



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

**APLICACIÓN DEL MÉTODO DE EFICIENCIA GENERAL DE EQUIPOS
PARA MEJORAR LOS INDICADORES DEL MANTENIMIENTO DE LOS
EQUIPOS PESADOS DE PROMAQ PERU S.A.C.**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Mecánico

AUTOR:

Zumaeta López, Robin (ORCID: 0000-0002-6172-6644)

ASESOR:

Peláez Chávez, Víctor Hugo (ORCID: 0000-0001-8027-4295)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Sistemas de Gestión de Mantenimiento

TRUJILLO – PERÚ

2021

DEDICATORIA

Al Todopoderoso

Porque es dador de vida, de las fuentes de las aguas y si vivo es gracias a él y todo lo que soy se lo debo a Jesucristo el que tiene un nombre que es sobre todo nombre, por las bendiciones recibidas en mí vida, en mi familia, en mis estudios y en la presente tesis.

A mi asesor

Que me ha dado su apoyo incondicional, su valioso tiempo y conocimientos para el desarrollo de esta investigación.

Plana docente

Debido a ellos he adquirido competencias en lo académico y en lo actitudinal. En las habilidades adquiridas sabiendo que a través de estos años pasados en los claustros universitarios he tenido bueno y malos momentos, pero el apoyo recibido ha sido trascendental.

Mis padres

Por la educación recibida, por el amor recibido, por encaminarme a los caminos de Jesucristo.

Querida esposa e hijos

Gracias porque me has dado mucha comprensión, respaldo, por ser empática, por la ayuda carismática, que me ayudó a alcanzar mis objetivos.

AGRADECIMIENTO

Al Todopoderoso, dador de vida y la fuente de las aguas, quien da la vida y bendice a quienes lo siguen.

Expreso mi gratitud a los que laboran en Promaq quienes han apoyado en la presente investigación.

Agradezco al asesor y docentes los cuales han apoyado en todo el proceso de la investigación culminada.

INDICE

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Indice	iv
Resumen	v
Abstract	vi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MÉTODO.....	15
2.1 Tipo y diseño de investigación.....	15
2.2 Operacionalización de variables.....	15
2.3 Población, muestra y muestreo.....	16
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.	16
2.5 Métodos de análisis de datos.....	17
2.6 Aspectos éticos	17
III. RESULTADOS.....	18
3.1 Diagnostico la situación actual del mantenimiento en Promaq Perú SAC.....	18
3.2 Programa de mantenimiento preventivo	43
3.3 Post prueba y su comparación con la pre prueba.....	47
3.4 Reducción de costos post prueba con relación a la pre prueba	64
IV DISCUSIÓN	66
V. CONCLUSIONES.....	68
VI. RECOMENDACIONES.....	70
REFERENCIAS	71
ANEXOS.....	76

RESUMEN

La presente investigación se basa en la problemática de la carencia de aplicar el método de OEE para mejorar los indicadores del mantenimiento, lo cual ocasiona reparaciones imprevistas de los montacargas MC1, MC4 y MC3 de Promaq Perú SAC.

Se realizó un estudio de criticidad sobre los 5 montacargas que tiene Promaq Perú SAC, y se encontró 3 con mayor criticidad.

Se logró realizar el diagnóstico para los meses de enero - junio del 2019 concluyéndose que el nivel de disponibilidad en dicho semestre fue de 94.5% MC1, 94.9% MC4 y 95.3% MC3, la confiabilidad en 98.947% MC1, 98.952% MC4 y 98.957% MC3 y la mantenibilidad en 16.63% MC1, 20.53% MC4 y 24.51% MC3, así como también se muestra la programación del mantenimiento del subsistema “Motor” “Subsistema Hidráulico” subsistema eléctrico para cada componente relacionado con el motor de los montacargas y se ha programado el mantenimiento para 12 meses a partir de julio del 2019 hasta junio del 2020 indicándose la frecuencia de mantenimiento por cada componente. Los gastos de las pérdidas por fallas que han ocurrido en el pre y post prueba se han reducido en 50.6% los costos gracias al programa de mantenimiento.

Se concluye que se ha incrementado la eficiencia del MC1 de 11.99% a 21.64%, para MC4 incrementó de 18.45% a 29.63% y para MC3 incrementó de 19.80% a 52.68% siendo muy significativo el incremento de la eficiencia en el montacargas MC3.

Palabras clave: Eficiencia General de Equipos, mejorar Indicadores, mantenimiento.

ABSTRACT

The present investigation is based on the problem of the lack of applying the OEE method to improve maintenance indicators, which causes unforeseen repairs of the MC1, MC4 and MC3 forklifts of Promaq Peru SAC.

A criticality study was carried out on the 5 forklifts that Promaq Peru SAC has, and 3 were found with greater criticality.

The diagnosis was made for the months of Jan-Jun of 2019, concluding that the level of availability in said semester was 94.5% MC1, 94.9% MC4 and 95.3% MC3, reliability in 98.947% MC1, 98.952% MC4 and 98.957% MC3 and maintainability at 16.63% MC1, 20.53% MC4 and 24.51% MC3, as well as the maintenance schedule of the “Motor” “Hydraulic Subsystem” subsystem, electrical subsystem for each component related to the forklift motor, and has been shown scheduled maintenance for 12 months from July 2019 until June 2020 indicating the frequency of maintenance for each component. The expenses of the losses due to failures that have occurred in the pre and post test have reduced costs by 50.6% thanks to the maintenance program.

It is concluded that the efficiency of MC1 has been increased from 11.99% to 21.64%, for MC4 it increased from 18.45% to 29.63% and for MC3 it increased from 19.80% to 52.68%, the efficiency increase in MC3 forklifts being very significant.

Keywords: General Equipment Efficiency, improve Indicators, maintenance.

I. INTRODUCCIÓN

En las empresas que utilizan maquinarias pesadas se realiza más mantenimientos por fallas no previstas y es consecuencia porque no utilizan el método de eficiencia general de equipos (OEE) para mejorar indicadores durante las revisiones técnicas que realizan a las maquinarias pesadas. Para las empresas que venden maquinarias pesadas, alquilan o dan mantenimiento correctivo a dichos equipos pesados, tienen limitaciones para determinar la eficiencia de la operatividad de las máquinas pesadas, como son los montacargas.

Las revisiones técnicas no previstas se diferencian de las previstas debido a que el primero es el resultado de una revisión por fallas no previstas realizadas en las maquinarias. Las revisiones por fallas imprevistas y son más costosas debido a que no han sido previstos en una revisión programada y ocasionan parada de máquinas y/o equipos que incluyen piezas que no han sido programadas para su mantenimiento, además, hay costos ocultos debido a la paralización en la cadena de producción y conlleva a un incumplimiento de la producción programada (Zegarra Ventura, 2015).

La empresa central hidroeléctrica Cahua-Lima, los objetivos que se han trazado no se alcanzaron sobre la disponibilidad de equipos, así como la mantenibilidad y la confiabilidad de maquinarias que son establecidos por la gestión de operaciones de energía, lo cual ha sido ocasionado por la falta de un adecuado mantenimiento correctivo programado. Ellos necesitan solucionar dicha problemática en el tiempo establecido en la revisión de los equipos de la empresa porque los defectos que se han presentado en forma imprevista han afectado la operatividad del equipo, por lo tanto, los subsistemas que tienen incidencia en la calidad se han localizado a través de un mantenimiento correctivo imprevisto (Angulo Porras, 2017).

Tachira (2019) manifiesta que así también, en las empresas se ha incrementado el mantenimiento correctivo imprevisto hasta llegar al 45%, debido a paradas no programadas, los tiempos de paradas programadas no han sido óptimos, pero se pueden reducir hasta un 42%. Actualmente las empresas no determinan la calidad, mantenibilidad y disposición de las máquinas son deficientes, es decir, no han dado los resultados esperados por el nivel de averías imprevistas. Para ello tendrían que reducir los gastos de recursos en las correcciones de las averías no previstas hasta 18%.

Además de los gastos de las correcciones de fallas que son altos y ocasionados por contratar a terceros por mantenimientos correctivos imprevistos, la industria tiene gastos del personal competentes debido a que si una maquinaria se vuelve inoperativa afecta en el tiempo programado para su uso. Estas paradas imprevistas ocasionan tiempo perdido por no estar operativa la máquina o equipo, y para recuperar el tiempo perdido se programan sobretiempos con personal competente. En el momento que los deterioros se incrementan la organización realiza una paralización del personal debido a las fallas no previstas. Además, de los problemas logísticos que se ocasionan por mantenimiento correctivo imprevisto, debido a las paradas imprevistas que retrasan las entregas a los clientes reprogramando el tiempo de trabajo de las máquinas o equipos. Además, generan pérdidas económicas con los clientes que trae también problemas sociales, que ocasionan pérdidas en los trabajadores que dejan de percibir sus remuneraciones (Villegas Arenas, 2016).

El mantenimiento correctivo imprevisto es consecuencia de una falla que puede paralizar la producción, con horas hombre improductivas de operaciones, inclusive puede dejar inoperativa por un largo tiempo a la máquina. Cuando existe alta disposición de las máquinas no significa que existe una elevada calidad, pero una elevada calidad si tiene una elevada disposición y mantenibilidad, reduciendo las fallas. Se determina la calidad que es el resultado de la calidad individual de cada subsistema que lo constituye. (Rodríguez, 2014).

Como se puede observar que el mantenimiento correctivo imprevisto en las maquinarias genera una disponibilidad de los equipos de 87.4%, lo cual significa un excesivo porcentaje en tiempos perdidos lo que representa 12.6% por paradas imprevistas en las maquinarias de una empresa agroindustrial Cartavio S.A.A. (Campos Ventura, 2017).

Por ende, el mantenimiento correctivo imprevisto ocasiona que la disponibilidad disminuya en la máquina con alta criticidad, que supera el 10%, en otras palabras, torno se redujo de 93.84% a 83.33 %; fresadora de 94.79% a 84.72% y mandriladora de 96.96 a 86.97, reduciendo la calidad de las máquinas. Además, se incrementó los costos por mantenimiento correctivo imprevisto de S/. 38, 659 a S/. 99,471 soles, es decir, se genera una pérdida de 60,812 soles, el costo que representa 61.14 % de los costos. (Ramos Sparrow, 2017).

Así como hay distintas empresas a nivel nacional que se dedican al rubro de mantenimiento también existe la empresa Promaq Perú SAC, que es de servicio que se ha especializado en alquilar, dar mantenimiento, reparar vender maquinarias pesadas montacargas, grúas telescópicas y articuladas, camiones grúas y transporte de carga por carretera, además esta empresa vende repuestos y da servicio de mantenimiento correctivo de las maquinarias pesadas (PROMAQ PERU SAC, 2019).

La problemática de Promaq Perú SAC que tiene 5 montacargas, es la falta de aplicación del método de OEE para mejorar los indicadores del mantenimiento y el trabajo de corregir las fallas no previstas, es decir, parada imprevista de las maquinarias pesadas debido a las fallas frecuentes. El aumento del trabajo de eliminar las fallas de imprevistos afecta de manera significativa la vida útil de las máquinas pesadas, aumentando los sobrecostos de los elementos que se deben reparar, lo cual impide el uso de las máquinas pesadas en tiempos programados. La carencia de no aplicar OEE se muestra en la escasez de supervisión mediante nuevos formatos, nuevos procedimientos y mayor supervisión, los trabajadores no han recibido capacitaciones para reducir los deterioros imprevistos de maquinarias pesadas. La carencia en coordinación de las áreas afecta a la coordinación de las tareas y la programación de las máquinas pesadas para su revisión técnica y la falta de aplicación de OEE para la corregir fallas de maquinarias pesadas.

Después de haber detallado la realidad problemática de la empresa se procede a mencionar los antecedentes encontrados en relación al mantenimiento y cómo influye en el ámbito laboral y social en Promaq.

Con respecto al OEE que optimiza el mantenimiento de las maquinarias en la revista Rodríguez y De La Cruz (2015), manifiestan que hay una preocupación por mejorar la productividad, y esto conlleva a disminuir o desaparecer las paradas imprevistas que equivale a los mantenimientos correctivos por imprevistos. La (OEE) busca ser más efectivos, incrementando la productividad no solamente de las máquinas sino de los trabajadores y se observa que las máquinas y equipos que actualmente no tienen un mantenimiento adecuado lo cual urge implementar la mejora de la disponibilidad, rendimiento, confiabilidad de las maquinarias. Los autores de este artículo manifiestan que se debe implementar OEE o eficiencia general de las maquinarias^{1°}, que permite mostrar la disminución de la producción por las paralizaciones no previstas de las máquinas. La implementación de TPM en una línea piloto dentro de una empresa que produce productos

de belleza. Los autores demostraron en el año 2013, que al aplicar OEE, el promedio con OEE fue de un 61% y en el año 2014 se incrementó el OEE a 70.14%. Se implementó TPM y la mejora fue de 10% en la eficiencia del equipo, y se disminuyó el mantenimiento por imprevistos, así como el tiempo de reparación de las fallas ocurridas.

De igual forma Buelvas y Martínez (2014) buscaron mejorar el mantenimiento correctivo a través de la creación de plantillas para registrar las ordenes de los servicios, así como las listas de supervisión. El autor busca un trabajo sistemático y controlado del mantenimiento, facilitando la información mediante los indicadores que propusieron para calcular la disponibilidad de las máquinas y equipos mes a mes y así poder ejecutar oportunamente el mantenimiento correctivo programado. Los historiales de las máquinas permiten tener control a la información de la máquina. Hicieron un control en las maquinarias y se localizó errores en el monitoreo de las maquinarias y también errores en la supervisión de mantenimiento. El plan se probó en un periodo de prueba piloto de las tareas, los autores registraron los incrementos de la disposición en 9% en un horizonte trimestral, lo cual demuestra la eficiencia del trabajo. Se debe tomar en cuenta que se debe ajustar los planes de mantenimiento en función a su mejoría en función a su evolución en las tareas propuestas y se debe considerar un periodo de prueba para comprobar las estimaciones dadas.

Díaz (2014), empadronó las maquinarias y equipos de la empresa y los componentes y subcomponentes de las maquinarias. Se diseñó una tarjeta maestra con una hoja de vida de las maquinarias. Se verificó a través del SW DMS (Dinamic Modular System) las estadísticas de verías, se realizó tareas de reparación de fallas en función de las urgencias, se elaboró instrucciones y se elaboró tableros de supervisión. En el mantenimiento planificado se diseñó la tarjeta maestra, en la que se registraron los datos más relevantes de la maquinaria. Luego se registraron los cambios y reemplazos según la guía de mantenimiento incluyendo las incidencias de cada componente. Después se diseñaron los tableros de control basado a las operaciones de los horómetros de la maquinaria y se capacitó a los técnicos en relación al mantenimiento preventivo (Díaz Gonzalez, 2014).

Castillo (2016) manifestó que hay carencia en las Pymes, de un sistema que esté automatizado el mantenedor de máquinas mediante un SW. La programación del mantenimiento, se redujo de nueve pasos a cuatro, con lo cual redujo el tiempo de mantenimiento, de esta forma se mejoró la operatividad de los montacargas de una empresa

en la ciudad de Guayaquil. Se alargó la operatividad de 20 años a 30 años (Castillo Villavicencio, 2016).

De tal forma Guerra (2014) diagnosticó que las maquinarias pesadas de ICCGSA usaba deficientemente el plan de lubricación en relación al engrase de los puntos. El autor elaboró una planificación de la lubricación y logró incrementar la disposición en un 24.6% de las maquinarias, usó Excel tablas para el control del aceite, diseñó cartillas de control del engrase de la maquinaria. Después especificó por escrito las tareas para asignar responsabilidades a los trabajadores, recolectó muestras de aceite, y realizó un back log que sirve como data histórica y observar la disponibilidad a futuro según su tendencia (Guerra Poma, 2014).

Así mismo, Guevara y Tapia (2015) propusieron una Planificación de revisión técnica para tener mayor disposición de sus maquinarias; diagnosticaron el actual sistema de mantenimiento. Los autores identificaron lo que origina las fallas que ocasionan paralización no previstos, determinaron la evaluaron la disponibilidad y calidad de equipos y se elaboró una planificación de mantenibilidad de equipos la cual estuvo en el rango los 97.08% y 99.96, se recomendó mayor integración entre las diversas áreas para tener facilidad de decidir en equipo.

Bernilla (2016) implementó una Planificación de Mantenibilidad Preventiva para incrementar el rendimiento de volquetes de BAZHER S.R.L., diseñó las fichas técnicas para supervisar la mantenibilidad de los volquetes. Cuando se ejecutó la Planificación de la Mantenibilidad, alcanzó un nivel de disponibilidad del 99,34%, el periodo entre averías se redujo a 240 hrs de operatividad y el gasto del año se redujo a S/. 53 459,48, alcanzando una reducción equivalente a 26% por año (Bernilla Purihuaman, 2016).

Tuesta (2017) diagnosticó la actual mantenibilidad basado en las fallas y demás índices de gestión de mantenibilidad, la muestra fueron los equipos de mayor criticidad. El autor determinó el TPM y la disponibilidad de los equipos fue del 88%, encontró las causas de las fallas de los equipos de mayor criticidad. Se analizó los componentes que generan las averías de los equipos y se propusieron tareas para controlar las fallas en los equipos de mayor criticidad. Además, se constató que es factible la mejoría de la planificación de la mantenibilidad incrementándose la disponibilidad a 91% y se ahorró s/.105,814.52 (Tuesta Yliquib, 2014).

Ccapacca (2018) implementó una gestión de la mantenibilidad y se incrementó la disponibilidad de los montacargas en las diversas áreas, ya que el autor evidenció que antes fue de 64.00% y después 92.40% teniendo un incremento de 28.40%, demostrándose que existe diferencia de medias en la mantenibilidad de 31.50% a 20.40%, se redujo en 11.1%, se incrementó la calidad de 34.60% a 80.30%, se incrementó en 45.70%. Los resultados han demostrado mayor mantenibilidad y disponibilidad de los equipos pesados. (Ccapacca Medina, 2018).

En el entorno de la localidad donde se investiga, Ramos (2017) tomó como muestra 23 máquinas. Se determinó la criticidad en 4 máquinas tomando aquellas que tienen mayores deterioros: máquina de fresado, de torno, de mandrilado. El indicador se calculó de mantenibilidad, se determinó bajo nivel de disponibilidad, el cual se mejoró después de ejecutar la planificación de mantenibilidad preventiva, lográndose incrementar la disponibilidad en 10%, la máquina de torneado, arrojó de 83.3% a 93.8%; así también el fresado de 84.72% a 94.79% y de igual forma el mandrilado de 86.97% a 96.96%, mejorándose la calidad de las maquinarias. Se demostró que la planificación de la mantenibilidad preventiva fue factible. (Ramos Sparrow, 2017).

Alvarado (2017) determinó que el actual mantenedor utilizado en Stracon G y M se hacía inspecciones rutinarias. El autor determinó la distribución de mano de obra como trabajo que debe ser planificado durante la prevención de fallas. Para diagnosticar el aceite lubricante, realizó un análisis estadístico y realizó tres ensayos experimentales de un aceite lubricante; y evaluó ciertos indicadores con su tendencia. Aplicó la base de datos en la cual registró la programación de los mantenedores de maquinaria. Hizo un análisis evaluativo del aceite por periodo de tiempo y utilizó informe SOS de Ferreyros aplicado a las máquinas. Se realizó un monitoreo de los componentes de las maquinarias, a través de la inspección de los lubricantes respectivos utilizados, con la finalidad de prolongar la V.U. de los componentes mejorando la mantenibilidad y prevención de fallas, mejorando la productividad y bajando los costos de mantenibilidad (Alvarado Beltrán, 2017).

Reyes (2018) determinó que, para establecer procedimientos de Mantenimiento Preventivo para los montacargas en campo, además de la información técnica del fabricante (manuales de operación, manuales de partes, manuales de reparación), tenía que tomar en cuenta la condiciones en la cuales van a trabajar estas máquinas (los turnos de trabajo por día, medio ambiente el cual va operar la máquina, la experiencia de los usuarios con la maquina). Para

poder planificar los trabajos correctivos en los montacargas, era necesario recopilar la información que obtiene el personal técnico durante las tareas de mantenimiento, elaborar formatos de mantenimiento preventivo e inspección que le permitan al personal técnico determine las averías detectadas, para que el supervisor pueda revisar el formato y programar el correctivo. Para utilizar la herramienta de monitoreo por análisis de aceite, tenía que elaborar un instructivo y así poder tener una toma correcta de la muestra de aceite y capacitar al personal en su uso correcto. Así mismo el supervisor tenía que planificar el tiempo en revisar los resultados de las muestras, para detectar si hay presencia de anomalías y poder programar el correctivo que se necesite. El autor logró estimar el costo de los mantenimientos preventivos, en base al costo de los repuestos (filtros y aceites utilizados), los gastos debido a los trabajadores y gastos del análisis de aceite por muestra analizada (Reyes Villarruel, 2018).

Ponce (2017), conformó 20 colaboradores de Sider-Perú Calculó la OEE y el autor verificó la data de disposición, calidad y mantenibilidad. Para esto utilizó la técnica de Pareto identificando las principales causas raíces que ocupa la mayor cantidad de tiempo de paralización de maquinarias cuya data fue relevante para diagnosticar la situación actual. Se utilizó el SW POM arrojando 14,721 por desplazamiento, fueron ingresados la data estableciendo el ingreso del ambiente para un nuevo desplazamiento en la metodología de numeral explicitada en los resultados finales fue de 3,000 movilización por desplazamiento. Así optimizó los desplazamientos, por consiguiente, la cola de esperar para ser atendidos es reducida, el autor incrementó la mantenibilidad de las maquinarias (Ponce Marreros, 2017).

Así como también se encontró la revista Ingeniería Mecánica donde Consuegra y otros (2017) diseñaron el Método de Disponibilidad Dupont y se comparó con los indicadores de OEE que disminuye la mantenibilidad de las maquinarias. Los autores obtuvieron data histórica 2015 de una industria que produce agua purificada. Después de aplicar el modelo se constató que la Metodología Dupont permite conocer cuál de los subsistemas disminuye indicadores de disponibilidad, mantenibilidad, calidad de las maquinarias en el rango de tiempo evaluado.

Así como Álvarez y Sánchez (2016) en la revista Ontare, los autores manifiestan que la eficiencia general de los equipos se aplica una medición la cual mide el OEE y de las líneas de producción. La medición se desarrolló usando TPM que integra la D, R y la C de las

máquinas y los equipos. Este indicador no se usa adecuadamente ya que solo se determina el KPI y no se realiza el análisis del comportamiento de los equipos con OEE y recomienda el uso de OEE para mejorar el OEE.

Después de haber descrito los antecedentes se procede a la construcción del marco teórico con respecto al mantenimiento.

El mantenimiento son las tareas imprescindibles en la cual se busca conservar o volverla operativa una maquinaria minimizando costos buscando la prevención y corrección de fallas, minimizar la criticidad de los equipos. (Prando, 1996).

El objetivo de tener mantenibilidad en las maquinarias es reparar fallas en tiempo óptimo y con el menor costo, de tal forma no se paralice la producción (Siccha Reyes, 2017).

La razón de tener mantenibilidad es tener el mayor tiempo en operatividad las maquinarias con efectividad. Encierra todas las tareas que se requieren para tener mantenibilidad en las maquinarias, evitar, minimizar y arreglar las averías presentadas, evitando la paralización de las máquinas por fallas imprevistas, evitando accidentes y evitando daños en el medio ambiente (Reyes Villarruel, 2018)

El tener mantenedores afecta en el nivel de confiabilidad y cantidad producida.

Existen varios tipos de mantenimiento, entre ellos son:

Mantenimiento Correctivo, trata de reparar cuando ocurre un desperfecto que paraliza la máquina. Se diseña un plan en el que se programan los repuestos, la mano de obra y los tiempos y costos de reparación (Siccha Reyes, 2017).

Se elabora la planificación de la mantenibilidad de las maquinarias si se tiene suficientes equipos o maquinarias y la reparación sea rápida, económica, y sin paralizaciones en la producción. (Ortega, 2008).

Es aquel que busca reparar la falla una vez que se presentó el desperfecto. y la paralización súbita del equipo o maquinaria. El Mantenedor de Campo. Se busca reponer maquinarias, aunque no se elimine en su totalidad la falla la cual generó deterioro. Mantenedor Curativo: Repara en su totalidad incluyendo la causa que originó la falla. Tienen almacenes de repuestos sin control, es decir, no hay una adecuada gestión de inventarios (Pérez Jaramillo).

Mantenimiento correctivo imprevisto, se clasifica en correctivo inmediato y correctivo diferido. El primero se aplica inmediatamente después de una falla y el segundo se aplica después de programar en otro momento la reparación. (Tipos de mantenimiento , 2017)

El mantenimiento correctivo, trata de subsanar averías ocasionados, para llegar a la vida útil del componentes o piezas, así carecer de mantenibilidad adecuada y ocasiona desgaste de las piezas. Este mantenimiento es no programado o de imprevistos. El mantenimiento correctivo no tiene una periodicidad establecida. Aparte de reparar los componentes con averías la mantenibilidad correctiva: Limpia e inspecciona cada pieza (Lamas, 2019).

Mantenimiento Preventivo, este tipo de mantenedor busca disminuir el correctivo. Su objetivo es reducir las fallas aplicando inspecciones periódicas y el reemplazo de las piezas dañadas (Siccha Reyes, 2017).

Este mantenimiento disminuye tiempos de las paradas y los costos por mantenimiento o por no producción (Cárcel, 2014).

El mantenimiento preventivo, son tareas programadas para las inspecciones de operatividad y de control, que tienen que ejecutarse periódicamente tomando en cuenta la planificación diseñada. La finalidad es identificar las fallas cuando recién se inicia y así poder arreglarla oportunamente para dar mantenibilidad y funcionabilidad (Pérez Jaramillo).

El mantenimiento preventivo busca prever la falla, identificando los componentes que son defectos, reparando o reemplazando las piezas con fallas (Pérez Jaramillo)

La maquinaria pesada consume combustible en grandes volúmenes y es operada por un operador capacitado, se usa para transportar materiales. Se debe estar licenciado o habilitado para su operatividad (Gutierrez, 2018).

La excavadora hidráulica se presenta en varios modelos, con diversas características en su movilidad y desplazamiento por ejemplo la capacidad de girar y rotar sobre sí misma (Maquipedia, 2019)

El Camión Volquete, es utilizado para la extracción de tierras y para el traslado de materiales. Tiene una caja basculante que hace descarga por vuelco. Está construido para acarrear hasta 20Tm. (Construpedia, 2019).

Un montacargas está construido para trasladar materiales y ubicarlas en racks. Esta maquinaria soporta cargas pesadas, ahorrando horas de labor manual debido a que traslada mercaderías de gran peso en un solo viaje en lugar de ir dividiendo el contenido por partes o secciones (Zevallos Otiniano, 2013).

Toda maquinaria pesada es utilizada para el traslado de materiales, manejados por motor eléctrico o de combustión (Sigvas Sifuentes, 2003).

El montacargas es una maquinaria de transporte en voladizo. Está asentada tiene un sistema hidráulico que permite trasladar gran peso. Su motor puede ser eléctricas o de combustión interna (Tamboreo del Pino, 2010)

El montacargas puede operar hasta 24 horas continuas en la industria de producción continuo, lo cual ocasiona mayor desgaste. Es imprescindible monitorear y controlar la mantenibilidad de los montacargas.

Se aconseja realizar un mantenimiento preventivo en periodos de 250 hrs, revisando detalladamente todos los subsistemas: eléctrico, hidráulico, encendido, cambio de filtro de motor y aceite. Cuando se alcanzan las 1000 hrs se exige mayor supervisión para reemplazar las piezas que deben ser reemplazadas según la programación de cambios y llegar a la eficiencia en la mantenibilidad de los montacargas.

Es vital el permanente monitoreo y control de cada pieza de la maquinaria tomando en cuenta la planificación de la mantenibilidad según las fechas programadas para cambiar las piezas que han llegado a su vida útil.

El OEE, (Eficiencia General de los Equipos) mide porcentualmente la eficiencia productiva de las maquinarias pesadas. Mide la disposición, la calidad y la mantenibilidad de las maquinarias. Su ventaja radica en que mide en un solo indicados toda la mantenibilidad de un equipo o maquinaria. (Cruelles Ruiz, 2010)

OEE busca las averías más frecuentes con la finalidad de tener mantenibilidad en las maquinarias. Se reduce los costos por las fallas y paradas de maquinarias sobre todo cuando no son previstas las fallas.

El OEE se calcula al multiplicar la disponibilidad, el rendimiento y la calidad que son razones que ayudan a determinar el OEE.

Disponibilidad representa el tiempo de operatividad de la maquinaria antes de que se presente una falla.

Rendimiento significa que mientras estuvo en operatividad la maquinaria representa la productividad que tuvo la maquinaria según lo programado.

Calidad: es la razón que muestra que tanto operó en forma efectiva en relación al tiempo que estuvo en operatividad (Mohr Barría, 2012).

El Diagrama de Pareto por Vilfred Pareto (1848-1923) estudia la distribución de fallas, y concluye que 80% de las fallas son críticas y el 20% de las fallas no son críticas. (Eadbox, 2018).

La criticidad según (Pablo-Romero Carranza, 2013) es la multiplicación del número de fallas por la severidad, sumándole los diversos efectos que conlleva.

Efectos de un deterioro, está relacionado a los efectos más trascendentales que acarrea un deterioro que afecta al que opera, a nivel de seguridad, a nivel del ambiente y a nivel de la economía.

Riesgo, es probabilístico, se define como la probabilidad de fallar. Está expresada en monedas. Se calcula de la siguiente manera:

$$R(t) = P(t) \times C \dots\dots\dots Ec. (01)$$

Dónde:

R(t): Riesgo

Pf: Probabilidad de ocurrencia de un evento

C: Consecuencias. (Pablo-Romero Carranza, 2013)

La matriz de criticidad de una unidad o equipo, se determina la matriz de frecuencia que multiplica la consecuencia del deterioro. Se grafica en un eje la frecuencia de deterioros y en el otro eje las consecuencias del deterioro. La matriz de criticidad está representada por colores que cada color tiene su significado lo cual facilitan el nivel de intensidad de riesgo en relación de la Criticidad de unidades o componentes de maquinarias o equipo analizados. (Pablo-Romero Carranza, 2013)

Tabla 1.1. Modelo de Matriz de Criticidad

Frecuencia	5	M	M	A	A	A	<div style="display: flex; flex-direction: column; gap: 10px;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #008000; margin-right: 5px;"></div> B criticidad baja, color verde </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #90c000; margin-right: 5px;"></div> M criticidad media, color amarillo </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #c00000; margin-right: 5px;"></div> A criticidad alta, color rojo </div> </div>
	4	M	M	A	A	A	
	3	B	M	M	A	A	
	2	B	B	M	M	A	
	1	B	B	B	M	A	
Consecuencia	1	2	3	4	5		

Fuente: (Pablo-Romero Carranza, 2013)

La ponderación y pesos, no afectan de igual manera a la criticidad de los equipos. Por lo tanto, se tiene que dar una proporcionalidad a los factores en la criticidad o ponderación. (Pablo-Romero Carranza, 2013)

Para la determinación de la criticidad se aplica la siguiente formula:

$$CR = PF * (IO + FO + CM + IMP) \dots\dots\dots Ec. (02)$$

Donde las consecuencias resultan los siguientes criterios:

Dónde:

IO: Es el Impacto en las operaciones

FO: Es la Flexibilidad en las operaciones

CM: Es el gasto de mantener en operatividad

IMP: Impacto en seguridad medioambiental (Pablo-Romero Carranza, 2013)

Después de haber relatado el marco teórico formulamos el problema.

El problema se formula: ¿Cómo influye la aplicación del Método de eficiencia general de equipos en la mejora del mantenimiento de los equipos pesados en la empresa Promaq Perú SAC?

La justificación es relevante debido al impacto de la aplicación OEE que mejora el mantener los equipos pesados en operatividad en Promaq Perú SAC, tales como montacargas, excavadora, compactadora, volquetes, tractores, pavimentadora, etc. OEE muestra mayor disponibilidad, rendimiento y confiabilidad de la utilización de las maquinarias pesadas para disminuir los costos, ahorrar tiempos, monitorear y controlar los indicadores relacionados con el mantenimiento correctivo.

La justificación a nivel tecnológico utiliza técnicas y la ciencia para mejorar la mantenibilidad y operatividad de las maquinarias pesadas de Promaq, aplicando tecnología de punta mejorando el monitoreo y control de los equipos, alcanzando mayor productividad y la imagen institucional sea de calidad de los servicios brindados en función con el mantenimiento de maquinarias pesadas.

A nivel institucional se justifica debido a la mejora en la rentabilidad al reducir los costos de mantenibilidad a Promaq en tanto que el uso de criterios técnicos y la tecnología utilizada en la aplicación de OEE en el mantenimiento mejorando la mantenibilidad de las maquinarias pesadas, eliminando paralizaciones no previstas lo cual alarga la funcionabilidad de las maquinarias pesadas, lo cual incrementará la efectividad en la Operacionalización de las maquinarias en el proceso de mantenibilidad y procedimiento de corrección de las averías.

En lo social se justifica porque los trabajadores serán beneficiados al tener optima mantenibilidad de las maquinarias ya que habrá mayor durabilidad de la operatividad de las maquinarias y menor número de averías no previstas y no afectará a los ingresos de los trabajadores al no haber paradas por desperfectos no previstos y los familiares de los trabajadores ya no se verán afectados al dejar de laborar los operarios de las maquinarias en las paradas no programadas en Promaq Perú SAC brindará mejor impacto en la calidad de servicio ya que una de sus actividades es alquilar maquinarias pesadas en buen estado.

En lo económico se justifica porque disminuirá los gastos de la mantenibilidad de desperfectos no previsto al aplicar OEE en Promaq.

Se justifica en lo ambiental porque al aplicar OEE mejorará la mantenibilidad de las maquinarias según los estándares de calidad que indican en los manuales de las maquinarias y así se evitará contaminar el medio ambiente.

Se justifica a nivel académico porque servirá para futuras investigaciones debido a la metodología que utiliza el OEE para optimizar la mantenibilidad de las maquinarias.

La investigación desarrollada pertenece a la línea de investigación de mantenimiento de maquinarias y equipos y da competencias al egresado en la carrera en mención.

En la práctica se justifica debido a que da la oportunidad al egresado a practicar sus conocimientos sobre OEE para mejorar la mantenibilidad de las maquinarias y reducir los costos incurridos en Promaq.

El objetivo general es aplicar el método de eficiencia general de equipos OEE para mejorar los indicadores del mantenimiento (disponibilidad, confiabilidad, mantenibilidad y eficiencia) de maquinarias pesadas en Promaq Perú SAC.

El primer objetivo específico es diagnosticar el nivel de mantenimiento de las maquinarias pesadas de Promaq Perú SAC.

El 2do objetivo específico es diseñar y aplicar la eficiencia general de equipos (OEE) para mejorar el mantenimiento de las maquinarias pesadas de Promaq Perú SAC.

El 3er objetivo específico es reducir los tiempos de mantenimiento correctivo imprevisto de las maquinarias pesadas de Promaq Perú SAC.

El 4to objetivo específico es reducir los costos de mantenimiento correctivo imprevisto de las maquinarias pesadas en Promaq Perú SAC.

La hipótesis alternativa H_i : La aplicación del método de eficiencia general de equipos (OEE) mejoraría el mantenimiento de las maquinarias pesadas de Promaq Perú SAC.

La hipótesis nula H_o : La aplicación del método de eficiencia general de equipos (OEE) no mejoraría el mantenimiento de las maquinarias pesadas de Promaq Perú SAC.

II. MÉTODO

2.1 Tipo y Diseño de Investigación

2.1.1 Tipo de Investigación

Investigación aplicada, experimental.

2.1.2 Diseño de Investigación

Experimental de un grupo en el que se aplicó los indicadores antes - después de implementar OEE para demostrar la mejora del mantenimiento, ya que la variable independiente (OEE) fue manipulada y controlada a criterio del investigador lo que conlleva a realizar experimentos respectivos.

2.2 Operacionalización de variables

Tabla 2.1

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Medición
Mantto (Variable Dependiente)	El mantenimiento surge de la necesidad de rebajar el correctivo y todo lo que representa. Pretende reducir la reparación mediante una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos dañados, si la segunda y tercera no se realizan, la tercera es inevitable (Siccha Reyes, 2017)	Se operativiza mediante el tiempo medio de reparación de fallas por maquinaria pesada, el tiempo medio entre fallas por maquinaria pesada, el total de tiempos perdidos por maquinaria pesada y los costos de mantenimiento correctivo imprevisto	Tiempo medio de reparación de fallas (TMRF)	$\frac{N^{\circ} \text{ de horas por paro de avería}}{\text{Número de averías}}$
			Tiempo medio entre fallas (TMPEF)	$\frac{\text{Horas de producción real por periodo}}{\text{Número de averías}}$
			Porcentaje del Total de tiempos perdidos (PTP)	$\frac{\text{Tiempo perdido total}}{\text{Tiempo total programado}} * 100\%$
			Costos de mantenimiento correctivo imprevisto	$\sum_{i=1}^n \text{Costo}_i$ n = total de paradas por mantenimiento correctivo imprevisto por máquinas pesadas
			% de disponibilidad	$\frac{\text{Tiempo real de operatividad}}{\text{Tiempo programado}} * 100\%$

OEE (Variable Independiente)	Es el control de la disponibilidad, calidad y mantenibilidad de la maquinaria pesada (Cruelles Ruiz, 2010).	Se operativiza a través de la disponibilidad, la calidad y la confiabilidad de máquinas	% de confiabilidad	$\left(e^{-\frac{1}{TRO} * TPO} \right) * 100\%$ TRO=Tiempo real operatividad TPO=Tiempo programado operatividad
			Mantenibilidad	$\left(1 - e^{-\frac{1}{TMRF * NF} * TPO} \right) * 100\%$ TMRF=Tiempo medio de reparación de falla NF= Número de fallas por periodo TPO=Tiempo programado operatividad
			Eficiencia	Disponibilidad x Confiabilidad x Mantenibilidad.

Fuente: elaboración propia basado en (Montenegro Leyva Gary Wlber, 2017)

2.3 Población, muestra y muestreo

2.3.1 Población

Máquinas pesadas de Promaq.

2.3.2 Muestra

Maquinarias pesadas críticas de Promaq que requieren mantenimiento.

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

En el anexo 5, 6 y 7 se muestra los documentos de validez de instrumentos para la presente investigación. así como también se muestra en el anexo 4 la carta de autorización de la empresa dando permiso para elaborar la presente investigación en las instalaciones de la empresa.

La validez de los instrumentos se realizó a través del juicio de expertos, realizado por tres especialistas conocedores del tema.

2.4.1 Técnicas

Técnica de observación: se observan el tiempo medio de reparación de fallas por máquina pesada, el tiempo medio entre avería, los gastos por corrección de averías. Así mismo se observó la calidad, disponibilidad y rendimiento de las maquinarias pesadas. Se observó el historial de reparación de máquinas y la ficha de observación del personal de mantenimiento.

2.4.2 Instrumentos

Documento de informe de reparación de máquinas.

Documento guía técnica de mantenimiento de maquinarias pesadas.

Documento de registro de actividades de trabajo de mantenimiento.

Documento de historial de mantenimiento de cada maquinaria pesada.

Ficha de observación del personal de mantenimiento.

2.5 Métodos de análisis de datos

Con la data tomada en cada mantenimiento correctivo imprevisto, localizando las fallas. Se determinó el diagnóstico del actual mantenimiento de las máquinas pesadas, se identificó la disponibilidad, calidad y mantenibilidad de las maquinarias antes de aplicar el método de OEE. Se diagnosticó el nivel de mantenibilidad correctivo imprevisto de las maquinarias pesadas de Promaq, antes de aplicar la planificación de mantenimiento preventivo, luego se aplicó OEE para mejorar la mantenibilidad correctiva no prevista de las máquinas pesadas. Se disminuyó los tiempos de mantenibilidad correctiva imprevisto de las maquinarias pesadas y se disminuyeron los gastos de mantenibilidad correctiva imprevisto de las maquinarias pesadas de Promaq.

Se calculó la disponibilidad a través de la relación del tiempo perdido por maquinaria entre el tiempo total disponible, se calculó el rendimiento a través de la relación del tiempo real de operación entre el tiempo programado de operación de maquinarias pesadas y se calculó la calidad a través de la relación de la producción real entre la producción programada de las maquinarias pesadas. Se espera que con la aplicación de OEE se mejore el mantenimiento de las maquinarias pesadas, reduciendo los costos y disminuyendo los tiempos de parada por mantenimiento correctivo imprevisto.

2.6 Aspectos éticos

Al aplicar el método de OEE para hacer más efectivo la mantenibilidad de las maquinarias pesadas de Promaq Perú S.A.C., se manifestó que no existe copia, hay transparencia y se respeta las políticas, se ha referenciado adecuadamente la información de otros autores con ISO 960. Las referencias bibliográficas no tienen más de 5 años en los antecedentes lo que da confiabilidad a lo investigatorio y garantizando que el trabajo es inédito entonces se filtró y aprobó el porcentaje requerido por turnitin.

III. RESULTADOS

3.1 Diagnostico la situación actual del mantenimiento en Promaq Perú SAC.

Es el procesamiento para determinar la actual situación del mantenimiento de montacargas se identificó el número de fallas de enero a junio del 2019, de los 5 montacargas que tiene la empresa y luego se determinó cuáles son críticas mediante el gráfico de Pareto y la criticidad. Luego se determinó el tiempo de paralización por deterioros y el tiempo real de producción, el tiempo medio de reparación de fallas y tiempo medio de producción entre fallas, el porcentaje de tiempo perdido por mantenimiento, los porcentajes de disponibilidad, de confiabilidad y de mantenibilidad para los montacargas que son críticos, es necesario hacer el diagnostico actual para saber cómo está trabajando los equipos antes de hacer el programa de mantenimiento.

3.1.1 Montacargas de la empresa Promaq Perú SAC.

Se ha considerado 5 montacargas para desarrollar la tesis considerando que son los equipos que más horas de trabajo.

Tabla 3.1. Montacargas que alquilan la empresa Promaq Perú SAC.

Nº	Máquinas	Especificaciones técnicas
1	Montacargas 4 TM Toyota	Marca: TOYOTA Modelo: 7FG35 Motor: GM V6 Velocidad: 0 – 30 Km/h Combustible: GLP Transmisión: Automática Dirección: Hidráulica. Capacidad de carga: 4 Toneladas Tipo mástil: 2 etapas Altura min mástil: 2.50 M Altura máx. mástil: 4.20 M Accesorios: Desplazador lateral Sistema de seguridad: SAS

2	Montacargas DP35 Caterpillar	Marca: Caterpillar Modelo: DP 35 Serie: 8BM00178 Motor: Mitsubishi S4S Serie motor: S6S-008729 Velocidad: 0 -20Km/h Combustible: Diesel Capacidad de carga: 4 TN Tipo mástil: 3 etapas Altura min mástil: 2.20 M Altura máx. mástil: 4.80 metros
3	Montacargas DP 50K Caterpillar	Marca: Caterpillar, Modelo: DP50K-D Serie: AT28B60351, Motor: Mitsubishi S6S Peso: 7157 Kg Combustible: Diesel Capacidad de carga: 5 TN Velocidad: 0-20 Km/hr Tipo mástil: 2 etapas Altura min mástil: 2.50 metros Altura máx. mástil: 4.20 metros
4	Montacargas DP40 Caterpillar	Marca: Caterpillar, Modelo: DP40 Serie: 3CM11195, Motor: Mitsubishi S6S Serie motor: S6S-008729 Velocidad: 0 -20Km/h Combustible: Diesel Capacidad de carga: 4 TN Tipo mástil: 3 etapas Altura min mástil: 2.20 M Altura máx. mástil: 4.80 metros Accesorios: Desplazador lateral
5	Montacargas DP 45K Caterpillar	Marca: Caterpillar, Modelo: DP50K-D Serie: XL79C32047 Motor: Mitsubishi S6S Peso: 6962 Kg Combustible: Diesel Capacidad de carga: 4.5 TN Velocidad: 0-20 Km/hr Tipo mástil: 2 etapas Altura min mástil: 2.50 metros Altura máx. mástil: 4.20 metros

Fuente: (PROMAQ PERU SAC, 2019).

Según la tabla 3.1. se observan 5 montacargas que alquila la empresa Promaq Perú SAC. en el 2019 cuya capacidad de carga varía entre 4 TN y 5 TN y 4 montacargas tienen motor Mitsubishi.

3.1.2 Número de fallas de montacargas

Ahora según la data de la empresa Promaq Perú SAC. se muestra el número de fallas y el tiempo promedio en que se llevó a cabo la reparación, como se muestra en la siguiente tabla.

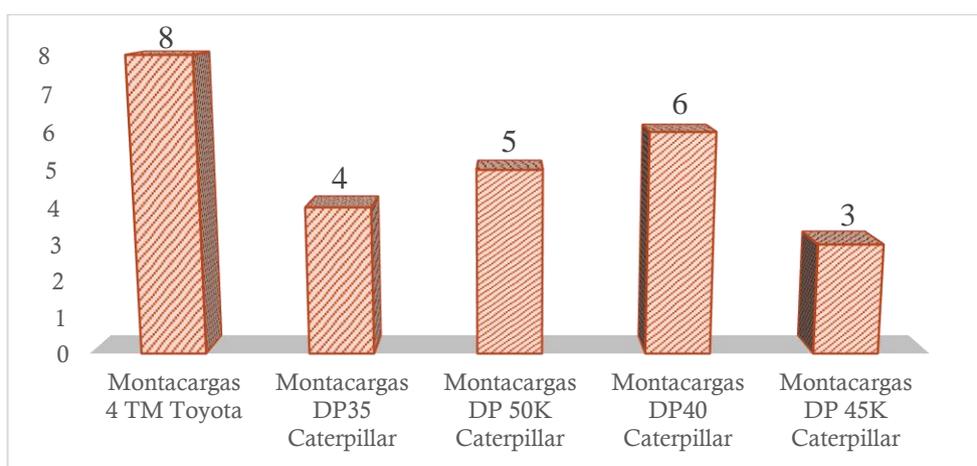
Tabla 3.2. Número total de fallas y el tiempo de reparación de enero a junio 2019

Nº	Montacargas	Número de fallas	Número de fallas promedio mensual	Tiempo de paradas por fallas (TPF)
1	Montacargas 4 TM Toyota	8	1.3	159 hrs.
2	Montacargas DP35 Caterpillar	4	0.6	86 hrs.
3	Montacargas DP 50K Caterpillar	5	0.8	103 hrs.
4	Montacargas DP40 Caterpillar	6	1	126 hrs.
5	Montacargas DP 45K Caterpillar	3	0.5	64 hrs.

Fuente: (PROMAQ PERU SAC, 2019)

En la tabla anterior se muestra el número de fallas que se encuentra en el rango de 3 a 8 fallas y el total de tiempo de reparación se encuentra en el rango 118 horas a 159 horas. La data fue obtenida de los meses de enero a junio del 2019, tal como se muestra en la figura 3.1:

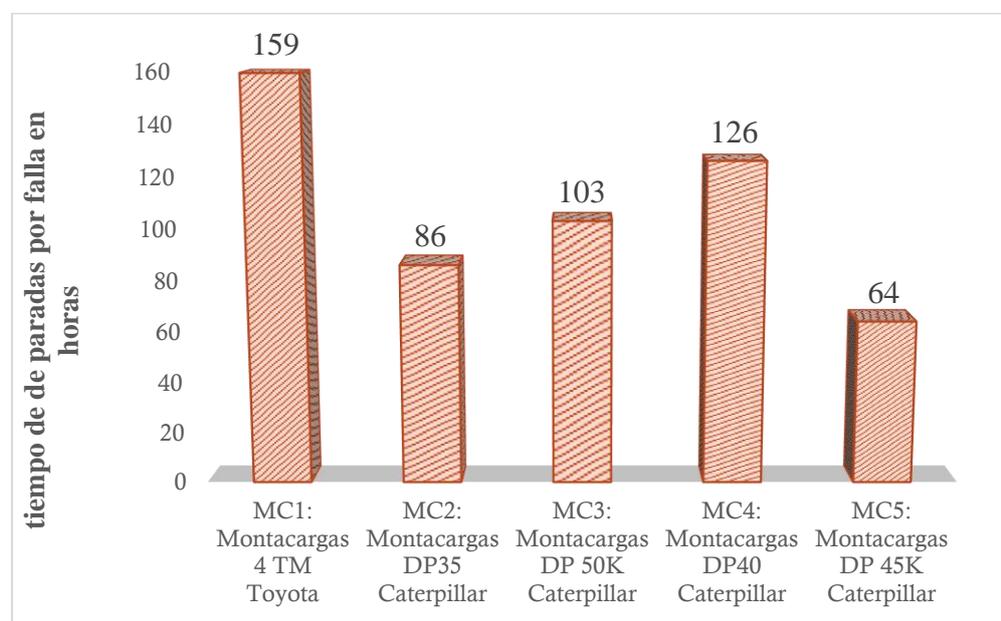
Figura 3.1. Número de fallas de enero a junio 2019



Fuente: Basada en la tabla 3.2.

La siguiente figura muestra los tiempos de paradas por fallas (TPF) expresada en horas de enero a junio 2019 para los montacargas críticos MC1, MC3 y MC4:

Figura 3.2. Tiempo de paradas por fallas (TPF) en horas de enero a junio 2019



Fuente: Elaboración propia.

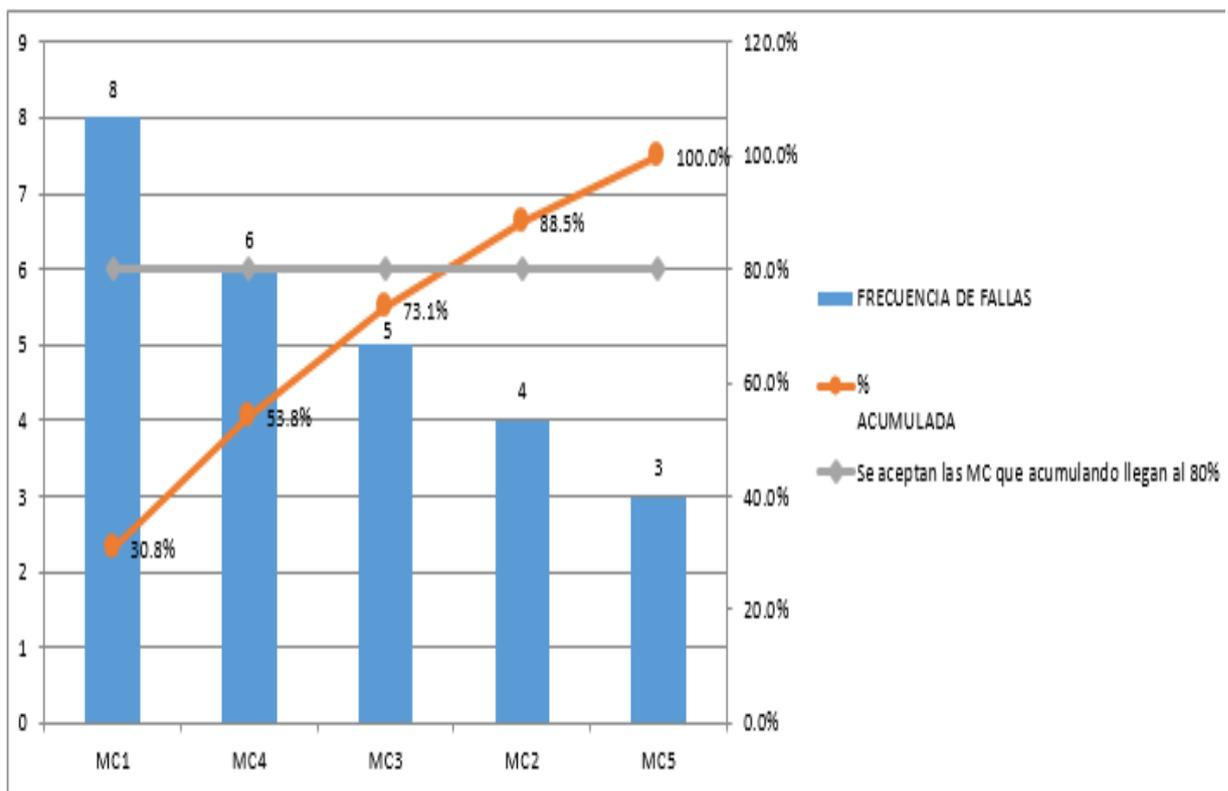
Tabla 3.3. Distribución de frecuencias absolutas y relativas de las fallas, se necesita hacer esta tabla ya que nos ayuda a determinar la criticidad de los montacargas MC1, MC4 y MC3, mediante el diagrama de Pareto.

Nº	Montacargas	Frecuencia de fallas	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia porcentual de fallas relativas	Frecuencia porcentual acumulada de fallas
1	MC1: Montacargas 4 TM Toyota	8	8	30.8%	30.8%
4	MC4: Montacargas DP40 Caterpillar	6	14	23.1%	53.9%
3	MC3: Montacargas DP 50K Caterpillar	5	19	19.2%	73.1%
2	MC2: Montacargas DP35 Caterpillar	4	23	15.4%	88.5%
5	MC5: Montacargas DP 45K Caterpillar	3	26	11.5%	100%
	Total	26		100%	

Fuente elaboración propia.

Según la tabla 3.3. se observa que el montacargas número 1 (4 TM Toyota) obtuvo el mayor número de fallas que equivale a 8 fallas con un porcentaje de 30.8%, de enero a junio del 2019, lo cual demuestra que es la máquina de mayor criticidad (criticidad alta) en número de fallas y le sigue el montacargas número 4 (DP40 Caterpillar) que tiene 6 fallas con un porcentaje de 23.1% en el tiempo de enero a junio del 2019, y se le considera que tiene criticidad media, así mismo el montacargas número 3 (DP 50K Caterpillar) que tiene 5 fallas con un porcentaje de 19.2% en el tiempo de enero a junio del 2019 y también se le considera de criticidad media y los montacargas 2 (DP35 Caterpillar) y 5 (DP 45K Caterpillar) no son críticas por haber tenido 4 fallas y 3 fallas. Según el criterio de Pareto se consideran críticos a los montacargas cuya suma de sus porcentajes no superen el 80% y se observa en la tabla 3.3 que los montacargas 1, 4 y 3 tienen un valor porcentual acumulado de 73.1% < 80% y los montacargas 2 y 5 no se consideran críticos, por lo tanto, se trabaja con los montacargas 1, 4 y 3 tal como se muestra en el siguiente diagrama de Pareto.

Figura 3.3. Diagrama de Pareto aplicado a las fallas de las Montacargas MC1, MC2, MC3, MC4 y MC5



Fuente: Elaboración propia basado en Pareto

Según el gráfico de Pareto se observa que el acumulado cuyo valor es próximo a 80% es el valor de 73.1

% y según el gráfico comprometen a las Montacargas: MC1, MC4 y MC3 cuya suma de estas tres Montacargas alcanza el valor indicado siendo críticas y son las Montacargas que se analizan en la presente investigación.

3.1.3 Matriz de criticidad

Jerarquiza las Montacargas con sus componentes, en función a sus averías de las máquinas, resultando la multiplicación de la frecuencia de averías por la criticidad de su frecuencia de fallas. Adicionando el impacto al personal y efecto ambiental, disminución de la producción y deterioros en los ambientes.

Tabla 3.4. Modelo de Matriz de Criticidad

Frecuencia	5	M	M	A	A	A	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: flex-start;"> <div style="margin-bottom: 10px;">B criticidad baja, color verde</div> <div style="margin-bottom: 10px;">M criticidad media, color amarillo</div> <div>A criticidad alta, color rojo</div> </div>
	4	M	M	A	A	A	
	3	B	M	M	A	A	
	2	B	B	M	M	A	
	1	B	B	B	M	A	
	Consecuencia	1	2	3	4	5	

Fuente: (Pablo-Romero Carranza, 2013)

La matriz de criticidad contiene una codificación de colores que permite ver la menor o mayor intensidad de riesgo relacionados con el valor de criticidad de la Montacargas bajo estudio. Las columnas son frecuencias y las filas son las consecuencias.

Tabla 3.5. Matriz de criticidad con valores para determinar la criticidad de las fallas de las Montacargas MC1, MC2, MC3, MC4 y MC5

FRECUENCIA	5	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
	4	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100
	3	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75
	2	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
	1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
	CONSECUENCIA																					

- Criticidad Alta A Color Rojo $50 \leq \text{criticidad} \leq 125$
- Criticidad Media M Color Amarillo $30 \leq \text{criticidad} \leq 49$
- Criticidad Baja B Color Verde $5 \leq \text{criticidad} \leq 29$

Fuente propia basado en (Pablo-Romero Carranza, 2013)

3.1.4 Ponderación de frecuencias de fallas de las Montacargas

Para la determinación de la frecuencia y consecuencia de las fallas se usó el método y nivel conocidos. Se determina mediante el estado en que se encuentran cada Montacargas. La frecuencia es el número de veces que se repiten las fallas dentro de un periodo de tiempo, es importante hacer la ponderación de fallas y así poder saber la criticidad de los equipos, así como se muestra en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Ponderación de frecuencias de fallas

Ponderación PF	Frecuencia de fallas
4	Elevado (> a 7 fallas por semestre)
3	Promedio (de 5 a 6 fallas por semestre)
2	Buena (de 1 a 4 fallas por semestre)
1	Excelente (cero fallas por semestre)

Fuente: (Pablo-Romero Carranza, 2013), adaptado por el autor de la presente investigación

Para las Montacargas MC1 al MC5 se muestra en la siguiente tabla la ponderación de las frecuencias de fallas:

Tabla 3.7.

Ponderación de la frecuencia de fallas de las Montacargas MC1 al MC5

Montacargas	Ponderación
MC1	4
MC2	2
MC3	3
MC4	3
MC5	2

Fuente: Elaboración propia

3.1.5 Impacto operacional (IO).

Es aquel que puede ocasionar perdidas debido a errores por equipos o maquinas defectuosas afectando directamente a la producción y calidad en una empresa, como se muestra en la tabla 3.8 a continuación.

Tabla 3.8. Causas del impacto operacional (IO).

Ponderación	impacto operacional (IO)
10	La falla afecta y paraliza inmediatamente en toda la empresa
7	La falla afecta a un área inmediata en una La falla afecta a una línea productiva
4	Impacta en los niveles de producción y de calidad
1	No genera ningún efecto significativo en la producción

Fuente: (Pablo-Romero Carranza, 2013) adaptado por el autor

Para las Montacargas, el impacto operacional fue de ponderación según la tabla siguiente:

Tabla 3.9. Ponderación del Impacto operacional (IO) para las Montacargas MC1 al MC5.

Montacargas	Ponderación
MC1	7
MC2	4
MC3	4
MC4	4
MC5	4

Fuente: Elaboración propia

3.1.6 Flexibilidad operacional (FO).

Relacionada con la posibilidad de ejecutar una reparación veloz y así no parar la cadena productiva sin interrupción en costo considerables, así como se muestra en la tabla 3.10.

Tabla 3.10. Causas de la flexibilidad operacional (FO).

Ponderación	FO
4	No hay producción y no hay reemplazo / máquina
2	No se comparte la máquina
1	No favorece a la producción

Fuente: (Pablo-Romero Carranza, 2013)

Para las Montacargas, la flexibilidad operacional fue de ponderación según la tabla siguiente:

Tabla 3.11. Ponderación de la flexibilidad operacional (IO) para las Montacargas MC1 al MC5.

Montacargas	Ponderación
MC1	4
MC2	4
MC3	4
MC4	4
MC5	4

Fuente: Elaboración propia

3.1.7 Ponderación de los Costos de mantenimiento (CM)

Relacionado a todos los gastos que engloban la labor de mantenibilidad.

Es el importe abonado por las actividades desarrolladas para reparar una maquinaria poniéndola en operatividad, como se puede observar en la tabla 3.12 a continuación.

Tabla 3.12. Ponderación de los costos de mantenimiento (CM).

Ponderación	Costos de mantenimiento (CM)
2	El CM del semestre ENE – JUN del 2019 es mayor al anterior semestre (JUL – DIC 2018 2018)
1	El CM del semestre ENE – JUN del 2019 es menor al anterior semestre (JUL – DIC 2018 2018)

Fuente: (Pablo-Romero Carranza, 2013) adaptado por el autor

Para las Montacargas, la ponderación de costos de mantenimiento se muestra a continuación:

Tabla 3.13. Ponderación de los costos de mantenimiento (CM) para las Montacargas MC1 al MC5.

Montacargas	Ponderación
MC1	2
MC2	1
MC3	2
MC4	2
MC5	1

Fuente: Elaboración propia.

3.1.8 Impacto de seguridad y medio ambiente (IMP).

Viene a ser un proceso sistemático mediante el cual se identifica el impacto de diferentes formas sobre la seguridad, salud y medio ambiente, así como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3.14. Impacto a la salud y el medio ambiente (IMP).

Ponderación	impacto a la salud y el medio ambiente (IMP)
8	Tiene impacto en la seguridad del ser humano en lo interno como en lo externo
7	Tiene impacto ambiental generando efectos negativos
5	Tiene impacto en las plantas generando graves deterioros
3	Genera daños menores en la seguridad y medio ambiente
1	Es inocuo a los trabajadores, instalaciones y medio ambiente

Fuente: (Pablo-Romero Carranza, 2013) adaptado por el autor

Para las Montacargas, el Impacto en salud y el medio ambiente (IMP) fue ponderado como se muestra en la tabla 3.15.

Tabla 3.15. Ponderación del Impacto a la salud y el medio ambiente (IMP) para las Montacargas MC1 al MC5.

Montacargas	Ponderación
MC1	5
MC2	3
MC3	3
MC4	3
MC5	3

Fuente: Elaboración propia

3.1.9 Cálculo de la criticidad por montacargas

Para la determinación de la criticidad se utilizó la siguiente formula:

$$CR = PF * (IO + FO + CM + IMP) \dots\dots\dots Ec. (02)$$

Donde:

IO: Impacto operacional

FO: Flexibilidad operacional

CM: Costo de mantenimiento

IMP: Impacto de seguridad y medio ambiente

Tabla 3.16. Nivel de criticidad por montacargas

Montacargas	PF	IO	FO	CM	IMP	CR	Nivel crítico
MC1	4	7	4	2	5	72	ALTO
MC2	2	4	4	1	3	24	BAJO
MC3	3	4	4	2	3	39	MEDIO
MC4	3	4	4	2	3	39	MEDIO
MC5	2	4	4	1	3	24	BAJO

Fuente: Elaboración propia

Después de haber realizado el cálculo de la criticidad de los montacargas, obteniendo como resultado el montacarga MC1 con nivel alto de criticidad y el montacarga MC3/MC4 con criticidad media se procede a realizar los cálculos de equipos montacargas críticos antes de aplicar el mantenimiento programado con OEE.

3.1.10 Tiempo de paradas por fallas (TPF).

De los montacargas MC1, MC4 y MC3 antes de programa de mantenimiento.

3.1.11 antes de programa de mantenimiento

Tabla 3.17. Data de tiempo promedio de paradas por fallas de los Montacargas MC1, MC4 y MC3 TN Toyota antes de aplicar mantenimiento programado.

2019 MES	Tiempo de paradas por fallas TPF (horas) antes de aplicar el programa de mantenimiento			Nro. de Paradas por fallas antes de aplicar el programa de mantenimiento		
	MC1	MC4	MC3	MC1	MC4	MC3
ENE	22	18	0	1	1	0
FEB	17	20	22	1	1	1
MAR	16	21	19	1	1	1
ABR	20	26	22	1	1	1
MAY	40	21	20	2	1	1
JUN	44	20	20	2	1	1
Total	159	126	103	8	6	5
Prom	26.5	21	17.2	1.3	1	0.8

Fuente: Data del departamento de mantenimiento de Promaq Perú SAC.

Como se ha determinado que los montacargas MC1 (4 TM Toyota), MC4 (DP40 Caterpillar) y MC3 (DP 50K Caterpillar) son críticas, se muestra en la tabla 3.17 el detalle mensual del tiempo de paralización por averías (TPF) y número de parada por averías en cada mes y para los montacargas MC1 resultó 159 horas de parada total por averías en el año 2019 para los meses de ene-jun, siendo 8 paradas por averías que se ejecutaron en dicho año en el periodo indicado. Para el montacargas MC4 resultó 126 horas de parada total por averías en el año 2019 para los meses de ene-jun, siendo 6 paradas por averías que ocurrió en dicho año en el periodo indicado y para la Montacargas MC3 resultó 103 horas de parada total por averías en el año 2019 para los meses de ene-jun, siendo 5 paradas por averías que aconteció en dicho año en el periodo de meses indicado.

3.1.11 Tiempo de producción real (TPR).

Para determinar el tiempo de producción real (TPR) se ha considerado los días que comprende de enero a junio del 2019 incluyendo los domingos que

también laboran los turnos programados siendo 181 días y el trabajo de las maquinarias es de 16 horas por día.

El tiempo de producción real (TPR) para la Montacargas MC1 (Montacargas 4 TM Toyota), resulta:

TPR(MC1) = (181 días /semestre * 16 horas /día) – 159 horas / semestre de mantenimiento

TPR(MC1) = 2737 horas de tiempo de producción real de ene-jun del 2019 para la Montacargas MC1 (Montacargas 4 TM Toyota).

El tiempo de producción real (TPR) para la Montacargas MC4 (Montacargas DP40 Caterpillar), resulta:

TPR(MC4) = (181 días /semestre * 16 horas /día) – 126 horas / semestre de mantenimiento

TPR(MC4) = 2770 horas de tiempo de producción real de ene-jun del 2019 para la Montacargas MC4 (Montacargas DP40 Caterpillar).

El tiempo de producción real (TPR) para la Montacargas MC3 (Montacargas DP 50K Caterpillar), resulta:

TPR(MC3) = (181 días /semestre * 16 horas /día) – 103 horas / semestre de mantenimiento

TPR(MC3) = 2793 horas de tiempo de producción real de ene-jun del 2019 para la Montacargas MC3 (Montacargas DP 50K Caterpillar).

3.1.12 Tiempo medio de reparación de fallas (TMRF).

Por mantenimiento de montacargas

Según la fórmula:

$$TMRF = \frac{N^{\circ} \text{ de horas por paro de avería}}{\text{Número de averías}} \dots\dots\dots Ec. (03)$$

Fuente propia basado en (Montenegro Leyva Gary Wlber, 2017)

Donde TMRF es el tiempo medio de reparación de falla, se calcula el TMRF por montacargas. Para la Montacargas MC1 (Montacargas 4 TM Toyota) se ha calculado el TMRF:

$$\text{TMRF}(\text{MC1}) = \frac{159}{8} = 19.9 \text{ horas}$$

El TMRF(MC1) fue de 19.9 horas que equivale al tiempo medio de reparación de fallas para el montacargas MC1 4TM Toyota entre los meses de ene-jun del 2019.

Para la Montacargas MC4 (Montacargas DP40 Caterpillar) se ha calculado el TMRF(MC2):

$$\text{TMRF}(\text{MC4}) = \frac{126}{6} = 21 \text{ horas}$$

El TMRF(MC4) fue de 21 horas que equivale al tiempo medio de reparación de fallas para la Montacargas MC4 (Montacargas DP40 Caterpillar) entre los meses de ene-jun del 2019.

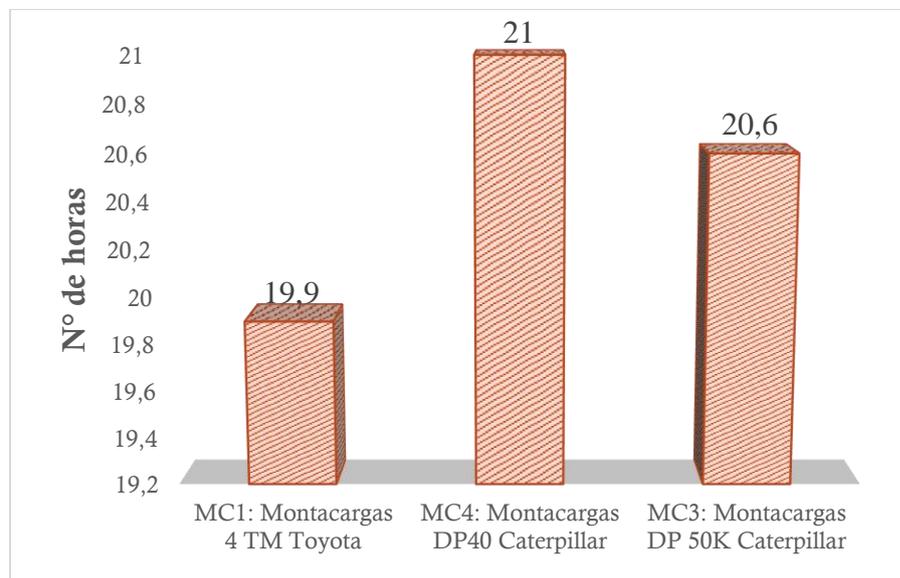
Para la Montacargas MC3 (Montacargas DP 50K Caterpillar) se ha calculado el TMRF(MC3):

$$\text{TMRF}(\text{MC3}) = \frac{103}{5} = 20.6 \text{ horas}$$

El TMRF(MC3) fue de 20.6 horas que equivale al tiempo medio de reparación de fallas para la Montacargas MC3 (Montacargas DP50K Caterpillar) entre los meses de ene-jun del 2019.

A continuación, se muestra el tiempo medio de reparación de falla según los resultados encontrados como se aprecia en la figura 3.4, antes de aplicar el método de OEE del mantenimiento.

Figura 3.4. Tiempo medio de reparación de fallas de Montacargas antes de aplicar el método de OEE.



Fuente: Elaboración propia

Según la figura anterior se observa que el tiempo medio de reparación de fallas para la Montacargas MC1 (Montacargas 4 TM Toyota) fue de 19.9 horas por falla, para MC3 (Montacargas DP 50K Caterpillar) fue de 21 horas por falla y MC4 (Montacargas DP 40K Caterpillar) fue de 20.6 horas por falla para MC3 y entre los meses de enero a junio del 2019 se encontró en el rango de 19.9 horas a 21 horas promedio de reparación por falla.

3.1.13 Tiempo medio de producción entre fallas por montacargas

Es el tiempo de producción del montacarga hasta que ocurra la siguiente falla.

Se calcula dividiendo el tiempo que debería producir la maquinaria sin presentar fallas entre el número de veces que el equipo entra a mantenimiento, como se muestra en la siguiente fórmula:

$$TMPEF = \frac{N^{\circ} \text{ de horas producción real}}{\text{Número de averías}} \dots\dots\dots \text{Ec. (04)}$$

Fuente propia basado en (Montenegro Leyva Gary Wilber, 2017)

Dónde TMPEF es el tiempo medio entre fallas, se calcula el TMPEF por montacargas. Para la maquinaria MC1 de 4 TM Toyota se ha calculado el TMPEF tomando en cuenta que el tiempo de producción real (TPR) entre enero y junio del 2019 fue de 2,737 horas, entonces se tiene:

$$\text{TMPEF}(\text{MC1}) = \frac{2737}{8} = 342.1 \text{ horas de producción entre fallas}$$

El TMPEF(MC1) que es el tiempo medio de producción entre fallas fue de 342.1 horas de producción entre fallas para el montacargas MC1 de 4TM Toyota entre enero a junio del 2019. Esto significa que se tendrá 342.1 horas de operatividad del montacargas MC1 antes que se presente la siguiente falla.

Para la maquinaria MC4 (Montacargas DP40 Caterpillar) se ha calculado el TMPEF tomando en cuenta que el tiempo de producción real (TPR) entre enero y junio del 2019 fue de 2,748 horas, entonces se tiene:

$$\text{TMPEF}(\text{MC4}) = \frac{2748}{6} = 458 \text{ horas de producción entre fallas}$$

El TMPEF(MC4) que es el tiempo medio de producción entre fallas fue de 458 horas de producción entre fallas para el montacargas MC4 (Montacargas DP40 Caterpillar) entre enero a junio del 2019. Esto significa que se tendrá 458 horas de operatividad del montacargas MC4 antes que se presente la siguiente falla.

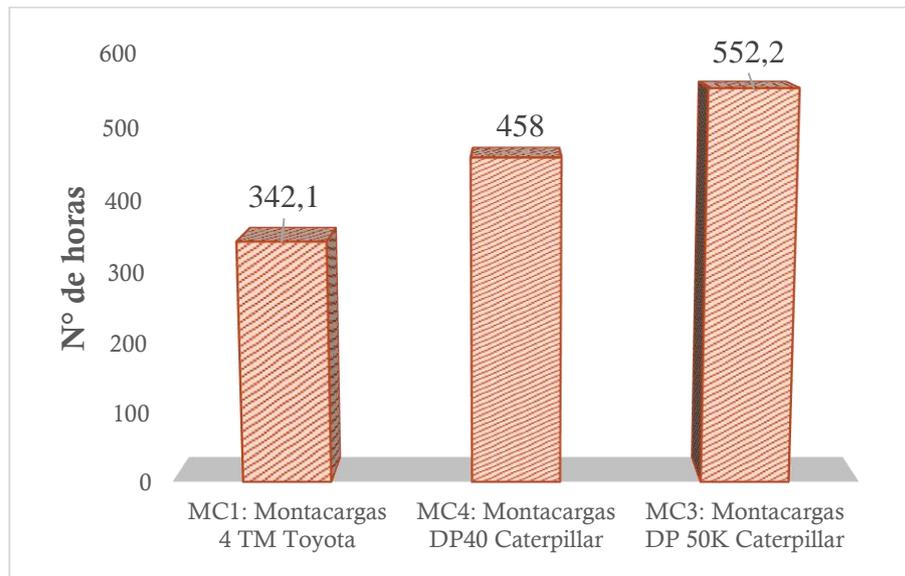
Para la maquinaria MC3 (Montacargas DP 50K Caterpillar) se ha calculado el TMPEF tomando en cuenta que el tiempo de producción real (TPR) entre ene-jun del 2019 fue de 2,761 horas de producción real, entonces se tiene:

$$\text{TMPEF}(\text{MC3}) = \frac{2761}{5} = 552.2 \text{ horas de producción entre fallas}$$

El TMPEF(MC3) que es el tiempo medio de producción entre fallas fue de 552.2 horas de tiempo de producción entre fallas para el montacargas MC3 (Montacargas DP 50K Caterpillar) entre enero a junio del 2019. Esto significa

que se tendrá 552.2 horas de operatividad del montacargas MC3 antes que se presente la siguiente falla.

Figura 3.5. Tiempo medio de producción (horas) entre fallas de Montacargas antes de aplicar OEE



Fuente: Elaboración propia

3.1.14 Porcentaje de tiempo perdido por mantenimiento de montacargas

Es el tiempo perdido que se tiene un montacargas durante todo el proceso de reparación hasta que opere adecuadamente en el plazo establecido,

Según la fórmula:

$$PTP = \frac{\text{Tiempo perdido total}}{\text{Tiempo total programado}} * 100\% \dots \dots \dots \text{Ec. (05)}$$

Fuente propia basado en (Montenegro Leyva Gary Wilber, 2017)

Donde PTP es el porcentaje de tiempo perdido total entre el tiempo total programado, se calcula el PTP por montacargas. Para la Montacargas MC1 (4 TM Toyota) se ha calculado el PTP tomando en cuenta que el tiempo perdido total entre ene-jun del 2019 fue de 159 horas, entonces se tiene:

$$PTP(\text{MC1}) = \frac{159 \text{ horas/semestre}}{(181 \text{ días /semestre} * 16 \text{ horas /día})} = 5.49 \%$$

El PTP(MC1) que es el porcentaje de tiempo perdido total que fue de 5.49% para el montacargas MC1 (4TM Toyota) entre ene - jun del 2019.

Para la Montacargas MC4 (Montacargas DP40 Caterpillar) se ha calculado el PTP tomando en cuenta que el tiempo perdido total entre ene-jun del 2019 fue de 126 horas, entonces se tiene:

$$\text{PTP}(\text{MC4}) = \frac{126 \text{ horas/semestre}}{(181 \text{ días /semestre} * 16 \text{ horas /día})} = 4.35 \%$$

El PTP(MC4) que es el porcentaje de tiempo perdido total que fue de 4.35% para el montacargas MC4 (Montacargas DP40 Caterpillar) entre los meses de enero a junio del 2019.

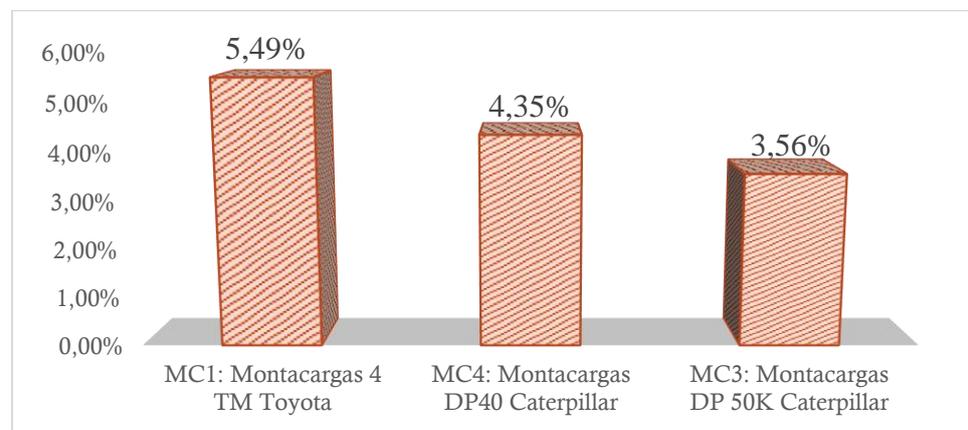
Para la Montacargas MC3 (Montacargas DP 50K Caterpillar) se ha calculado el PTP tomando en cuenta que el tiempo perdido total entre ene-jun del 2019 fue de 103 horas, entonces se tiene:

$$\text{PTP}(\text{MC3}) = \frac{103 \text{ horas/semestre}}{(181 \text{ días /semestre} * 16 \text{ horas /día})} = 3.56 \%$$

El PTP(MC3) que es el porcentaje de tiempo perdido total que fue de 3.56% para el montacargas MC3 (Montacargas DP 50K Caterpillar) entre enero a junio del 2019.

El siguiente gráfico muestra los porcentajes de tiempo perdido por fallas:

Figura 3.6. Porcentaje de Tiempo perdido por fallas de Montacargas antes de aplicar OEE.



Fuente: Elaboración propia

3.1.15 Porcentaje de disponibilidad de montacargas

Es la confianza que se tiene de que un montacarga que entro a reparación luego se desempeñe óptimamente en el tiempo establecido,

Según la fórmula:

$$D = \frac{\text{Tiempo real producido}}{\text{Tiempo total programado}} * 100\% \dots \text{Ec. (06)}$$

Fuente propia basado en (Montenegro Leyva Gary Wlber, 2017)

Donde D es el porcentaje de disponibilidad que se ha calculado dividiendo el tiempo real producido entre el tiempo total programado por montacargas. Para la Montacargas MC1 (4 TM Toyota) se ha calculado la disponibilidad entre enero y junio del 2019, entonces se tiene:

$$D(\text{MC1}) = \frac{2737}{181*16} * 100\% = 94.5 \%$$

La disponibilidad (D) que es el porcentaje de tiempo real producido que fue de 94.5% para el montacargas MC1 (4TM Toyota) entre los meses de ene-jun del 2019.

Para la Montacargas MC4 (Montacargas DP40 Caterpillar) se ha calculado la disponibilidad entre enero y junio del 2019, entonces se tiene:

$$D(\text{MC4}) = \frac{2748}{181*16} * 100\% = 94.9 \%$$

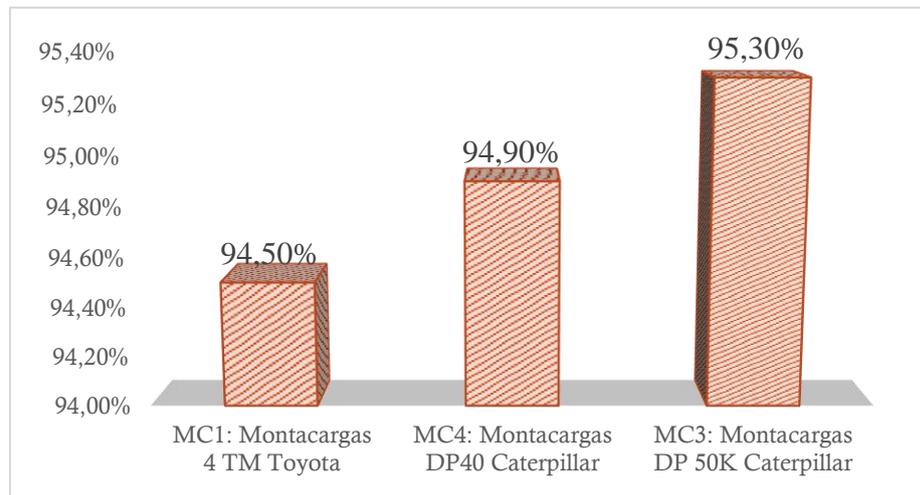
La disponibilidad (D) que es el porcentaje de tiempo real producido que fue de 94.9% para el montacargas MC4 (Montacargas DP40 Caterpillar) entre enero a junio del 2019.

Para la Montacargas MC3 (Montacargas DP 50K Caterpillar) se ha calculado la disponibilidad entre ene-jun del 2019, entonces se tiene:

$$D(\text{MC3}) = \frac{2761}{181*16} * 100\% = 95.3 \%$$

La disponibilidad (D) que es el porcentaje de tiempo real producido que fue de 95.3% para el montacargas MC3 (Montacargas DP 50K Caterpillar) entre los meses de ene-jun del 2019.

Figura 3.7. Porcentaje de Disponibilidad de Montacargas antes de aplicar el método de OEE.



Fuente: Elaboración propia

3.1.16 Porcentaje de confiabilidad de montacargas

Es la probabilidad de que un montacarga pueda funcionar correctamente sin presentar falla por un tiempo específico, como se muestra en la fórmula:

Según la fórmula:

$$C = \left(e^{-\frac{1}{\text{TPR}} * \text{TPP}} \right) * 100\% \dots \text{Ec. (07)}$$

Fuente propia basado en (Montenegro Leyva Gary Wilber, 2017)

TPR es el Tiempo de producción real

TPP es el Tiempo de producción programado o tiempo programado de operatividad

Dónde C es el porcentaje de confiabilidad que se ha calculado según la fórmula mostrada por montacargas. Para la maquinaria MC1 (4 TM Toyota) se ha calculado el rendimiento entre enero y junio del 2019, entonces se tiene:

$$C(\text{MC1}) = \left(e^{\frac{-\left(\frac{1}{2737}\right) * 2896}{100}} \right) * 100\% = 98.947\%$$

La confiabilidad C(MC1) porcentual fue de 98.947% para el montacargas MC1 (4TM Toyota) entre los meses de ene-jun del 2019.

Para la maquinaria MC4 (Montacargas DP40 Caterpillar) se ha calculado la confiabilidad entre enero y junio del 2019, entonces se tiene:

$$C(\text{MC4}) = \left(e^{\frac{-\left(\frac{1}{2748}\right) * 2896}{100}} \right) * 100\% = 98.952\%$$

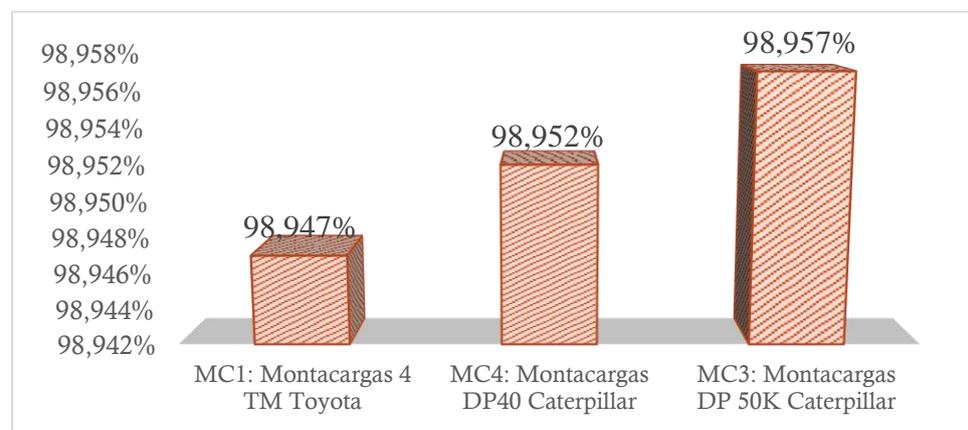
La confiabilidad (C) porcentual fue de 98.952% para el montacargas MC4 (Montacargas DP40 Caterpillar) entre los meses de ene-jun del 2019.

Para la maquinaria MC3 (Montacargas DP 50K Caterpillar) se ha calculado la confiabilidad entre enero y junio del 2019, entonces se tiene:

$$C(\text{MC3}) = \left(e^{\frac{-\left(\frac{1}{2761}\right) * 2896}{100}} \right) * 100\% = 98.957\%$$

La confiabilidad (C) porcentual fue de 98.957% para el montacargas MC3 (Montacargas DP 50K Caterpillar) entre ene - jun del 2019.

Figura 3.8. Porcentaje de confiabilidad de Montacargas antes de aplicar OEE 2019.



Fuente: Elaboración propia.

3.1.17 Porcentaje de mantenibilidad de montacargas.

La mantenibilidad es el proceso de mantener operativa una máquina incluye las reparaciones en un tiempo óptimo. Incluye desde la detección del deterioro hasta su reparación y su mantenibilidad operativa con estado óptimo. Se muestra según la fórmula:

$$M = \left(1 - e^{-\frac{1}{\text{TMRF} * \text{NF}} * \text{TPP}} \right) * 100\% \dots \text{Ec. (08)}$$

Fuente propia basado en (Montenegro Leyva Gary Wlber, 2017)

TMRF es el Tiempo medio de reparación de fallas

NF es el número de fallas por periodo que en teste caso son 8 fallas entre enero y junio del 2019

TPP es el Tiempo de producción programado.

Donde M es el porcentaje de mantenibilidad que se ha calculado según la fórmula mostrada por montacargas.

Para la maquinaria MC1 (4 TM Toyota) se ha calculado la mantenibilidad entre enero y junio del 2019, entonces se tiene:

$$M(\text{MC1}) = \left(1 - e^{-\frac{1}{19.9 * 8} * 2896} \right) * 100\% = 16.63\%$$

La mantenibilidad M(MC1) porcentual fue de 16.63% para el montacargas MC1 (4TM Toyota) entre enero a junio del 2019.

Para la maquinaria MC4 (DP 40 Caterpillar) se ha calculado la mantenibilidad entre enero y junio del 2019, entonces se tiene:

$$M(\text{MC4}) = \left(1 - e^{-\frac{1}{21 * 6} * 2896} \right) * 100\% = 20.53\%$$

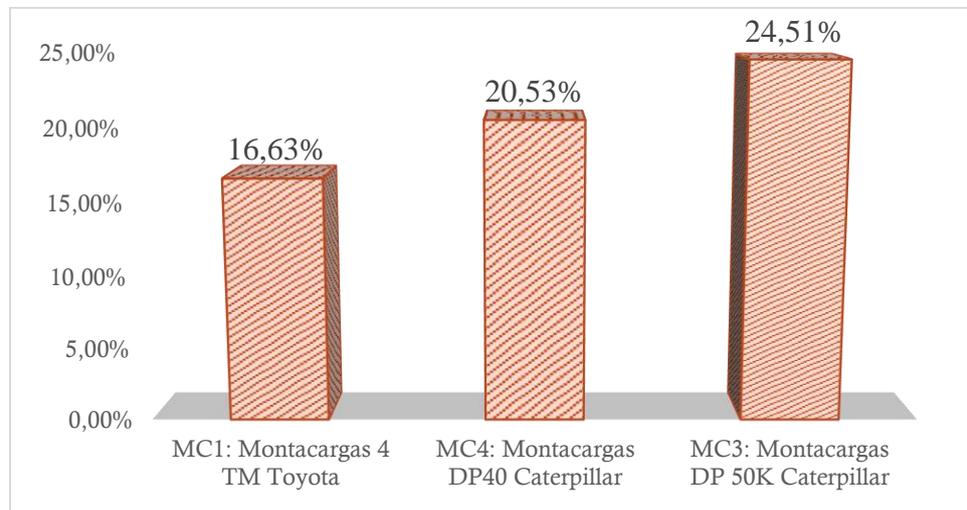
La mantenibilidad M(MC4) porcentual fue de 20.53% para el montacargas MC4(DP40 Caterpillar) entre los meses de ene-jun del 2019.

Para la maquinaria MC3 (DP 50K Caterpillar) se ha calculado la mantenibilidad entre enero y junio del 2019, entonces se tiene:

$$M(MC3) = \left(1 - e^{\frac{-\left(\frac{1}{20.6 * 5}\right) * 2896}{100}} \right) * 100\% = 24.51\%$$

La mantenibilidad M(MC3) porcentual fue de 24.51% para el montacargas MC3(DP50 k Caterpillar) entre los meses de ene-jun del 2019.

Figura 3.9. Porcentaje de mantenibilidad de Montacargas antes de aplicar el método de OEE 2019.



Fuente: Elaboración propia

3.1.18 Eficiencia actual de montacargas

Es la capacidad de lograr los objetivos y métodos programados con los recursos disponibles en un tiempo predeterminado, como se muestra según la fórmula.

$$E = D * C * M \dots\dots\dots Ec. (09)$$

Fuente propia basado en (Montenegro Leyva Gary Wlber, 2017)

E es la eficiencia de la Montacargas. Reemplazando valores se tiene:

$$E(MC1) = (0.945 * 0.98947 * 0.1663) * 100\%$$

$$E(MC1) = 15.55\%$$

La eficiencia E(MC1) porcentual fue de 15.55% para el montacargas MC1(4TM Toyota) entre los meses de enero a junio del 2019.

$$E(MC4) = (0.949 * 0.98952 * 0.2053) * 100\%$$

$$E(MC4) = 19.28\%$$

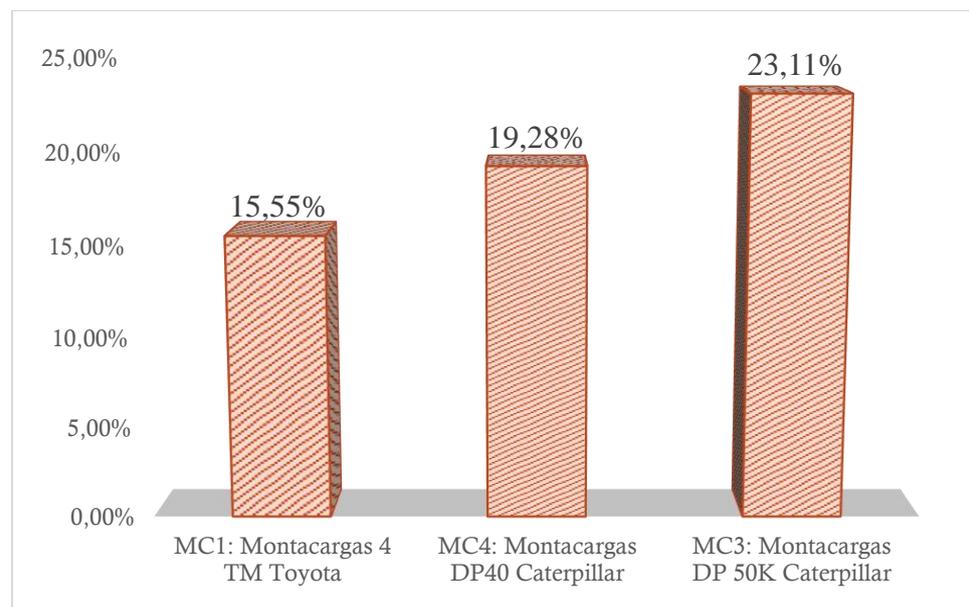
La eficiencia E(MC4) porcentual fue de 19.28% para el montacargas MC4(DP40 Caterpillar) entre los meses de ene-jun del 2019.

$$E(MC3) = (0.953 * 0.98957 * 0.2451) * 100\%$$

$$E(MC3) = 23.11\%$$

La eficiencia E(MC3) porcentual fue de 23.11% para el montacargas MC3(DP50K Caterpillar) entre enero a junio del 2019.

Figura 3.10. Porcentaje de Eficiencia de Montacargas antes de aplicar el método de OEE 2019.



Fuente: Elaboración propia

Se observa que la eficiencia en la pre prueba, es decir, antes de aplicar el programa de mantenimiento con OEE estuvo en el rango de 15.55% a 23.11% lo cual significa que el nivel de eficiencia general de las Montacargas fue bajo

3.2 Programa de mantenimiento preventivo

El Programación de mantenimiento preventivo se ha aplicado a los subsistemas “motor”, subsistemas “eléctrico” y subsistemas “hidráulica” de los montacargas.

3.2.1 Programa de mantenimiento preventivo subsistema “Motor”

Es un formato elaborado para realizar las actividades de mantenimiento en cada uno de los equipos montacargas, y así mantener los equipos en un buen estado de acuerdo a las órdenes de trabajo que se crea dentro de la empresa.

Este formato se elabora para esta investigación por un periodo de un año desde julio del 2019 hasta junio del 2020.

Tabla 3.2.1. Programación de mantenimiento preventivo “Subsistema Motor” de montacargas

Componentes de sub sistemas	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	Tot
Inspección del motor	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
Turbo Compresor	1		1		1		1		1		1		6
Nivel de aceite	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
Filtro de aire	1		1		1		1		1		1		6
Filtro de petróleo	1			1			1			1			4
Inyectores	1			1			1			1			4
Sensor de temperatura	1			1			1			1			4
Sensor de presión	1			1			1			1			4
Radiador	1				1				1				3
Cañerías, mangueras y cables	1				1				1				3
Abrazaderas	1			1			1			1			4
Soporte de motor	1						1						2

Fuente: Mantenimiento de Promaq Perú SAC.

En la tabla 3.2.1. se muestra la programación del mantenimiento del subsistema “Motor” para cada ítems o componente relacionado con el motor de los montacargas. Algunos componentes se hacen una vez al mes como la inspección.

3.2.2 Programa de mantenimiento preventivo subsistema “Hidráulico”

Tabla 3.2.2. Programación de mantenimiento preventivo “Subsistema Hidráulico” de montacargas

Componentes de Sub sistemas	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	Tot
Filtro hidráulico	1				1				1				3
Nivel de aceite hidráulico	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
Bomba hidráulica	1				1				1				3
Control de válvulas	1				1				1				3
Pistones	1				1				1				3
Tanque hidráulico	1			1			1			1			4
Cañerías	1				1				1				3
Mangueras	1				1				1				3
Conexiones	1				1				1				3

Fuente: Mantenimiento Promaq SAC

3.2.3 Programa de mantenimiento preventivo “Subsistema eléctrico”

Tabla 3.2.3. Programación de mantenimiento preventivo “Subsistema eléctrico” de montacargas

Componentes de sub sistemas	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	Tot
Alternador	1				1				1				3
Baterías	1				1				1				3
Cables	1			1			1			1			4
Fusibles	1			1			1			1			4

Fuente: área de mantenimiento Promaq SAC

3.2.4 Programa de mantenimiento preventivo de reemplazos de componentes de montacargas.

Este programa se elaboró para hacer el reemplazo de los insumos consumibles que usan estos equipos montacargas, es importante porque así se alarga la vida útil de los equipos montacargas en las instalaciones de Promaq Perú SAC.

Tabla 3.2.4. Programación de mantenimiento preventivo “reemplazos de elementos” de montacargas

Elemento	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	Tot
Aceite de motor	1		1		1		1		1		1		6
Aceite del convertidor de torsión	1						1						2
Aceite de transmisión manual							1						1
Aceite de engranaje diferencial							1						1
Fluido del freno	1						1						2
Aceite del embrague							1						1
Fluido hidráulico	1						1						2
Filtro del aceite del motor	1			1			1			1			4
Filtro de vueltas del convertidor de torsión							1						1
Filtro de combustible	1			1			1			1			4
Filtro de vuelta del aceite hidráulico	1						1						2
Refrigerante							1						1
Filtro del aire	1						1						2
Cable del acelerador												1	1
Cable de estacionamiento												1	1

Fuente: Área de mantenimiento de Promaq SAC

3.2.5 Revisión diaria antes de usar el montacargas

Al comenzar el turno de trabajo, es imprescindible tomar las recomendaciones del manual de montacargas para hacer una revisión previa a la máquina que se va a operar, verificando que el montacargas este habilitado para su operatividad- La revisión debe ser diaria antes de su uso y se muestran las recomendaciones dadas para prevenir las posibles fallas que ocurren por la falta de prevención.

Niveles:

- Revisar carga de baterías.

- Revisar agua de refrigeración del motor.

Funcionamiento en vacío:

- Frenos operativos.
- No debe haber aceite hidráulico debajo de la carretilla.
- El acelerador debe operar suavemente.
- El freno de mano debe estar OK.
- Las cadenas de sujeción deben estar en óptimas condiciones.
- Deben estar OK el aceite motor y el aceite hidráulico.
- El volante debe tener un movimiento suave, demostrando que tiene holgura.
- Verificar que las ruedas no estén desgastadas.
- Las horquillas respecto al eje deben tener integridad y simetría.
- El tablero porta horquillas y de los elementos mecánicos del mástil deben estar operativos.
- Cada circuito hidráulico debe tener funcionamiento suave.
- La luz intermitente y de la sirena de marcha atrás deben estar operativas.
- El correcto funcionamiento del pulsador de hombre muerto, si la carretilla lo lleva.
- El claxon debe sonar adecuadamente.
- Constatar que el pórtico de seguridad no está con inicio de oxidación y está bien amarrado al chasis de la máquina.
- Constatar que no tienen fisuras o roturas las soldaduras del pórtico de seguridad.
- Constatar que si existen deformaciones del pórtico de seguridad no deben afectar la resistencia que tiene.

Fuente: manual de montacargas

3.2.6 Fallas más frecuentes del montacargas

- Goteos o fugas de aceite, combustible u otros fluidos.
- Deterioro del aislamiento eléctrico de las mangueras.
- Alteración de las terminales de las baterías.
- Pérdida de aire en ruedas con neumáticos hinchables.
- Desgaste de las ruedas.

- Deformación de las horquillas.
- Alteración de la simetría de las horquillas respecto al eje.
- Deterioro físico del tablero porta horquillas y de los elementos mecánicos del mástil.

Fuente: manual de montacargas

3.3 Post prueba y su comparación con la pre prueba.

3.3.1 Post Prueba: Nro. de fallas por imprevistos de los montacargas MC1, MC4 y MC3 después de programa de mantenimiento OEE y su comparación con pre prueba

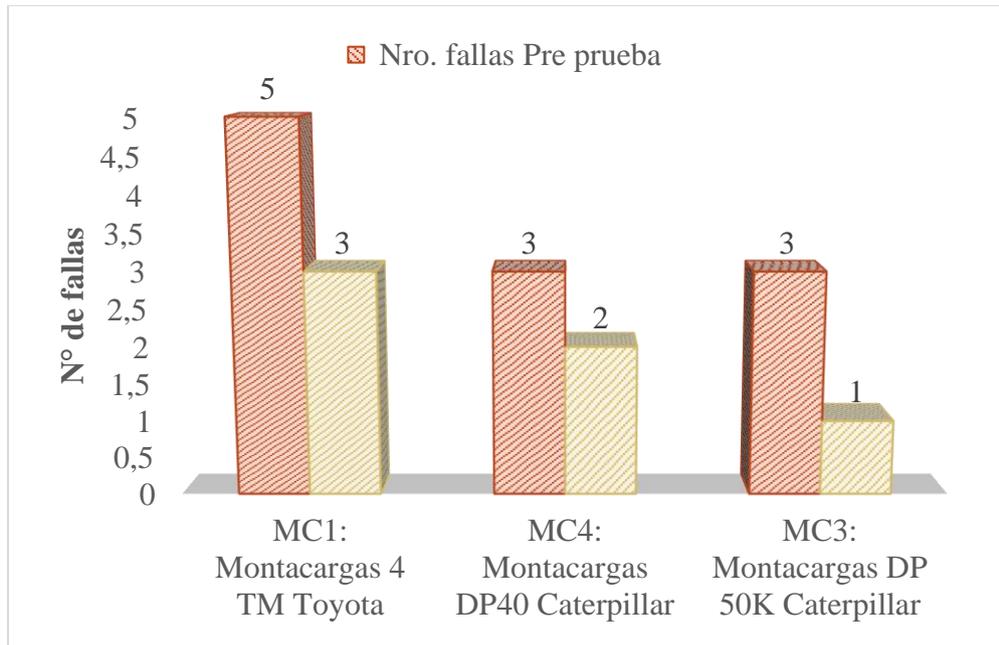
Tabla 3.18. Comparación de número de fallas de los Montacargas MC1, MC4 y MC3 TN Toyota en la pre y post prueba.

2019 MES	Nro. paradas por fallas antes de aplicar el programa de mantenimiento			2019 MES	Nro. paradas por fallas después de aplicar el programa de mantenimiento		
	MC1	MC4	MC3		MC1	MC4	MC3
ABR	1	1	1	JUL	1	1	1
MAY	2	1	1	AGO	1	1	0
JUN	2	1	1	SET	1	0	0
Total	5	3	3		3	2	1
Prom.	1.7	1	1		1	0.7	0.33

Fuente: Data del departamento de mantenimiento de Promaq Perú SAC.

Como se ha determinado que las Montacargas MC1 (4 TM Toyota), MC4 (DP40 Caterpillar) y MC3 (DP50K Caterpillar) son las Montacargas más críticas, se muestra en la tabla 3.18 el detalle mensual del número de parada por la cantidad de mantenimientos realizados cada mes y para la Montacargas MC1 resultó 5 paradas total entre abril y junio del año 2019, siendo 5 paradas de mantenimiento que se ejecutaron en dicho año en el periodo indicado. Para el Montacargas MC4 resultó 3 mantenimientos de parada total en el año 2019 para los meses indicados y para la Montacargas MC3 resultó 3 mantenimientos de parada en el año 2019 para los meses de abril - junio. En el siguiente gráfico se muestra los numero de fallas:

Figura N° 3.11 Nro. de fallas en la pre prueba de abril-mayo-junio 2019 y en el post prueba de Julio-agosto-septiembre de las Montacargas



Fuente: Elaboración propia

Se observa en la figura 3.11 que el número de fallas en post prueba, es decir, después de la aplicación del programa de mantenimiento se ha reducido el número de fallas de las Montacargas MC1 de 5 a 3 fallas en el trimestre de comparación, para MC4 se redujo de 3 fallas a 2 fallas y para MC3 se redujo de 3 a 1 falla. Se tomó los meses abr - jun para la pre - prueba y los meses de jul - set para el post prueba en el presente año 2019.

3.3.2 Post Prueba: Tiempo de paradas por fallas (TPF) de los montacargas MC1, MC4 y MC3 después del programa de mantenimiento OEE y su comparación con la pre prueba

Tabla 3.19. Tiempo promedio de paradas por fallas de los Montacargas MC1, MC4 y MC3 antes y después de aplicar mantenimiento programado con OEE.

Comparación del tiempo de paradas por fallas de los Montacargas MC1, MC4 y MC3 antes y después de aplicar mantenimiento programado con OEE

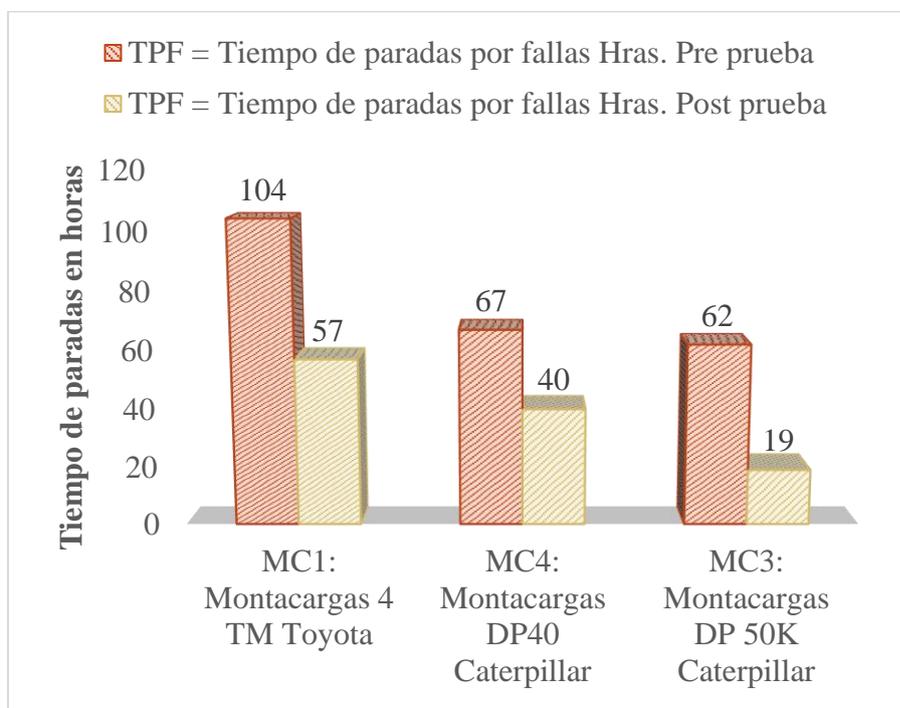
Tabla 3.19 tiempo promedio de paradas por fallas de los montacargas MC1, MC4 y MC3.

2019 MES	Tiempo de paradas por fallas antes de aplicar el programa de mantenimiento			2019 MES	Tiempo de paradas por fallas después de aplicar el programa de mantenimiento			Horas de reducción		
2019 MES	MC1	MC4	MC3	2019 MES	MC1	MC4	MC3	MC1	MC4	MC3
ABR	20	26	22	JUL	19	21	19	1	5	3
MAY	40	21	20	AGO	20	19	0	20	2	20
JUN	44	20	20	SET	18	0	0	26	20	20
Total	104	67	62		57	40	19	47	27	43
Total	104+67+62=233 hrs				57+40+19=116 hrs			47+27+43=117 hrs		

Fuente: Data del departamento de mantenimiento de Promaq Perú SAC.

Se muestra en la tabla 3.19 el detalle mensual del tiempo de parada por fallas (TPF) para la pre prueba de abril mayo y junio y el post prueba de julio, agosto y septiembre tal como se muestra en la tabla anterior y para los montacargas MC1 resultó 104 horas de parada total por fallas en el periodo indicado del año 2019, mientras que en el post prueba disminuyó a 57 horas de parada por fallas habiendo reducido MC1 en 47 horas de parada por fallas de imprevistos. El montacargas MC4 resultó 67 horas de parada total por fallas en el periodo indicado del año 2019, mientras que en el post prueba disminuyó a 40 horas de parada por fallas habiendo reducido MC4 en 27 horas de parada por fallas de imprevistos. El montacargas MC3 resultó 62 horas de parada total por fallas en el periodo indicado del año 2019, mientras que en el post prueba disminuyó a 19 horas de parada por fallas habiendo reducido en 43 horas de parada por fallas de imprevistos. La reducción total en las tres Montacargas fue de 47 horas (MC1) + 27 horas (MC4) + 43 horas (MC3) = 117 horas se redujo las paradas por fallas.

Figura N° 3.12 Tiempo de paradas por fallas en la pre prueba de abril-mayo-junio 2019 y en la pos prueba Julio-agosto-septiembre de las Montacargas.



Fuente: Data del departamento de mantenimiento de Promaq Perú SAC

Se observa en el gráfico mostrado que el tiempo de paradas por fallas en el pos prueba se ha reducido en comparación al tiempo de paradas por fallas en la pre prueba, es decir, después de la aplicación del programa OEE se ha reducido para la Montacargas MC1 de 104 a 57 horas de paradas por fallas de las Montacargas MC1 Montacargas 4 TM Toyota. Mientras que la Montacargas MC4 DP40 Caterpillar se redujo de 67 horas a 40 horas de paradas por fallas en el post prueba con relación a la pre prueba y para MC3 Montacargas DP 50K Caterpillar se redujo de 62 horas a 19 horas en el post prueba con relación a la pre prueba. Se tomó los meses de abril, mayo y junio para la pre - prueba y los meses de julio, agosto y setiembre para el post prueba en el presente año 2019.

3.3.3 Post prueba: Tiempo de producción real (TPR) y su comparación con la pre prueba

En la post prueba se ha tomado los meses de julio, agosto y setiembre del 2019, y para determinar el tiempo de producción real (TPR) se ha considerado en el

post prueba los días que comprende de julio (31 días), agosto (31 días) y septiembre (30 días) resulta 92 días en ese trimestre del 2019 incluyendo los domingos que también laboran los turnos programados siendo 92 días que trabajaron las maquinarias con 16 horas por día de operatividad.

El tiempo de producción programado para la post prueba (TPP):

$$\text{TPP (post prueba)} = 92 \text{ días /trimestre} * 16 \text{ horas /día} = 1472 \text{ horas / trimestre}$$

El tiempo de producción programado para la pre prueba (TPP):

$$\text{TPP (pre prueba)} = 91 \text{ días /trimestre} * 16 \text{ horas /día} = 1456 \text{ horas / trimestre}$$

El tiempo de producción real se calcula con la siguiente formula:

$$\text{TPR} = \text{TPP} - \text{TPF}$$

Dónde:

TPP es el tiempo de producción programado

TPF es el tiempo de paradas por fallas

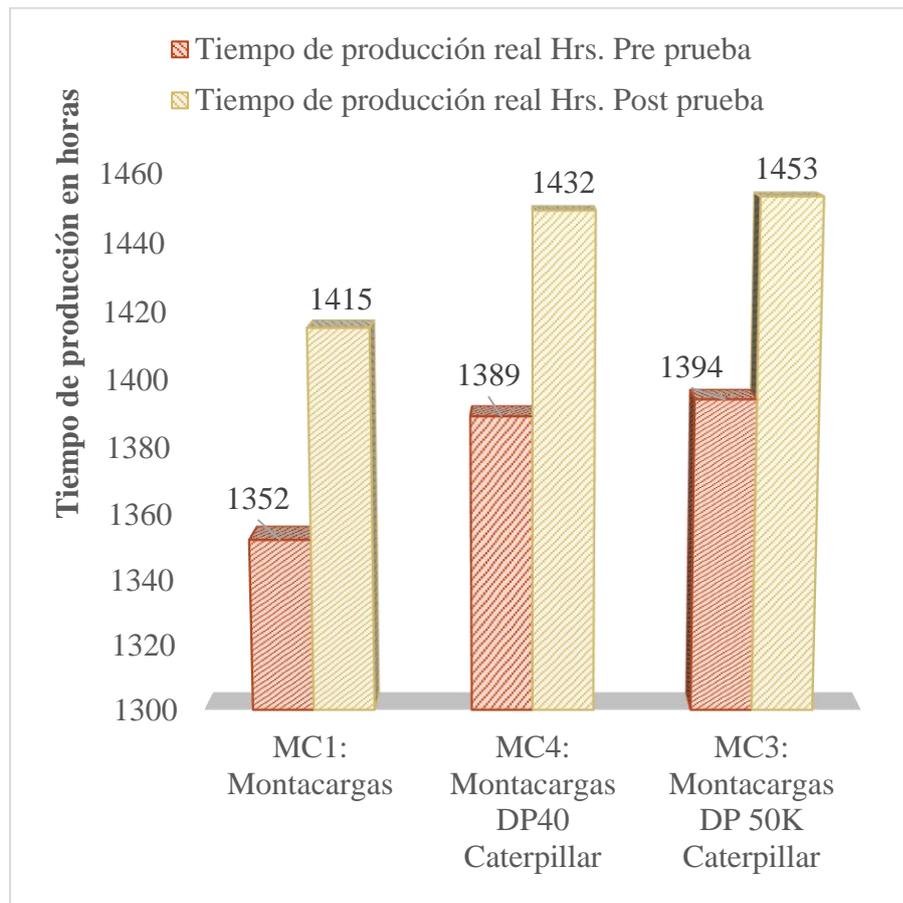
Tabla 3.20. Tiempo producción real de los Montacargas MC1, MC4 y MC3 en la pre y post prueba

Montacargas	Tiempo de producción real Hrs. Pre prueba	Tiempo de producción real Hrs. Post prueba
MC1: Montacargas 4 TM Toyota	$1456 - 104 = 1352 \text{ hrs / trimestre}$	$1472 - 57 = 1415 \text{ hrs / trimestre}$
MC4: Montacargas DP40 Caterpillar	$1456 - 67 = 1389 \text{ hrs / trimestre}$	$1472 - 40 = 1432 \text{ hrs / trimestre}$
MC3: Montacargas DP50K Caterpillar	$1456 - 62 = 1394 \text{ hrs / trimestre}$	$1472 - 19 = 1453 \text{ hrs / trimestre}$

Fuente: Elaboración propia.

El tiempo de producción real del MC1 se obtiene de 1352 horas a 1415 horas de producción real, en el MC4 de 1389 horas a 1432 horas de producción real y en el MC3 DE 1394 horas a 1453 horas de producción real, como se aprecia en la figura 3.13.

Figura N° 3.13 Tiempo de producción real Horas Pre prueba y post prueba



Fuente: Elaboración propia

3.3.4 Post prueba Tiempo medio de reparación de fallas (TMRF) por mantenimiento de montacargas y su comparación con la pre prueba

Según la fórmula:

$$TMRF = \frac{N^{\circ} \text{ de horas por paro de avería}}{\text{Número de averías}} \dots\dots\dots Ec. (10)$$

Fuente propia basado en (Montenegro Leyva Gary Wilber, 2017)

Dónde TMRF es el tiempo medio de reparación de falla

Se calcula el tiempo medio de reparación de falla de los montacargas MC1, MC4 y MC3, expresado en horas por trimestre es decir el numero de horas perdidas sobre el número de fallas como se puede apreciar en la tabla 3.21

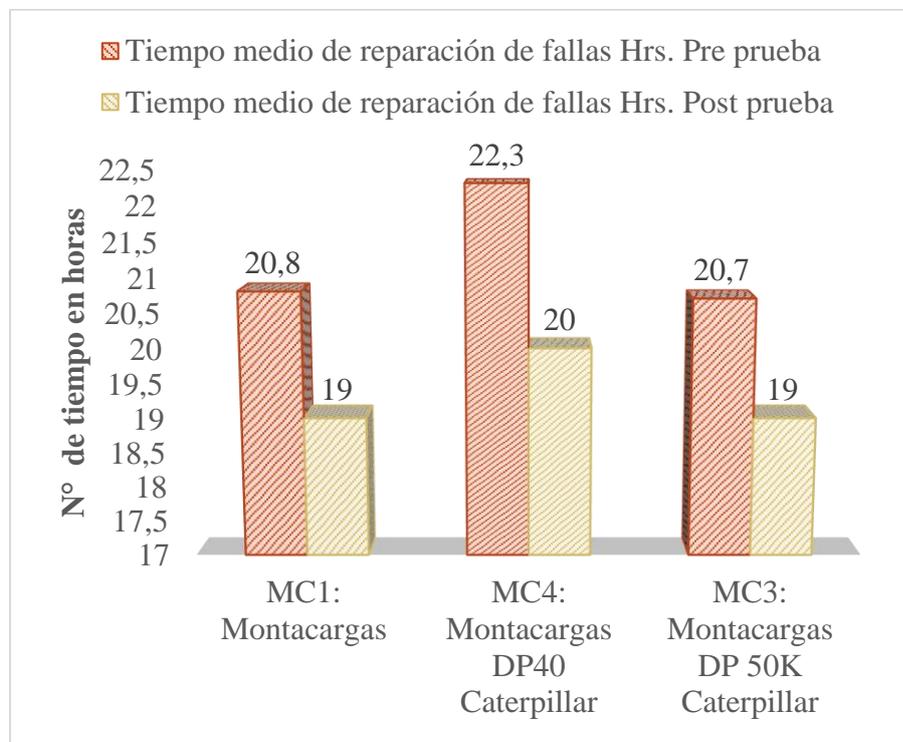
Tabla 3.21. Tiempo medio de reparación de falla de los Montacargas MC1, MC4 y MC3 en la pre y post prueba

Montacargas	Tiempo medio de reparación de falla (TMRF) Hrs. Pre prueba	Tiempo medio de reparación de falla (TMRF) Hrs. Post prueba
MC1: Montacargas 4 TM Toyota	$104 / 5 = 20.8$ hrs /trimestre	$57 / 3 = 19$ hrs /trimestre
MC4: Montacargas DP40 Caterpillar	$67 / 3 = 22.3$ hrs / trimestre	$40 / 2 = 20$ hrs /trimestre
MC3: Montacargas DP 50K Caterpillar	$62 / 3 = 20.7$ hrs / trimestre	$19 / 1 = 19$ hrs /trimestre

Fuente: Elaboración propia.

Se disminuyo los tiempos medios de reparación de falla para el montacarga MC1 de 20.8 horas a 19 horas, MC4 de 22.3 horas a 20 horas y el MC3 de 20.7 horas a 19 horas como se muestra en la figura 3.14

Figura N° 3.14. Pre y post prueba del Tiempo medio de reparación de fallas de Montacargas



Fuente: Elaboración propia

Según la figura anterior se observa que el tiempo medio de reparación de fallas para la Montacargas MC1 (Montacargas 4 TM Toyota), MC4 (Montacargas DP 40K Caterpillar) y MC3 (DP50K Caterpillar) fue menor el tiempo medio de reparación de fallas en la post prueba

3.3.5 Post prueba del Tiempo medio de producción entre fallas por montacargas y su comparación con la pre prueba

Según la fórmula:

$$TMPEF = \frac{N^{\circ} \text{ de horas producción real}}{\text{Número de averías}} \dots\dots\dots Ec. (11)$$

Fuente propia basado en (Montenegro Leyva Gary Wilber, 2017)

Dónde TMPEF es el tiempo medio de producción entre fallas, se calcula el TMPEF por montacargas.

Tabla 3.22. Tiempo medio de producción entre fallas de los Montacargas MC1, MC4 y MC3 en pre prueba y post prueba.

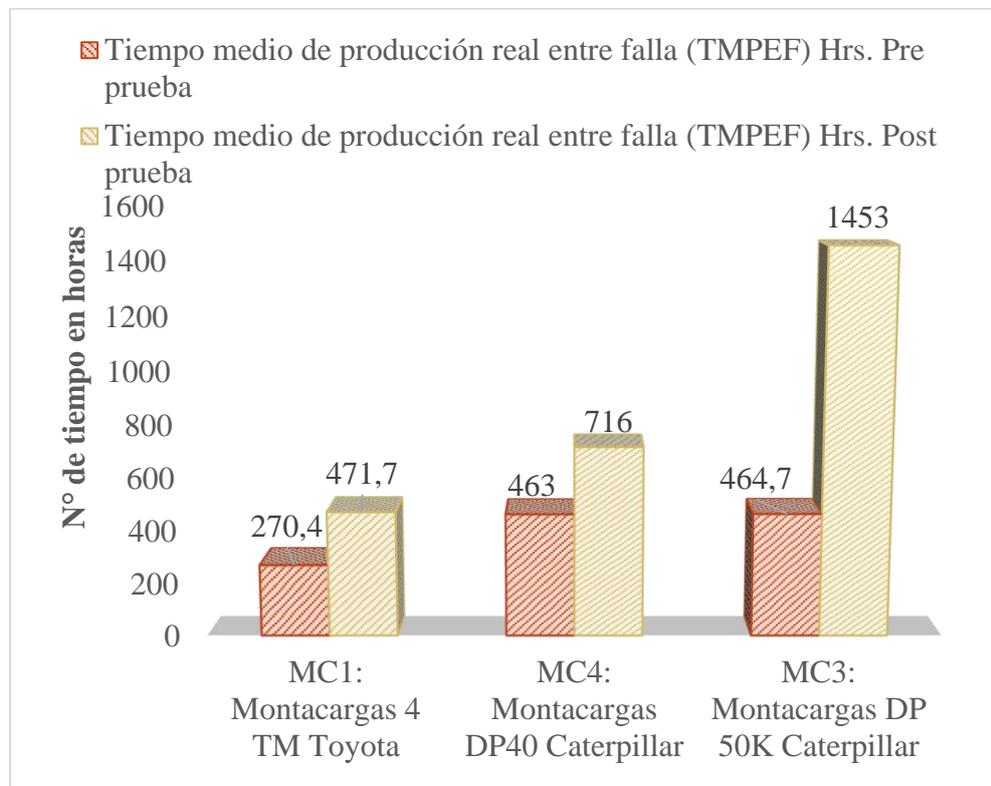
Montacargas	Tiempo medio de producción real entre falla (TMPEF) Hrs. Pre prueba	Tiempo medio de producción real entre falla (TMPEF) Hrs. Post prueba
MC1: Montacargas 4 TM Toyota	1352 / 5 = 270.4 hrs / trimestre	1415 / 3 = 471.7 hrs / trimestre
MC4: Montacargas DP40 Caterpillar	1389 / 3 = 463 hrs / trimestre	1432 / 2 = 716 hrs / trimestre
MC3: Montacargas DP50K Caterpillar	1394 / 3 = 464.7 hrs / trimestre	1453/1 = 1432 hrs / trimestre

Fuente: Elaboración propia

El TMPEF que es el tiempo medio de producción entre fallas para el montacargas MC1 (4 TM Toyota) en el post prueba fue mayor que en la pre prueba (471 > 270.4 horas), lo mismo ocurre para el montacargas MC4 en donde el TMPEF tiempo medio de producción entre fallas en la pre prueba fue de 463 horas / semestre mientras que en el post prueba fue de 716 horas /

semestre que es mayor que la pre prueba. Finalmente, para el montacargas MC3 (Montacargas DP 50K Caterpillar) también es mayor el TMPEF en la post prueba que en la pre prueba. Esto significa que se tendrá más horas de operatividad de los montacargas en la post prueba que en el pre prueba antes que se presente la siguiente falla. Lo expresado se corrobora en la figura 3.15, donde se ve la mejora de los tiempos de producción entre fallas para los tres montacargas críticos de Promaq Perú SAC.

Figura N° 3.15. Tiempo medio de producción (horas) entre fallas de Montacargas en la pre prueba y post prueba.



Fuente: Elaboración propia

3.3.6 Post prueba del porcentaje de tiempo perdido por mantenimiento de montacargas y su comparación con pre prueba

Según la fórmula:

$$PTP = \frac{\text{Tiempo perdido total}}{\text{Tiempo total programado}} * 100\% \dots \dots \dots \text{Ec. (12)}$$

Dónde PTP es el porcentaje de tiempo perdido total por fallas entre el tiempo total programado, se calcula el PTP por montacargas.

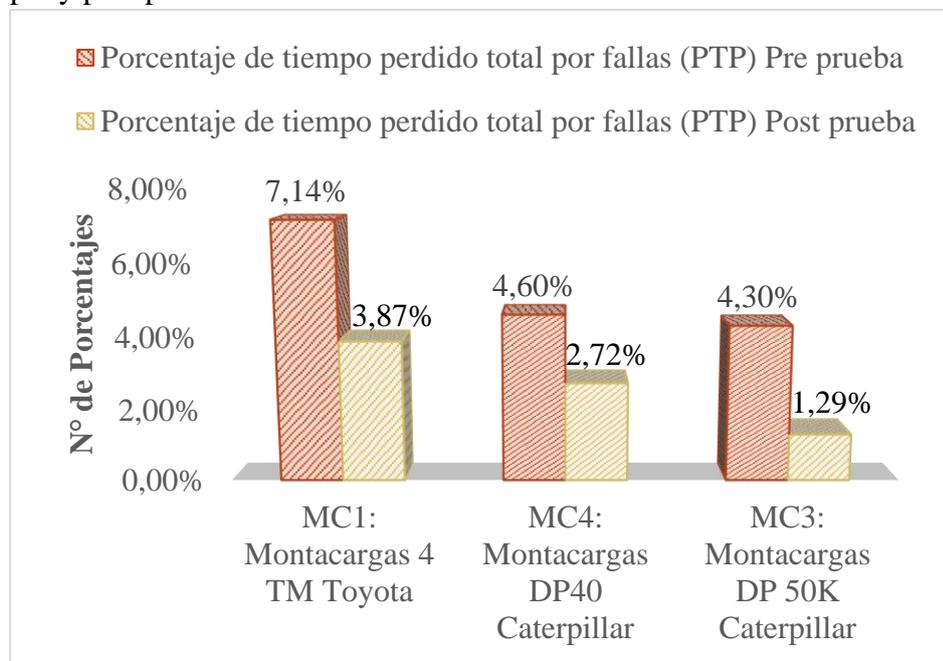
Tabla 3.23. Porcentaje de tiempo perdido total por fallas de los Montacargas MC1, MC4 y MC3 en la pre prueba y post prueba

Montacargas	Porcentaje de tiempo perdido total por fallas (PTP) Pre prueba	Porcentaje de tiempo perdido total por fallas (PTP) Post prueba
MC1: Montacargas 4 TM Toyota	$104 / 1456 * 100\% = 7.14\%$	$57 / 1472 * 100\% = 3.87\%$
MC4: Montacargas DP40 Caterpillar	$67 / 1456 * 100\% = 4.60\%$	$40 / 1472 * 100\% = 2.72\%$
MC3: Montacargas DP 50K Caterpillar	$62 / 1456 * 100\% = 4.3\%$	$19 / 1472 * 100\% = 1.29\%$

Fuente: Elaboración propia.

Para la Montacargas MC1(4 TM Toyota), Montacarga MC4 (Montacargas DP40 Caterpillar) y la Montacarga MC3 (Montacargas DP 50K Caterpillar) se ha disminuido el porcentaje de tiempo perdido en el post prueba con respecto al valor porcentual obtenido en la pre prueba. La siguiente figura muestra los porcentajes de tiempo perdido por fallas en el pre prueba con relación al post prueba como se puede observar en la figura 3.16.

Figura 3.16. Porcentaje de Tiempo perdido por fallas de Montacargas en la pre y post prueba



Fuente: Elaboración propia

3.3.7 Post prueba del Porcentaje de disponibilidad de montacargas y su comparación con la pre prueba

Según la fórmula:

$$D = \frac{\text{Tiempo real producido}}{\text{Tiempo total programado}} * 100\% \dots \text{Ec. (13)}$$

Fuente propia basado en (Montenegro Leyva Gary Wlber, 2017)

Donde D es el porcentaje de disponibilidad que se ha calculado dividiendo el tiempo real producido entre el tiempo total programado por montacargas, como se puede observar en la tabla 3.24 se detalla los resultados encontrados de los tres montacargas críticos.

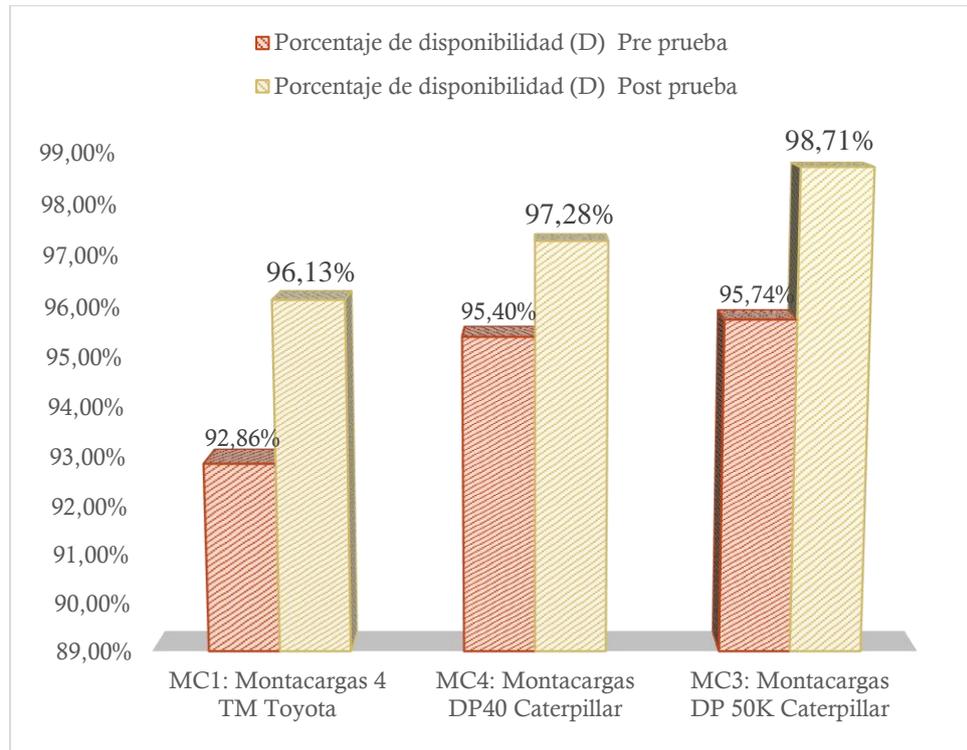
Tabla 3.24. Porcentaje de disponibilidad de los Montacargas MC1, MC4 y MC3 en la pre prueba y post prueba

Montacargas	Porcentaje de disponibilidad (D) Pre prueba	Porcentaje de disponibilidad (D) Post prueba
MC1: Montacargas 4 TM Toyota	1352 / 1456 * 100% = 92.86 %	1415 / 1472 * 100% = 96.13%
MC4: Montacargas DP40 Caterpillar	1389 / 1456 * 100% = 95.40 %	1432 / 1472 * 100% = 97.28%
MC3: Montacargas DP 50K Caterpillar	1394 / 1456 * 100% = 95.74 %	1453 / 1472 * 100% = 98.71%

Fuente: Elaboración propia

Para la Montacargas MC1(4 TM Toyota), Montacarga MC4 (Montacargas DP40 Caterpillar) y la Montacarga MC3 (Montacargas DP 50K Caterpillar) ha aumentado el porcentaje de disponibilidad en el post prueba con respecto al valor porcentual obtenido en la pre prueba. El siguiente gráfico muestra los porcentajes de disponibilidad en el pre prueba con relación a la post prueba:

Figura N° 3.17. Porcentaje de disponibilidad de Montacargas en la pre y post prueba



Fuente: Elaboración propia

3.3.8 Post prueba del porcentaje de confiabilidad de montacargas en el post prueba y su comparación con la pre prueba

Según la fórmula:

$$C = \left(e^{\frac{-\left(\frac{1}{TPR}\right) * TPP}{100}} \right) * 100\% \dots \dots \dots \text{Ec. (14)}$$

Fuente propia basado en (Montenegro Leyva Gary Wilber, 2017)

Dónde:

TPR es el Tiempo de producción real o tiempo de operatividad real

TPP es el Tiempo de producción programado o tiempo programado de operatividad

C es el porcentaje de confiabilidad que se ha calculado según la fórmula mostrada por montacargas.

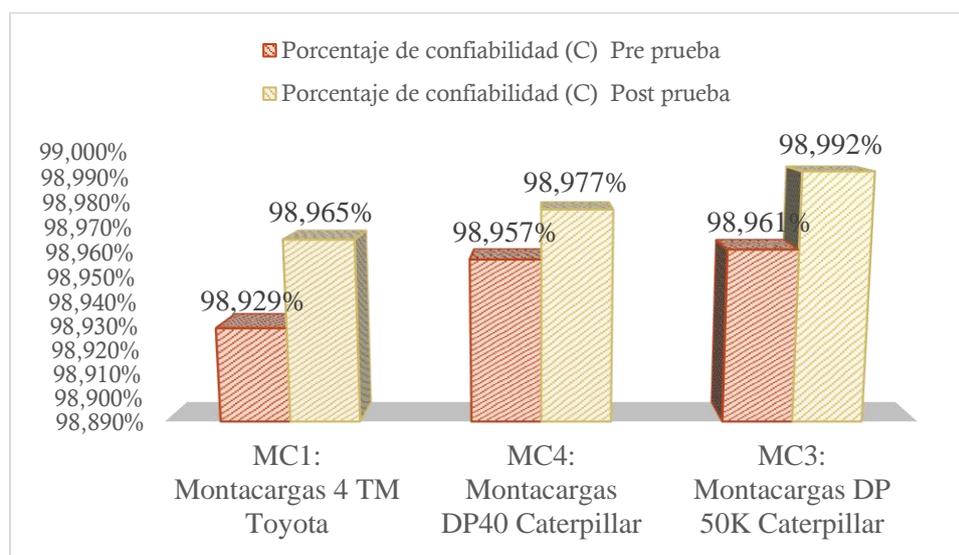
Tabla 3.25. Porcentaje de confiabilidad de los Montacargas MC1, MC4 y MC3 en la pre prueba y post

Montacargas	Porcentaje de confiabilidad (C) Pre prueba	Porcentaje de confiabilidad (C) Post prueba
MC1: Montacargas 4 TM Toyota	$\left(e^{-\frac{(\frac{1}{1352}) * 1456}{100}} \right) * 100\%$ = 98.929%	$\left(e^{-\frac{(\frac{1}{1415}) * 1472}{100}} \right) * 100\%$ = 98.965 %
MC4: Montacargas DP40 Caterpillar	$\left(e^{-\frac{(\frac{1}{1389}) * 1456}{100}} \right) * 100\%$ = 98.957%	$\left(e^{-\frac{(\frac{1}{1432}) * 1472}{100}} \right) * 100\%$ = 98.977 %
MC3: Montacargas DP50K Caterpillar	$\left(e^{-\frac{(\frac{1}{1394}) * 1456}{100}} \right) * 100\%$ = 98.961 %	$\left(e^{-\frac{(\frac{1}{1453}) * 1472}{100}} \right) * 100\%$ = 98.992 %

Fuente: Elaboración propia

Para la Montacargas MC1(4 TM Toyota), Montacarga MC4 (Montacargas DP40 Caterpillar) y la Montacarga MC3 (Montacargas DP 50K Caterpillar) ha aumentado el porcentaje de confiabilidad en el post prueba con respecto al valor porcentual obtenido en la pre prueba. El siguiente gráfico muestra los porcentajes de confiabilidad en el pre prueba con relación a la post prueba:

Figura N° 3.18. Porcentaje de confiabilidad de Montacargas en pre prueba y post prueba.



Fuente: Elaboración propia

3.3.9 Post prueba del porcentaje de mantenibilidad de montacargas y su comparación con la pre prueba

Según la fórmula:

$$M = \left(1 - e^{-\frac{1}{\text{TMRF} \cdot \text{NF}} \cdot \text{TPP}} \right) * 100\% \dots \text{Ec. (15)}$$

Fuente propia basado en (Montenegro Leyva Gary Wilber, 2017)

TMRF es el Tiempo medio de reparación de fallas

NF es el número de fallas por periodo

TPP es el Tiempo de producción programado.

Dónde M es el porcentaje de mantenibilidad que se ha calculado según la fórmula mostrada por montacargas.

En la tabla 3.26 se detalla los resultados encontrados de los tres montacargas críticos en la pre y post prueba.

Tabla 3.26. Porcentaje de mantenibilidad de los Montacargas MC1, MC4 y MC3 en el pre y post prueba.

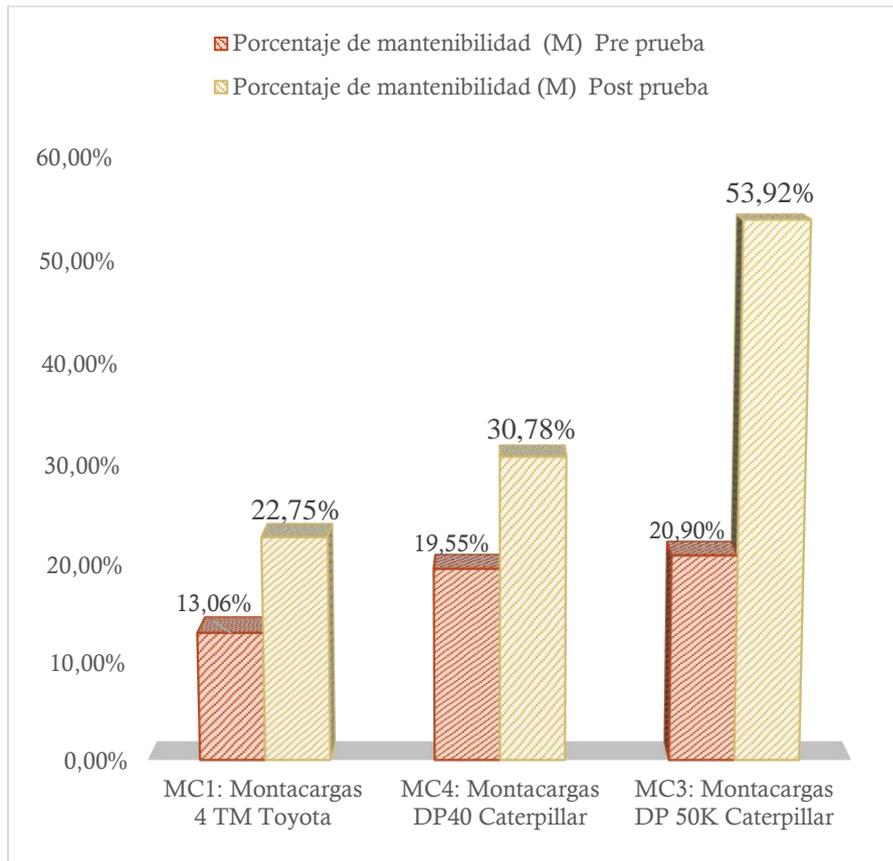
Montacargas	Porcentaje de mantenibilidad (M) Pre prueba	Porcentaje de mantenibilidad (M) Post prueba
MC1: Montacargas 4TM Toyota	$\left(1 - e^{-\frac{1}{104} \cdot 1456} \right) * 100\%$ = 13.06%	$\left(1 - e^{-\frac{1}{57} \cdot 1472} \right) * 100\%$ = 22.75%
MC4: Montacargas DP40 Caterpillar	$\left(1 - e^{-\frac{1}{66.9} \cdot 1456} \right) *$ 100% = 19.55%	$\left(1 - e^{-\frac{1}{40} \cdot 1472} \right) * 100\%$ = 30.78 %
MC3: Montacargas DP50K Caterpillar	$\left(1 - e^{-\frac{1}{62.1} \cdot 1456} \right) * 100\%$ = 20.90%	$\left(1 - e^{-\frac{1}{19} \cdot 1472} \right) * 100\%$ = 53.92%

Fuente: Elaboración propia

Para la Montacargas MC1(4 TM Toyota), Montacarga MC4 (Montacargas DP40 Caterpillar) y la Montacarga MC3 (Montacargas DP 50K Caterpillar) ha aumentado el porcentaje de mantenibilidad en el post prueba con respecto al

valor porcentual obtenido en la pre prueba. En la figura 3.19 muestra los porcentajes de mantenibilidad en el pre prueba con relación a la post prueba:

Figura 3.19. Pre prueba y post prueba del porcentaje de mantenibilidad de Montacargas



Fuente: Elaboración propia

3.3.10 Post prueba de la Eficiencia de montacargas y su comparación con la pre prueba

Según la fórmula:

$$E = D * C * M \dots\dots\dots Ec. (16)$$

Fuente propia basado en (Montenegro Leyva Gary Wlber, 2017)

E es la eficiencia del Montacargas. Reemplazando valores se tiene:

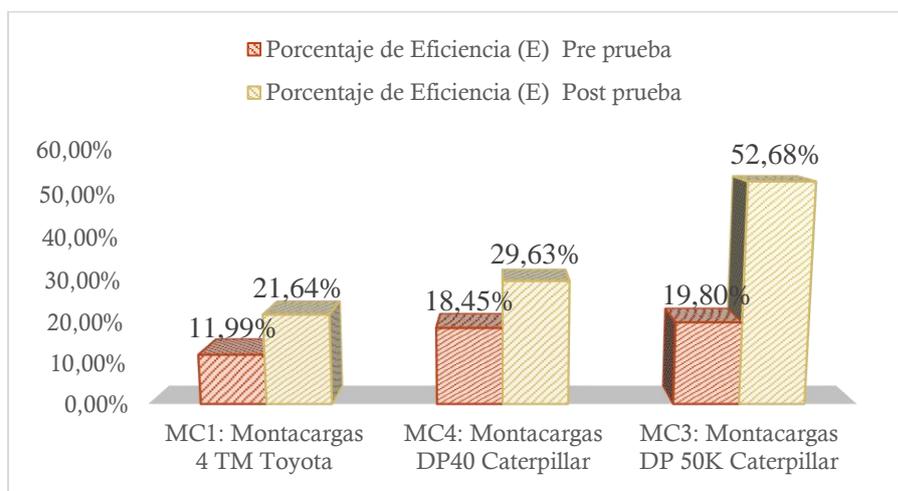
Tabla 3.27. Porcentaje de eficiencia de los Montacargas MC1, MC4 y MC3 en la pre y post prueba.

Montacargas	Porcentaje de Eficiencia (E) Pre prueba	Porcentaje de Eficiencia (E) Post prueba
MC1: Montacargas 4 TM Toyota	$(0.9286*0.98929*0.1306)*100\%$ =11.99%	$(0.9613*0.98965*0.2275)*100\%$ =21.64%
MC4: Montacargas DP40 Caterpillar	$(0.9540*0.98957*0.1955)*100\%$ =18.45%	$(0.9728*0.98977*0.3078)*100\%$ =29.63%
MC3: Montacargas DP50K Caterpillar	$(0.9574*0.98961*0.2090)*100\%$ =19.80%	$(0.9871*0.98992*0.5392)*100\%$ =52.68%

Fuente: elaboración del tesista

Para la Montacargas MC1(4 TM Toyota), Montacarga MC4 (Montacargas DP40 Caterpillar) y la Montacarga MC3 (Montacargas DP 50K Caterpillar) ha aumentado el porcentaje de 11.99% a 21.64% para el MC1, de 18.45% a 29.63% para el MC4 y de 19.80% a 52.68% se observa un aumento de eficiencia en el post prueba con respecto al valor porcentual obtenido en la pre prueba. La figura 3.20 muestra los porcentajes de eficiencia en el pre prueba con relación a la post prueba.

Figura N° 3.20. Porcentaje de Eficiencia de Montacargas en la pre y post prueba.



Fuente: Elaboración propia.

Además, se muestra los resultados de todos los indicadores en la tabla 3.28 que se obtuvo tanto en la pre prueba como en el post prueba para los meses correspondiente al abril – mayo – junio y julio – agosto – septiembre.

Tabla 3.28 comparación de resultados

COMPARACIÓN DE RESULTADOS						
MONTACARGAS	PRE PRUEBA			POST PRUEBA		
	MC1	MC4	MC3	MC1	MC4	MC3
N° de fallas Tabla 3.18	5	3	3	2	2	1
Tiempo Perdido Tabla 3.19	104 hr	67 hr	62 hr	57 hr	40 hr	19 hr
TPR Tabla 3.20	1352 hr	1389 hr	1394 hr	1415 hr	1432 hr	1453 hr
TMRF Tabla 3.21	20.8 hr	22.3 hr	20.7 hr	19 hr	20 hr	19 hr
TMPEF Tabla 3.22	270.4 hr	463 hr	464.7 hr	471.7 hr	716 hr	1432 hr
PTP Tabla 3.23	7.14%	4.60%	4.30%	3.87%	2.72%	1.29%
Disponibilidad Tabla 3.24	92.86%	95.40%	95.74%	96.13%	97.28%	98.71%
Confiabilidad Tabla 3.25	98.92%	98.95%	98.96%	98.96%	98.97%	98.99%
Mantenibilidad Tabla 3.26	13.06%	19.55%	20.90%	22.75%	30.78%	53.92%
Eficiencia Tabla 3.27	11.99%	18.45%	19.80%	21.64%	29.63%	52.68%

Fuente: elaboración propia

3.4 Reducción de costos post prueba con relación a la pre prueba

3.4.1 costos de mano de obra. El costo hora de un trabajador de mantenimiento es S/20/hr y trabajan 5 en el área de mantenimiento

Tabla 3.29. Comparación de costos de mano de obra para el mantenimiento de Montacargas MC1, MC4 y MC3 TN Toyota en la pre y post prueba

2019 MES	Costos de mano de obra pre prueba			2019 MES	Costos de mano de obra pos prueba		
	MC1	MC4	MC3		MC1	MC4	MC3
ABR	20h*S/20/h = S/.400	26h*S/20/h = S/.520	22h*S/20/h = S/.440	JUL	19h*S/20/h = S/.380	21h*S/20/h = S/.420	19h*S/20/h = S/.380
MAY	40h*S/20/h = S/.800	21h*S/20/h = S/.420	20h*S/20/h = S/.400	AGO	20h*S/20/h = s/ 400	19h*S/20/h = S/.380	0
JUN	44 h*S/20/h = S/.880	20h*S/20/h = S/.400	20h*S/20/h = S/.400	SET	18h*S/20/h = S/.360	0	0
Total* trabajador	104h*S/20/h = S/.2080	67h*S/20/h =S/.1340	62h*S/20/h = S/.1240		57h*S/20/h = S/.1140	40h*S/20/h = S/.800	19h*S/20/h = S/.380
Total*5 trabajador	S/.2080 * 5 = S/.10,400	S/.1340 * 5 =S/.6,700	S/.1240*5 = S/.6,200		S/.1140*5 = S/.5,700	S/.800*5 = S/.4,000	s/380 * 5 = S/.1,900

Fuente: Data del departamento de mantenimiento de Promaq Perú SAC

3.4.2 Costos de materiales y reemplazos

Los gastos en materiales y reemplazos:

Tabla 3.30. Comparación de costos de materiales y reemplazos por mantenimiento de Montacargas MC1, MC4 y MC3 TN Toyota en la pre y post prueba

2019 MES	Costos de materiales y reemplazos pre prueba			2019 MES	Costos de materiales y reemplazos post prueba		
	MC1	MC4	MC3		MC1	MC4	MC3
ABR	S/.155.0	S/.175.0	S/.144.0	JUL	S/.137.0	S/.189.0	S/96.00
MAY	S/.409.0	S/.135.0	S/.159.0	AGO	S/.126.0	S/.125.0	S/0.00
JUN	S/.367.0	S/.186.0	S/.166.0	SET	S/.166.0	S/0.00	S/0.00
Total * materiales y reemplazos	S/.931.0	s/496.0	S/.469.0		S/.429.0	S/.314.0	S/96.00

Fuente: Data del departamento de mantenimiento de Promaq Perú SAC.

3.4.3 Costos totales de mantenimiento.

Se suman los costos de mano de obra y materiales.

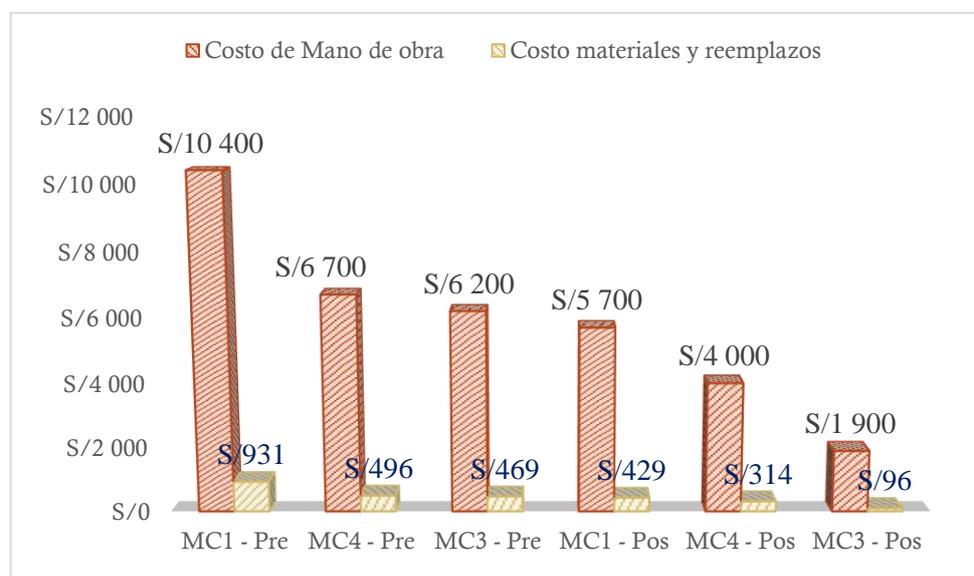
Tabla 3.31. Comparación de costos totales por mantenimiento de Montacargas MC1, MC4 y MC3 TN Toyota en la pre y post prueba

Costo	Costos totales por mantenimiento pre prueba (2019 Mes Abr-Jun)			Costos totales por mantenimiento post prueba (2019 Mes Jul-Set)		
	MC1	MC4	MC3	MC1	MC4	MC3
Costo de Mano de obra	S/.10,400	S/.6,700	S/.6,200	S/.5,700	S/.4,000	S/.1,900
Costo materiales y reemplazos	S/.931.0	s/496.0	S/.469.0	S/.429.0	S/.314.0	S/96.00
Costo total	S/.11,331	S/.7,196	S/. 6,669	S/.6,129	S/.4,314	S/.1,996
Costo Pre - Pos	S/. 25,196			S/. 12,439		
% de ahorro	S/. 25,196 - S/. 12,439 = S/. 12,757 que equivale a 50.6% de reducción en costos.					

Fuente: Data del departamento de mantenimiento de Promaq Perú SAC.

Figura N° 3.21. Comparación de costos totales por mantenimiento de Montacargas MC1, MC4 y MC3 TN Toyota en la pre y post prueba.

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Estos costos corresponden a las pérdidas de margen de explotación debidas a un problema de mantenimiento que se han producido en la pre prueba y que en la post prueba se han reducido en 50.6% los costos gracias al programa de mantenimiento con control OEE.

IV. DISCUSIÓN

Se realizó el diagnóstico en la pre prueba antes de aplicar el método de eficiencia general de los equipos montacargas obteniendo como resultado en disponibilidad para el montacarga 1 (MC1) 92.86%, para el montacarga 4 MC4 de 95.40% y para el montacarga 3 (MC3) de 95.74%, así como en la confiabilidad en 98.92% para el MC1, 98.95% para el MC4 y 98.96% para el MC3, y la mantenibilidad fue de 13.06% para el MC1, 19.55% para el MC4 y 20.90% para el MC3, como se muestra en la tabla 3.28, se compara el diagnóstico con Ccapacca en su investigación realizada en la Universidad César Vallejo sede Lima. Obtuvo en el diagnóstico un nivel bajo de la disponibilidad de los montacargas, se evidencia que fue de 64.0%, y su mantenibilidad fue de 20.4%, y las medias de la confiabilidad fue de 34.6%,

Se ha elaborado el Programación de mantenimiento preventivo que se aplico a los subsistemas “motor”, subsistemas “eléctrico” y subsistemas “hidráulico”, que ayudo a reducir el número de fallas de los equipos y los tiempos perdidos, lo cual ayuda a llevar un orden programado de mantenimiento lo cual ayudo a mejorar los indicadores de mantenimiento

Se redujo los tiempos de para de los equipos gracias a que se realizó el programa de mantenimiento ya que el tiempo es importante para realizar los cálculos de indicadores teniendo como resultado en el montacarga 1 (MC1) de 104 horas a 57 horas, para el montacarga 4 (MC4) de 67 horas a 40 horas, para el montacarga 3 (MC3) de 62 horas a 19 horas de paradas por falla como se muestra en la figura N° 3.12.

Se mejoró la disponibilidad del montacargas 1 (MC1) de 92.86% a 96.13%, el montacarga 4 (MC4) de 95.40% a 97.28% y el montacarga 3 (MC3) mejoró de 95.74% a 98.71%, así como también la confiabilidad para los montacargas MC1 de 98.92% a 98.96%, MC4 de 98.95% a 98.97% y MC3 de 98.96 % a 98.99% y la mantenibilidad se obtuvo los siguientes resultados para MC1 de 13.06% a 22.75%, MC4 de 19.55% a 30.78% y el MC3 de 20.90% a 53.92%, siendo la mejora de la mantenibilidad en 33.02%. además, se logró mejorar la eficiencia de los equipos gracias a la aplicación del método de eficiencia teniendo como resultado final para el MC1 de 11.99% a 21.64%, MC4 de 18.45% a 29.63% y finalmente el MC3 de 19.80% a 52.68% como se aprecia en la tabla 3.28.

se redujo los costos de mantenimiento teniendo menos horas en mano de obra y realizando cambios de componentes críticos en cada montacarga, así alargar la vida útil del equipo lo cual se obtuvo un 50.6%, de reducción de costos gracias al programa de mantenimiento.

V. CONCLUSIONES

De acuerdo al objetivo específico 1 se diagnosticó el nivel de mantenimiento para los meses de enero a junio del 2019 concluyéndose que el nivel de disponibilidad en dicho semestre fue de 94.5% para el montacargas MC1, de 94.9% para el montacargas MC4 y de 95.3% para el montacargas MC3 por lo que se observa que, si bien es cierto que existe un buen nivel de disponibilidad, pero aún hay que mejorarla hasta llegar al 100% de disponibilidad. La confiabilidad fue de 98.5% aproximadamente para los tres montacargas y es necesario llegar a un mayor nivel de confiabilidad siendo la meta el llegar al 100% de confiabilidad. Para la mantenibilidad del montacargas MC1 fue de 16.63%, para MC4 fue de 20.5% y para MC3 fue de 24.5% siendo el nivel de mantenibilidad baja para los tres montacargas.

Se muestra la programación del mantenimiento del subsistema “Motor” para cada componente relacionado con el motor de los montacargas y se ha programado el mantenimiento para 12 meses a partir de julio del 2019 hasta junio del 2020 indicándose la frecuencia de mantenimiento por cada componente en el horizonte de un año. se ha elaborado la programación de mantenimiento preventivo “Subsistema Motor,” “Subsistema Hidráulico” y subsistema eléctrico, además de la Programación de mantenimiento preventivo “reemplazos de elementos” de montacargas. Así también se elaboró la revisión diaria antes de usar el montacargas.

Se redujo los tiempos de mantenimiento, se muestra el detalle mensual del tiempo de parada por fallas (TPF) para la pre prueba corresponde a los meses de abril mayo y junio y el post prueba corresponde a los meses de julio, agosto y septiembre para el montacargas MC1 resultó 104 horas de parada total por fallas en el periodo indicado del año 2019, mientras que en el post prueba disminuyó a 57 horas de parada por fallas habiendo reducido MC1 en 47 horas de parada por fallas de imprevistos. El montacargas MC4 resultó 67 horas de parada total por fallas en el periodo indicado del año 2019, mientras que en el post prueba disminuyó a 40 horas de parada por fallas habiendo reducido MC4 en 27 horas de parada por fallas de imprevistos. El montacargas MC3 resultó 62 horas de parada total por fallas en el periodo indicado del año 2019, mientras que en el post prueba disminuyó a 19 horas de parada por fallas habiendo reducido en 43 horas de parada por fallas de imprevistos. La reducción total en las tres Montacargas fue de 47 horas (MC1) en 27 horas (MC4) en 43 horas (MC3) en 117 horas por paradas por fallas.

Se redujo los costos de mantenimiento de s/25.96 en los tres meses de abril, mayo y junio del 2019 que corresponde a la pre prueba a un s/12.752 en la pos prueba que corresponde a los meses de julio, agosto y septiembre del 2019, reduciendo así en un 50.6% de los gastos por averías

Se concluye que se ha incrementado el OEE del MC1 de 11.99% a 21.64%, para MC4 incrementó de 18.45% a 29.63% y para MC3 incrementó de 19.80% a 52.68% siendo muy significativo el incremento de OEE en los montacargas MC3.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda al jefe de mantenimiento capacitar en el programa de mantenimiento con eficiencia general de equipos al personal para elevar la efectividad del control de mantenimientos programados por cada subsistema.

Se recomienda al jefe de mantenimiento llevar un control más estricto de los OEE para mejorar aún más los valores obtenidos en la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad del montacarga.

Se recomienda al jefe de mantenimiento tener un control estricto de los registros de las reparaciones de los montacargas es vital para tomar decisiones en relación a la mantenibilidad o de reemplazar las maquinarias.

.

.

REFERENCIAS

Alvarado Beltrán, Ricky Ronny. 2017. *Implementación de base de datos para el mantenimiento programado de maquinaria pesada como base de la gestión de mantenimiento: empresa STRACON GyM.* Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo : s.n., 2017. pág. 93, Tesis.

Angulo Porras, Cristian. 2017. *Propuesta de modificación de mantenimiento preventivo para mejorar la confiabilidad de los grupos generadores de la central hidroeléctrica Cahua.* Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Centro del Perú. Huancayo : s.n., 2017. pág. 99, Tesis.

Bernilla Purihuaman, Ronel. 2016. *PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA INCREMENTAR LA DISPONIBILIDAD DE LA MAQUINARIA PESADA (VOLQUETES) DE LA EMPRESA BAZHER S.R.L., CHICLAYO, 2015.* Facultad de Ingeniería, Universidad Cesar Vallejo. Chiclayo : s.n., 2016. pág. 120, Tesis.

Buelvas, Camilo y Martínez, Kevin. 2014. *ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA MAQUINARIA PESADA DE LA EMPRESA L&L.* Facultad de Ingeniería, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL CARIBE . Barranquilla : s.n., 2014. pág. 72, Tesis.

Campos Ventura, Víctor ALEX. 2017. *PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE LOS ACTIVOS CRÍTICOS EN LA EMPRESA CARTAVIO S.A.A.* Facultad de Ingeniería, Universidad Privada del Norte. Trujillo : s.n., 2017. pág. 268, Tesis.

Cárcel, J. 2014. *La gestión de conocimiento en la ingeniería del mantenimiento industrial.* *omniascience.* [En línea] 2014. [Citado el: 11 de 9 de 19.] <https://www.omniascience.com/books/>.

Castillo Villavicencio, Daniel Roberto. 2016. *Automatización del mantenimiento preventivo y correctivo de montacargas eléctricos de una empresa automotriz de la ciudad de Guayaquil.* Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas, Universidad de Guayaquil. Guayaquil : s.n., 2016. pág. 195, Tesis.

Ccapacca Medina, Michael Roger. 2018. *Implementación de una propuesta de Gestión de Mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los montacargas en una empresa manufacturera de envases metálicos, Lima 2017.* Facultad de Ingeniería, Universidad Cesar Vallejo. Trujillo : s.n., 2018. pág. 158, Tesis.

2019. Construpedia. [En línea] 2019. [Citado el: 11 de 9 de 2019.] https://www.construmatica.com/construpedia/Cami%C3%B3n_Volquete.

Cruelles Ruiz, José Agustín. 2010. *La Teoría de la Medición del Despilfarro.* 2da. Toledo : s.n., 2010.

Díaz Gonzalez, Miguel Ángel. 2014. *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa equipos técnicos de Colombia ETECOL SAS.* Facultad de ingeniería mecánica, Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira - Colombia : s.n., 2014. pág. 407, Tesis.

Diseño del Método de disponibilidad Dupont como soporte a la toma de decisiones en el mantenimiento. **Consuegra Díaz, Felipe, y otros. 2017.** 3, La Habana : s.n., Setiembre de 2017, Ingeniería Mecánica , Vol. 20.

Eadbox. 2018. Diagrama Pareto. [En línea] <https://es.eadbox.com/diagrama-de-pareto/>, 2018. [Citado el: 18 de 11 de 2019.] <https://es.eadbox.com/diagrama-de-pareto/>.

Evaluación de la eficiencia general de los equipos como indicador de desempeño en la implantación de TPM. **Rodríguez y Cruz, De la. 2015.** México : s.n., Junio de 2015, Revista electrónica de Divulgación de la Investigación, Vol. 9, pág. 63.

Guerra Poma, José Carlos. 2014. *PLAN DE LUBRICACIÓN PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LAS MAQUINARIAS PESADAS UTILIZADA EN EL MANTENIMIENTO DE CARRETERAS EN LA EMPRESA ICCGSA.* Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad nacional del Centro del Perú. Huancayo : s.n., 2014. pág. 215, Tesis.

Guevara, Juan y Tapia, Ever. 2015. *Propuesta de un plan de mantenimiento total para la maquinaria pesada en la empresa Ángeles – Proyecto Minero La Granja, 2015.* Facultad de Ingeniería, Universidad Cesar Vallejo. Chiclayo : s.n., 2015. pág. 117, Tesis.

Gutierrez, D. 2018. Geniolandia. [En línea] 02 de 2018. [Citado el: 11 de 9 de 2019.] <https://www.geniolandia.com/13098801/definicion-de-maquinaria->

pesada#targetText=La%20maquinaria%20pesada%20es%20una,o%20el%20transporte%20de%20material..

Índices e Indicadores de Gestión de Mantenimiento en las Pymes del Estado Táchira. **Leal y Zambrano. 2019.** Montevideo : s.n., 2019, pág. 8.

Lamas, Luis. 2019. *Mantenimiento preventivo de montacargas.* Lima : s.n., 2019.

2019. Maquipedia. [En línea] 2019. [Citado el: 11 de 9 de 2019.] <https://maquipedia.com/maquinas/construccion/excavadora/>.

Modelo Estocástico para la eficiencia global de los equipos (OEE): consideraciones prácticas para su utilización. **Álvarez Laverde, Héctor René y Sanchez Silva, Rocío Andrea. 2016.** 2, 2016, Vol. 3, pág. 57.

Mohr Barría, Paulina. 2012. *PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA LA MEDICIÓN DE EFICIENCIA GENERAL DE LOS EQUIPOS EN LÍNEAS DE PROCESOS DE SECCIÓN MANTEQUILLA EN INDUSTRIA LÁCTEA.* Escuela de Ingeniería Civil, Universidad Austral de Chile. Puerto Montt : s.n., 2012. pág. 92, Tesis.

Ortega, E. 2008. *Montaje y mantenimiento mecánico.* 2da. s.l. : Librosfp, 2008.

Pablo-Romero Carranza, José Luis. 2013. *Análisis de criticidad y estudio RCM del equipo de máxima criticidad de una planta desmontadora de algodón.* ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA. Sevilla - España : ETSI, 2013.

Pérez Jaramillo, Carlos Mario. *Gerencia de Mantenimiento y Sistema de Información.* Bogotá : s.n. pág. 309.

Ponce Marreros, José Luis. 2017. *DISTRIBUCIÓN DE PLANTA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA GLOBAL DE LOS EQUIPOS, ÁREA DE HABILITADO DE PRODUCTOS; EMPRESA SIDERÚRGICA DEL PERÚ S.A.A. CHIMBOTE, 2016.* Facultad de Ingeniería, Universidad Cesar Vallejo. Trujillo : s.n., 2017. pág. 155, Tesis.

Prando, Raúl. 1996. *Manual de gestión de mantenimiento a la medida.* El Salvador : s.n., 1996.

PROMAQ PERU SAC. 2019. Promaq. [En línea] 2019. [Citado el: 8 de 9 de 2019.] <http://www.promaqperu.com/>.

Ramos Sparrow, Julio. 2017. *Aumento de la disponibilidad mediante la implementación de un plan de mantenimiento preventivo a las maquinarias de la empresa Atlanta Metal Drill S.A.C.* Facultad de ingeniería, Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo : s.n., 2017. pág. 112, Tesis.

Reyes Villarruel, Hipolito Guillermo. 2018. *PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LA FLOTA DE MONTACARGAS DE LA EMPRESA UNIMAQ.* Facultad de ingeniería, Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo : s.n., 2018. pág. 90, Tesis.

Rodríguez, Christian. 2014. *Causa raíz de las fallas en los componentes en maquinaria pesada.* 2014. Informe.

Siccha Reyes, Pablo Gerardo. 2017. *IMPLEMENTACION DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE TRACTO CAMIONES DE LA EMPRESA GRUPO TRANSPESA SAC.* Facultad de ingeniería, Universidad nacional de Trujillo. Trujillo : s.n., 2017. pág. 65, Tesis.

Siguas Sifuentes, Sandra. 2003. *Proyecto de inversión para el servicio de alquiler de montacargas.* Facultad de Ingeniería Industrial., Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima : s.n., 2003. Tesis.

Tamboreo del Pino, José. 2010. Carretillas elevadoras CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO. *CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO.* [En línea] 2010. [Citado el: 12 de 9 de 2019.] <https://www.insst.es/>.

Tipos de mantenimiento . **Sexto, Luis Felipe. 2017.** 2017.

Tuesta Yliquib, Yehisson. 2014. *Plan de mantenimiento para mejorar la disponibilidad de los equipos pesados de la empresa Obrainsa.* Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Callao. Callao : s.n., 2014. pág. 221, Tesis.

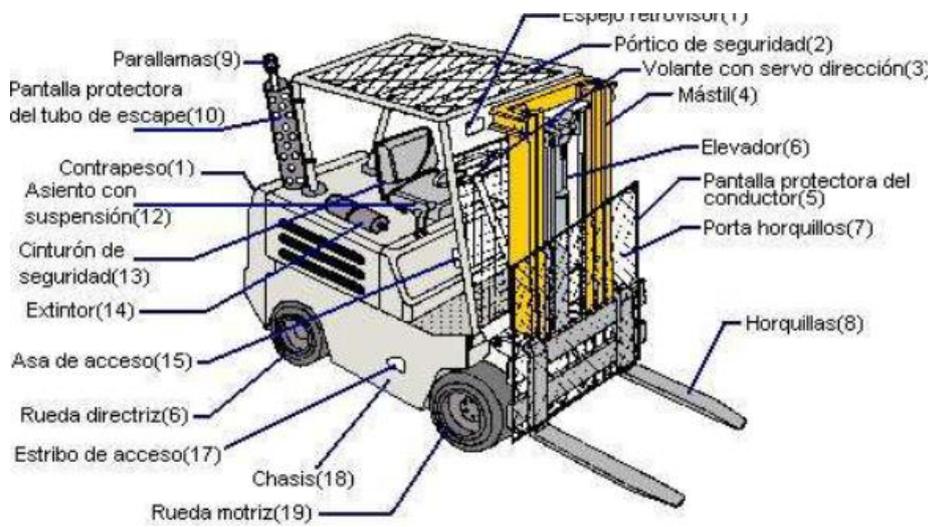
Villegas Arenas, Juan Carlos. 2016. *PROPUESTA DE MEJORA EN LA GESTIÓN DEL ÁREA DE MANTENIMIENTO, PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA EMPRESA “MANFER S.R.L. CONTRATISTAS GENERALES”.* FACULTAD DE INGENIERÍA Y COMPUTACIÓN, UNIVERSIDAD CATÓLICA SAN PABLO. Arequipa : s.n., 2016. pág. 330, Tesis.

Zegarra Ventura, Manuel Enrique. 2015. *Gestión moderna del mantenimiento de equipos pesados.* Lima : Universidad Alas Peruanas, 2015. pág. 11.

Zevallos Otiniano, Wendy Lizet. 2013. *Propuesta de mejora en la gestión de la flota de montacargas en la planta de Huachipa de la empresa AJEPER.* Facultad de Ingeniería, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima : s.n., 2013. Tesis.

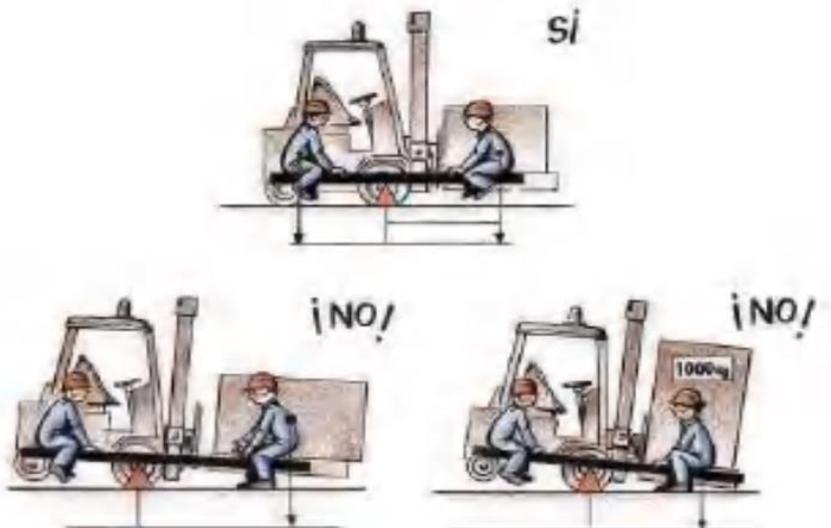
ANEXOS

Anexo 1: Descripción del montacargas



Fuente: Manual de montacargas

Anexo 2: Pérdida de la estabilidad del montacargas



Fuente: Manual de montacargas

Pierde su estabilidad cuando la carga es muy larga o pesada

Anexo 3. Riesgos y medidas de prevención

a. Vuelco lateral de la carretilla



Fuente: manual de montacargas

Anexo 4. Carta de autorización para desarrollar la investigación en la empresa Promaq Perú S.A.C.



CARTA DE AUTORIZACIÓN

Señores:

Universidad cesar vallejo: Escuela académico profesional de ingeniería mecánica

Presente:

Asunto: autorización para desarrollar tesis

Por medio de la presente, comunica a ustedes, que el senior Robin Zumaeta Lopez con DNI N° 43186895 tiene el permiso por parte de la empresa PROMAQ PERU S.A.C. para desarrollar la tesis titulada "APLICACIÓN DE EFICIENCIA GENERAL DE EQUIPOS (OEE) PARA MEJORAR EL MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS PESADOS DE PROMAQ PERU S.A.C." dentro de las instalaciones de la empresa.

PROMAQ PERÚ S.A.C.

[Handwritten Signature]
Gerardo P. Calderón Huananqui
GERENTE GENERAL

Anexo 5. Validación de instrumentos.

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ITEM	CRITERIOS A EVALUAR						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse un ítem por favor indique)
	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		
	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
1	/		/		/		
2	/		/		/		
3	/		/		/		
4	/		/		/		
5	/		/		/		
6	/		/		/		
7	/		/		/		
8	/		/		/		
ASPECTOS GENERALES					SI	NO	
El instrumento contiene instrucciones claras y precisas para responder el cuestionario					/		
Los ítems permiten el logro del objetivo de la investigación.					/		
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso de ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir					/		
VALIDEZ							
APLICABLE					/		NO APLICABLE
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							

¹Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado de la variable y/o dimensión

²Relevancia: El ítem es apropiado para representar el indicador de la dimensión y la variable

³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto directo

DATOS GENERALES DEL EXPERTO

Apellidos y Nombres

: Chuquillanqui Vereau, Jhon Edgardo

Profesión

: Ing. Mecánico

Especialidad

: Maestro en Ing. Mecánica


 Jhon E. Chuquillanqui Vereau
 ING MECANICO
 R. CIP 75063

 Firma del Experto

Anexo 6. Validación de instrumentos

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ITEM	CRITERIOS A EVALUAR						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse un ítem por favor indique)
	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		
	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
1	/		/		/		
2	/		/		/		
3	/		/		/		
4	/		/		/		
5	/		/		/		
6	/		/		/		
7	/		/		/		
8	/		/		/		
ASPECTOS GENERALES					SÍ	NO	
El instrumento contiene instrucciones claras y precisas para responder el cuestionario					/		
Los ítems permiten el logro del objetivo de la investigación					/		
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso de ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir					/		
VALIDEZ							
APLICABLE					/	NO APLICABLE	
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							

¹Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado de la variable y/o dimensión

²Relevancia: El ítem es apropiado para representar el indicador de la dimensión y la variable

³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto directo

DATOS GENERALES DEL EXPERTO

Apellidos y Nombres

: Bengoa Seminario Juan Carlos

Profesión

: Ingeniero Mecánico

Especialidad

: Maestro en Ingeniería de la Energía.

Firma del Experto


 Juan C. Bengoa Seminario
 ING. MECANICO
 R. O.P. 424015

Anexo 7. Validación de instrumentos.

CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO

ITEM	CRITERIOS A EVALUAR						Observaciones (si debe eliminarse o modificarse un ítem por favor indique)
	Pertinencia ¹		Relevancia ²		Claridad ³		
	Sí	No	Sí	No	Sí	No	
1	X		X		X		
2	X		X		X		
3	X		X		X		
4	X		X		X		
5	X		X		X		
6	X		X		X		
7	X		X		X		
8	X		X		X		
ASPECTOS GENERALES					SÍ	NO	
El instrumento contiene instrucciones claras y precisas para responder el cuestionario					X		
					X		
Los ítems permiten el logro del objetivo de la investigación					X		
					X		
El número de ítems es suficiente para recoger la información. En caso de ser negativa su respuesta, sugiera los ítems a añadir					X		
					X		
VALIDEZ							
APLICABLE					X	NO APLICABLE	
APLICA ATENDIENDO A LAS OBSERVACIONES							

¹Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado de la variable y/o dimensión

²Relevancia: El ítem es apropiado para representar el indicador de la dimensión y la variable

³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto directo

DATOS GENERALES DEL EXPERTO

Apellidos y Nombres

: Valderrama Campos, Edwin Ronald

Profesión

: Ingeniero Mecánico

Especialidad

: Circuitos Telemétricos

Edwin Ronald Valderrama Campos
ING. MECANICO
R. CIP. N° 189677

Firma del Experto

CIP: 189677