujías	7615.050475	1
5	Cepillo central	175895.3172	2
6	Bomba de agua	4322.055675	1
7	Sensor de velocidad	24697.461	1
8	Interruptor de inclinación	2469.7461	1
9	Interruptor de presión de frenos	5351.11655	1
10	Filtro de aire	2675.558275	1
11	Motor de succión	5491.068829	1
12	Cepillo lateral izquierdo	85617.8648	2
13	Interruptor elevador	3087.182625	1
14	Tubo de aspiración	21816.09055	1
15	Cepillo lateral derecho	21676.13827	1

### 3.3.3. Ponderación en impacto operacional, flexibilidad operacional e impacto en seguridad y medio ambiente

Para la ponderación del impacto operacional del elemento de máquina, flexibilidad operacional de repuestos e impacto ambiental se hace uso concreto de los criterios explicados en el anexo A.4 (Amendola, 2010).

Ejemplo para el elemento *bomba de combustible* que tiene 4 fallas (mal regulación, pérdida de flujo e interrupción en líneas de combustible) desde el criterio del impacto operacional al originarse estas fallas el equipo estará expuesto a 1 parada parcial, obteniendo un puntaje de 7, ahora con respecto a la flexibilidad operacional la Municipalidad no cuenta con un stock de repuestos es decir de *bombas de combustible* y *conductos o líneas de combustible* para dar solución a dichas fallas por lo que la ponderación es 4 y finalmente el impacto operacional dichas fallas causarían un accidente menor e incidente menor por lo cual su ponderación sería 5.

Tabla 24: Valores de ponderaciones en impacto operacional, flexibilidad operacional y seguridad y medio ambiente por cada elemento de la barredora hidromecánica Dulevo 5000

Elementos de las barredora hidromecánica en falla	Ponderación en impacto operacional, (IO)	Ponderación en flexibilidad operacional, (FO)	Ponderación en impacto de seguridad y medio ambiente, (ISMA)
Bomba de combustible	7	4	5
Baterías	7	4	5
Ventilador de aspiración	7	4	3
Bujías	7	4	3
Cepillo central	10	4	5
Bomba de agua	7	4	5
Sensor de velocidad	7	4	3
Interruptor de inclinación	7	2	3
Interruptor de presión de frenos	7	2	3
Filtro de aire	7	2	3
Motor de succión	7	4	3
Cepillo lateral izquierdo	10	4	5
Interruptor elevador	7	2	3
Tubo de aspiración	7	4	3
Cepillo lateral derecho	10	4	5

En la siguiente tabla 25, se muestran el cálculo de los valores de la consecuencia y criticidad por cada elemento de la barredora hidromecánica Dulevo 5000. Por ejemplo para el elemento *bomba de combustible* se procedió de la siguiente manera:

$$\text{Consecuencia} = \text{IO} * \text{FO} + \text{CM} + \text{ISMA}$$

$$\text{Consecuencia} = 7*4 + 1 + 5 = 34$$

$$\text{Criticidad} = \text{Consecuencia} * \text{FF}$$

$$\text{Criticidad} = 34 * 3 = 102$$

Tabla 25: Valores de consecuencia y criticidad por cada elemento de la barredora hidromecánica Dulevo 5000

Elementos de la barredora hidromecánica	Ponderación frecuencia de falla (FF)	Ponderación costos de mantenimiento (CM)	Ponderación impacto operacional (IO)	Ponderación flexibilidad operacional (FO)	Ponderación seguridad y medio ambiente (ISMA)	CONSECUENCIA	CRITICIDAD
Baterías	3	1	7	4	5	34	102
Ventilador de aspiración	3	2	7	4	3	33	99
Bujías	2	1	7	4	3	32	64
Cepillo central	4	2	10	4	5	47	188
Bomba de agua	2	1	7	4	5	34	68
Sensor de velocidad	3	1	7	4	3	32	96
Interruptor de inclinación	1	1	7	2	3	18	18
Interruptor de presión de frenos	2	1	7	2	3	18	36
Filtro de aire	1	1	7	2	3	18	18
Motor de succión	1	1	7	4	3	32	32
Cepillo lateral izquierdo	3	2	10	4	5	47	141
Interruptor elevador	1	1	7	2	3	18	18
Tubo de aspiración	1	1	7	4	3	32	32
Cepillo lateral derecho	1	1	10	4	5	46	46

Luego de evaluar las ponderaciones del análisis de criticidad de la barredora hidromecánica Dulevo 5000, se procede a crear una matriz de criticidad, según el formato (Amendola, 2010), donde en el eje vertical se encontrarán la ponderación de frecuencia de fallas la cual se seccionará en incrementos de 0.8 (4 valor máximo de la frecuencia de fallas/5 espacios que indica el formato) y en el eje horizontal estará la consecuencia, la cual se seccionará en incrementos de 9.4 (47 valor máximo de la consecuencia/5 espacios que indica el formato).

En la figura 12, se muestran la matriz de criticidad de acuerdo a los valores de la consecuencia y ponderación de frecuencias de fallas, para poder clasificar los elementos de la barredora hidromecánica Dulevo 5000, según su nivel de criticidad.

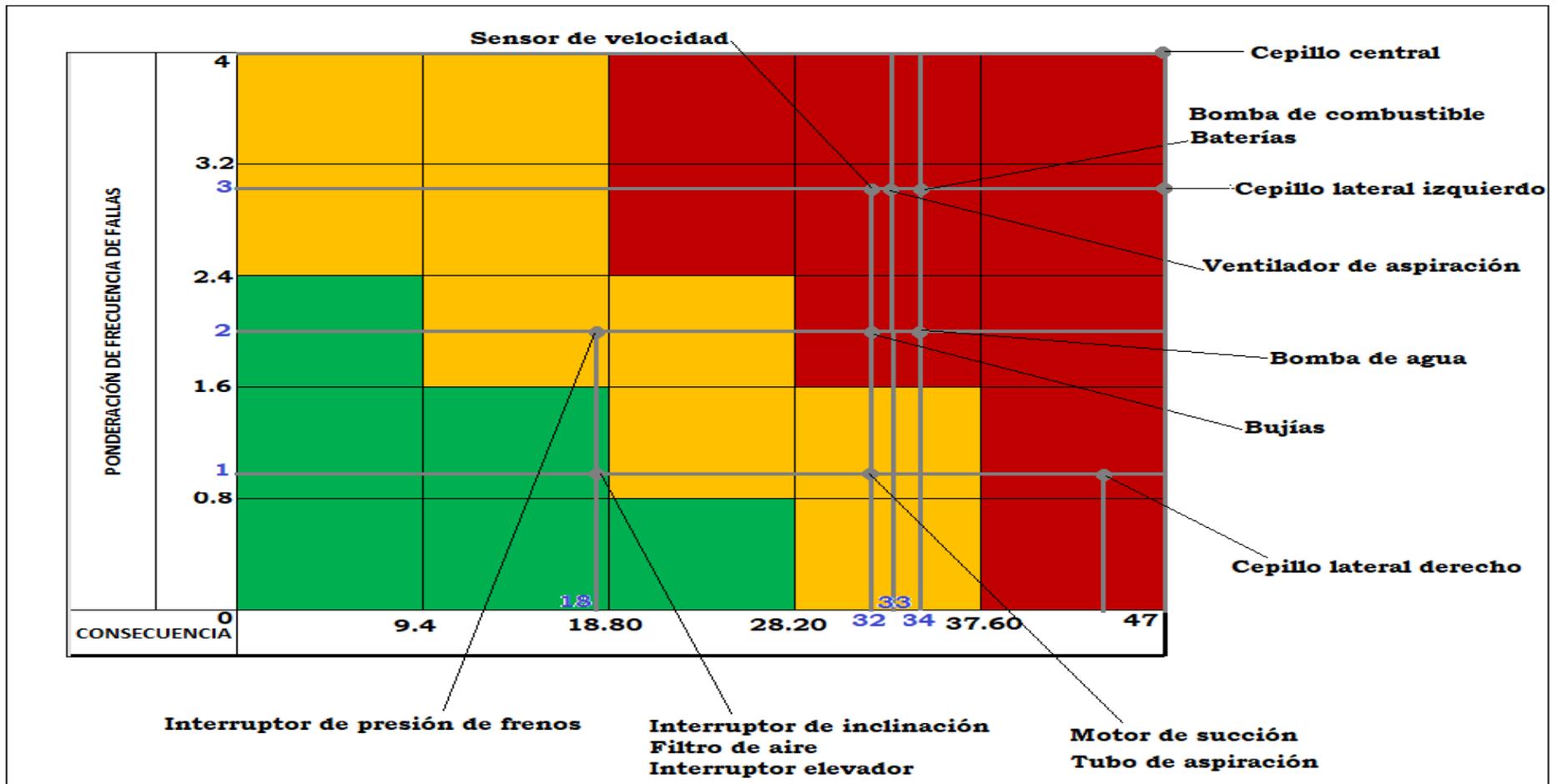


Figura 12: Matriz de criticidad de los elementos de la barredora hidromecánica Dulevo 5000

En la tabla 26, se detallan los resultados del nivel de criticidad por cada elemento de la barredora hidromecánica Dulevo 5000, donde se tienen 9 elementos críticos (Bomba de combustible, baterías, ventilador de aspiración, bujías, cepillo central, bomba de agua, sensor de velocidad, cepillo lateral izquierdo y cepillo lateral derecho), 3 semicríticos (Interruptor de presión de frenos, motor de succión y tubo de aspiración) y 3 no críticos (Interruptor de inclinación, filtro de aire e interruptor elevador).

*Tabla 26: Resultados del análisis de criticidad a los elementos de la barredora hidromecánica Dulevo 5000*

<b>Elementos de la barredora hidromecánica Dulevo 5000</b>	<b>NIVEL DE CRITICIDAD</b>	<b>CRITICIDAD</b>
Bomba de combustible	CRÍTICO	102
Baterías	CRÍTICO	102
Ventilador de aspiración	CRÍTICO	99
Bujías	CRÍTICO	64
Cepillo central	CRÍTICO	188
Bomba de agua	CRÍTICO	68
Sensor de velocidad	CRÍTICO	96
Interruptor de inclinación	NO CRÍTICO	18
Interruptor de presión de frenos	SEMICRÍTICO	36
Filtro de aire	NO CRÍTICO	18
Motor de succión	SEMICRÍTICO	32
Cepillo lateral izquierdo	CRÍTICO	141
Interruptor elevador	NO CRÍTICO	18
Tubo de aspiración	SEMICRÍTICO	32
Cepillo lateral derecho	CRÍTICO	46

### 3.4. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLOS (AMEF) Y NÚMERO DE PRIORIDAD DE RIESGOS (NPR) PARA LAS FALLAS CRÍTICAS DE LA BAREDORA HIDROMECAÁNICA DULEVO 5000

#### 3.4.1. Análisis de modos y efectos de fallos de la barredora hidromecánica Dulevo 5000:

Este análisis se realizará a los 9 elementos críticos de denominación crítica, con sus respectivas fallas los cuales son causantes del 90.11% (452.74/ 502.42) del total de las horas pérdidas y del 79.41% (27/34) del total de fallas, tal como se detalla en la tabla 16.

*Tabla 27: Fallas de los elementos críticos de la barredora hidromecánica Dulevo 5000*

Falla	Evaluación de la falla de la barredora hidromecánica Macro S45L	Elemento de las barredora hidromecánica en falla	Tiempo para reparar TPR (h)	Frecuencia (Veces/año)
1	Bomba inyectora mal regulada.	Bomba de combustible	13	4
21	Pérdida de flujo en bomba de inyección.			
26	Interrupción en líneas de alimentación de combustible.			
30	Pérdida de flujo en bomba de inyección.			
2	Sulfato de plomo en las placas en baterías.	Baterías	14.25	3
11	Corrosión en las placas positivas de la batería.			
22	Derrame del ácido y reducción del nivel de electrolito de Baterías.			
3	Termostato se pega o recuesta con el resorte.	Ventilador de aspiración	37	3
28	Baja presión de succión del ventilador.			
34	Velocidad de rotación insuficiente.			
4	Aislador y electrodos recubiertos por incrustaciones	Bujías	9.25	2
20	Depósitos de carbón en bujías.			
5	Válvula de inclinación obstruida	Cepillo central	213.66	6
13	Fisura de la válvula de desplazamiento lateral.			
17	Articulaciones desgastadas del cepillo central.			
27	No llega a la velocidad de rotación de trabajo			
29	Filtración de aire en válvula de desplazamiento lateral.			
31	Obstrucción en válvula de inclinación.			

6	Caída de presión en succión de bomba de refrigeración.	Bomba de agua	5.25	2
14	Presión insuficiente en bomba de agua.			
7	Irregularidad de la velocidad de crucero.	Sensor de velocidad	30	3
24	Insuficiente alimentación en conductos eléctricos			
33	fisura en convertidor de torsión			
15	Estrechamiento de conducto en válvula de cepillo izquierdo.	Cepillo lateral izquierdo	104	3
16	Obstrucción de válvula de cepillo lateral izquierdo.			
32	Estrechamiento de conducto en válvula de cepillo izquierdo.			
25	Obstrucción de válvula de cepillo lateral derecho.	Cepillo lateral derecho	26.33	1
			<b>452.74</b>	<b>27</b>

### 3.4.1.1. Planteamiento de las hojas de información de los elementos críticos de la barredora hidromecánica Dulevo 5000

Tabla 28: Hoja de decisión de la Bomba de combustible de la barredora hidromecánica Dulevo 5000

Hoja de información	Equipo:	Realizado Por:	Fecha:	Hoja N°		
	Barredora Hidromecánica Dulevo 5000	Pablo Jhunior Casana Custodio	01- 06 - 2018	1		
	Elemento	Revisado Por:	Fecha:	De:		
	Bomba de combustible	Ing. Luis Alberto Julca Verástegui		1		
Función (F)	Falla Funcional (FF)	Modo de Falla (MF)	Efecto de Falla (EF)			
1. Es la encargada de inyectar el combustible desde el tanque hasta los inyectores a través de las líneas de consumo.	A	Bomba inyectora mal regulada.	1	Acumulación excesiva de hollín	1	Pérdida de potencia
			2	Filtro de partículas de hollín de los gases de combustión roto	2	Rotura de álabes del turbocargador
			3	Operación del motor a bajas revoluciones	3	Pérdida de potencia
			4	Presencia de hollín en el medio de operación (aire contaminado)	4	Rotura de álabes del compresor
			5	Relación de compresión no adecuado	5	Excesivo consumo de combustible o viceversa
			6	Mezcla de aire y aceite en la admisión	6	Combustión pobre
	B	Pérdida de flujo en bomba de inyección.	1	Exceso de hollín	1	Pérdida de potencia
			2	Válvula de regulación de presión averiado	2	Rotura de álabes del turbo
	C	Interrupción en líneas de alimentación de combustible.	1	Vibración elevada	1	Rotura de piezas
			2	Piezas deterioradas	2	Mezcla pobre
			3	Mal ajuste de piezas	3	Excesiva vibración
			4	Piezas no adecuadas	4	Mezcla no adecuada
	D	Pérdida de flujo en bomba de inyección.	1	Eje averiado por fricción	1	Turbocompresor trabado
			2	Aros de estanqueidad averiados	2	Ingreso de aceite en la admisión del motor
			3	Fuga en el conducto de aceite de la carcasa del turbocargador	3	Contaminación total interna
			4	Fuga en el sistema de cojinetes (radial y sistema de empuje)	4	Ingreso de aceite en la admisión del motor

Tabla 29: Hoja de decisión de las Baterías de la barredora hidromecánica Dulevo 5000

Hoja de información	Equipo:		Realizado Por:		Fecha:		Hoja N°
	Barredora Hidromecánica Dulevo 5000		Pablo Jhunion Casana Custodio		01- 06 - 2018		1
	Elemento		Revisado Por:		Fecha:		De:
	Baterías		Ing. Luis Alberto Julca Verástegui				1
Función (F)	Falla Funcional (FF)		Modo de Falla (MF)		Efecto de Falla (EF)		
2. Se encarga de almacenar energía química para luego transformarla en energía eléctrica para los sistemas de la barredora hidromecánica.	A	Sulfato de plomo en las placas en baterías.	1	Excesivo esfuerzo mecánico	1	Rotura de ejes	
			2	Cojinetes desgastados	2	Ruido	
			3	Excesiva temperatura	3	Rozamiento de piezas	
			4	Errores de diseño	4	Pérdida de potencia	
	B	Corrosión en las placas positivas de la batería.	1	Deficiente lubricación	1	Sobrecalentamiento	
	C	Derrame del ácido y reducción del nivel de electrolito de Baterías.	1	Excesiva tensión	1	Rotura de correa	

Tabla 30: Hoja de decisión del Ventilador de aspiración de la barredora hidromecánica Dulevo 5000

Hoja de información	Equipo:		Realizado Por:		Fecha:		Hoja N°
	Barredora Hidromecánica Dulevo 5000		Pablo Jhuniór Casana Custodio		01- 06 - 2018		1
	Elemento		Revisado Por:		Fecha:		De:
	Ventilador de aspiración		Ing. Luis Alberto Julca Verástegui				1
Función (F)	Falla Funcional (FF)		Modo de Falla (MF)		Efecto de Falla (EF)		
3. Es el elemento giratorio que tiene como función principal es enfriar mediante la extracción de aire caliente al motor	A	Termostato se pega o recuesta con el resorte.	1	El bulbo no cierra el circuito	1	Calentamiento del conductor	
			2	Circuito interno del bulbo siempre serrado	2	Sobrecalentamiento del conductor	
	B	Baja presión de succión del ventilador.	1	Corto circuito en el sistema	1	Recalentamiento del motor	
			C	Velocidad de rotación insuficiente.	1	Centro de gravedad no coincide con el centro de rotación	1
	2	Rotura de una parte de las paletas			2	Enfriamiento pobre	

Tabla 31: Hoja de decisión de las Bujías de la barredora hidromecánica Dulevo 5000

Hoja de información	Equipo:		Realizado Por:		Fecha:		Hoja N°	
	Barredora Hidromecánica Dulevo 5000		Pablo Jhunior Casana Custodio		01- 06 - 2018		1	
	Elemento		Revisado Por:		Fecha:		De:	
	Bujías		Ing. Luis Alberto Julca Verástegui				1	
Función (F)	Falla Funcional (FF)		Modo de Falla (MF)		Efecto de Falla (EF)			
4. Elemento que se encarga de producir una chispa eléctrica para inflamar la mezcla de aire y combustible comprimida.	A	Aislador y electrodos recubiertos por incrustaciones	1	Cortocircuito	1	Flujo pobre de corriente		
			2	Contactos sin protección	2	Corto circuito		
			3	Corto circuito	3	Aparición de humo		
	B	Amperímetro o testigo luminoso en mal estado	1	Contaminación interna del amperímetro	1	Corriente variable		
			2	Excesivo flujo de corriente	2	Sobrecalentamiento		

Tabla 32: Hoja de decisión del cepillo central de la barredora hidromecánica Dulevo 5000

Hoja de información	Equipo:		Realizado Por:		Fecha:		Hoja N°		
	Barredora Hidromecánica Dulevo 5000		Pablo Jhunion Casana Custodio		01- 06 - 2018		1		
	Elemento		Revisado Por:		Fecha:		De:		
	Cepillo central		Ing. Luis Alberto Julca Verástegui				1		
Función (F)		Falla Funcional (FF)		Modo de Falla (MF)		Efecto de Falla (EF)			
5. Se encarga de la transferencia de recolección de los residuos sólidos, pudiéndose movilizar en las direcciones requeridas	A	Válvula de inclinación obstruida	1	Empaquetaduras desgastadas	1	Corrosión interna			
			2	Deformación en borde de tapa	2	Contaminación interna			
			3	Pernos de ajuste desgastados u oxidados	3	Excesiva vibración			
	B	Fisura de la válvula de desplazamiento lateral.	1	Rodamientos de eje desgastados	1	Pérdida de corriente de alimentación del motor			
	C	Articulaciones desgastadas del cepillo central.	1	Corto circuito en el devanado secundario	1	Pérdida de corriente de alimentación			
			2	Esmalte de aislamiento del hilo deteriorado	2	Flujo pobre de corriente			
			3	Motor contaminado internamente	3	Paradas imprevistas del motor			
			4	Rotura del devanado	4	Parada del motor			
	D	No llega a la velocidad de rotación de trabajo	1	Banco de condensadores averiado	1	Corriente variable			
			2	Exceso de temperatura	2	Sobrecalentamiento			
			3	Descargas atmosféricas	3	Corto circuito del sistema			
			4	Convertidor de frecuencia averiado	4	Datos erróneos en el tablero			
	E	Filtración de aire en válvula de desplazamiento lateral.	1	Motor contaminado internamente	1	Pérdida de corriente de alimentación del motor			
			2	Esmalte de aislamiento del hilo deteriorado	2	Flujo pobre de corriente			
	F	Obstrucción en válvula de inclinación.	1	Barniz de impregnación deteriorado	1	Corto circuito del sistema			
			2	Oscilaciones rápidas de tensión de alimentación	2	Sobrecalentamiento			

Tabla 33: Hoja de decisión de la Bomba de agua de la barredora hidromecánica Dulevo 5000

Hoja de información	Equipo:		Realizado Por:		Fecha:		Hoja N°	
	Barredora Hidromecánica Dulevo 5000		Pablo Jhuniór Casana Custodio		01- 06 - 2018		1	
	Elemento		Revisado Por:		Fecha:		De:	
	Bomba de agua		Ing. Luis Alberto Julca Verástegui				1	
Función (F)	Falla Funcional (FF)		Modo de Falla (MF)		Efecto de Falla (EF)			
6. Es el encargado de hacer circular el fluido refrigerante a través del motor, bloque, culata, radiador y otros.	A	Caída de presión en succión de bomba de refrigeración	1	Corrosión a causa del agua	1	Fisuras en el conducto		
			2	Conducto obstruido	2	Sobrecalentamiento		
			3	Cortocircuito en el impulsor	3	Sistema eléctrico no responde		
			4	Impulsor contaminado	4	Fallas cíclicas		
	B	Presión insuficiente en bomba de agua.	1	Lubricación pobre	1	Sobrecalentamiento		
			2	Aceite de lubricación contaminado	2	Rotura de los conductos		

Tabla 34: Hoja de decisión del Sensor de velocidad de la barredora hidromecánica Dulevo 5000

Hoja de información	Equipo:		Realizado Por:		Fecha:		Hoja N°		
	Barredora Hidromecánica Dulevo 5000		Pablo Jhuniór Casana Custodio		01- 06 - 2018		1		
	Elemento		Revisado Por:		Fecha:		De:		
	Sensor velocidad		Ing. Luis Alberto Julca Verástegui				1		
Función (F)		Falla Funcional (FF)		Modo de Falla (MF)		Efecto de Falla (EF)			
7. Es un captador magnético que permite la medición de los movimientos de rotación.	A	Irregularidad de la velocidad de crucero.	1	Cortocircuito	1	Flujo pobre de corriente			
			2	Contactos sin protección	2	Corto circuito			
	B	Insuficiente alimentación en conductos eléctricos	1	Contaminación interna del interruptor	1	Discontinuidad de corriente			
			2	Cortocircuito en contactos	2	Aparición de humo			
	C	fisura en convertidor de torsión	1	Contaminación interna de regulador	1	Voltaje variable			
			2	Excesiva temperatura	2	Sobrecalentamiento			
			3	Corto circuito	3	Aparición de humo			

Tabla 35: Hoja de decisión del cepillo lateral izquierdo de la barredora hidromecánica Dulevo 5000

Hoja de información	Equipo:		Realizado Por:		Fecha:		Hoja N°	
	Barredora Hidromecánica Dulevo 5000		Pablo Jhonor Casana Custodio		01-06-2018		1	
	Elemento		Revisado Por:		Fecha:		De:	
	Cepillo lateral izquierdo		Ing. Luis Alberto Julca Verástegui				1	
Función (F)	Falla Funcional (FF)		Modo de Falla (MF)		Efecto de Falla (EF)			
8. Es utilizado para la transferencia de los residuos sólidos en el costado izquierdo para enviarlos al cepillo central.	A	Obstrucción de válvula de cepillo lateral izquierdo	1	Empaquetaduras desgastadas	1	Corrosión interna		
			2	Deformación en borde de tapa	2	Contaminación interna		
			3	Pernos de ajuste desgastados u oxidados	3	Excesiva vibración		
			4	Rodamientos de eje desgastados	4	Pérdida de corriente de alimentación del motor		
	B	Estrechamiento de conducto en válvula de cepillo izquierdo.	1	Corto circuito en el devanado secundario	1	Pérdida de corriente de alimentación		
			2	Esmalte de aislamiento del hilo deteriorado	2	Flujo pobre de corriente		
			3	Motor contaminado internamente	3	Paradas imprevistas del motor		
			4	Rotura del devanado	4	Parada del motor		
			5	Esmalte de aislamiento del hilo deteriorado	5	Flujo pobre de corriente		
			6	Barniz de impregnación deteriorado	6	Corto circuito del sistema		
			7	Oscilaciones rápidas de tensión de alimentación	7	Sobrecalentamiento		

Tabla 36: Hoja de decisión del cepillo lateral derecho de la barredora hidromecánica Dulevo 5000

Hoja de información	Equipo:		Realizado Por:		Fecha:		Hoja N°	
	Barredora Hidromecánica Dulevo 5000		Pablo Jhunion Casana Custodio		01-06-2018		1	
	Elemento		Revisado Por:		Fecha:		De:	
	Cepillo lateral derecho		Ing. Luis Alberto Julca Verástegui				1	
Función (F)	Falla Funcional (FF)		Modo de Falla (MF)		Efecto de Falla (EF)			
9. Es utilizado para la transferencia de los residuos sólidos en el costado derecho para enviarlos al cepillo central.	A	Obstrucción de válvula de cepillo lateral derecho.	1	Corrosión a causa de agua	1	Cortocircuito		
			2	Excesiva contaminación	2	Cortocircuito		
			3	Mano de obra no capacitado	3	Deterioro excesivo de la escobilla		
			4	Aislador no adecuado	4	Deterioro excesivo de la escobilla		

3.4.1.2. Planteamiento de las hojas de decisiones de los elementos críticos de la barredora hidromecánica Dulevo 5000

Tabla 37: Hoja decisiones de los elementos críticos de la barredora hidromecánica Dulevo 5000

HOJA DE DECISIONES			Máquina: Barredora Hidromecánica Dulevo										Facilitador: Pablo Jh Junior Casana Custodio		Fecha: 01/06/2018	Hoja N° 1
			Subsistema: Equipos críticos y semi críticos										Auditor: Ing. Luis Alberto Julca Verástegui		Fecha:	de: 1
Resumen de hojas de información			Preguntas del árbol lógico de decisiones				H1	H2	H3	Acciones secundarias				Planteamiento de la tarea propuesta para el mantenimiento centrado en la confiabilidad, fundamentado en el mantenimiento preventivo y predictivo.	Frecuencia del mantenimiento - A: Año - M: Mes - S: Semana - D: Día	Personal encargado de ejecutar la tarea
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3							
							O1	O2	O3	H4	H5	S4				
							N1	N2	N3							
<b>B. COMBUST.</b>																
1	A	1	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Lubricar inclinación de la caja colectora	2 M	Mecánico	
1	A	2	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Controlar desgaste y conexiones	1 M	Mecánico	
1	A	3	S	N	S	S	N	N	S	N	N	N	Lubricar el cilindro de dirección	2 M	Mecánico	
1	A	4	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Cambiar elemento filtrador	3 M	Mecánico	
1	A	5	N	N	S	S	N	N	S	N	N	N	Verificar el nivel de lubricante	1 M	Mecánico	
1	A	6	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar fugas de aceite en el eje	1 M	Mecánico	
1	B	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Control y limpiar filtro de aire	1 M	Mecánico	
1	B	2	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar si hay líquido refrigerante y vaciar	2 S	Mecánico	
1	C	1	S	N	S	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de magneto	1 M	Mecánico	
1	C	2	N	N	S	S	N	N	S	N	N	N	Limpieza del núcleo del radiador	2 M	Mecánico	
1	C	3	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de aspas de ventilador	1 M	Mecánico	
1	C	4	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar fugas de combustible en líneas	1 S	Mecánico	
1	D	1	N	N	S	S	N	N	S	N	N	N	Verificar fugas en el sistema de lubricación	1 S	Mecánico	
1	D	2	N	N	S	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente			
1	D	3	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente			
1	D	4	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente			
<b>BATERÍAS</b>																
2	A	1	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar, limpiar y asegurar las conexiones del cable de la batería	1 D	Mecánico	
2	A	2	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar nivel de electrolitos de batería	1 D	Mecánico	

2	A	3	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar desgaste de los anillos de lubricación	1 S	Mecánico
2	A	4	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar rozamiento de cables positivo y negativo	1 S	Mecánico
2	B	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente		
2	C	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente		
<b>VENTIL. ASP.</b>															
3	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificar la velocidad de encendido y parada	1 S	Mecánico
3	A	2	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar la velocidad en Ralentí	1 M	Mecánico
3	B	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Limpiar rodamientos primarios del ventilador	1 S	Mecánico
3	C	1	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente		
3	C	2	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente		
<b>BUJÍAS</b>															
4	A	1	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar desgaste del pistón	1 M	Mecánico
4	A	2	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar desgaste de anillos de compresión	1 M	Mecánico
4	A	3	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente		
4	B	1	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente		
4	B	2	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente		
<b>CEPILLO C.</b>															
5	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Lubricar rotación y guías del cepillo central	1 M	Mecánico
5	A	2	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Lubricar las articulaciones y el resorte laminar	1 M	Mecánico
5	A	3	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar el deterioro y desgaste de articulaciones	1 M	Mecánico
5	B	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificar el patrón del cepillo	2 M	Mecánico
5	C	1	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar y lubricar las varillas de apoyo	3 M	Mecánico
5	C	2	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente		
5	C	3	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Controlar el nivel de presión del fluido	2 M	Mecánico
5	C	4	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Purgar el aire en cilindro hidráulico	1 M	Mecánico
5	D	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificar hules laterales del cepillo	2 M	Mecánico
5	D	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Controlar el par de torsión del cepillo	2 M	Mecánico
5	D	3	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de aspas de ventilador	1 M	Mecánico
5	D	4	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Controlar conexiones y desgaste de articulaciones	1 M	Mecánico
5	E	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificar el desgaste del varillaje del cepillo	2 M	Mecánico
5	E	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar el sello de vacío	4 M	Mecánico
5	F	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar el vibrador de filtro	4 M	Mecánico
5	F	2	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Limpiar hules traseros del cepillo	1 M	Mecánico
<b>B. AGUA</b>															
6	A	1	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar la presión de succión de la bomba	1 S	Mecánico
6	A	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Controlar la temperatura del refrigerante	1 S	Mecánico
6	A	3	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Limpiar incrustaciones en los conductos del refrigerante	1 M	Mecánico
6	A	4	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente		
6	B	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente		

6	B	2	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente		
<b>S. VELOCID.</b>															
7	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado de cables del electrodo	1 M	Electrónico
7	A	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar estado hilos de electrodos	1 M	Electrónico
7	B	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificar temperatura en cables de electrodos	1 M	Electrónico
7	B	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente		
7	C	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente		
7	C	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente		
7	C	3	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente		
<b>CEPILLO L.I</b>															
8	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificar soportes de articulaciones	1 M	Mecánico
8	A	2	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar sellos de tolva	1 M	Mecánico
8	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Lubricar rodamientos de la tolva	1 S	Mecánico
8	A	2	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Engrasar conexiones	1 S	Mecánico
8	B	1	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Limpiar patines de desgaste	1 M	Mecánico
8	B	2	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Inspeccionar filtro reductor de polvo	1 M	Mecánico
8	B	3	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Limpiar chapas de las tapas de cepillo	2 M	Mecánico
8	B	4	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Verificar torque en tornillos	1 M	Mecánico
8	B	5	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Controlar presión de servicio en bomba de propulsión	1 M	Mecánico
8	B	6	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Limpiar cilindro de elevación de tolva	1 A	Mecánico
8	B	7	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Limpiar cilindro de dirección del cepillo lateral izquierdo	1 A	Mecánico
<b>CEPILLO L.D</b>															
9	A	1	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Cambiar la válvula de inclinación	1 A	Mecánico
9	A	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Lubricar articulaciones secundarias derechas	6 M	Mecánico
9	B	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificar desgaste de articulaciones de la válvula de inclinación	1 M	Mecánico
9	B	2	N	N	N	S	N	N	S	N	N	N	Tarea arriba suficiente		

### 3.4.2. Número de prioridad de riesgos a los modos de fallas de los elementos críticos de la barredora hidromecánica Dulevo 5000

El análisis de modos y efectos de fallas AMEF encontró 76 modos de falla, de las 27 fallas de los 9 elementos críticos, los cuales serán evaluados mediante el número de prioridad de riesgo para determinar el grado del modo de falla y evaluar en que porcentaje mejorará el mantenimiento de la barredora hidromecánica Dulevo 5000. Por ejemplo en el elemento *bomba de combustible* el modo de falla *acumulación excesiva de hollín* (1A1), su tipo de gravedad es elevada obteniendo un puntaje de 9, su ocurrencia es alrededor de 1 a 6 meses por lo cual su puntaje sería 8 y el nivel de detección es moderada con un puntaje de 5 (Ver Anexo A.8). Por lo cual su NPR se calcula:

$$NPR = G * O * D$$

$$NPR = 9 * 8 * 5 = 360$$

Ahora la clasificación del modo de falla se mide según el siguiente criterio, (Mora, 2009):

$I(R) \leq 125$	Falla Aceptable.
$125 < I(R) \leq 200$	Falla reducible a deseable.
$I(R) > 200$	Falla Indeseable.

Por lo cual podemos concluir que el modo de falla 1A1 es de grado INDESEABLE.

Tabla 38: Clasificación de los modos de fallas de los elementos críticos de la barredora hidromecánica Dulevo 5000

Modos de falla			Índices de riesgo			Número de Prioridad de Riesgo (NPR)	Clasificación
			Gravedad (G)	Ocurrencia (O)	Detección (D)	$NPR = G * O * D$	
<b>Bomba Combustible</b>							
1	A	1	9	8	5	360	INDESEABLE
1	A	2	7	7	6	294	INDESEABLE
1	A	3	7	9	8	504	INDESEABLE
1	A	4	5	5	9	225	INDESEABLE
1	A	5	7	8	9	504	INDESEABLE
1	A	6	8	8	7	448	INDESEABLE
1	B	1	7	9	5	315	INDESEABLE
1	B	2	7	5	8	280	INDESEABLE
1	C	1	8	8	8	512	INDESEABLE
1	C	2	8	9	4	288	INDESEABLE
1	C	3	5	5	6	150	REDUCIBLE A
1	C	4	5	6	6	180	REDUCIBLE A
1	D	1	4	4	8	128	REDUCIBLE A
1	D	2	7	4	5	140	REDUCIBLE A

1	D	3	6	8	4	192	REDUCIBLE A	
1	D	4	4	6	7	168	REDUCIBLE A	
<b>Baterías</b>								
2	A	1	8	9	8	576	INDESEABLE	
2	A	2	7	6	7	294	INDESEABLE	
2	A	3	5	7	7	245	INDESEABLE	
2	A	4	8	8	9	576	INDESEABLE	
2	B	1	7	7	8	392	INDESEABLE	
2	C	1	5	4	6	120	ACEPTABLE	
<b>Ventilador Aspiración</b>								
3	A	1	7	7	8	392	INDESEABLE	
3	A	2	9	8	7	504	INDESEABLE	
3	B	1	8	8	7	448	INDESEABLE	
3	C	1	7	9	9	567	INDESEABLE	
3	C	2	9	8	8	576	INDESEABLE	
<b>Buías</b>								
4	A	1	8	8	9	576	INDESEABLE	
4	A	2	7	9	6	378	INDESEABLE	
4	A	3	4	5	4	80	ACEPTABLE	
4	B	1	6	5	4	120	ACEPTABLE	
4	B	2	5	5	3	75	ACEPTABLE	
<b>Cepillo Central</b>								
5	A	1	7	7	7	343	INDESEABLE	
5	A	2	8	8	9	576	INDESEABLE	
5	A	3	9	7	6	378	INDESEABLE	
5	B	1	5	5	6	150	REDUCIBLE A	
5	C	1	4	4	8	128	REDUCIBLE A	
5	C	2	7	4	5	140	REDUCIBLE A	
5	C	3	6	8	8	384	INDESEABLE	
5	C	4	8	8	8	512	INDESEABLE	
5	D	1	8	8	4	256	INDESEABLE	
5	D	2	8	8	7	448	INDESEABLE	
5	D	3	7	7	5	245	INDESEABLE	
5	D	4	5	6	5	150	REDUCIBLE A	
5	E	1	9	6	8	432	INDESEABLE	
5	E	2	9	9	7	567	INDESEABLE	
5	F	1	5	5	6	150	REDUCIBLE A	
5	F	2	4	4	8	128	REDUCIBLE A	
<b>Bomba de Agua</b>								
6	A	1	8	9	6	432	INDESEABLE	
6	A	2	8	6	9	432	INDESEABLE	
6	A	3	5	8	5	200	INDESEABLE	
6	A	4	6	8	7	336	INDESEABLE	
6	B	1	4	4	8	128	REDUCIBLE A	
6	B	2	7	5	5	175	REDUCIBLE A	
<b>Sensor de Velocidad</b>								
7	A	1	9	8	7	504	INDESEABLE	
7	A	2	6	9	6	324	INDESEABLE	
7	B	1	9	6	6	324	INDESEABLE	
7	B	2	9	8	7	504	INDESEABLE	
7	C	1	6	9	8	432	INDESEABLE	
7	C	2	6	5	6	180	REDUCIBLE A	
7	C	3	5	6	5	150	REDUCIBLE A	
<b>Cepillo Lateral Izquierdo</b>								
8	8	A	1	8	8	6	384	INDESEABLE
8		A	2	9	9	9	729	INDESEABLE
8		A	1	8	7	7	392	INDESEABLE
8		A	2	7	6	8	336	INDESEABLE
8		B	1	5	6	7	210	INDESEABLE
8		B	2	9	8	7	504	INDESEABLE
8		B	3	7	8	8	448	INDESEABLE
8		B	4	8	7	8	448	INDESEABLE

8	B	5	8	8	7	448	INDESEABLE
8	B	6	6	6	5	180	REDUCIBLE A
8	B	7	5	5	7	175	REDUCIBLE A
<b>Cepillo Lateral Derecho</b>							
9	A	1	8	8	8	512	INDESEABLE
9	A	2	8	9	8	576	INDESEABLE
9	B	1	7	7	9	441	INDESEABLE
9	B	2	6	6	7	252	INDESEABLE

En la tabla 39, se detallan los resultados del análisis NPR, el cual arroja 76 modos de fallas distintos que son los causantes de las fallas de los elementos de la barredora hidromecánica Dulevo 5000. Determinando que con la aplicación de un mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM, se puede llegar a reducir el 71% de las fallas que ocasionan pérdidas económicas a Municipalidad Distrital de Víctor Larco con respecto a la barredora Dulevo.

*Tabla 39: Resultados del análisis del número de prioridad de riesgo*

<b>Clasificación del modo de falla</b>	<b>Número de modos de fallas</b>	<b>Porcentaje del tipo de modo de falla</b>
Fallas aceptables	4	5 %
Fallas reducibles a deseables	18	24 %
Fallas indeseables	54	71 %
Total	76	100%

### 3.5. ELABORAR UN DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD DE LOS ELEMENTOS, ESTIMANDO LA PROYECCIÓN DE LOS INDICADORES DE MANTENIMIENTO.

El plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, fundamentado en el mantenimiento preventivo y predictivo, para mejorar los indicadores de mantenimiento, se fundamentó en los elementos críticos con sus correspondientes modos de fallas indeseables, con un total de 54 fallas indeseables. Para lo cual se hizo uso de los conocimientos de la ingeniería de mantenimiento, del supervisor y técnicos de mantenimiento de la Municipalidad Distrital de Víctor Larco Herrera, planteando 57 tareas de mantenimiento de acuerdo a las hojas de información y decisiones.

<b>PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA BARREDORA HIDROMECÁNICA DULEVO 5000</b>		
	 <b>Mantenimiento preventivo</b>  <b>Mantenimiento realizado</b>  <b>Mantenimiento reprogramado</b>  <b>Mantenimiento correctivo</b>	
Nº TAREA	INTERVENCIONES	TAREAS DE MANTENIMIENTO DE LA BARREDORA HIDROMECÁNICA DULEVO 5000
1	1 .A	Limpiar cilindro de elevación de tolva
2	1 .A	Limpiar cilindro de dirección del cepillo lateral izquierdo
3	1 .A	Cambiar la válvula de inclinación
4	6 M	Lubricar articulaciones secundarias derechas
5	4 M	Verificar el sello de vacío
6	4 M	Verificar el vibrador de filtro
7	3 M	Cambiar elemento filtrador
8	3 M	Verificar y lubricar las varillas de apoyo
9	2 M	Lubricar inclinación de la caja colectora
10	2 M	Lubricar el cilindro de dirección
11	2 M	Limpiar el núcleo del radiador
12	2 M	Verificar el patrón del cepillo
13	2 M	Controlar el nivel de presión del fluido
14	2 M	Verificar hules laterales del cepillo
15	2 M	Controlar el par de torsión del cepillo
16	2 M	Limpiar chapas de las tapas de cepillo
17	2 M	Verificar el desgaste del varillaje del cepillo
18	1 M	Verificar el nivel de lubricante
19	1 M	Verificar fugas de aceite en el eje
20	1 M	Control y limpiar filtro de aire
21	1 M	Verificar desgaste de articulaciones de la válvula de inclinación
22	1 M	Verificar torque en tornillos
23	1 M	Controlar presión de servicio en bomba de propulsión
24	1 M	Verificar estado de cables del electrodo
25	1 M	Verificar estado hilos de electrodos
26	1 M	Verificar temperatura en cables de electrodos
27	1 M	Verificar soportes de articulaciones
28	1 M	Verificar sellos de tolva
29	1 M	Limpiar patines de desgaste
30	1 M	Inspeccionar filtro reductor de polvo

31	1 M	Purgar el aire en cilindro hidráulico
32	1 M	Verificar desgaste del pistón
33	1 M	Verificar desgaste de anillos de compresión
34	1 M	Lubricar rotación y guías del cepillo central
35	1 M	Lubricar las articulaciones y el resorte laminar
36	1 M	Verificar el deterioro y desgaste de articulaciones
37	1 M	Verificar estado de aspas de ventilador
38	1 M	Controlar conexiones y desgaste de articulaciones
39	1 M	Controlar desgaste y conexiones de valculas de inclinación
40	1 M	Limpiar hules traseros del cepillo
41	1 M	Limpiar incrustaciones en los conductos del refrigerante
42	1 M	Verificar estado de magneto
43	1 M	Verificar estado de aspas de ventilador
44	1 M	Verificar la velocidad en Ralentí
45	2 S	Verificar si hay líquido refrigerante y vaciar
46	1 S	Verificar desgaste de los anillos de lubricación
47	1 S	Verificar rozamiento de cables positivo y negativo
48	1 S	Verificar la velocidad de encendido y parada
49	1 S	Verificar fugas de combustible en líneas
50	1 S	Verificar fugas en el sistema de lubricación
51	1 S	Verificar la presión de succión de la bomba
52	1 S	Controlar la temperatura del refrigerante
53	1 S	Lubricar rodamientos de la tolva
54	1 S	Engrasar conexiones
55	1 S	Limpiar rodamientos primarios del ventilador
56	1 D	Verificar, limpiar y asegurar las conexiones del cable de la batería
57	1 D	Verificar nivel de electrolitos de batería

### 3.5.1. Proyección de los indicadores de mantenimiento con la implementación del RCM a la barredora hidromecánica Dulevo 5000

Para estimar los nuevos indicadores con el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, se deben determinar los nuevos parámetros con el RCM:

**- Tiempo para reparar con RCM:**

$$TPR_{(RCM)} = TPR_{(inicial)} * (1 - 0.71) = 502.42 * 0.29 = 145.7 \text{ horas pérdidas/año}$$

**- Tiempo entre fallas con RCM:**

$$TEF_{(RCM)} = TEF_{(inicial)} + (TPR_{(inicial)} - TPR_{(RCM)}) = 1877.14 + (502.42 - 145.7) = 2233.86 \text{ horas útil/año.}$$

**- Número de fallas con RCM:**

$$F_{(RCM)} = F_{(inicial)} * (1 - 0.71) = 34 * 0.29 = 9.86 = 10 \text{ fallas/año}$$

**- Tiempo total programado con RCM:**

$$TTP_{(RCM)} = TPR_{(RCM)} + TEF_{(RCM)} = 145.7 + 2233.86 = 2379.56 \text{ horas totales/año}$$

*Tabla 40: Comparativo de los parámetros de mantenimiento iniciales y finales de la barredora hidromecánica Dulevo 5000 con el plan d mantenimiento RCM*

MANTENIMIENTO ACTUAL				MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD				ΔTPR	ΔTEF
TEF	TTR	F	TTP	TEF (RCM)	TPR (RCM)	F (RCM)	TTP (RCM)		
1877.14	502.42	34	2379.56	2233.86	145.7	10	2379.56	356.72	356.72

Una vez obtenido los nuevos parámetros con el mantenimiento centrado en la confiabilidad, se procede a determinar nuevos indicadores del mantenimiento de la barredora hidromecánica Dulevo 5000 y compararlos con los indicadores iniciales. Para el cálculo de los nuevos indicadores de mantenimiento se hace uso de la misma metodología tal como se realizaron los cálculos de los indicadores iniciales de las barredoras hidromecánicas.

**- Tiempo medio entre fallas:**

$$TMEF_t = \frac{TEF_t}{F_t}$$

$$TMEF_t = \frac{2233.86 \text{ Horas útil/año}}{10 \text{ fallas/año}}$$

$$TMEF_t = 223.386 \text{ Horas útil/falla}$$

**- Tiempo medio para reparar:**

$$TMPR_t = \frac{TPR_t}{F_t}$$

$$TMPR_t = \frac{145.7 \text{ Horas pérdidas/año}}{10 \text{ fallas/año}}$$

$$TMPR_t = 14.57 \text{ Horas pérdidas/falla}$$

**- Tasa de mantenimiento de fallas:**

$$TF = \frac{1}{TMEF_t}$$

$$TF = \frac{1}{223.386 \text{ Horas útil/falla}} = 0.00447 \frac{\text{Fallas}}{\text{Horas útil}}$$

**- Tasa de mantenimiento de reparaciones:**

$$TR = \frac{1}{TMPR_t}$$

$$TR = \frac{1}{14.57 \text{ Horas pérdidas/falla}} = 0.06863 \frac{\text{falla}}{\text{Horas pérdidas}}$$

⇒ **Disponibilidad mecánica:**

$$D(t) = \frac{TMEF_t}{TMEF_t + TMPR_t}$$

$$D(t) = \frac{223.386 \text{ Horas útil/falla}}{223.386 \text{ Horas útil/falla} + 14.57 \text{ Horas pérdidas/falla}}$$

$$D(t) = 93.88 \%$$

⇒ **Confiabilidad operacional:**

$$C(t) = \left( e^{\frac{-TF \cdot TTP}{100}} \right) * 100\%$$

$$C(t) = \left( e^{\frac{-0.00447 \cdot 2379.56}{100}} \right) * 100\%$$

$$C(t) = 90.00 \%$$

⇒ **Mantenibilidad mecánica:**

$$M(t) = \left(1 - e^{-\frac{-TR \cdot TTP}{100}}\right) * 100\%$$

$$M(t) = \left(1 - e^{-\frac{-0.06863 \cdot 2379.56}{100}}\right) * 100\%$$

$$M(t) = 80.46 \%$$

*Tabla 41: Indicadores de mantenimiento de la barredora hidromecánica Dulevo 5000 con el plan de mantenimiento RCM*

TMEF	TMPR	Tasa Fallas	Tasa Reparación	Indicadores proyectados		
				D(t)%	C(t)%	M(t)%
223.386	14.57	0.00447	0.06863	93.88	90.00	80.46

En la tabla 42, se hace un análisis comparativo para determinar el porcentaje de aumento de la disponibilidad y confiabilidad y la reducción de la mantenibilidad

*Tabla 42: Análisis comparativos de los indicadores de mantenimiento de la barredora Dulevo 5000*

Indicadores Iniciales			Indicadores proyectados			Variación de los indicadores de mantenimiento (%)		
D(t) %	C(t) %	M(t) %	D(t) %	C(t) %	M(t) %	D(t) %	C(t) %	M(t) %
78.88	65.00	80.02	93.88	90.00	80.46	15.00	25	0.44

*Tabla 43: Comparativos de los tiempos medios entre fallas y para reparar de la barredora Dulevo 5000*

MTEF (Inicial)	TMEF (RCM)	TMPR (inicial)	TMPR (RCM)	ΔTMEF	ΔTMPR
55.21	223.386	14.777	14.57	168.176	0.207

### 3.6. ANÁLISIS ECONÓMICO

#### 3.6.1. ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE MANTENIMIENTO:

El análisis de los costos de mantenimiento se fundamenta en los costos de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo.

*Tabla 44: Costos de mantenimiento correctivo de la barredora hidromecánica Dulevo 5000*

Costo de Mantenimiento Correctivo	Cantidad	Unidad	Costos Unitario (S./año)	Costo total (S./año)
344T Filtro separador de agua Racor	2	Unid.	48.5	97
ST4/D Filtro separador de agua	2	Unid.	70.25	140.5
Baterías de 19 placas y 12 V	2	Unid.	730.43	1460.86
72-52 Pistón y anillos	1	Unid.	465.14	465.14
200-120-g3. Magnetos AITRONIC	2	Unid.	134.34	268.68
PL-7000 conjunto de embrague 7 PCS	2	Unid.	458.9	917.8
457-A-300 sistema de refrigeración	1	Unid.	425.5	425.5
BD 2418 Filtro de aceite	1	Unid.	67.8	67.8
BF 76634-E Filtro de combustible	1	Unid.	99.56	99.56
BF 876 Filtro de combustible	1	Unid.	111.35	111.35
BT 9000 Filtro de aceite Hidráulico	2	Unid.	167.6	335.2
Cilindro de aceite 15W-40	2	Unid.	322.22	644.44
D 31917 Filtro de aire Donaldson Estandar	1	Unid.	150.67	150.67
DP 2065 Filtro de aceite Transmisión	1	Unid.	330.8	330.8
FFWS 2040T Filtro separador de agua	1	Unid.	124.34	124.34
FFWS FD Filtro separador de agua	2	Unid.	56.73	113.46
Grasa multis EP2C	50	Kg	260.98	13049
LEF 5585 Filtro de combustible	2	Unid.	144.13	288.26
NAPA 2252 Filtro de aire	5	Unid.	123.33	616.65
PA 1908 Filtro de aire	5	Unid.	66.55	332.75
Tanque de aceite Rando HD 100	7	Unid.	423.1	2961.7
Cadena transportadora AISI 40	1	Unid.	3045.89	3045.89
Rodamiento M-4300-A	2	Unid.	97.76	195.52
Válvulas de desplazamiento DT-4	2	Unid.	478.44	956.88
Válvulas de inclinación R-300	3	Unid.	522.11	1566.33
				<b>28766.08</b>

Tabla 45: Costos por mantenimiento preventivo de la barredora hidromecánica Dulevo 5000

Elementos preventivos	Cantidad	Unidad	Costos Unitario (S./año)	Costo total (S./año)
Aceite	30	Gal	85.14	2554.2
Grasa	20	Kg	33.66	673.2
Agua	200	gal	10.00	2000
Empaquetaduras	5	Jgo	21.22	106.1
Sello de aceite	5	Unid.	13.57	67.85
Bujía	3	Unid.	76.44	229.32
Filtros	4	Unid.	154.3	617.2
Pernos	10	Unid.	5.75	57.5
				<b>6305.37</b>

Tabla 46: Costos por mantenimiento predictivo de la barredora hidromecánica Dulevo 5000

Análisis predictivo	Intervenciones	Costos Unitario (S./año)	Costo total (S./año)
Rodamientos de la válvula de desplazamiento	36 veces/año	100.00	3600.00
Rodamientos de la válvula de inclinación	36 veces/año	100.00	3600.00
Rodamientos del ventilador de aspiración	12 veces/año	100.00	1200.00
Análisis de impurezas (ppm) aceite	4 veces/año	200.00	800.00
Análisis termo gráfico	52 veces/año	20.00	1040.00
			<b>10240.00</b>

En la tabla 47, se muestran los resultados de los costos de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo, con un total de 45311.45 nuevos soles/año para el mantenimiento centrado en la confiabilidad.

Tabla 47: Resultados del análisis de costos de mantenimientos de la barredora hidromecánica Dulevo 5000

Tipos de mantenimiento	Costos totales de los mantenimientos ( $C_{MCC}$ )
Mantenimiento Correctivo, MCR	28766.08
Mantenimiento Preventivo, MPV	6305.37
Mantenimiento Predictivo, MPD	10240.00
	<b>45311.45</b>

**3.6.2. Análisis de la inversión para el mantenimiento de la barredora hidromecánica Dulevo 5000.**

*Tabla 48: Inversión del plan de mantenimiento de la barredora hidromecánica Dulevo 5000*

Ítem	Equipos predictivos	Cantidad	Costos Unitario (S./año)	Costo total (S./año)
1	MANÓMETRO, P: 1 Psi.....300 Psi	1	400.00	400.00
2	TERMÓMETRO, T: 0°C.....250°C	1	300.00	300.00
3	FLUJO METRO, F: 10 gal/h.....210 gal/h.	1	550.00	550.00
4	VIBROMETRO, V= 0.34.....500 mms-1	1	6000.00	6000.00
5	TACOMETRO, T: 0rpm .....7000 rpm	1	1500.00	1500.00
6	CÁMARA TERMOGRÁFICA, T= 5°C a 300 °C,	1	9500.00	9500.00
7	BANCO DE ACEITE, Viscosidad= 10..1000CTS	1	45000.00	45000.00
8	MULTÍMETRO, M: 0V.....3KV, I: 0.1A.....100A	1	1200.00	1200.00
9	CAPACITACIÓN A PERSONAL	3	2000.00	6000.00
				<b>70450.00</b>

**3.6.3. Beneficio útil del plan de mantenimiento a la barredora hidromecánica Dulevo 5000:**

Con la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad, el tiempo para reparar de las barredoras se reduciría a 145.7 horas de un total de 502.42 horas, obteniendo una eliminación de 356.72 horas perdidas.

El beneficio del proyecto, sería:

$$B_{\text{útil}} = \Delta TTR * C_{\text{unitario}} - C_{\text{MCC}}$$

$$B_{\text{útil}} = 356.72 * 823.2487 - 45311.45 \text{ S./año}$$

$$B_{\text{útil}} = 248357.83 \text{ S./año}$$

### 3.6.4. RETORNO OPERACIONAL DE LA INVERSIÓN:

El diseño de un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad, permite a la Municipalidad Distrital de Víctor Larco Herrera. Obtener un beneficio de 248357.83 S/. /año, con una inversión en equipos de S/. 70450.00. Por lo consiguiente el retorno operacional de la inversión, sería:

$$\text{PRI} = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{Beneficio del plan de mantenimiento}}$$

$$\text{PRI} = \frac{70450.00 \text{ S/.}}{248357.83 \text{ S/. /año}}$$

$$\text{PRI} = 0.284 \text{ años} \approx 3.4 \text{ meses} = 102 \text{ días}$$

# **IV. DISCUSIÓN**

En el estudio de Ortiz (2016), titulado: “Proyecto de mantenimiento mecánico programado para una barredora automática de 2.6 m<sup>3</sup>”. Realizó un estudio pre-experimental a la barredora hidromecánica modelo Tennant Sentinel con una capacidad de residuos sólidos de 2.6 m<sup>3</sup>, cuyas especificaciones más relevantes son: potencia 63KW, velocidad de rotación 400 RPM, patrón total de barrido de todos sus cepillos de 3200 mm, torque 790 N.m y consumo de combustible diésel 3.8 gal/h, se analizaron los principales parámetros del mantenimiento de la barredora la cual presento 50 fallas/año con un MTBF de 23.25 horas útil/falla, MTTR de 3.6 horas reparar/falla, para el estudio se analizó inicialmente la situación del mantenimiento de la barredora mediante el método exponencial de los indicadores de mantenimiento, obteniendo una disponibilidad de 86.50%, confiabilidad 90% y mantenibilidad 73%, concluyendo que con la implementación de un mantenimiento preventivo se pudieron llegar a reducir las fallas en un 50% (25 fallas/año), aumentando la disponibilidad en 91%, la confiabilidad 95.14% y la mantenibilidad en 45%, con un costo anual para la implementación del mantenimiento de S/. 20678.76. En similitud a la presente tesis de estudio pre-experimental, se tiene el análisis de dos barredoras hidromecánicas, tal como la barredora Macro S45L la cual tiene una potencia de 125 KW, con una velocidad de 710 rpm, con un patrón de barrido total de 5800 mm, torque 1740 N.m y un consumo de combustible diesel 6 gal/g con un tiempo perdido de 479.08 horas producto de 26 falla con un TMEF (MTBF) de 84.46 horas útil/falla y TMPR (MTTR) de 18.43 horas reparar/falla, por otro lado la barredora hidromecánica Dulevo 5000 tiene una potencia de 107 KW, con una velocidad de rotación de 740 rpm, con un patrón de barrido de 6100 mm, torque 1375 N.m con un consumo diesel de 5 gal/h con un tiempo perdido de 502.42 horas debido a la aparición de 34 fallas con un TMEF 55.21 horas útil/falla y TMEF de 14.777 horas reparar/falla, concluyendo que la barredora hidromecánica Dulevo es más desfavorable, para lo cual se implementó un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad logrando aumentar la disponibilidad de 78.88% a 93.88%, confiabilidad de 65% a 90% y mantenibilidad de 80.02% a 80.46%, con un costo anual para su implementación de S/.70450.00 para obtener un beneficio de 248357.83 S/. /año.

Asimismo en el estudio de Quispe (2016), titulado: “Evaluación del sistema colector de polvo de la barredora Tennant para disminuir sus emisiones en la empresa UNACEM” expone un plan de mantenimiento preventivo para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> mediante un diseño de investigación cuasi-experimental, aplicando las herramientas del RCM como

el análisis de criticidad de equipos y AMEF. El análisis de criticidad se aplicó en 5 ponderaciones: frecuencia de fallas, costos de mantenimiento, impacto operacional, flexibilidad operacional y seguridad y medio ambiente determinando que los componentes más críticos de la barredora Tennant son 4 (Cepillo lateral derecho, Cepillo lateral izquierdo, ventilador de aspiración y cadena de transporte de residuos sólidos) los cuales originan una disponibilidad de 75%. Mientras el AMEF encontró 55 modos de falla potenciales que originan una pérdida de 1346 horas/año con un costo de producción de 54777.17 nuevos soles/año. Concluyendo que con la aplicación del plan de mantenimiento preventivo basado en el RCM la disponibilidad mejora en un 90% y los gases de dióxido de carbono se reducen en 52 TM/año (21% menos). En comparación al presente estudio, se realizó una investigación pre-experimental, aplicando el método AMEF y NPR para el mantenimiento centrado en la confiabilidad aplicado a la barredora hidromecánica Dulevo 5000, donde el análisis de criticidad se aplicó a 15 elementos con 34 fallas, de los cuales se encontraron 9 elementos críticos: Bomba de combustible, baterías, ventilador de aspiración, bujías, cepillo central, bomba de agua, sensor de velocidad, cepillo lateral izquierdo y cepillo lateral derecho, 3 semicríticos: Interruptor de presión de frenos, motor de succión y tubo de aspiración y 3 no críticos: Interruptor de inclinación, filtro de aire e interruptor elevador. Mientras que el análisis de modos y efectos de fallas AMEF a los 9 elementos de clasificación crítico, con sus respectivas fallas, los cuales son causantes del 90.11% del total de las horas pérdidas y del 79.41% de las fallas, encontrando un total de 76 modos de fallas distintos que son los causantes de las fallas, de los cuales 4 modos de fallas son aceptables, 18 modos son fallas reducibles a deseables y 54 modos son fallas indeseables. Concluyendo que con la aplicación de un mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM la disponibilidad aumento en 93.88%, con una evacuación en los gases de dióxido de carbono de 105.42 TM/año.

También en el estudio de Ortega y Verona (2004), titulado: “Implementación de indicadores de mantenimiento en el taller industrial ADIFE LTDA.”. Se realizó un estudio pre-experimental usando los métodos análisis de criticidad, análisis de modos y efectos de fallas y número de prioridad de riesgos, para analizar la causa raíz de las fallas de la maquinaria de maestranza de taller, donde inicialmente se determinaron los indicadores de mantenimiento a través del método logarítmico debido a que es el método más ajustado a los valores reales, obteniendo una disponibilidad de 79%, confiabilidad 81% y

mantenibilidad 70% que originan una pérdida de 1910 horas/año. El análisis de criticidad se fundamentó en la frecuencia de fallas y 4 consecuencias: costos de mantenimiento, impacto operacional, flexibilidad operacional y seguridad y medio ambiente, donde se determinó que 8 equipos eran críticos (Maquinas de soldar, taladro vertical, fresa, torno, plegadora, compresor, prensa y sierra eléctrica), realizando una hoja de decisión del AMEF para cada elemento crítico, donde se encontraron 98 modos de fallas que mediante el NPR el 76% fallas fueron indeseables, 21% fallas reducibles a deseables y 9% fallas aceptables. Concluyendo que con la propuesta del plan de mantenimiento basado en el análisis causa raíz los indicadores de mantenimiento como la disponibilidad aumentó en 93%, la confiabilidad en 95% y la mantenibilidad se mantuvo constante con el mismo valor de 60%, con beneficio de 156777.86 S/./año, con una recuperación de la inversión de 5 meses (150 días). En semejanza al presente estudio se aplicó una investigación pre-experimental, utilizando el método exponencial para evaluar los indicadores de mantenimiento, donde la barredora Macro S45L tiene una disponibilidad de 82.05%, confiabilidad 72.85% y mantenibilidad 76.50% que originan una pérdida de 479.08 horas, mientras que la barredora Dulevo 5000 posee una disponibilidad de 78.88%, confiabilidad 65% y mantenibilidad 80.02% producto de una pérdida 502.42 horas. Donde en la barredora Dulevo 5000 se encontraron 9 elementos críticos (Bomba de combustible, baterías, ventilador de aspiración, bujías, cepillo central, bomba de agua, sensor de velocidad, cepillo lateral izquierdo y cepillo lateral derecho), encontrando un total de 76 modos de fallas distintos que son los causantes de las fallas en los elementos de la barredora Dulevo, de los cuales el 5% de modos de fallas son aceptables, 24% de modos son fallas reducibles a deseables y el 71% de modos son fallas indeseables. Concluyendo que con la implementación del plan de mantenimiento RCM a la barredora Dulevo 5000, la disponibilidad aumento a 93.88%, confiabilidad 90% y la mantenibilidad 80.46%, con un beneficio de 248357.83 S/./año y un retorno operacional de la inversión de 102 días.

# V. CONCLUSIÓN

5.1. Se evaluaron las características técnicas de las barredoras hidromecánicas las cuales tienen la misma capacidad de residuos sólidos de 5m<sup>3</sup> alimentadas por diésel, donde la barredora Dulevo 5000 en comparación a la barredora Macro S45L cuesta U\$\$ 55000.00 (27.50 % menos), tiene 22KW de potencia menos por lo cual consume 1 galón menos de diésel, pero tiene 1 m de diámetro más de barrido en sus cepillos laterales y 0.7 m en su cepillo central, con un incremento de productividad de 22500 m<sup>2</sup>/h y 15 Km/día más de barrido. Asimismo el impacto ambiental fue favorable para la barredora Dulevo 5000 evacuando 42.18 TM/h de dióxido de carbono y 0.81 TM/h de dióxido de azufre menos que la barredora Macro S45L.

5.2. La evaluación inicial a las barredoras hidromecánicas Macro S45L y Dulevo 5000, pertenecientes a la Municipalidad Provincial de Trujillo y Municipalidad Distrital de Víctor Larco Herrera respectivamente, determino que el periodo 2017, la barredora Macro S45L perdió un total de 479.08 horas producto de 26 fallas originando un costo económico de 333517.60 S/. /año y la barredora Dulevo 5000 perdió un total 502.42 horas producto de 34 fallas que conllevaron a un costo de mantenimiento de 413616.63 S/. /año, concluyendo que la barredora Dulevo 5000 tiene los parámetros de mantenimiento más desfavorables con un incremento 23.34 horas pérdidas, 8 fallas y 80099.03 S/. /año adicionales en costos de mantenimiento.

5.3. El análisis de los indicadores de mantenimiento iniciales a las barredoras hidromecánicas, determinó que la barredora Macro S45L tiene una disponibilidad de 82.05%, confiabilidad 72.85% y mantenibilidad 76.50%, mientras que la barredora Dulevo 5000 posee una disponibilidad de 78.88%, confiabilidad 65% y mantenibilidad 80.02%, concluyendo que la barredora Dulevo 5000 tienen los indicadores más desfavorables con un incremento en la disponibilidad de 3.17%, en la confiabilidad 7.85% y en la mantenibilidad 3.52%.

5.4. El análisis de criticidad se aplicó a 15 elementos de la barredora hidromecánica Dulevo 5000 relacionados con las 34 fallas, de los cuales se encontraron 9 elementos críticos (Bomba de combustible, baterías, ventilador de aspiración, bujías, cepillo central, bomba de agua, sensor de velocidad, cepillo lateral izquierdo y cepillo lateral derecho),

3 semicríticos (Interruptor de presión de frenos, motor de succión y tubo de aspiración) y 3 no críticos (Interruptor de inclinación, filtro de aire e interruptor elevador).

5.5. Se realizó un análisis de modos y efectos de fallas AMEF a los 9 elementos de clasificación crítico, con sus respectivas fallas, los cuales son causantes del 90.11% del total de las horas pérdidas y del 79.41% de las fallas, encontrando un total de 76 modos de fallas distintos que son los causantes de las fallas en los elementos de la barredora Dulevo, de los cuales 4 modos de fallas son aceptables, 18 modos son fallas reducibles a deseables y 54 modos son fallas indeseables. Determinando que con la aplicación de un mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM, se puede llegar a reducir el 71% de las fallas que ocasionan pérdidas económicas en la Municipalidad Distrital de Víctor Larco Herrera con respecto a la barredora Dulevo.

5.6. Se diseñó el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para aumentar los indicadores de mantenimiento de la barredora Dulevo 5000 y se fundamentó en los elementos críticos con sus correspondientes modos de fallas indeseables, con un total de 54 fallas indeseables. Para lo cual se hizo uso de los conocimientos de la ingeniería de mantenimiento, del supervisor y técnicos de mantenimiento de la Municipalidad Distrital de Víctor Larco Herrera, planteando 57 tareas de mantenimiento de acuerdo a las hojas de información y decisiones, donde el tiempo para reparar de la barredora se reducirá a 145.70 horas, obteniendo una eliminación de 356.72 horas perdidas. Asimismo con la aplicación del RCM la disponibilidad aumento en 93.88%, confiabilidad 90% y la mantenibilidad 80.46%.

5.7. El plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad a la barredora hidromecánica Dulevo 5000, permitió a la Municipalidad Distrital de Víctor Larco Herrera obtener un beneficio de 248357.83 S/. /año, con una inversión en equipos de S/. 70450.00 con un retorno operacional de la inversión de 102 días.

# **VI.RECOMENDACIONES**

- 6.1. Se recomienda a las Instituciones del estado como las Municipalidades Provinciales y Distritales encargadas de la limpieza pública de residuos sólidos, adquirir de preferencia barredoras hidromecánicas Dulevo 5000, debido a su bajo costo económico y buena responsabilidad social con el impacto ambiental. Asimismo como mayor área de barrido (productividad) y menor consumo de combustible.
- 6.2. El personal de mantenimiento de la barredora hidromecánica Dulevo 5000, deben tener en cuenta la definición e interpretación de los indicadores de mantenimiento, para cuando sea implementado el plan de mantenimiento, se puedan identificar los puntos críticos en los elementos y así establecer posibles planes de mejoramiento del mismo.
- 6.3. Realizar todas las actividades o tareas propuestas que contiene el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad a todos elementos críticos de la barredora hidromecánica Dulevo 5000, cumpliendo estrictamente lo estipulado en las hojas de decisiones del análisis de modos y efectos de fallas.
- 6.4. La Municipalidad Distrital de Víctor Larco Herrera debe realizar capacitaciones para su personal del área de mantenimiento para que a través de un mejor conocimiento o entendimiento puedan colaborar en la reducción de las fallas de sus elementos críticos.
- 6.5. Se debe realizar seguimientos continuos, respecto a inspecciones, para corroborar el buen desempeño de las labores de mantenimiento a la barredora Dulevo 5000 y resultados obtenidos durante la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad.
- 6.6. Una vez implementado el plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad durante un intervalo de tiempo de 1 año o 6 meses, se recomienda analizar la reducción de los costos de mantenimiento respecto a las horas no programadas que producen fallas en la barredora Dulevo 5000, costos en repuestos y costos en mano de obra, para lograr el beneficio útil y los indicadores de mantenimiento estimados.

## **VII. REFERENCIAS**

- **ADAUTO, ONIEVA. 2008. Mantenimiento preventivo.** Segunda. España, Granada. Compañía Editorial Continental, 2008. ISBN 9558693003336.
  
- **AMÉNDOLA, LUIS. 2010. Modelos mixtos de confiabilidad.** Segunda. España, Valencia. Datastream, 2010. ISBN 9788494062827.
  
- **BENJAMÍN, GINO. 2016. Indicadores de Mantenimiento.** Disponibilidad, Confiabilidad y Mantenibilidad. [En línea] 1 de Enero de 2016. [Citado el: 23 de abril de 2018.] <http://www.academia.edu>
  
- **DANIEL, TORRES. 2005. Mantenimiento implementación y gestión.** Segunda. Argentina: Córdoba, 2005. págs. 10-100. ISBN 9879406818.
  
- **DOUNCE, ENRIQUE. 2008. La Productividad en el Mantenimiento Industrial.** Segunda. Cd. de México: Compañía Editorial Continental, SA de CV, 2008. pág. 350. ISBN 9682610893.
  
- **DOWN, MICHAEL. 2010. Análisis de Modos y Efectos de Fallas Potenciales FMEA.** Detroit: AIAG, 2010. pág. 135. ISBN: 9781605341361
  
- **KECECIOGLU, DIMITRI. 2007. Maintainability, Availability, & Operational Readiness Engineering.** New Jersey City: Editorial Prentice-Hall Professional Technical, 2007. ISBN: 0135736277.
  
- **MORA, ALBERTO. 2009. Mantenimiento - Planeación, Ejecución y Control.** Bogotá: Alfa omega editores Internacional, 2011. pág. 678. Sexta Edición. ISBN 978958682769
  
- **MOUBRAY, JOHN. 2004. RCM Reliability Centered Maintenance - Industrial Press Inc. Sueiro y Asociados - Argentina Ellman.** Primera en castellano. Leicestershire: Aladon Limited, 2004. pág. 433. ISBN 0953960323.

- **MUÑOZ, MARTA. 2011.** Problemas resueltos de motores térmicos y turbo máquinas térmicas. Madrid: Uniandes. ISBN 9788436255645.
  
- **LEAN. 2016.** AMEF, Análisis de modo y efecto de la falla. NPR. [En línea] 12 de Marzo de 2016. [Citado el: 10 de abril de 2018.] <http://www.leansolutions.com>
  
- **RODRIGO, PASCUAL. 2002.** *Gestión moderna de mantenimiento.* segunda. santiago, chile : amg, 2002. ISBN 9788483421017.
  
- **SEGAT. 2016.** *Plan integral de gestión ambiental de residuos sólidos de la Provincia de Trujillo PIGARS 2016-2020.* [En línea] 15 de julio del 2016. [Citado el: 17 de abril de 2018.]  
<http://sial.segat.gob.pe>
  
- **SOWELL, TOMAS. 2013.** Economía Básica. España: Deusto SA, 2013. 9788423412648
  
- **BENJAMÍN, GINO. 2016.** *Indicadores de Mantenimiento.* Disponibilidad, Confiabilidad y Manteni bilidad. [En línea] 1 de Enero de 2016. [Citado el: 23 de abril de 2018.] <http://www.academia.edu>

# **ANEXOS**

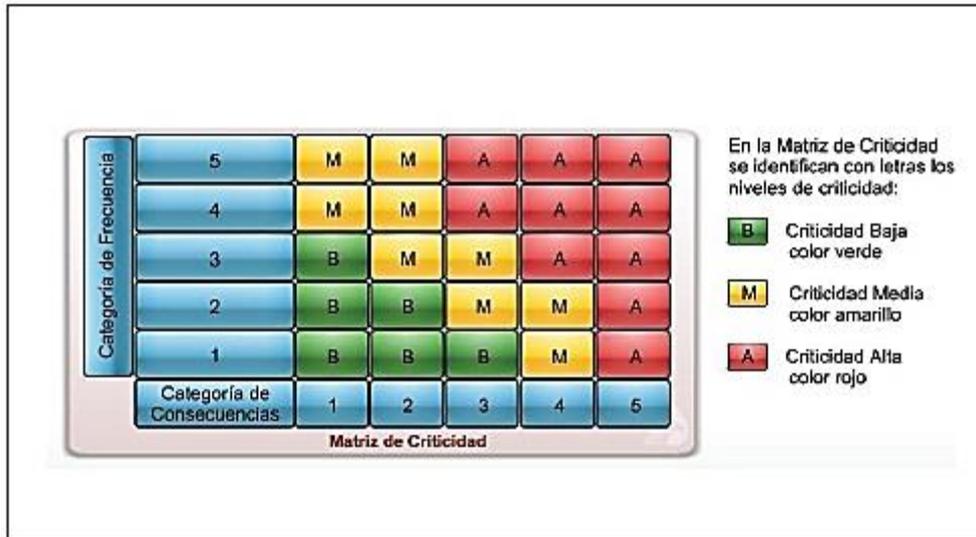
### A.1. Ficha de registro de la barredora hidromecánica Macro S45L – Municipalidad Provincial de Trujillo – 2017.

Ítem	Evaluación de la falla de la barredora hidromecánica Macro S45L	Fecha de Inicio de la falla		Fecha Final de la falla		Tiempo para reparar TPR (min)	Tiempo para reparar TPR (h)
1	Conductos obstruidos de la válvula de inclinación y elevación.	10/01/2017	9:40:00 a. m.	10/01/2017	5:30:00 p. m.	470	7.83
2	Filtro de aire obstruido.	17/01/2017	10:15:00 a. m.	17/01/2017	2:00:00 p. m.	225	3.75
3	Irregularidad de la velocidad de crucero.	25/01/2017	1:00:00 p. m.	26/01/2017	9:00:00 a. m.	1200	20.00
4	Sobrecarga en el interruptor de inclinación.	13/02/2017	8:00:00 a. m.	13/02/2017	11:00:00 a. m.	180	3.00
5	Juego en liberación de frenos.	15/02/2017	9:00:00 a. m.	17/02/2017	1:30:00 p. m.	3150	52.50
6	Corrosión en las placas positivas de la batería.	27/02/2017	2:45:00 p. m.	27/02/2017	6:00:00 p. m.	195	3.25
7	Rotura de válvula de tolva.	20/03/2017	10:00:00 a. m.	20/03/2017	4:00:00 p. m.	360	6.00
8	Fisura de la válvula de desplazamiento lateral.	4/04/2017	11:45:00 a. m.	5/04/2017	5:30:00 p. m.	1785	29.75
9	Presión insuficiente en bomba de agua.	8/04/2017	1:40:00 p. m.	8/04/2017	3:00:00 p. m.	80	1.33
10	Convertidor de torsión en cierre de sensor.	19/04/2017	11:00:00 a. m.	19/04/2017	2:00:00 p. m.	180	3.00
11	Obstrucción de válvula de cepillo lateral derecho.	6/05/2017	8:00:00 a. m.	8/05/2017	10:00:00 a. m.	3000	50.00
12	Articulaciones desgastadas del cepillo central.	10/05/2017	2:00:00 p. m.	13/05/2017	11:00:00 a. m.	4140	69.00
13	Presión insuficiente en interruptor de elevador.	22/06/2017	9:45:00 a. m.	22/06/2017	1:30:00 p. m.	225	3.75
14	Válvula reguladora o dosificadora de frenado.	16/07/2017	2:00:00 p. m.	16/07/2017	4:00:00 p. m.	120	2.00
15	Recalentamiento de bujías de incandescencia.	19/07/2017	9:00:00 a. m.	19/07/2017	2:30:00 p. m.	330	5.50
16	Pérdida de flujo en bomba de inyección.	5/08/2017	8:00:00 a. m.	5/08/2017	11:00:00 a. m.	180	3.00
17	Derrame del ácido y reducción del nivel de electrolito de Baterías.	11/08/2017	1:15:00 p. m.	11/08/2017	5:00:00 p. m.	225	3.75
18	Fisuras en palas del ventilador de aspiración.	19/09/2017	11:00:00 a. m.	20/09/2017	1:30:00 p. m.	1590	26.50
19	Conductos obstruidos de la válvula de inclinación y elevación.	28/10/2017	1:30:00 p. m.	1/11/2017	9:00:00 a. m.	5490	91.50
20	Obstrucción de válvula de cepillo lateral derecho.	12/11/2017	8:40:00 a. m.	12/11/2017	11:00:00 a. m.	140	2.33
21	Interrupcción en líneas de alimentación de combustible.	15/11/2017	2:00:00 p. m.	16/11/2017	11:00:00 a. m.	1260	21.00
22	Obstrucción del tubo de aspiración.	17/11/2017	11:15:00 a. m.	17/11/2017	5:00:00 p. m.	345	5.75
23	Baja presión de succión del ventilador.	21/11/2017	7:45:00 a. m.	21/11/2017	2:00:00 p. m.	375	6.25
24	Filtración de aire en válvula de desplazamiento lateral.	7/12/2017	1:40:00 p. m.	7/12/2017	6:00:00 p. m.	260	4.33
25	Pérdida de flujo en bomba de inyección.	16/12/2017	1:00:00 p. m.	16/12/2017	4:00:00 p. m.	180	3.00
26	Estrechamiento de conducto en válvula de cepillo izquierdo.	26/12/2017	10:00:00 a. m.	28/12/2017	1:00:00 p. m.	3060	51.00
						<b>28745</b>	<b>479.08</b>

## A.2. Ficha de registro de la barredora hidromecánica Dulevo 5000 – Municipalidad Distrital de Víctor Larco Herrera – 2017.

Ítem	Evaluación de la falla de la barredora hidromecánica Dulevo 5000	Fecha de Inicio de la falla		Fecha Final de la falla		Tiempo para reparar TPR (min)	Tiempo para reparar TPR (h)
1	Bomba inyectora mal regulada.	4/01/2017	11:00:00 a. m.	4/01/2017	2:00:00 p. m.	180	3.00
2	Sulfato de plomo en las placas en baterías.	15/01/2017	1:00:00 p. m.	15/01/2017	5:00:00 p. m.	240	4.00
3	Termostato se pega o recuesta con el resorte.	17/01/2017	8:00:00 a. m.	17/01/2017	11:00:00 a. m.	180	3.00
4	Aislador y electrodos recubiertos por incrustaciones	18/01/2017	10:15:00 a. m.	18/01/2017	2:00:00 p. m.	225	3.75
5	Válvula de inclinación obstruida	20/01/2017	9:00:00 a. m.	21/01/2017	1:00:00 p. m.	1680	28.00
6	Caída de presión en succión de bomba de refrigeración.	22/01/2017	10:15:00 a. m.	22/01/2017	2:30:00 p. m.	255	4.25
7	Irregularidad de la velocidad de crucero.	25/01/2017	1:00:00 p. m.	26/01/2017	9:00:00 a. m.	1200	20.00
8	Sobrecarga en el interruptor de inclinación.	13/02/2017	8:00:00 a. m.	13/02/2017	11:00:00 a. m.	180	3.00
9	Juego en liberación de frenos.	15/02/2017	9:00:00 a. m.	15/02/2017	1:30:00 p. m.	270	4.50
10	Rotura de filtro de aire	27/02/2017	2:45:00 p. m.	27/02/2017	6:00:00 p. m.	195	3.25
11	Corrosión en las placas positivas de la batería.	28/02/2017	2:45:00 p. m.	28/02/2017	5:00:00 p. m.	135	2.25
12	Rotura de válvula de tolva.	20/03/2017	10:00:00 a. m.	20/03/2017	4:40:00 p. m.	400	6.67
13	Fisura de la válvula de desplazamiento lateral.	3/04/2017	1:40:00 p. m.	5/04/2017	5:30:00 p. m.	3110	51.83
14	Presión insuficiente en bomba de agua.	6/04/2017	2:00:00 p. m.	6/04/2017	3:00:00 p. m.	60	1.00
15	Estrechamiento de conducto en válvula de cepillo izquierdo.	20/04/2017	11:00:00 a. m.	21/04/2017	2:00:00 p. m.	1620	27.00
16	Obstrucción de válvula de cepillo lateral derecho.	6/05/2017	10:00:00 a. m.	8/05/2017	1:00:00 p. m.	3060	51.00
17	Articulaciones desgastadas del cepillo central.	10/05/2017	2:00:00 p. m.	12/05/2017	11:00:00 a. m.	2700	45.00
18	Presión insuficiente en interruptor de elevador.	22/06/2017	9:45:00 a. m.	22/06/2017	1:30:00 p. m.	225	3.75
19	Válvula reguladora o dosificadora de frenado.	16/07/2017	2:00:00 p. m.	16/07/2017	4:00:00 p. m.	120	2.00
20	Depositos de carbón en bujías.	18/07/2017	9:00:00 a. m.	18/07/2017	2:30:00 p. m.	330	5.50
21	Pérdida de flujo en bomba de inyección.	7/08/2017	8:00:00 a. m.	7/08/2017	11:00:00 a. m.	180	3.00
22	Derrame del ácido y reducción del nivel de electrolito de Baterías.	11/08/2017	9:00:00 a. m.	11/08/2017	5:00:00 p. m.	480	8.00
23	Fisura en el área lateral del tubo de aspiración	20/09/2017	11:00:00 a. m.	21/09/2017	1:30:00 p. m.	1590	26.50
24	Insuficiente alimentación en conductos eléctricos	29/10/2017	1:30:00 p. m.	29/10/2017	5:30:00 p. m.	240	4.00
25	Obstrucción de válvula de cepillo lateral derecho.	8/11/2017	8:40:00 a. m.	9/11/2017	11:00:00 a. m.	1580	26.33
26	Interrupción en líneas de alimentación de combustible.	13/11/2017	8:00:00 a. m.	13/11/2017	11:00:00 a. m.	180	3.00
27	No llega a la velocidad de rotación de trabajo	18/11/2017	9:00:00 a. m.	20/11/2017	5:00:00 p. m.	3360	56.00
28	Baja presión de succión del ventilador.	21/11/2017	11:00:00 a. m.	21/11/2017	4:00:00 p. m.	300	5.00
29	Filtración de aire en válvula de desplazamiento lateral.	23/11/2017	1:40:00 p. m.	24/11/2017	6:00:00 p. m.	1700	28.33
30	Pérdida de flujo en bomba de inyección.	26/11/2017	9:00:00 a. m.	26/11/2017	1:00:00 p. m.	240	4.00
31	obstrucción en valvula de inclinación.	29/11/2017	10:00:00 a. m.	29/11/2017	2:30:00 p. m.	270	4.50
32	Estrechamiento de conducto en válvula de cepillo izquierdo.	5/12/2017	11:30:00 a. m.	6/12/2017	1:30:00 p. m.	1560	26.00
33	fisura en convertidor de torsión	14/12/2017	8:00:00 a. m.	14/12/2017	2:00:00 p. m.	360	6.00
34	Velocidad de rotación insuficiente	21/12/2017	10:00:00 a. m.	22/12/2017	3:00:00 p. m.	1740	29.00
						<b>30145</b>	<b>502.42</b>

### A3. Matriz de análisis de criticidad general



Fuente: Amendola, 2010.

#### A.4. Ponderaciones de criticidad para elementos de máquina

<b>Frecuencia de fallas</b>	
Elevado mayor a 40 fallas/año	4
Promedio 20-40 fallas/año	3
Buena 10-20 fallas/año	2
Excelente menos de 10 fallas/año	1

<b>Impacto Operacional</b>	
Parada total del equipo	10
Parada parcial del equipo y repercute a otro equipo o subsistema	7-9
Impacta a niveles de producción o calidad	5-6
Repercute en costos operacionales asociado a disponibilidad	2-4
No genera ningún efecto significativo	1

<b>Flexibilidad Operacional</b>	
No existe opción igual o equipo similar de repuesto	4
El equipo puede seguir funcionando	2-3
Existe otro igual o disponible fuera del sistema (stand by)	1

<b>Costo de mantenimiento</b>	
Mayor o igual a US\$ 400 (incluye repuestos)	2
Inferior a US\$ 400 (incluye repuestos)	1

<b>Impacto a Seguridad Ambiente e Higiene</b>	
Accidente catastrófico	8
Accidente mayor serio	6-7
Accidente menor e incidente menor	4-5
Cuasi accidente o incidente menor	2-3
Desvío	1
No provoca ningún tipo de riesgo	0

Fuente: Amendola, 2010.

## A5. Hoja de información del AMEF

	<b>Equipo :</b>	<b>Realizado Por :</b>	<b>Fecha:</b>	<b>Hoja N°</b>
	<b>Sistema :</b>	<b>Revisado Por :</b>	<b>Fecha:</b>	<b>De:</b>
<b>Función</b>	<b>Falla Funcional</b>	<b>Modo de Falla (¿Que causa la falla?)</b>	<b>Efecto de falla (¿Que ocurre cuando falla?)</b>	
1	A	1		

Número Correspondiente a la Función

Letra correspondiente a la Falla Funcional

Número Correspondiente al Modo de Falla

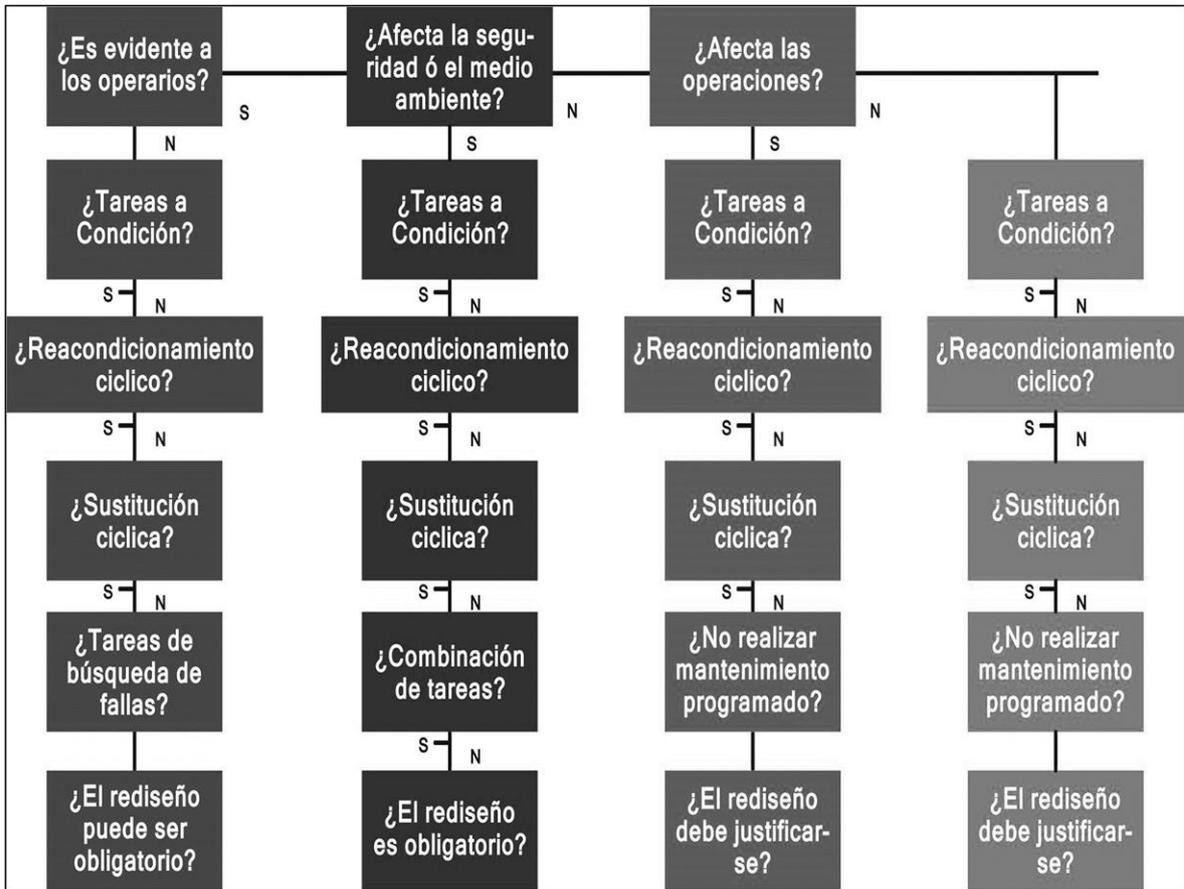
Fuente: Mora, 2009

### A.6. Hoja de decisión del AMEF

	<b>Equipo :</b>	<b>Realizado Por :</b>	<b>Fecha:</b>	<b>Hoja N°</b>
	<b>Sistema :</b>	<b>Revisado Por :</b>	<b>Fecha:</b>	<b>De:</b>
<b>Función</b>	<b>Falla Funcional</b>	<b>Modo de Falla (¿Que causa la falla?)</b>	<b>Efecto de falla (¿Que ocurre cuando falla?)</b>	
1	A	1		

Número Correspondiente a la Función     
 Letra correspondiente a la Falla Funcional     
 Número Correspondiente al Modo de Falla

### A7. Árbol lógico de decisiones del AMEF



Fuente: Améndola, 2002

### A8. Índices del número de prioridad de riesgos NPR

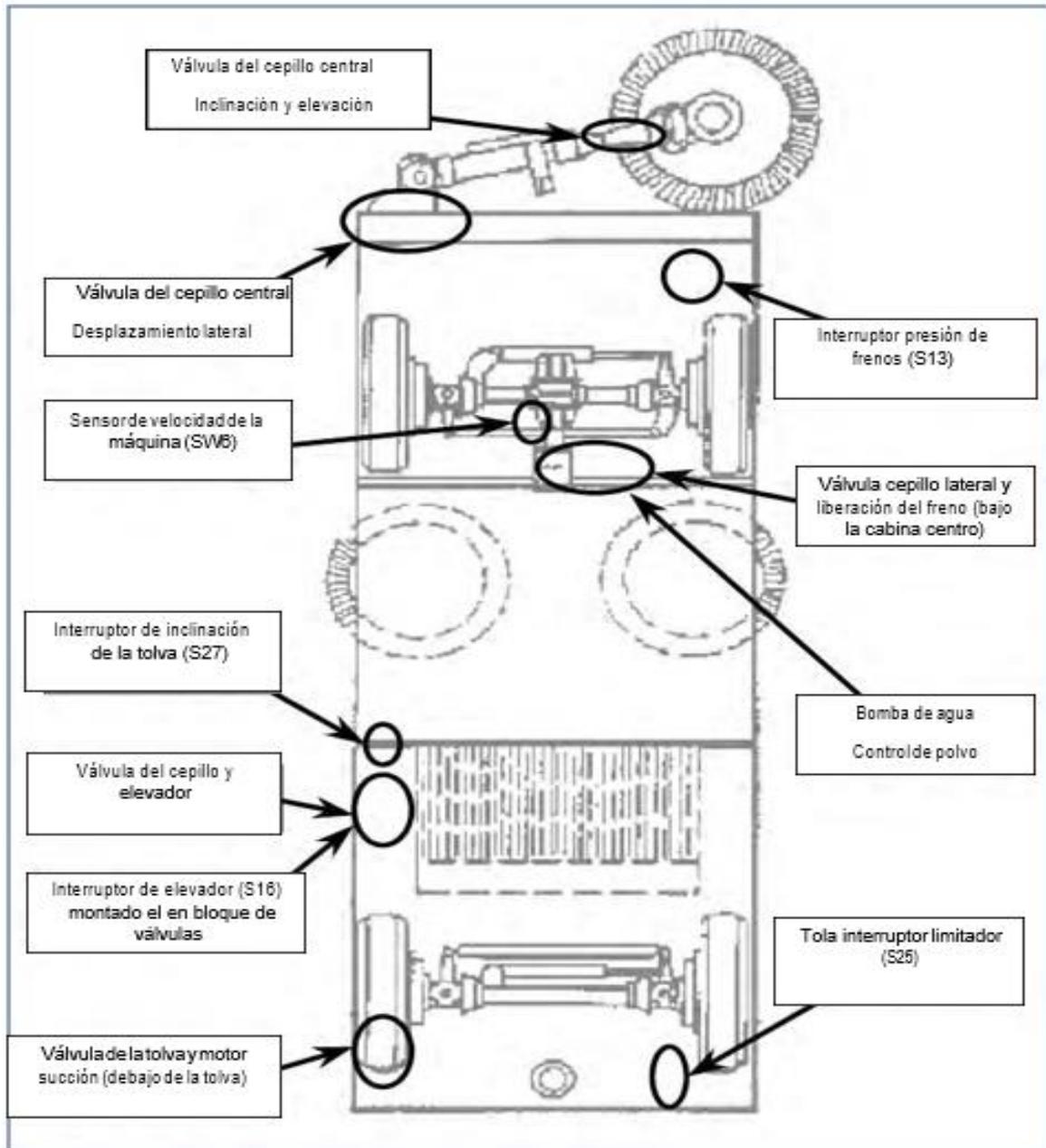
Ocurrencia	
Descripción	Puntaje
1 falla en más de 2 años	1
1 falla cada 2 años	2-3
1 falla cada 1 año	4-5
1 falla entre 6 meses y 1 año	6-7
1 falla entre 1 a 6 meses	8-9
1 falla al mes	10

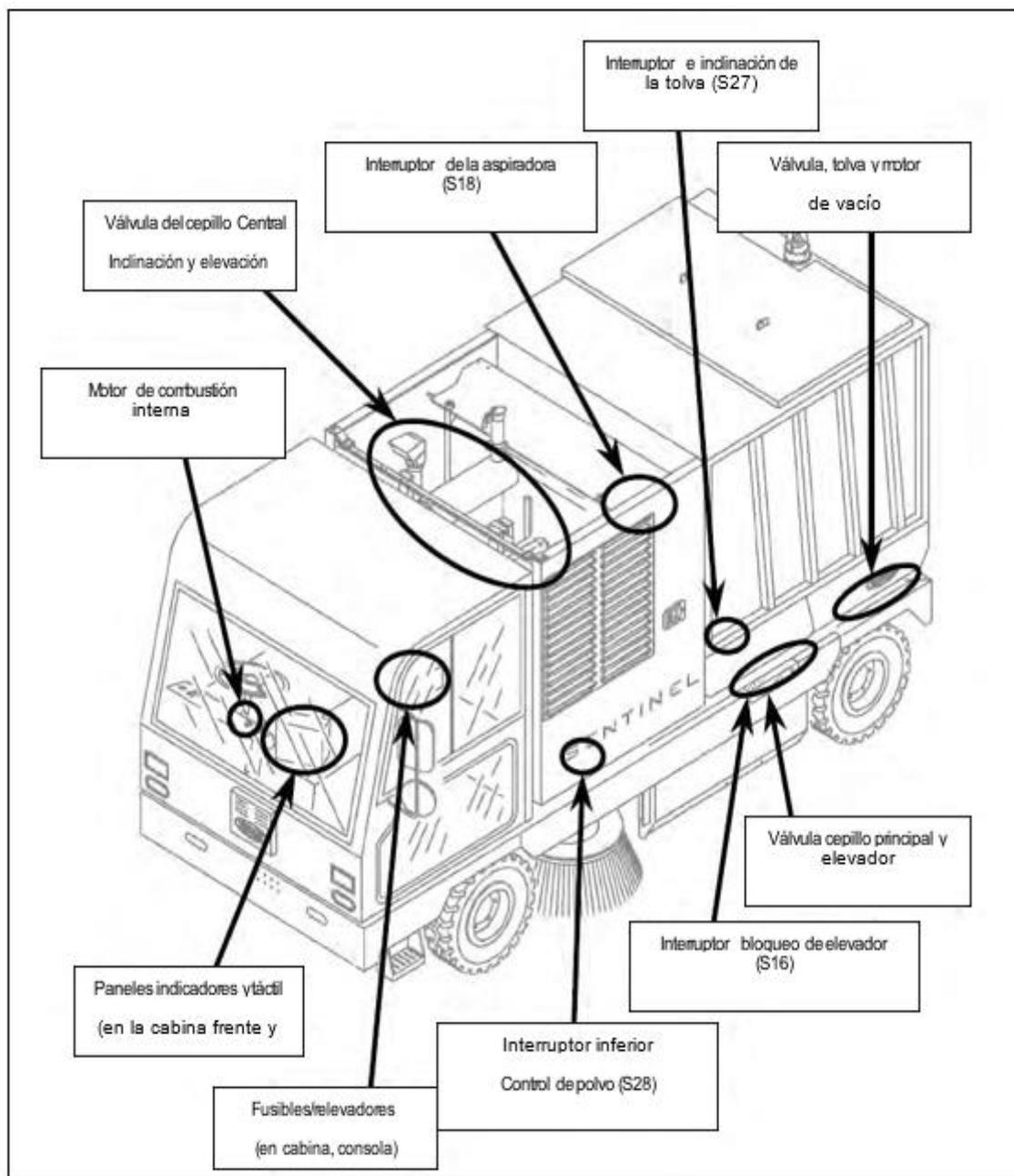
Gravedad	
Descripción	Puntaje
Ínfima, imperceptible	1
Escasa, falla menor	2-3
Baja, fallo inminente	4-5
Media, fallo, pero no para el sistema	6-7
Elevada, falla crítica	8-9
Muy elevada, con problemas de seguridad, no conformidad	10

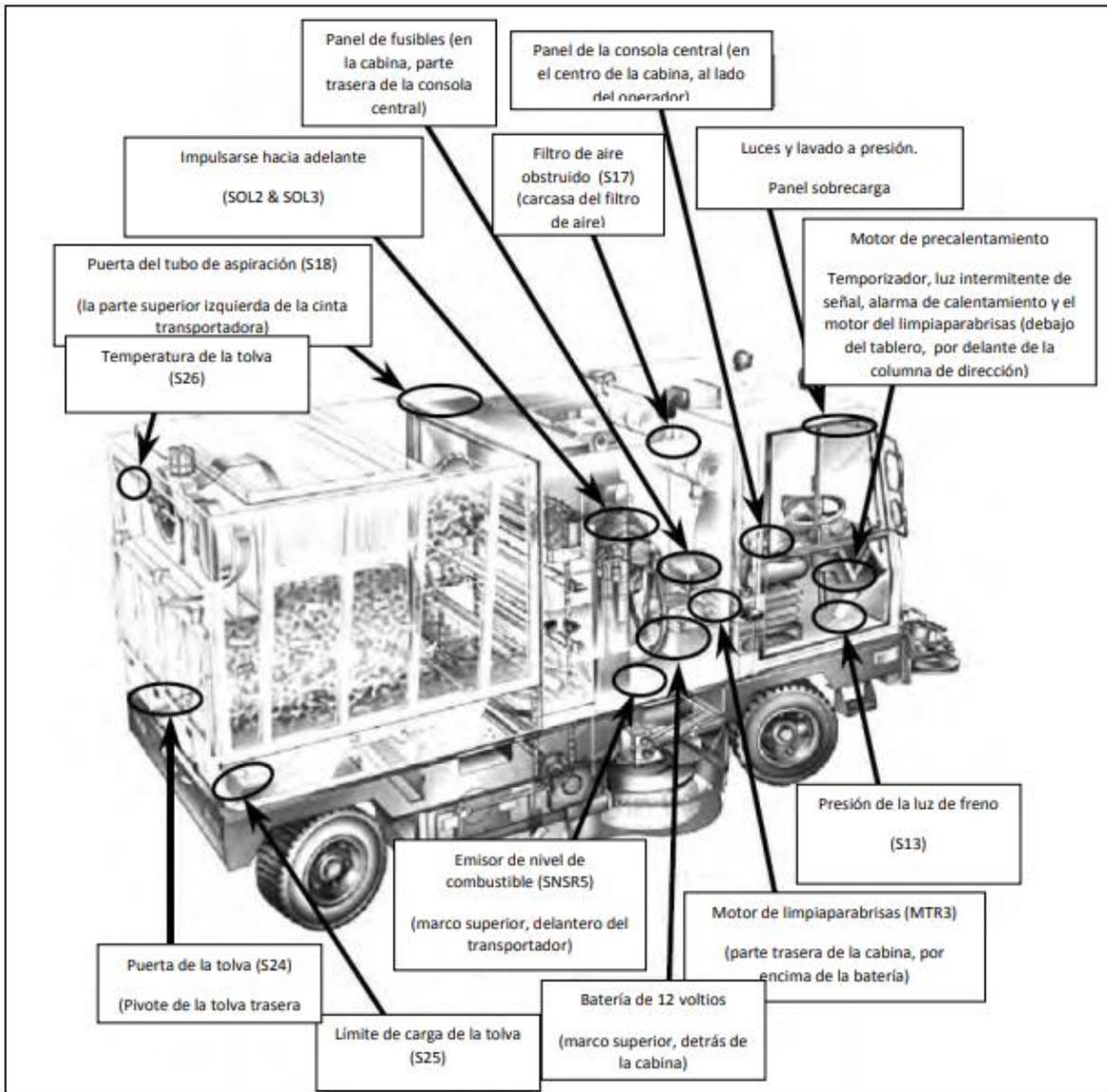
Detección (dificultad de detección)	
Descripción	Puntaje
Obvia	1
Escasa	2-3
Moderada	4-5
Frecuente	6-7
Elevada	8-9
Muy elevada	10

Fuente: Mora, 2009.

### A.9. Ubicaciones críticas de las barredoras hidromecánicas







## A.10. Ficha de especificaciones técnicas de la barredora hidromecánica Macro S45L



### MACRO S45L

La barredora MACRO S45L con SISTEMA MECANICO ASPIRANTE con Capacidad de Tolva de Residuos de 5000 litros, es apta para todas las necesidades de barrido urbano e industrial. La barredora MACRO S45L es la primera de su género, con tracción trasera y se distingue por una gran potencia, capacidad de carga y facilidad de uso, manteniendo en alto la contribución de la innovación tecnológica que caracteriza a cada máquina Macro. MACRO S45L: síntesis de fuerza y rendimiento.

La barredora MACRO S45L cuenta también con un dispositivo para superar huecos, desniveles rompe muelles, tapas de registro, etc. en su fase de trabajo. Este sistema posibilita que en la fase de trabajo la barredora pueda superar los rompe muelles de las vías o desniveles sin tener que detener su fase de barrido, la barredora MACRO S45L es una máquina de alto rendimiento diseñada y construida para los entornos más exigentes.

MACRO S45L, sensible al respeto del medio ambiente, opta por motores de baja emisión y los usos de alta retención de los filtros de aire para partículas de las emisiones de PM10.

MACRO S45L cuenta con un Sistema de Suspensión que permite al operador un excelente confort y seguridad durante el traslado y un ideal auto nivelado de la escobilla central y de las paletas transportadoras en el momento del barrido.

MACRO S45L esta equipa con una Cabina Homologada de Tres Asientos, el asiento central del piloto y los grandes ventanales permiten al operador una visibilidad excepcional y los tres asientos homologados permiten que dos personas se sumen o conformen un equipo ideal para la limpieza.

La barredora MACRO S45L puede venir en dos versiones: MACRO S45LRS esta versión es en es con 2 ruedas posteriores y MACRO S45LRG esta versión cuenta con 4 ruedas posteriores (ruedas gemelas) permitiendo soportar mayor peso (kg) en la tolva de residuos.



DATA TECNICA	S45LRG
Longitud	5200 mm
Ancho	1930 mm
Altura	2850 mm
Capacidad Tolva de Residuos	5000 lts
Tracción	Posterior
Dirección	Delantera
Ejes	2 (Ruedas Gemelas Posteriores)
<b>MOTOR</b>	
Marca	Mercedes Benz 129 kw / 175.44 CV
Alimentación	Diesel
Transmisión	Hidrostática
Máxima Velocidad	40 km/h
Pendiente	26%
<b>SISTEMA DE BARRIDO</b>	
Tipo de Barrido	Mecánico Aspirante
Filtro	Tipo Saco - Sintético
Tanque de Agua	620 lts
Franja de Barrido	2500 mm
3era Escobilla (Opcional)	3300 mm
Productividad (Veloc. Máxima de Trabajo – 25 km/h)	82,500 m2/h

**A.11. Ficha de especificaciones técnicas de la barredora hidromecánica Dulevo 5000**

## **Barredora 5000 EVOLUTION**



### **Ficha Técnica**

Sólo Cepillo central -estándar- (mm)	1,300
Con Cepillo lateral derecho-estandar-(mm)	2,600
Con dos Cepillos laterales-opc-(mm)	3,500
Con dos Cepillos laterales-opc-(mm)	--
Con dos Cepillos laterales y tercer cepillo-opc-(mm)	1,100
Diámetro cepillo lateral (mm)	650
Diámetro cepillo central (mc/h)	105,000
Rendimiento horario (mc/h)	--
Capacidad de la tolva de residuos (Lt)	5,000
Superficie filtrante (mc)	22
Velocidad máxima (km/h)	42
Peso (kg)	7,800
Motor	IVECO F4HE948
Número de cilindros	4
Alimentación	Diesel
Potencia máxima	107 KW
Refrigerado por	Líquido
Largo (mm)	5,190
Ancho (mm)	2,350
Altura (mm)	2,870
Largo con tercer cepillo y aspirador (mm)	5,920
Frenado de servicio mecánico	--

