



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento

**GESTIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA
RETROEXCAVADORA CASE 580 DE 98HP, EN EMPRESA DEDICADA A LA RENTA DE
MAQUINARIA Y SERVICIO DE LA CONSTRUCCIÓN BAJO LA NORMATIVA ISO 9001**

Ing. José María Acevedo Dardón

Asesorado por el M.A. Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

Guatemala, septiembre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GESTIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA
RETROEXCAVADORA CASE 580 DE 98HP, EN EMPRESA DEDICADA A LA RENTA DE
MAQUINARIA Y SERVICIO DE LA CONSTRUCCIÓN BAJO LA NORMATIVA ISO 9001**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. JOSÉ MARÍA ACEVEDO DARDÓN

ASESORADO POR EL M.A. ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ARTES EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Córdova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martinez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Mtra. Inga. Aurelia Anabela Córdova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Coti
EXAMINADORA	Mtro. Inga. Sandra Nineth Ramírez Flores
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Javier Fidelino García Tetzaguic
SECRETARIO	Mtro. Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

GESTIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA RETROEXCAVADORA CASE 580 DE 98HP, EN EMPRESA DEDICADA A LA RENTA DE MAQUINARIA Y SERVICIO DE LA CONSTRUCCIÓN BAJO LA NORMATIVA ISO 9001

Tema que me fuera aprobado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 11 de agosto de 2018.


Ing. José María Acevedo Dardón


EEPF1-817-2019

En mi calidad como Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento titulado: **"GESTIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA RETROEXCAVADORA CASE 580 DE 98HP, EN EMPRESA DEDIDACA A LA RENTA DE MAQUINARIA Y SERVICIO DE LA CONSTRUCCIÓN BAJO LA NORMATIVA ISO 9001"** presentado por el Ingeniero Mecánico José María Acevedo Dardón quien se identifica con Carné **201318685**, procedo a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Aurelia Anabela Córdova Estrada
Decana
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

 **UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**
DECANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
★

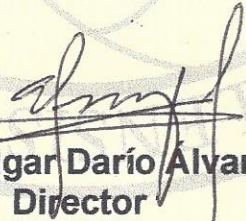
Guatemala, septiembre de 2019

EEPFI-818-2019

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y verificar la aprobación del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística al Trabajo de Graduación titulado: **“GESTIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA RETROEXCAVADORA CASE 580 DE 98HP, EN EMPRESA DEDIDACA A LA RENTA DE MAQUINARIA Y SERVICIO DE LA CONSTRUCCIÓN BAJO LA NORMATIVA ISO 9001”** presentado por el Ingeniero Mecánico José María Acevedo Dardón quien se identifica con Carné **201318685**, correspondiente al programa de Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”



Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Coti
Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, septiembre de 2019


EPPFI-819-2019

Como Coordinadora de la Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **“GESTIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA RETROEXCAVADORA CASE 580 DE 98HP, EN EMPRESA DEDIDACA A LA RENTA DE MAQUINARIA Y SERVICIO DE LA CONSTRUCCIÓN BAJO LA NORMATIVA ISO 9001”** presentado por el Ingeniero Mecánico José María Acevedo Dardón quien se identifica con Carné **201318685**.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”




Mtra. Inga. Sandra Ninett Ramírez Flores
Coordinadora de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Guatemala, septiembre de 2019

EPPFI-820-2019

En mi calidad como Asesor del Ingeniero Mecánico **José María Acevedo Dardón** quien se identifica con Carné **201318685** procedo a dar el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **“GESTIÓN DE UN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA RETROEXCAVADORA CASE 580 DE 98HP, EN EMPRESA DEDIDACA A LA RENTA DE MAQUINARIA Y SERVICIO DE LA CONSTRUCCIÓN BAJO LA NORMATIVA ISO 9001”** quien se encuentra en el programa de Maestría en Artes en Ingeniería de Mantenimiento en la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Carlos Humberto Pérez Rodríguez
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL
Colegiado 3071

Mtro. Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Asesor

Guatemala, septiembre de 2019

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por demostrarme que puede obrar de manera inesperada, pero de la mejor manera.
Mi madre	Isela Judith Dardón Gómez, por brindar amor y calidez idóneo con los que se puede educar a un niño y guiar a un hombre.
Mi padre	José María Acevedo Rodríguez, por ejemplificar lo que es la perseverancia y fe. Y permitirme ser su alumno en la vida.
Mis hermanos	Otto, Rodrigo y María José. Por siempre estar en todo momento como lo demanda la hermandad, amarnos y defendernos unos a otros.
Toda mi familia	Por brindarme consejos y apoyo en mi experiencia académica.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser permitirme compartir y formarme como profesional en sus aulas.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme herramientas, amistades y conocimientos que me servirán para toda la vida.
Mis amigos de Maestría	Con los que compartí en la Escuela de Ingeniería de Postgrado.
MALS	Por ser mi mejor amiga y llenarme de forma incomparable.
Escuela de Postgrado	Por equiparme con una herramienta profesional.
Mis padres	Por brindarme el apoyo económico y emocional.
SECOREMA, S.A.	Por permitir la elaboración de mis prácticas finales en sus instalaciones.

Mis catedráticos

Que sin envidia compartieron y aconsejaron de la mejor manera.

Mi asesor

Carlos Humberto Pérez Rodríguez, por apoyarme con la investigación del presente trabajo.

Inga. Sandra Ramírez

Por ser apoyo fundamental para el estudiante durante su gestión como coordinadora.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
GLOSARIO	V
RESUMEN	VII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTAS ORIENTADAS	IX
OBJETIVOS	XI
RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO	XIII
INTRODUCCIÓN	XVII
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Mantenimiento	1
1.1.1. Mantenimiento industrial	1
1.1.2. Tipos de mantenimiento	2
1.1.3. Mantenimiento correctivo	3
1.1.4. Mantenimiento predictivo	4
1.1.5. Mantenimiento proactivo	5
1.1.6. Mantenimiento bajo condiciones	5
1.1.7. Mantenimiento de clase mundial	6
1.2. Mantenimiento preventivo	7
1.2.1. Objetivo del mantenimiento preventivo	8
1.2.2. Beneficios del mantenimiento preventivo	9
1.2.3. Ventajas	9
1.2.4. Desventajas	9
1.3. Construcción	10

1.3.1. Obra civil	10
1.3.2. Movimiento de tierras	10
1.3.3. Retroexcavadora	11
1.3.4. Lubricación	20
1.4. Calidad.....	23
1.4.1. Tasa de falla y tiempo entre fallas	24
1.4.2. Disponibilidad	25
1.4.3. ISO 9001: 2015.....	26
1.4.4. Descripción de la empresa	28
1.5. Desarrollo de la investigación.....	30
2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	31
3. PROPUESTA DE PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	37
3.1. Evaluación de programa de mantenimiento preventivo.....	42
3.2. Indicador de tiempo entre fallas	45
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	47
CONCLUSIONES.....	51
RECOMENDACIONES	53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	555
APÉNDICES.....	61

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Diagrama de actividades.....	11
2. Tractor.....	14
3. Boom o pluma.....	15
4. Brazo.....	15
5. Cilindro del brazo	16
6. Cilindro del boom	16
7. Cilindro del cucharón.....	17
8. Cucharón.....	17
9. Cilindros hidráulicos	18
10. Sistema hidráulico.....	19
11. Película de lubricación	21

TABLAS

I. Ficha descriptiva del equipo.....	13
II. Procedimiento para lubricación	22
III. Listado de equipos de la empresa	31
IV. Observaciones para el mantenimiento preventivo	37
V. Codificación de procedimientos de mantenimiento	38
VI. Especificaciones técnicas de los lubricantes aprobados.....	38
VII. Programa de mantenimiento preventivo para la retroexcavadora	40
VIII. Propuesta de stock de repuestos.....	41
IX. Codificación de tipo de registros	42
X. Datos sobre las acciones correctivas realizadas durante la investigación	43
XI. Datos sobre las acciones correctivas realizadas durante la investigación	44

xii. Tiempo entre fallas45

GLOSARIO

Fiabilidad	Probabilidad de que un sistema, aparato o dispositivo cumpla una determinada función bajo ciertas condiciones durante un tiempo determinado.
Fuga	Salida o escape de un líquido o de un gas por una abertura producida accidentalmente en el recipiente que los contiene o en el conducto por el que circulan.
Mantenimiento	Es toda actividad realizada, con la finalidad de mantener el equipo en funcionamiento, corrigiendo fallas o averías.
PM	PM o MP significa mantenimiento preventivo, el cual tiene como objetivo prevenir posibles fallas para evitar acciones correctivas y que la maquinaria no se vea afectada en su funcionamiento como en su vida útil.
Preservación	Protección o cuidado sobre alguien o algo para conservar su estado y evitar que sufra un daño o un peligro.
Retroexcavadora	Máquina que se utiliza para realizar excavaciones en terrenos. Consiste en un balde de excavación en el extremo de un brazo articulado de dos partes. Se montan normalmente en la parte posterior de un tractor o cargador frontal. No debe ser confundida con una excavadora.

Stock	Bodega o abastecimiento. Es la capacidad de abastecer los repuestos requeridos para una reparación pronta.
MET o MTTF	Es el tiempo promedio que funcionará un elemento antes de fallar.
VOSO	Procedimiento preventivo básico compuesto por cuatro actividades sensoriales. Consiste en ver, oler, sentir y oír.
Zanja	Excavación larga y estrecha que se hace en la tierra con diversos fines, como echar los cimientos de un edificio, colocar tuberías, permitir que corra el agua, entre otros.

RESUMEN

La ausencia de un sistema gestión de programa de mantenimiento preventivo de la empresa en estudio, ocasionaba retrasos en la operación de los equipos y aumento en los tiempos de reparación de fallas. Se buscó implementar un programa de mantenimiento preventivo que permitiera mejorar la gestión del mantenimiento y la reducción de acciones correctivas, mediante la implementación de manejo de registros y acciones preventiva, además se construyeron las bases para el programa propuesto; enfocadas en la recolección de información y las recomendaciones del fabricante, la creación de acciones preventivas y periodicidad en su realización, para contar con un mejor manejo de información sobre el historial de reparaciones en los equipos y la prevención de fallas.

Como alcance de la investigación, se estableció la flota de retroexcavadoras marca CASE modelo 580, propiedad de una empresa dedicada al servicio de la construcción y renta de maquinaria. Se enfocó en el aspecto y mantenimiento mecánico, el sistema eléctrico no estuvo dentro del alcance.

Como principales resultados, se implementó el programa de mantenimiento preventivo, con el cual se redujo el tiempo entre fallas, un indicador directo de la eficiencia del mantenimiento, con lo cual afecta de manera directa la disponibilidad. También se propuso el stock de repuestos necesarios para el cumplimiento del programa.

Se logró minimizar la actividad de mantenimiento correctivo emergente, un indicador directo de la frecuencia de fallas, con lo cual la operación de los equipos fluyó con menor interrupción y el tiempo entre fallas se redujo. El éxito de un programa de mantenimiento preventivo debe tomar en cuenta la importancia de la información y el monitoreo frecuente que ha sido establecido para factores importantes como la lubricación, cambio de filtros, cambio de rodamientos, verificación de presión, inspecciones rutinarias, de lo contrario se aumenta los componentes se exponen a una posible falla y se una acción correctiva. Si bien el programa redujo el número de acciones correctivas y la frecuencia de falla, aún se va a recurrir a método correctivo; sin embargo, con buen manejo de prevención e inspección, este es de carácter programado.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTAS ORIENTADAS

Planteamiento del problema

En el departamento de mantenimiento de una empresa dedicada al servicio y renta de maquinaria para la construcción, no existe un programa de mantenimiento preventivo y registro como tal, que permita un mejor análisis de la información de las actividades de mantenimiento realizadas, lo cual se refleja en la cantidad de acciones correctivas y el tiempo invertido en reparaciones.

Descripción del problema

El mantenimiento de la empresa en investigación presenta problemas por falta de una buena gestión en el mantenimiento de los equipos. La falta de prevención provoca fallas que pudieron ser evitadas. Las fallas generan falta de disponibilidad del equipo y un aumento considerable en costo por reparación. No se cuenta con los repuestos en *stock*, por no tener referencia en qué componente se generará la falla. A esto se le suma la falta de control de la información, por no llevar registro alguno sobre actividades correctivas realizadas previo a la investigación. La existencia de un sistema de recolección de datos se justifica con facilitar el control de las fallas permitirá identificar las que surgen con mayor frecuencia y llevar un mejor registro de los equipos.

Finalmente, al no manejar el registro del tiempo en cuanto tardan en reparar las fallas, no tienen indicador con el cual realizar comparación, por lo tanto, no se puede evaluar el rendimiento del equipo de trabajo.

Formulación del problema

Para llevar a cabo el establecimiento del programa de mantenimiento preventivo es necesario dar respuesta a las siguientes preguntas de investigación:

Pregunta general:

¿Cómo se pueden minimizar las fallas y aumentar la disponibilidad de las retroexcavadoras, basado el mantenimiento en la norma ISO 9001 para la empresa?

Preguntas auxiliares:

1. ¿Qué fallas frecuentes se registran en los equipos?
2. ¿Cuáles son los problemas del mantenimiento?
3. ¿Qué ventajas puede tener el mantenimiento de la empresa, basado en la normativa ISO 9001?

OBJETIVOS

General:

Gestionar un programa de mantenimiento preventivo para reducir las fallas y los mantenimientos emergentes, aplicado a las retroexcavadoras de servicio de la construcción bajo la normativa ISO 9001.

Específicos:

1. Identificar el estado de los equipos previo a la investigación.
2. Determinar las causas de las fallas que surgen con mayor frecuencia.
3. Evaluar un programa de mantenimiento preventivo para las retroexcavadoras CASE 580 DE 98HP, basado en la Norma ISO 9001.

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

El presente trabajo de investigación comprende un estudio de tipo no experimental, con enfoque mixto, que permitió el desarrollo de la gestión de un programa de mantenimiento preventivo para la empresa bajo estudio, al mismo tiempo que desarrollaron variables cualitativas y cuantitativas de las prácticas de mantenimiento, con la finalidad de evidenciar la relación que permitiera así la gestión de las acciones preventivas que se encuentran en el programa de mantenimiento. Por medio del tipo de investigación descriptivo desarrollado, se pretendió dar a conocer la situación y procedimientos, en los cuales se encontró el mantenimiento que por su naturaleza se clasifica como correctivo emergente; con la intención de detectar las variables involucradas, así realizar la gestión del programa de mantenimiento que permitió la obtención de los resultados esperados, mediante la relación de las variables en estudio.

El diseño de la investigación requirió datos sobre la cantidad de fallas, el tiempo entre fallas y los componentes que fallan con frecuencia, para identificar los componentes más vulnerables de los equipos, de manera que los datos fueron obtenidos por medio del método observacional, sin intervención del investigador, siendo una investigación de carácter no experimental.

El alcance de la investigación comprendió la implementación del programa de mantenimiento preventivo, para las retroexcavadoras y la evaluación de los resultados por medio de indicadores.

Para la realización del estudio, se utilizaron diferentes herramientas y técnicas de la ingeniería que han demostrado ser un método eficaz para la

medición y confiable para la toma de decisiones y respuesta pronta a los problemas identificados, tales herramientas es el análisis de tiempo entre fallas, inspecciones rutinarias, procedimientos y registros para el cumplimiento de la normativa. Los resultados fueron la reducción del tiempo entre fallas, disminución en la frecuencia de fallas y un mejor control de la información de los equipos sobre sus actividades de mantenimiento realizadas y el *stock* de repuestos sugerido con el que debe contar la empresa.

Los beneficiarios de esta investigación fueron los propietarios, trabajadores de la empresa y los usuarios del servicio, lo cual contribuyó al desarrollo y ambiente económico de la empresa, una considerable mejora para la conservación de la vida útil de la maquinaria y sus componentes y un servicio sin interrupciones durante su operación y así ser altamente competitivos. Para el desarrollo de los objetivos de la presente investigación se utilizaron diferentes variables, tanto independientes como dependientes, para establecer los valores requeridos para contestar las preguntas de investigación. También se plantearon el conjunto de indicadores requeridos para la validación del estudio propuesto.

El tipo de muestreo aplicado es el discrecional, pues consistió en la selección de equipos en específico que serían afectados por la investigación.

Para la primera fase consistió en el recorrido e inspección de todo el inventario de equipos de la empresa para la selección de los equipos que fueron sometidos a la investigación.

En la segunda fase, se realizaron entrevistas como herramienta para la recolección de datos y realizar diagnóstico del estado en el que estaban los equipos.

Para la tercera fase, se practicó la divulgación de la norma y los procedimientos y registros que mejoraron la calidad con la que se gestiona el mantenimiento.

En la última fase, se realizó la propuesta del programa de mantenimiento para los equipos en estudio y la evaluación del programa por medio de indicadores que cumplieran la necesidad de llevar un control enfocado a los objetivos.

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento es una operación indispensable para aumentar la vida útil y no afectar la disponibilidad de los equipos. La empresa en estudio ve la necesidad de requerir un sistema de gestión de mantenimiento que reduzca las acciones correctivas y permita mejorar la disponibilidad de los equipos, y que al mismo sugiera el stock de repuestos mínimo tiempo que refleje un menor tiempo invertido en la reparación de fallas. Resulta necesaria la implementación de un programa de mantenimiento preventivo que permita tener calendarizadas actividades para la preservación y verificación del buen funcionamiento de los equipos y de ser necesaria acciones correctivas, programarlas para que la falla no sea imprevista.

Se busca reducir la cantidad de acciones correctivas y mejorar el sistema de control y manejo de la documentación, basado en la ISO 9001 y la sistematización del mantenimiento, para un posterior uso de registros, a partir de los registros y el historial de mantenimiento fue posible la identificación de fallas frecuentes, la gestión de *stock* mínimo para los equipos; finalmente, establecer un programa de mantenimiento preventivo que permita la reducción de acciones correctivas y paros en operación. Inicialmente se presenta una idea general del mantenimiento. Posteriormente, se detallan los equipos sujetos a la investigación. A continuación, para realizar la investigación se utiliza la información concerniente al equipo de mantenimiento de la empresa en mención, donde se implementa el programa propuesto, basado en el criterio que se obtiene del nuevo manejo de documentación sobre las actividades de mantenimiento, atendiendo a las fallas frecuentes; tomando en cuenta en simultáneo, las recomendaciones del fabricante.

Para la implementación de la norma propuesta, se desarrolla la metodología de gestión de la calidad, donde se elaboran los procedimientos y registros; tras su divulgación y evaluación. Para la implementación del programa de mantenimiento, se toma en cuenta el histórico de mantenimiento de los equipos, atendiendo las fallas frecuentes y considerando los tiempos de inspección recomendados por el fabricante. Ambas metodologías fueron ejecutadas por un período de tres meses. Donde utilizando los indicadores de frecuencia de fallas y tiempo muerto entre fallas. Se mide indirectamente la efectividad o beneficios del programa propuesto, logrando con esto consolidar el programa basado en los resultados obtenidos.

Finalmente, mediante el programa de mantenimiento preventivo basado en la norma ISO 9001, se logra un mejor control de las acciones de mantenimiento en los equipos y la reducción de acciones correctivas de los equipos en estudio de la empresa mencionada, que garantiza la disponibilidad de los equipos y fluidez en operaciones de construcción. Cabe destacar, que el éxito de un programa de mantenimiento es el seguimiento a las acciones programadas; acompañado de inspecciones constantes que servirán para validar o identificar riesgos de posibles fallas. La actualización del programa debe ser considerada, pues los equipos sufren desgaste y hay que reacondicionar el programa al estado del equipo o realizar una rectificación. El cumplimiento de procedimientos y llenado de registros es importante para tener trazabilidad del mantenimiento, facilita la identificación de la causa de la falla.

El presente trabajo de investigación se integra de cuatro capítulos, desarrollados de la forma siguiente:

El primer capítulo explica el contenido del marco teórico, comprende tipos de mantenimiento que son los más comunes en la industria guatemalteca, se

expone la razón, por la cual se selecciona el de tipo preventivo, las ventajas y desventajas del uso de mantenimiento preventivo. Se discutirá la teoría sobre la disponibilidad, la forma de medirla, sus indicadores y la tasa de fallas y el tiempo entre ellas, así como los procedimientos establecidos en la norma ISO 9001: 2015 que se utilizarán como parte de la metodología para solucionar la problemática.

El capítulo segundo se presentan los resultados y análisis tabulando todos los datos recopilados, basados en los indicadores que registran la frecuencia de fallas en los equipos y las razones que las provocan, permitiendo realizar programas de acciones preventivas y la propuesta sugerida basada en el análisis de resultados, fundamentándose con soluciones que permiten presentar propuestas de continuidad a la investigación, empleando sus métodos de verificación. Para dar solución a la problemática presentada.

En el capítulo tercero se presenta el análisis de resultados obtenidos de la investigación.

La metodología es un enfoque mixto por el manejo de variables cuantitativas y cualitativas, el carácter de la investigación responde a un diseño no experimental al no manipular variables para obtener resultados esperados, es una investigación descriptiva por fundamentarse en el análisis de causa y efecto, que provocan las variables en medición, como alcance se tomaron los equipos tipo retroexcavadora de la empresa sometida a la investigación especificando que el mantenimiento tendría como alcance el aspecto mecánico, se excluye el mantenimiento eléctrico.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Mantenimiento

“Es el conjunto de actividades controladas y evaluadas que a través de la utilización de recursos físicos, humanos y técnicos permiten mejorar la eficiencia del sistema de producción al menor costo disminuyendo fallas imprevistas. Para obtener una mejora en la confiabilidad de los equipos y garantizar la seguridad al personal y sus recursos físicos” Velázquez E. (1992, p.1).

El mantenimiento es el grupo de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio la mayor cantidad de tiempo que sea posible, en combinación con un máximo rendimiento. Garrido (2010). Comprende una actividad humana que se realiza, con el objetivo de garantizar la existencia de un servicio. Existen diversas definiciones del tema que establecen el mismo en categorías, clasificando dicha actividad como: mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo; sin embargo, con base en el criterio de disminución de costos, el de uso común es el primero de ellos Gutiérrez (2008). De tal manera se describe el mantenimiento como un conjunto de actividades humanas, en las cuales se realizan objetivos como la mejora de la eficiencia de un proceso, servicio o reparación, acompañado de la calidad que brindan.

1.1.1. Mantenimiento industrial

“El mantenimiento industrial es un campo de la ingeniería de gran interés y con una amplia repercusión económica, tal como justifica el hecho de que en las sociedades industriales los costes del mantenimiento constituyen un porcentaje apreciable de su producto interno bruto. En algunos sectores, el mantenimiento

resulta esencial para el desarrollo de su propia actividad sobre la que se aplica, mientras que en otros la existencia de un mantenimiento eficaz constituye en uno de los elementos más importantes para la consecución de la competitividad en el marco económico global.” González F. (2005, p.7)

El autor García (2009), define habitualmente al mantenimiento industrial como el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones industriales en servicio durante el mayor tiempo posible, esperando alta disponibilidad y con el máximo rendimiento. Para la realización de esta idea se compone de dos factores: conservación y preservación.

El concepto de la conservación es la aplicación de los conocimientos científicos y técnicos, contribuye al óptimo aprovechamiento de los recursos existentes y propicia con ello el desarrollo integral del hombre y de la sociedad. Es la función para conseguir que el producto final sea de la mejor calidad posible.

Ambos autores coinciden en la importancia que tiene el mantenimiento, González (2005), hace énfasis en el entorno económico del mantenimiento general y el porcentaje apreciable que constituye en el producto interno de la misma empresa, esto repercute como un presupuesto considerable dedicado al mantenimiento, mientras que García (2009), se concentra en la finalidad de conservar los equipos e instalaciones en servicio, durante la mayor duración posible y en su máximo rendimiento.

1.1.2. Tipos de mantenimiento

Para el autor García (2009), pueden establecerse diferentes clasificaciones del mantenimiento, atendiendo a las posibles funciones que se le atribuyen a este, así como a la forma de desempeñarlas. Tradicionalmente se admite la clasificación basada en un enfoque metodológico o filosofía de

planteamientos, que es una relación de particularidades funcionales asignadas que depende de diversos factores.

En los factores principales para la decisión sobre qué mantenimiento es el adecuado, se encuentra la criticidad, el factor económico o disponibilidad necesaria. Debido a que algunos tipos de mantenimiento tienen un costo muy elevado, la aplicación es difícil de justificar para empresas pequeñas.

1.1.3. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo es aquel que sirve para corregir los problemas que se van presentando en los equipos a medida que los usuarios los van comunicando. Es decir, se espera a que ocurra una falla para que el personal de mantenimiento entre en acción. González (2005). “De poco sirven nuestros esfuerzos para tratar de evitar averías sí, cuando éstas se producen, no somos capaces de proporcionar una respuesta adecuada.” García, S. (2012, p.157).

Como lo indica García (2012), las acciones correctivas tienen que ser contempladas, no porque sean deseadas, sino para saber los procedimientos a seguir al momento que sucedan y no proceder de manera inadecuada o deficiente.

Según lo denomina González (2005), el mantenimiento correctivo tiene como enfoque la reparación de las fallas que se presenten en la maquinaria, es la forma más básica de mantenimiento y consiste en localizar las fallas o defectos, así repararlos de inmediato. El mantenimiento tiene participación hasta que alguna falla se presenta. Los autores García y González exponen que el mantenimiento correctivo es el que se realiza, luego que ocurra una falla o avería

en el equipo, por su naturaleza no puede ser planificado y presenta costos por reparaciones no presupuestadas.

1.1.4. Mantenimiento predictivo

“El mantenimiento predictivo examina, mediante técnicas de análisis predictivas, el estado de los elementos y equipos, estableciendo recomendaciones para intervenir de manera oportuna con labores de mantenimiento, lo que redundará en significativos ahorros de tiempo y, por ende, de dinero. Un sistema de mantenimiento predictivo exitoso debe ser capaz de cuantificar los beneficios obtenidos por sí mismo.” Márquez, Ángel; Ajuech, Leví; *et al.*, (2017, p. 98).

También es importante la siguiente información:

“Consiste en el control de determinadas variables que informan sobre la condición de los equipos, permiten diagnosticar fallos y establecer el tiempo de vida remanente de las máquinas. Un Programa de mantenimiento predictivo puede proporcionar numerosos beneficios: incremento en la disponibilidad, seguridad y calidad, mejoras en programación del mantenimiento, reducción de costos, etc. Incorpora junto con los aspectos tecnológicos, cuestiones organizativas, de control y toma de decisiones que no son analizadas habitualmente. La información contenida puede ayudar en los procedimientos de actuación con cada técnica de diagnóstico, sugerencias sobre la decisión a tomar en cada fase y, un modelo de toma de decisiones que identifica las carencias en una organización antes de la implantación del programa, pudiendo garantizar su éxito.” Carnero, M. (2012, p.7).

El mantenimiento predictivo es un tipo de mantenimiento que relaciona una variable física con el desgaste o estado de una máquina. Se fundamenta en la medición, seguimiento y monitoreo de parámetros y condiciones operativas de un equipo o instalación. A tal efecto, se definen y gestionan valores de prealarma

y de actuación de todos aquellos parámetros que se considera necesario medir y gestionar.

El mantenimiento predictivo ayuda a ahorrar energía, mejora la productividad, reduce la cantidad de los trabajos de mantenimiento y ayuda a que dichos trabajos se realicen con mayor rapidez y mayor facilidad. Goti (2008).

1.1.5. Mantenimiento proactivo

“El mantenimiento proactivo, implica encargarse antes de que las fallas ocurran o al menos tener decidido cómo se procederá en caso de que ocurran. Para que esto sea posible, necesitamos saber de antemano que eventos pueden ocurrir. Los “eventos”, en este contexto, serían los modos de fallas. De manera que, si queremos aplicar el mantenimiento proactivo a cualquier bien físico, debemos tratar de identificar todos los modos de falla que pueden llegar a afectar a dicho bien. Lo ideal sería identificarlos aun antes de que sucedan, o si esto no fuera posible, antes de que vuelvan a suceder. “ Moubray (2004, p. 55).

El mantenimiento proactivo está basado en los métodos predictivos, la técnica está enfocada en la identificación y corrección de las causas que originan las fallas en equipos, componentes e instalaciones industriales, esta técnica implementa soluciones que atacan la causa de los problemas, no los efectos.

1.1.6. Mantenimiento bajo condiciones

Según el trabajo de Cabrera (2017), este tipo de mantenimiento tiene como base el monitoreo de las condiciones o estado de los diferentes elementos de los equipos para decidir el momento óptimo de la realización de las tareas de mantenimiento. El objetivo de este es disponer de la máxima cantidad de datos objetivos sobre la máquina, para identificar los posibles fallos. Para ello se utiliza

el análisis de las tendencias de todos los datos recolectados. Es necesario abordar las características de los sistemas mecánicos (elementos, funcionamiento, posibles daños y configuraciones experimentales) con los que se va a trabajar. Es por ello que se han incluido las secciones de componentes mecánicos, fallos en elementos mecánicos y configuración experimental para tareas del mantenimiento basado en la condición.

1.1.7. Mantenimiento de clase mundial

Según Ellis (2003), este tipo de mantenimiento representa los niveles de funcionamiento de clase mundial. Se deben tener en cuenta sus principios básicos y el entrenamiento de la mano de obra enfocado hacia una nueva actitud de las personas involucradas. No se deben bajar las finanzas de sus sistemas de apoyo, como su administración, instrumentos, piezas de recambio, planificación, control, cultura, etc. De la integración entre los sistemas de apoyo dependen las acciones dinámicas para establecer la función de mantenimiento firmemente sobre el camino para hacerla de clase mundial.

El cambio de actitud de las personas es uno de los puntos más complejos para implementar este mantenimiento, se deben entrenar en las profesiones específicas que se van a desarrollar en este y se debe recompensar el esfuerzo hecho por estas personas. Los objetivos más comunes que establece este tipo de mantenimiento son:

- Excelencia en los procesos medulares
- Calidad y rentabilidad de los productos
- Motivación y satisfacción de los clientes
- Máxima fiabilidad de los equipos
- Logro de la producción requerida

- Máxima protección ambiental

1.2. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo mantiene en funcionamiento los equipos, mediante la supervisión de planes a realizarse en puntos específicos. Este mantenimiento también es conocido como mantenimiento planificado, mantenimiento proactivo o mantenimiento, basado en el tiempo, pues se trabaja con datos de los fabricantes o con estadísticas sobre las fallas más comunes en los equipos. Aquí el término planificado es la base del significado del mantenimiento preventivo. Smith y Hinchcliffe (2005).

“Es el mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las correcciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno.” Garrido (2010, p. 17). Como indica Garrido, los puntos en los que hay que poner atención para la programación de correcciones son los puntos vulnerables o componentes que pueden generar fallos de mayor complejidad.

Interpretando las palabras de Smith y Hinchcliffe (2005), el mantenimiento preventivo es el destinado a la conservación de equipos, mediante realización de revisión y reparación que garanticen su buen funcionamiento. Se realiza en el equipo durante su operación, es lo contrario al mantenimiento correctivo, en el que se detiene el proceso para la reparación. Puede que existan períodos en los que se detenga la maquinaria para eventos de mantenimiento de mayor magnitud, pero a diferencia del mantenimiento correctivo, estos períodos de paro son programados. Las tareas de mantenimiento preventivo pueden incluir acciones como cambio de piezas desgastadas, cambios de aceites y lubricantes, etc.

Algunos de los métodos más habituales consisten en llevar a cabo las recomendaciones de los fabricantes, la legislación vigente, las recomendaciones de expertos y las acciones realizadas sobre activos similares. El mantenimiento preventivo se puede realizar de dos maneras distintas, dependiendo el beneficio que otorgue cada uno en la situación que se desea aplicar.

Tecsup define que mantenimiento preventivo “es el proceso de servicios periódicos (rutinarios) al equipo, este puede ser desde una rutina de lubricación hasta la adaptación después de un determinado tiempo, de piezas o componentes. El intervalo entre servicios puede ser en horas de operación” (2007, p. 11). El mantenimiento preventivo es garantizar que el equipo industrial esté con la máxima disponibilidad cuando lo requiera el cliente, durante un tiempo solicitado, en las condiciones técnicas y tecnológicas exigidas previamente para propo (2005).

El programa de mantenimiento preventivo debe ser establecido tomando como referencia las actividades realizadas que son clasificadas como mantenimiento correctivo. El mantenimiento preventivo presenta ventajas claras sobre el correctivo, tales como costo y tiempo de operación del equipo. Márquez, Ángel; Ajuech, Leví; *et al.*, (2017 p. 69). En las operaciones de mantenimiento preventivo se encuentra la realización de revisión y reparación que garanticen su buen funcionamiento.

1.2.1. Objetivo del mantenimiento preventivo

El objetivo es la conservación de equipos o instalaciones por medio de la realización de revisión y reparación con la finalidad de garantizar el buen funcionamiento y fiabilidad. El mantenimiento preventivo se caracteriza por ser

realizado en equipos en funcionamiento, al contrario del mantenimiento correctivo que repara cuando se daña una máquina. Como primer objetivo del mantenimiento preventivo, se encuentra mitigar las fallas que provoquen la discontinuidad de operación de los equipos, logrando prevenir las incidencias antes de que estas ocurran. Se encuentran acciones como cambio de piezas desgastadas, cambios de aceites y lubricantes, etc.

1.2.2. Beneficios del mantenimiento preventivo

Como ya se ha expuesto, este tipo de mantenimiento es el que resulta de las inspecciones periódicas que revelan condiciones de falla y su objetivo es reducir paros de planta y depreciación excesiva, que muchas veces resultan de la negligencia al ignorar eventos o acciones evidentes. Entre las ventajas que presenta este tipo de mantenimiento se encuentran:

1.2.3. Ventajas

- Bajo costo en relación con el mantenimiento predictivo.
- Reducción importante del riesgo por fallas o fugas.
- Reduce la probabilidad de paros imprevistos.
- Permite llevar un mejor control y planeación sobre el propio mantenimiento a ser aplicado en los equipos.

1.2.4. Desventajas

Entre sus pocas desventajas se encuentran:

- Se requiere tanto de experiencia del personal de mantenimiento como de las recomendaciones del fabricante para hacer el programa de mantenimiento a los equipos.
- No permite determinar con exactitud el desgaste o depreciación de las piezas de los equipos.

1.3. Construcción

1.3.1. Obra civil

“Está vinculada al desarrollo de infraestructuras para la población. En este caso, el uso del término civil procede de la ingeniería civil, que recibe dicha denominación para diferenciarse de la ingeniería militar.” Porras (2015. p.17)

Como lo indica Porras (2015), en su trabajo, la obra civil es directamente el desarrollo de infraestructuras para la población haciendo la referencia a la ingeniería civil. La obra civil incluye el movimiento de tierras, que corresponde al área de servicio en la que se utilizan los equipos en estudio.

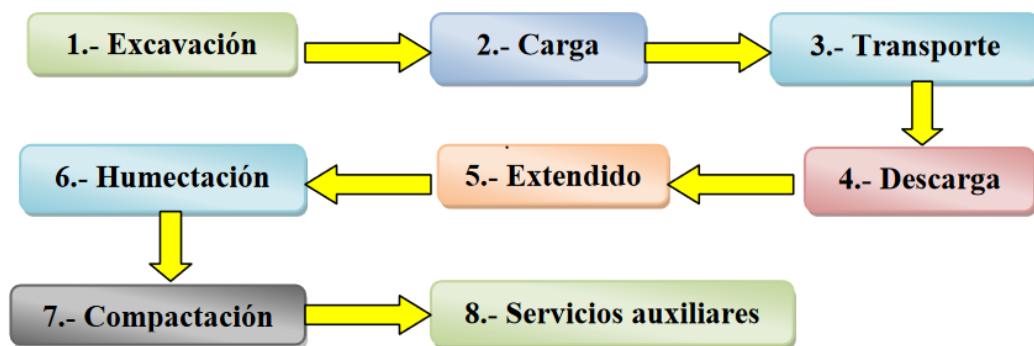
1.3.2. Movimiento de tierras

“Se denomina movimiento de tierras al conjunto de operaciones que se realiza con los terrenos naturales, a fin de modificar las formas de la naturaleza o de aportar materiales útiles a las obras viales, o de la industria.” Guevara, F. (2015, p.16).

El autor Guevara, F. también comparte en su trabajo las distintas actividades que comprende el movimiento de tierras. Y el diagrama de interacción de éstas:

- Excavación
- Carga
- Acarreo
- Descarga
- Extendido
- Compactación

Figure 1. Diagrama de actividades



Fuente: Guevara F. (2015). Operaciones de movimiento de tierra.
https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2441/MAS_ICIV-L_029.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Consulta: 12 de julio de 2019

1.3.3. Retroexcavadora

La retroexcavadora es una máquina que realiza sus funciones, mediante el consumo de combustible y su sistema hidráulico. Es utilizada para la realización de proyectos de excavación en una gran variedad de terrenos, una retroexcavadora consiste en una cuchara de excavación en el extremo de un brazo articulado en dos partes. Trabaja enterrando un cucharón o pala con la que extrae tierra o materiales depositados en el suelo; posteriormente los arrastra y

los deposita en su interior. Está formada por un balde de excavación en el extremo de un brazo que se articula en dos partes y que se ubica comúnmente en la parte posterior de un cargador frontal o de un tractor.

La retroexcavadora es muy utilizada en obras para mover la tierra, así abrir surcos destinados al pasaje de cables, preparar los sitios donde se colocarán los cimientos de los edificios, drenajes y tuberías, para hacer rampas en solares. Entierra una cuchara sobre el terreno, con la que toma los materiales que son arrastrados y depositados en su interior. El chasis puede estar colocado sobre cadenas y sobre neumáticos.

1.3.3.1. Características de la retroexcavadora

Consta de un ensamblaje de tres diferentes piezas de equipo móvil de tierras: un tractor, un cargador y una retroexcavadora. Permite a las herramientas desplazarse con rapidez y seguridad, con capacidad de transportar cantidades considerables de material, considerando las dimensiones del recipiente. El cucharón se refiere al recipiente donde se transporta el material.

1.3.3.2. Tipos de retroexcavadoras

- Con chasis sobre neumáticos: el tren de rodadura está compuesto de ruedas de caucho. Los órganos de mando de desplazamiento, dirección y frenos están en la cabina del conductor.
- Con chasis sobre cadenas: el chasis está soportado por dos cadenas paralelas. Así mismo, los órganos de mando, igual que en la de neumáticos, se encuentran en la cabina del conductor.

Tabla I. Ficha descriptiva del equipo

RETROEXCAVADORA CASE 580	
Tipo de máquina	Retroexcavadora
Marca	CASE
Modelo de máquina	580
No. Serie	SJJJG0908889
Motor	CASE 4-390; inyección directa; 239 plg ² , relación de compresión 17:1
Línea	M
Color	Amarilla
HP/C.C	98C
Año de fabricación	2009

Fuente: elaboración propia.

1.3.3.3. Partes principales de la retroexcavadora

- Tractor: se compone de un contrapeso y su propósito es equilibrar los grandes movimientos generados en la operación cuando se carga para no desestabilizarse.

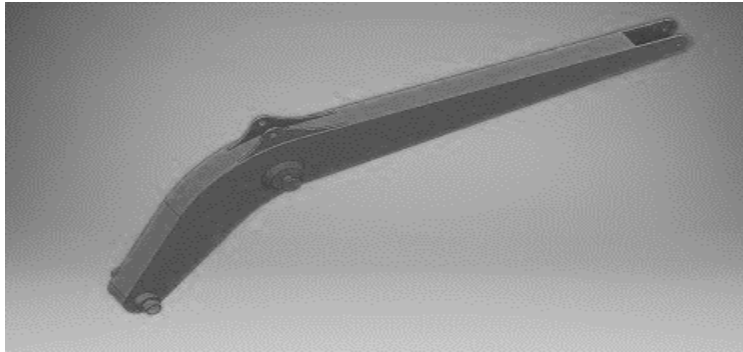
Figure 4. **Tractor**



Fuente: Tractor. https://www.partesdel.com/partes_de_la_retroexcavadora.html. Consulta: 22 de mayo de 2018.

- Boom o pluma: es un elemento que se encuentra en una sección variable y se articula en la parte de adelante del tractor, a la derecha de la cabina del operador. Los que tienen una sola pieza poseen una longitud constante y los de dos piezas tienen tres alternativas para cambiar longitud. Es de tipo curvo o de cuello de cisne, cóncava hacia el suelo, con el objetivo de permitir la excavación más profunda sin interferencia de las orugas, está articulada en muñones muy fuertes que están a dos o tres pies atrás del borde de la plataforma.

Figure 8. **Boom o pluma**

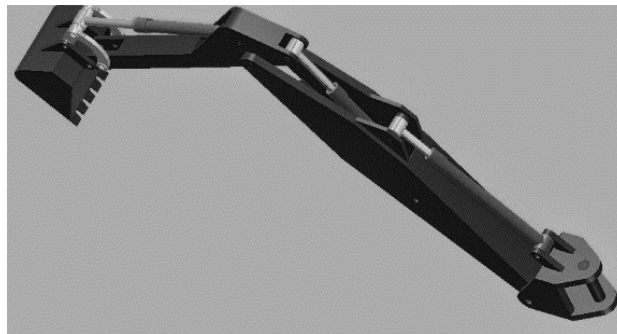


Fuente: Boom o pluma. https://www.partesdel.com/partes_de_la_retroexcavadora.html.

Consulta: 22 de mayo de 2018.

Brazo: está articulado en el extremo de la pluma y conectado con la varilla o biela del cilindro del brazo en el extremo superior y con el cucharón y sus brazos de descarga en la parte delantera. Cuando se retrae el cilindro, se mueve el cucharón hacia fuera, esto es lo que se llama extensión o alcance.

Figure 12. **Brazo**



Fuente: Brazo. https://www.partesdel.com/partes_de_la_retroexcavadora.html. Consulta: 22 de mayo de 2018.

Los cilindros se presentan de la siguiente manera:

- Cilindro del brazo: es un cilindro hidráulico que tiene su base en la pluma y se une al extremo anterior del brazo. Controla los movimientos del brazo.

Figure 16. **Cilindro del brazo**



Fuente: elaboración propia.

- Cilindros de elevación: se componen de dos cilindros hidráulicos conectados en el codo de la pluma y se utilizan para bajar o elevar esta.

Figure 20. **Cilindro del boom**



Fuente: elaboración propia.

- Cilindro de descarga: es un cilindro hidráulico, se apoya en el brazo y se conecta al vértice de la palanca de descarga.

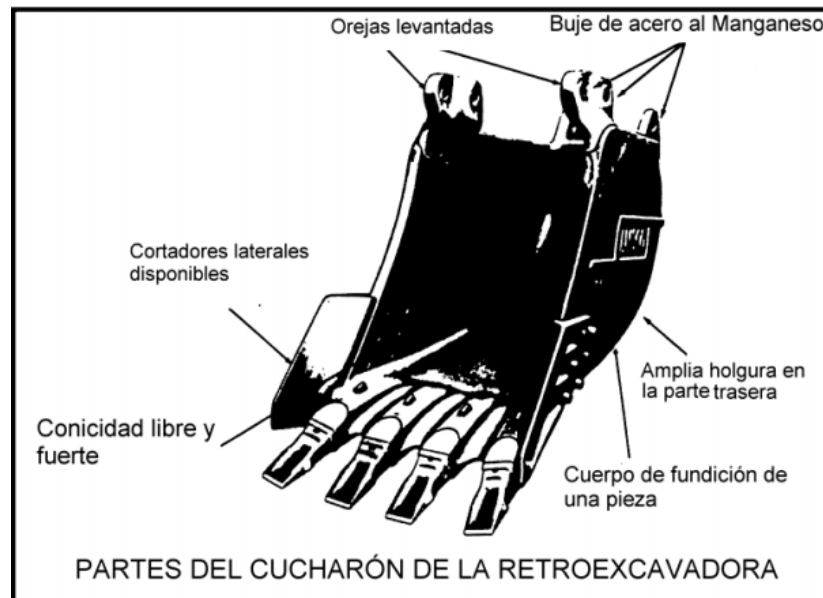
Figure 24. **Cilindro del cucharón**



Fuente: elaboración propia.

- Cucharón: este es un recipiente en el cual se introduce el material excavado, se compone de dientes en su borde para facilitar el arranque de material.

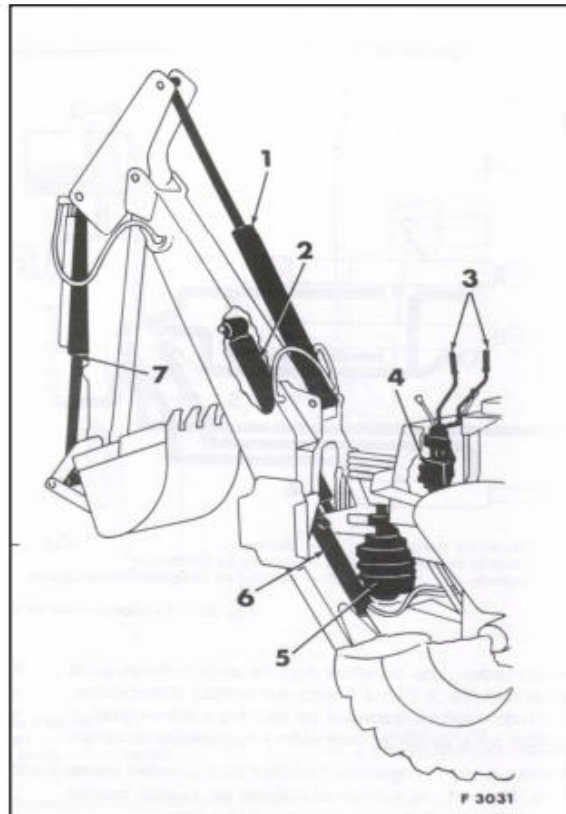
Figure 28. **Cucharón**



Fuente: PACHECO, M. (2006) Cucharón.

<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4193/1/T-ESPEL-0215.pdf>. Consulta: 22 de mayo de 2018.

Figure 32. **Cilindros hidráulicos**



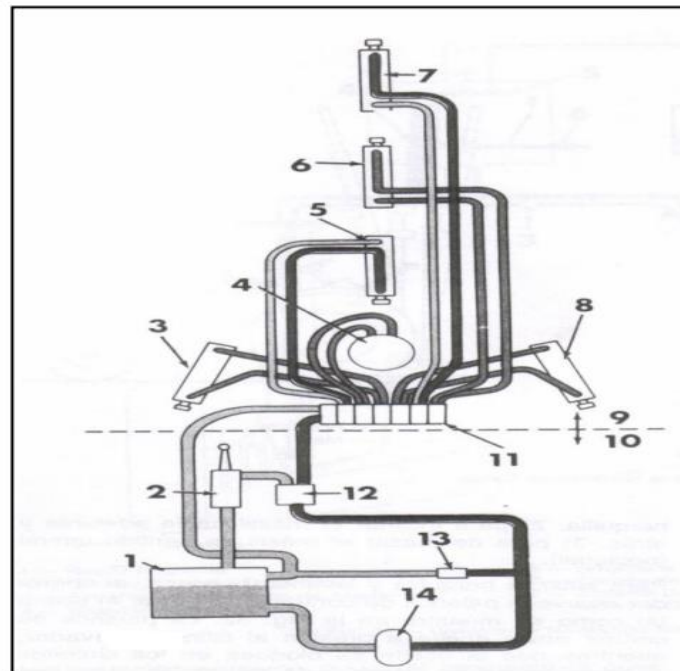
Fuente: PACHECO, M. (2006). Partes hidráulicas montadas en el aditamento excavador.
<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4193/1/T-ESPEL-0215.pdf>. Consulta: 22 de mayo
de 2018.

Partes:

- Cilindro de empuje
- Cilindro de la pluma
- Palancas del control de la retroexcavadora
- Válvulas de control de la retroexcavadora
- Cilindro de giro
- Cilindro de estabilizador izquierdo
- Cilindro del cucharón

- Transmisión: la transmisión tiene cuatro velocidades sincronizadas que permiten cambiar al operario de forma rápida y suave entre avances y retrocesos. Gracias a esto, se evitan las cargas por sacudidas en los elementos del árbol de transmisión, se provee de un control superior en la manipulación de la carga y aumenta la comodidad del operario.
- Sistema hidráulico: el sistema hidráulico es un conjunto de circuitos hidráulicos que ejercen control sobre el movimiento de todos los cilindros que componen a la retroexcavadora.

Figure 36. **Sistema hidráulico**



Fuente: PACHECO, M. (2006). Circuito hidráulico.

<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4193/1/T-ESPEL-0215.pdf>. Consulta: 22 de mayo de 2018.

Partes:

- Depósito
- Válvula de control de la cargadora frontal
- Cilindro estabilizador izquierdo
- Cilindro para giro de la pluma
- Cilindro de la pluma
- Cilindro de empuje
- Cilindro del cucharón
- Cilindro estabilizador derecho
- Retroexcavadora
- Oruga
- Pila de la válvula de control de la retroexcavadora
- Válvula selectora
- Válvula de alivio
- Bomba

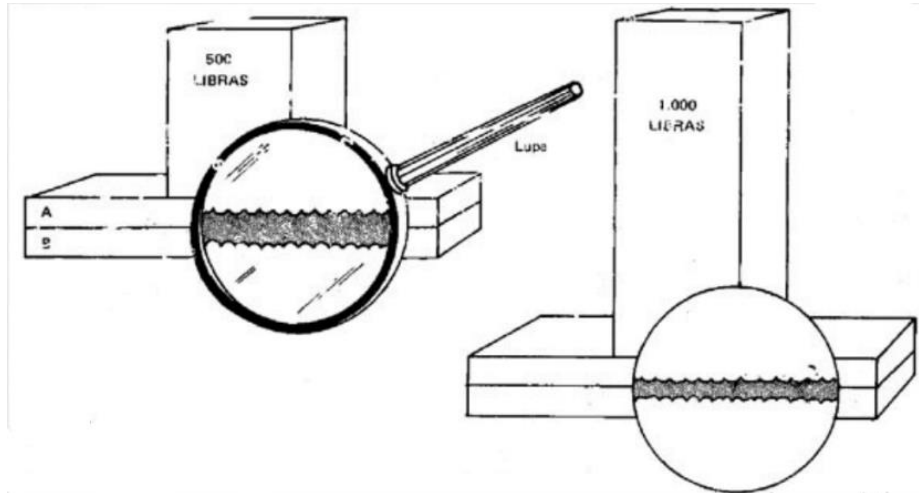
Cuenta con un botón de volcado colocado en la palanca multifunción de la cargadora, con la cual el operario puede acortar los tiempos de carga controlando la potencia del motor a la cargadora para elevar productividad.

1.3.4. Lubricación

Lubricar es interponer entre dos superficies una película fluida que las separe a pesar de la presión que se ejerza para juntarlas. La lubricación elimina el contacto directo de las superficies metálicas, impide su desgaste y reduce al mínimo el rozamiento que produce pérdida de potencia. Nieto y López (2012).

En la siguiente figura, se observa el efecto causado al usar la misma película de aceite bajo diferentes cargas:

Figure 40. Película de lubricación



Fuente: Metal Mecánica. Película de lubricante.

<http://campusvirtual.edu.uy/archivos/mecanicageneral/CURSO%20OPERADOR%20DE%20MANTENIMIENTO%20MECANICO%20INDUSTRIAL/12%20LUBRICACION%20DE%20MAQUINARIA.pdf>. Consulta:22 de mayo de 2018.

1.3.4.1. Importancia de la lubricación

Nieto y López (2012), indican en su investigación que los considerables costos y complicados equipos industriales que requiere la industria moderna no podrían funcionar, ni siquiera unos minutos, sin el beneficio de una correcta lubricación. El costo de esta resulta insignificante comparado con el valor de los equipos a los que brinda protección. La utilización del lubricante correcto en la forma y cantidad adecuadas ofrece entre otros los siguientes beneficios:

- Reduce el desgaste de las piezas en movimiento
- Menor costo de mantenimiento de la máquina
- Ahorro de energía
- Facilita el movimiento
- Reduce el ruido

- Mantiene la producción

1.3.4.2. Proceso de ejecución para lubricar la máquina

El procedimiento para la ejecución de lubricación en la máquina contempla la sucesión de pasos que deben seguir para finalizar con el equipo lubricado. Como se muestra en la siguiente tabla, para la realización de la máquina.

Tabla II. **Procedimiento para lubricación**

OPERACIÓN	PASOS
1. Localizar máquina a lubricar	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar código de la máquina
2. Revisar tarjeta guía	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar puntos a lubricar • Revisar frecuencia de lubricación • Revisar lubricantes a aplicar • Revisar modos de aplicación
3. Preparar material	<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar lubricantes (aceites y grasas) • Seleccionar equipo de lubricación (grasera, inyector) • Seleccionar herramientas de trabajo (llaves, destornilladores) • Seleccionar elementos de trabajo (bayetilla, aceite, detergente)
4. Aplicar lubricante	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar estado de aceiteras y grasas. <ul style="list-style-type: none"> • Aplicar aceite o grasa, según lo especificado en la tarjeta guía
5. Cambiar aceite	
a. Drenar depósito	<ol style="list-style-type: none"> 1. Colocar recipiente para recoger aceite 2. Retirar tapón de drenaje 3. Colocar tapón de drenaje

Continuación tabla II

b. Lavar depósito	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aplicar aceite detergente 2. Encender brevemente la máquina. 3. Apagar máquina 4. Retirar tapón de drenaje 5. Drenar el aceite detergente 6. Colocar tapón de drenaje
c. Aplicar aceite.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Retirar tapa de entrada 2. Aplicar aceite nuevo hasta el nivel de referencia 3. Colocar tapa de entrada 4. Encender máquina 5. Verificar nivel
6. Observar fugas.	
7. Limpiar mecanismos.	<ul style="list-style-type: none"> • Limpiar mecanismos • En algunos casos retirar engranajes para mayor limpieza • Aplicar grasa • Colocar carcasa de protección • Verificar funcionamiento máquina, (ruidos, temperatura)
8. Llenar tarjeta guía	<ul style="list-style-type: none"> • Anotar aceites aplicados • Anotar grasas aplicadas • Anotar fecha de la lubricación • Anotar código del lubricador

Fuente: elaboración propia.

1.4. Calidad

“La calidad puede referirse a diferentes aspectos de la actividad de una organización: el producto o servicio, el proceso, la producción o sistema de prestación del servicio o bien, entenderse como una corriente de pensamiento que impregna toda la empresa. Sin embargo, tanto en el ámbito general como en el sanitario, existen unos criterios erróneos acerca de la calidad y de su control que suponen un obstáculo al necesario entendimiento entre quienes la exigen y los que deben conseguirla” como se expone en el artículo (¿Qué es la calidad?, n.d., pág.1)

Para verificar el cumplimiento, debe ser medible y en algunos casos compararla contra diferentes estándares si se desea la certificación de alguna norma en específico, destacando con el cumplimiento de su calidad y obteniendo ventajas competitivas en el mercado en el que se desenvuelve.

Indicadores para el mantenimiento:

1.4.1. Tasa de falla y tiempo entre fallas

Una falla es un evento que cambia el estado de un producto de operacional a no operacional. En este sentido, la Tasa de Falla (TF) puede ser expresada, tanto como un porcentaje de fallas sobre el total de productos examinados o en servicio (en términos relativos), o también como un número de fallas observadas en un tiempo de operación (en este caso, en términos nominales). Dado lo anterior, el modelo que describe el cálculo de la tasa de fallas es:

$$(1) TF_{\%} = \frac{\text{Número de fallas}}{\text{Número de examinados}}$$

$$(2) TF_n = \frac{\text{Número de fallas}}{\text{Tiempo de operación}} = \frac{F}{TT-NOT}$$

1.4.2. Disponibilidad

Uno de los objetivos de un plan de mantenimiento preventivo es la mejora en la disponibilidad de los equipos e instalaciones, que una falla no comprometa la operación del mismo y que la falla de un componente no envuelva a otros. Así la reparación no aumenta su costo. La disponibilidad es la probabilidad, en el tiempo, de asegurar un servicio requerido. Hay autores que definen la disponibilidad como el porcentaje de equipos o sistemas. No obstante, hay que analizar la disponibilidad teniendo en cuenta o no el mantenimiento preventivo o, mejor dicho, las paralizaciones ocasionadas por dicho mantenimiento preventivo. Sin embargo, la disponibilidad también representa la probabilidad de un sistema de estar en uso de funcionamiento en el tiempo. El sistema no debe haber tenido fallos, o bien, en caso de haberlos sufrido, debe haber sido reparado en un tiempo menor que el máximo permitido para su mantenimiento. Es una manera de cuantificar cuánto tiempo está un equipo funcionando como debe. A mayor disponibilidad, puede producir más y mayor es su rendimiento sobre activos.

Es la probabilidad que el equipo funcione satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo total incluye el tiempo de operación, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo en mantenimiento preventivo, tiempo administrativo, tiempo de funcionamiento sin producir y tiempo logístico Mora (2005), define su ecuación de la siguiente forma:

$$(3) \text{ Disponibilidad}_{\%} = \frac{\text{Tiempo de producción real}}{\text{Tiempo de producción posible}}$$

La disponibilidad es un índice de medición que proporciona información de la habilidad de los recursos para desempeñar su función sin problemas. En

resumen, es la razón del tiempo en que el recurso se encuentra en buenas condiciones a lo largo de su vida útil o a lo largo de un período específico de tiempo. Pérez y Salgado (2012). Se define su ecuación de la siguiente forma:

$$(4) \text{ Disponibilidad} = \frac{\text{tiempo total} - \text{tiempo muerto total}}{\text{tiempo total}}$$

Donde:

- Tiempo total: es el tiempo del período en que se desea calcular la disponibilidad.
- Tiempo muerto total: es el tiempo en el que la máquina no ha operado en ese período.

1.4.3. ISO 9001: 2015

La norma hace referencia al cuidado de las infraestructuras necesarias para alcanzar y mantener los requisitos previstos en el producto o servicio ofrecido por la organización, según se muestra en el siguiente fragmento: el apartado 6.3 establece sobre la infraestructura: la organización debe determinar, proporcionar y mantener la infraestructura necesaria para lograr la conformidad con los requisitos del producto. La infraestructura incluye, cuando sea aplicable:

- Edificios, espacio de trabajo y servicios asociados
- Equipo para los procesos (tanto *hardware* como *software*)
- Servicios de apoyo tales como transporte o comunicación.

Aunque con el término infraestructura se contemplan más aspectos que solamente la maquinaria utilizada en los procesos de producción, en la empresa

objeto del proyecto estos son más relevantes. El resto, aunque importantes, parecen secundarios y se optó por dejarlos al margen del procedimiento documentado titulado: Mantenimiento de equipos y maquinaria. Con este se pretende recopilar un registro histórico de averías, reparaciones y labores de mantenimiento realizadas sobre la maquinaria más crítica, para decidir con base en criterios tangibles y cuantificables el método idóneo de mantenimiento (acciones correctivas o procedimientos preventivos).

Mientras no se alcance un registro histórico representativo, se mantiene el tipo de mantenimiento realizado hasta el momento, es decir, plenamente correctivo (solo se realizaban acciones cuando el equipo fallaba). Además, se puso en funcionamiento un procedimiento controlado y ordenado para detectar los recursos necesarios y decidir los proveedores más convenientes para cada repuesto, etc.

Una de las maneras de involucrar a la alta dirección en las mejoras de procesos son los indicadores económicos, esa es una de las misiones de este proceso, demostrar gracias a estos registros que la calidad no es un coste extra sino un medio de mejora.

1.4.3.1. Análisis y evaluación

Según el apartado 9.1.3 de la norma ISO 9001:2015, la empresa tiene que analizar y realizar una evaluación de los datos y la información apropiada que surge de realizar el seguimiento y la medición. Los resultados del análisis tienen que utilizarse para realizar la evaluación:

- La conformidad de los productos y los servicios.

- El nivel de satisfacción de los clientes.
- Si lo que se ha planteado se ha implantado con eficacia.
- La eficiencia de todas las acciones tomadas para realizar los riesgos y las oportunidades.
- La necesidad de mejorar el sistema de gestión de la calidad.

Este apartado de la norma ISO 9001:2015 se centra en todos los aspectos de control del sistema de gestión de la calidad. Se debe determinar que es necesario seguir, medir, analizar y evaluar todos los métodos que se emplean y se deben emplear en las actividades.

En la norma no se especifica mediante qué método se obtiene la información, ya que no es un requisito obligatorio. Existe una parte de la norma en la que se enumeran una serie de elementos que la empresa tiene que analizar y evaluar, los resultados pueden resultar muy útiles para ser revisados por la Dirección.

En conclusión, la organización decide lo que debe evaluar para determinar la eficacia del sistema de gestión de calidad. De la misma forma, se tiene que asegurar la satisfacción del cliente y la eficiencia de los procesos y las operaciones.

1.4.4. Descripción de la empresa

Es una empresa dedicada al servicio de la construcción y renta de maquinaria para la misma. Las principales actividades de la empresa son las siguientes:

- Movimiento de tierras

- Construcción de carreteras, caminos y puentes
- Alcantarillados y sistemas de tratamiento de aguas
- Planteles para industrias
- Patios de contenedores
- Urbanizaciones
- Alquiler de maquinaria pesada
- Producción de agregados para la construcción
- Extracción de selecto

Actualmente, la empresa desarrolla proyectos y el servicio de renta de maquinaria en el municipio de Escuintla y sus alrededores.

1.5. Desarrollo de la investigación

Para realizar la siguiente investigación, se siguió el siguiente procedimiento:

Se inició con el diagnóstico de las condiciones de los equipos y la selección de la maquinaria, la cual fue sometida a la investigación y dio como resultado el estado deteriorado de los equipos.

Seguidamente, la recopilación de los antecedentes y el levantamiento de la información del tema en estudio, a modo de encontrar las actividades realizadas previas a la investigación, mediante herramientas como la entrevista a los colaboradores de mantenimiento; el cual dio como resultado los datos para analizar las fallas frecuentes, en las cuales se identifica principalmente, el sistema hidráulico.

Se procedió con el planteamiento del programa de mantenimiento acompañado de la adaptación de la normativa a la empresa, su divulgación de uso de registros y procedimientos para un mejor sistema de gestión de mantenimiento. Para finalizar, se realizó el cálculo de los indicadores con los cuales se valida la investigación.

A partir del presente estudio de investigación, se dejaron las bases para la gestión adecuada del mantenimiento preventivo de las retroexcavadoras dentro de la empresa bajo el estudio, estableciendo los principales factores que deben ser considerados para el monitoreo de los mismos, mediante la periodicidad de las herramientas preventivas como lo es el programa y las inspecciones rutinarias, permitiendo así la reducción de acciones correctivas y disminución en frecuencia de fallas.

2. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Como parte del diagnóstico, se encuentra el reconocimiento de la diversidad de equipos con los que cuenta la empresa; para realizar las tareas que requieren los proyectos en los cuales se contrata el servicio. Los equipos con los que dispone para la renta del servicio son los siguientes.

Tabla III. Equipos de la empresa

#	MARCA	MODELO	AÑO	ESTAD O	TIPO DE MÁQUINA
1	CASE	580L	2009	ACTIVA	RETROEXCAVADO RA
2	CASE	580L	2009	ACTIVA	RETROEXCAVADO RA
3	CASE	821 E	2007	ACTIVA	CARGADOR FRONTAL
4	CASE	821 E	2007	ACTIVA	CARGADOR FRONTAL
5	DAEWOO DOOSAN	220 LC-V	2003	ACTIVA	EXCAVADORA
6	LIUGONG	922 D	2010	ACTIVA	EXCAVADORA
7	LIUGONG	225	2007	ACTIVA	EXCAVADORA
8	CATERPILL AR	319 D	2011	ACTIVA	EXCAVADORA
9	CATERPILL AR	312 L	1997	INACTIV A	EXCAVADORA
10	VOLVO	SD70D	2009	ACTIVA	COMPACTADOR

Fuente: elaboración propia.

La flota actual de retroexcavadoras de la empresa sujeta a la investigación es de dos máquinas, se distribuyen en distintos proyectos para movimiento de tierras y manejo de materiales y herramientas. Ya se cuenta con la identificación de los equipos. Tras la fase reconocimiento y selección de los equipos, se han seleccionado las retroexcavadoras CASE 580 por la demanda y frecuencia con la que este equipo tiende a fallar; sin embargo, ningún equipo cuenta con programas de mantenimiento preventivo.

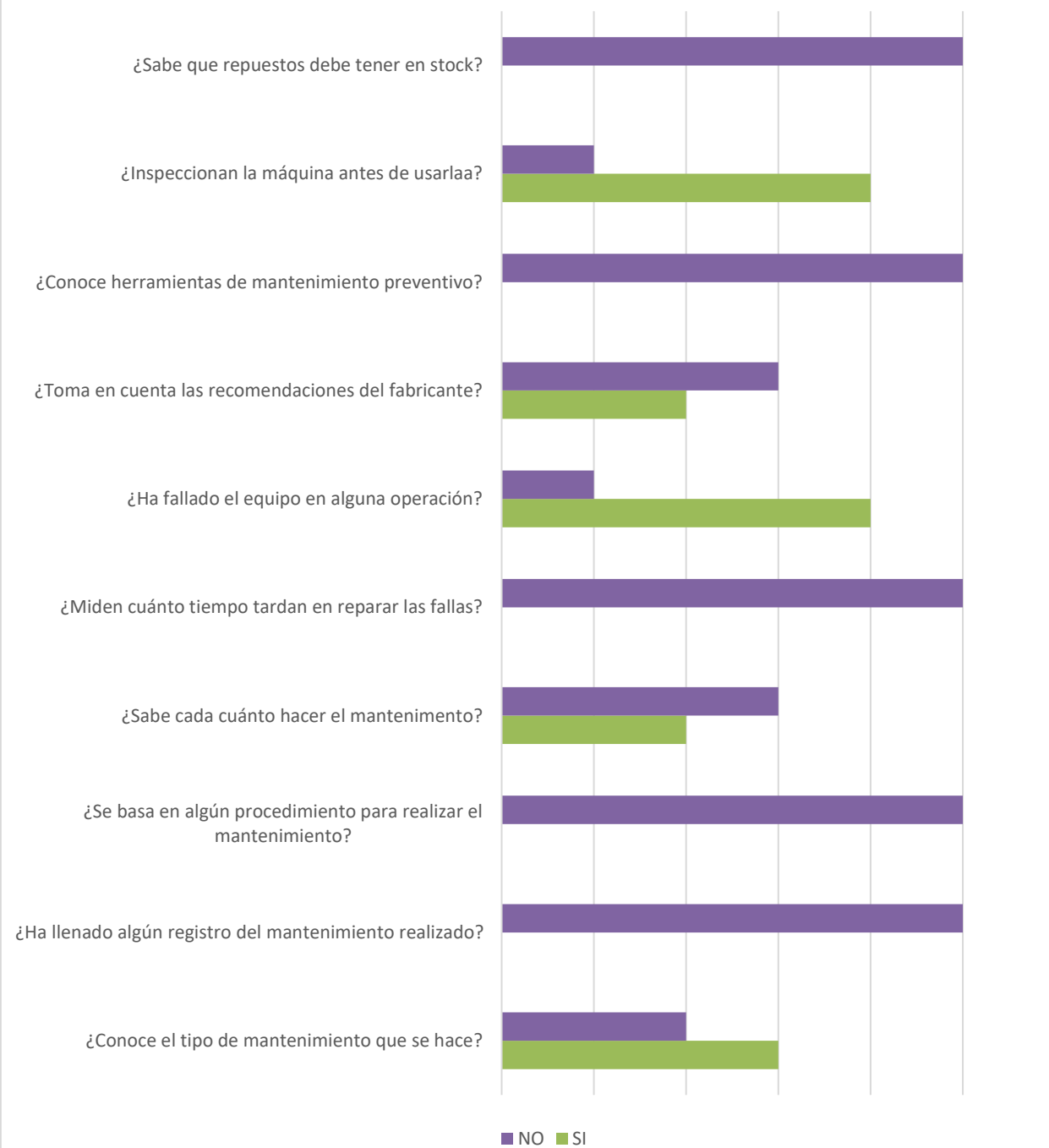
El estado de los equipos, al inicio de la investigación era de constante deterioro, a raíz de los siguientes factores:

- Mantenimiento inadecuado.
- Falta de manejo de inventario de repuestos.
- Falta de períodos establecidos para mantenimiento.
- Poca supervisión en operación de los equipos.
- Falta de inspección de las condiciones de los equipos.
- Mala aplicación de lubricación.

Para la segunda fase se realizaron entrevistas a los colaboradores que realizan las prácticas de mantenimiento, con el objetivo de la recolección de datos sobre el mantenimiento realizado a las retroexcavadoras y cuál era la tendencia de fallas previo a la investigación.

De las entrevistas realizadas al personal se extrajeron los siguientes datos sobre el estado del mantenimiento realizado con anterioridad:

ENTREVISTA A COLABORADORES



El 100 % no sabe que repuestos debe tener en stock. Sí conocen el concepto de stock, pero no han identificado los repuestos que se deben tener por tema de criticidad.

El 20 % no inspecciona la maquinaria antes de usarla.

El 100 % no conoce herramientas de mantenimiento preventivo, la inspección es una de ellas, pero lo desconocían.

El 60 % no toma en cuenta las recomendaciones del fabricante. Lo hacen basado en su experiencia.

El 20 % afirma que el equipo si ha fallado en operación.

El 100 % indicó que no miden el tiempo que tardan en reparar una falla. No manejan indicadores.

El 60 % no sabe el momento adecuado para realizar el mantenimiento. El mantenimiento lo hacen cuando se puede y la demanda de operación lo permite.

El 100 % no se basa en ningún procedimiento para realizar el mantenimiento.

El 100 % no ha llenado registro alguno sobre las acciones de mantenimiento que realizó.

El 40 % no conoce que el tipo de mantenimiento que realiza es de carácter correctivo, por detener la operación de los equipos.

- Determinar las causas de las fallas que surgen con mayor frecuencia.

Se extrajo la tendencia de fallas basado en las reparaciones que, según el personal de mantenimiento realizaban con mayor frecuencia. El resultado de las entrevistas fue el siguiente:

Sistema hidráulico:

- Fuga de aceite en cilindros de boom o pluma.
- Fuga de aceite en cilindro del estabilizador.
- Fuga de aceite en cilindro de giro.
- Fuga en los sellos de la bomba.

Estructura:

- Desgaste del cucharón frontal.
- Seguro de la pluma en mal estado.
- Grietas en mangueras del cilindro de volteo del cucharón frontal.
- Cambio de neumáticos.

Motor:

- Consumo inusual de aceite.
- Cambio de filtros de combustible.
- Sobre calentamiento.

Sistema eléctrico:

- Luces del tablero de cabina dañadas.
- Luces de operación dañadas.

3. PROPUESTA DE PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El plan de mantenimiento preventivo, basado en las recomendaciones del fabricante y las frecuencias de fallas en los equipos. Especificando a qué sistema, equipo y componente se le aplicará el procedimiento y luego de cuánto tiempo se debe realizar, es el siguiente:

Tabla IV. **Observaciones para el mantenimiento preventivo**

NOTA 1	Si la luz de aviso del filtro de aire se enciende, llevar a cabo el mantenimiento de los elementos del filtro.
NOTA 2	Usar durante el año toda una mezcla de (un 50% de agua + un 50% de Premium ANSI Freeze AKCELA) y aumentar el porcentaje de anticongelante cuando opere bajo temperaturas extremadamente bajas.
NOTA 3	Efectuar el primer cambio del aceite después de las primeras 100 horas de funcionamiento
NOTA 4	El eje Case P/N 114367A3 que va montado solamente en los modelos 580SH (con discos de frenos diferentes) debe rellenarse "sólo" con el aceite tipo "E" (Excepto Nota 8).
NOTA 5	Eje trasero Case P/N 114367A4 / A5, 279172A1, 319063A1, 87422526 y 874228, rellenar sólo con el (aceite tipo "D" con Aditivo Case 242349A1 en el "Diferencial solamente en las primeras 1000 horas).
NOTA 6	Si se trata de una máquina nueva o cuando se realicen servicios en las ruedas, aplicar el par de apriete correcto y comprobarlo a cada 10 horas de funcionamiento hasta que se estabilice.
NOTA 7	Si se trata de una máquina que trabaja en terrenos de baja sustentación, debe utilizarse grasa especial tipo "H" con engrases más frecuentes y a intervalos más cortos que aquellos especificados en la tabla.
NOTA 8	Si los discos de frenos del eje versión 114367A3 han sido actualizados a la versión A4, mediante el hit Case 243893A1, a partir de esta actualización sólo deben rellenarse con el aceite tipo "D".

Continuación tabla IV

NOTA 9	Depósitos de combustible de 100 litros montados en los modelos 580SH, a partir de las máquinas serie (2WD) JHF0021513 y (4WD) JHF002270
NOTA 10	Efectuar el primer cambio del filtro de combustible a las 100 horas de funcionamiento

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. Codificación de procedimientos de mantenimiento

PROCEDIMIENTO	
VAC	VACIAR
LIM	LIMPIAR
LUB	LUBRICAR
COM	COMPROBAR
CAM	CAMBIAR O REEMPLAZAR
CAMOBS	CAMBIAR CUANDO EL INDICADOR MARQUE OBSTRUCCIÓN
UCN	UTILIZAR COMO SEA NECESARIO

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. Especificaciones técnicas de los lubricantes aprobados

CÓDIGO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS LUBRICANTES APROBADOS	LUBRICANTE EQUIVALENTE
A	UTILIZAR MEZCLA DE UN 50% DE AGUA + UN 50% DE AKCELA PREMIUM ANTI FREEZE (10600770) (refrigeración) (reemplazar cada dos años)	ZEREX Extenden Life (sin agua) (reemplazar cada 3 años)
B	AKCELA N° 1 ENGINE OIL (10301900) (motor)	DELO 400 MGX SAE 15W 40
C	AKCELA AW HYDRAULIC FLUID 68 (10501370)	RANDO HD 68

Continuación tabla VI

D	AKCELA RecLub (10402000) - (CANT. SEGÚN TABLA) + (ADITIVO CASE 242349A1 EN EL "DIFERENCIAL" SÓLO PARA LAS PRIMERAS 1000 h) (transmisión hidráulica)	TDTO SAE 30 y 50
E	AKCELA GEAR 135H EP 85W-140 (10501360) (protección para engranajes)	DELO MULTIGEAR 85W 140
F	AKCELA RecLub (10402000)	HAVOLINE ATF MERCON DEXRON 3
G	FLUIDO NO MINERAL PARA FRENO CASE SAE J1703 (M20873 O M20874) (frenos)	Mobil Brake Fluid DOT 3
H	AKCELA MOLYGREASE (10701730)	DELO MOY GREASE 3%
J	DIESEL TIPO 2	DIESEL TIPO 2
K	DEXRON III	HAVOLINE ATF MERCON DEXRON 3

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. Programa de mantenimiento preventivo para la retroexcavadora

SISTEMAS, EQUIPOS Y COMPONENTES		10 h	50 h	100 h	250 h	500 h	1000 h	2000 h	CAPACIDAD	CÓDIGO
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE RADIADOR (NOTA 2)			COM					CAM	16.5 L	A
FILTRO DE COMBUSTIBLE (NOTA 10)						CAM				
FILTRO SEPARADOR AGUA DEL COMBUSTIBLE		VAC								
DÉPOSITO DE COMBUSTIBLE (NOTA 9)		VAC							119 L	J
ACEITE DEL MOTOR	CON CAMBIO DE FILTRO	COM			CAM				11 L	B
	SIN CAMBIO DE FILTRO	COM			CAM				9.5 L	B
TRANSMISIÓN CARRARO (4X4) (SISTEMA COMPLETO)					COM		CAM		21 L	F
TRANSMISIÓN CARRARO (4X4) (SOLAMENTE CON CAMBIO O SIN CAMBIO DE FILTRO)					COM		CAM		18.5 L	F
TRANSMISIÓN CARRARO (4X2) (SISTEMA COMPLETO)					COM		CAM		18.5 L	F
TRANSMISIÓN CARRARO (4X2) (SOLAMENTE CON CAMBIO O SIN CAMBIO DE FILTRO)					COM		CAM		16 L	F
EJE DELANTERO CARRARO (4X4)	DIFERENCIAL				COM		CAM		5.5 L	E
	CUBOS, TOTAL				COM		CAM		1.5 L	E
EJE TRASERO CARRARO CASE P/N 114367A4 - 114367A5 - 279172A1 319063A1 - 87422526 Y 87422891 (NOTA 5)	DIFERENCIAL				COM		CAM		14.2 L	D
	CUBOS, TOTAL				COM		CAM		3 L	D
SISTEMA HIDRÁULICO	FILTRO HIDRÁULICO (CAMOBS)						CAM			
	TANQUE CON CAMBIO DE FILTRO		COM				CAM		54.5 L	C
EJES DE TRANSMISIÓN - CARDAN (NOTA 7)			LUB							H
PUNTOS DE ENGRASE	RETRO (NOTA 7)	LUB							UCN	H
	ESTABILIZADOR (NOTA 7)	LUB							UCN	H
	CARGADORA (NOTA 7)	LUB							UCN	H
	DIRECCIÓN/PIVOTES EJE DELANTERO (NOTA 7)	LUB							UCN	H
PEDAL DE BLOQUEO DIFERENCIAL (NOTA 7)					LUB				UCN	H
PALANCAS DE CONTROL RETRO/ CARGADORA/ PEDALES MANDOS DE LA RETRO (NOTA 7)				LUB					UCN	H
RIEL DESPLAZAMIENTO LATERAL (NOTA 7)			LUB						UCN	H
RIEL BRAZO EXTENSIBLE (NOTA 7)			LUB						UCN	H

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Propuesta de stock de repuestos**

ELEMENTO	ELEMENTO RECOMENDADO	CANTIDAD
ELEMENTO PRIMARIO DEL FILTRO DE AIRE	128781A1	1
ELEMENTO SECUNDARIO DEL FILTRO DE AIRE	128782A1	1
CONJUNTO DEL PREFILTRO DE AIRE	193867A1	1
FILTRO DE ACEITE DE MOTOR	J933145	1
FILTRO DE COMBUSTIBLE	J286503	1
FILTRO SEPARADOR (AGUA/COMBUSTIBLE)	148503A1	1
FILTRO DE LA TRANSMISIÓN	254686A2	1
CONJUNTO DE FILTRO HIDRÁULICO	122536A1	1
FAJA DEL VENTILADOR DE MOTOR	J925953	1
ACOPLAMIENTO DE BOMBA	CASE	1
MANOMETROS HIDRÁULICOS	CASE	2
MANGUERAS DEL SISTEMA HIDRÁULICO	HYTORC 09172S	5
SILICÓN	SIKADUR - 52 (INYECCIÓN)	2
SELLADOR DE TORNILLERÍA	LOCTITE 243	2
KIT DE SELLOS HIDRÁULICOS	CASE	1

Fuente: elaboración propia.

3.1. Evaluación de programa de mantenimiento preventivo.

Los resultados de la fase cuatro se midieron en el límite de tiempo establecido, que consistió en tres meses. El primer mes se utilizó para la divulgación de procedimientos y uso de registros, con la finalidad de ser herramienta para la recolección de datos.

Con el dominio de los registros del sistema de gestión de calidad basados en la normativa ISO 9001, se utilizó el primer mes para recolectar datos que servirían para la comparación final de la investigación. Debido a que no se contaban con datos previos para realizar la comparación con los resultados finales tras la investigación.

Las fallas evidenciadas en el tiempo establecido se presentan resumidas en la siguiente tabla, respetando la codificación de número y colores siguiente:

Tabla IX. **Codificación de tipo de registros**

CÓDIFICACIÓN N	TIPO DE REGISTRO
	REGISTRO DE ACCIÓN CORRECTIVA
	REGISTRO DE MONITOREO DE ANOMALÍA
Número	TIEMPO EN HORAS QUE TOMÓ LA ACCIÓN CORRECTIVA

Fuente: elaboración propia.

En el caso de los registros de monitoreo de anomalía, no existe tiempo para acción correctiva, pues no se realizó ninguna acción. La finalidad del registro fue evaluar si el mantenimiento preventivo resolvía el inconveniente, sin tomar en cuenta el tiempo de la gestión del repuesto.

Tabla X. Datos sobre las acciones correctivas realizadas durante la investigación

SISTEMAS, EQUIPOS Y COMPONENTES	ANTES DEL PROGRAMA				CON EL PROGRAMA							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
FILTRO DE COMBUSTIBLE	2		2		1					1		
ACEITE DEL MOTOR			3							2		
FUGA EN LOS SELLOS DE LA BOMBA HIDRÁULICA		1		1				1				
FUGA EN CILINDROS DE BLOOM O PLUMA	4		3	4			2.5					
GRIETAS EN MANGUERAS DE CILINDRO DE VOLTEO DEL CUCHARÓN FRONTAL	1									1		
DESGASTE CUCHARÓN FRONTAL	5		5					3				
SOBRECALENTAMIENTO DE MOTOR	1		1	1								
CONSUMO INUSUAL DE COMBUSTIBLE												
PERDIDAS DE PRESIÓN EN SISTEMA HIDRÁULICO												
SEGURO DE PLUMA	1		1								1	
FUGA EN DESCARGA DE BOMBA DE AGUA	2			2								
TERMOSTATO DAÑADO		2										
OBSTRUCCIÓN EN INYECTORES	1		1	1				1				
ALÍNEACIÓN EN EL SISTEMA DE DIRECCIÓN								3				

Fuente: elaboración propia.

El resultado de los datos recopilados, la suma de tiempo que tomó resolver las fallas dado en horas, es la siguiente:

Tabla XI. **Datos sobre las acciones correctivas realizadas durante la investigación**

SISTEMAS, EQUIPOS Y COMPONENTES	TIEMPO QUE TOMÓ CORRECCIÓN ANTES DEL PMP	TIEMPO QUE TOMÓ CORRECCIÓN DESPUÉS DEL PMP
FILTRO DE COMBUSTIBLE	4	2
ACEITE DEL MOTOR	3	2
FUGA EN LOS SELLOS DE LA BOMBA HIDRÁULICA	2	1
FUGA EN CILINDROS DE BLOOM O PLUMA	11	2.5
GRIETAS EN MANGUERAS DE CILINDRO DE VOLTEO DEL CUCHARÓN FRONTAL	1	1
DESGASTE CUCHARÓN FRONTAL	10	3
SOBRECALENTAMIENTO DE MOTOR	3	0
SEGURO DE PLUMA	2	1
FUGA EN DESCARGA DE BOMBA DE AGUA	4	0
TERMOSTATO DAÑADO	2	0
OBSTRUCCIÓN EN INYECTORES	3	1
ALÍNEACIÓN EN EL SISTEMA DE DIRECCIÓN	0	3

Fuente: elaboración propia.

3.2. Indicador de tiempo entre fallas

Siendo 45 horas el tiempo invertido en fallas, previo a la aplicación del mantenimiento preventivo. Y con la aplicación del programa de mantenimiento se redujo a 16.5 horas. Tomando como base 40 horas laborales por semana y sin tomar en cuenta el lapso que tomó conseguir el repuesto, el indicador del tiempo entre fallas es el siguiente:

Tabla XII. **Tiempo entre fallas**

SISTEMAS, EQUIPOS Y COMPONENTES	TIEMPO QUE TOMO CORRECIÓN ANTES DEL PMP	TIEMPO QUE TOMO CORRECIÓN DESPUÉS DEL PMP	FRECUENCIA DE FALLAS ANTES DEL PMP	FRECUENCIA DE FALLAS DESPUÉS DEL PMP	TIEMPO ENTRE FALLAS ANTES DEL PMP	TIEMPO ENTRE FALLAS DESPUÉS DEL PMP
FILTRO DE COMBUSTIBLE	4	2	2	2	1.28%	0.63%
ACEITE DEL MOTOR	3	2	1	1	0.64%	0.31%
FUGA EN LOS SELLOS DE LA BOMBA HIDRÁULICA	2	1	2	1	1.27%	0.31%
FUGA EN CILINDROS DE BLOOM O PLUMA	11	2.5	3	1	2.01%	0.31%
GRIETAS EN MANGUERAS DE CILINDRO DE VOLTEO DEL CUCHARÓN FRONTAL	1	1	1	1	0.63%	0.31%
DESGASTE CUCHARÓN FRONTAL	10	3	2	1	1.33%	0.32%
SOBRECALENTAMIENTO DE MOTOR	3	0	3	0	1.91%	0.00%
SEGURO DE PLUMA	2	1	4	0	2.53%	0.00%
FUGA EN DESCARGA DE BOMBA DE AGUA	4	0	1	0	0.64%	0.00%
TERMOSTATO DAÑADO	2	0	2	1	1.27%	0.31%

Continuación tabla XII

OBSTRUCCIÓN EN INYECTORES	3	1	2	0	1.27%	0.00%
ALÍNEACIÓN EN EL SISTEMA DE DIRECCIÓN	0	3	1	0	0.63%	0.00%

Fuente: elaboración propia

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para la gestión del programa de mantenimiento se utilizó un mejor manejo de información, con documentos basados en gestión de calidad ISO 9001, para registrar las fallas más frecuentes como data inicial y verificación de la propuesta del programa de mantenimiento, debido al alto número de acciones correctivas y falta de control de la información, no se manejaba registro alguno de las actividades que se realizaban en los equipos.

Surgió la necesidad de un nuevo sistema de manejo de información y mantenimiento, el alcance del programa fue la maquinaria tipo retroexcavadora, de los cuales se cuenta con dos equipos marca CASE 580 L. Se tomó este tipo de equipo, debido a la demanda que tiene, por cumplir en menor capacidad las tareas de un cargador frontal y de una excavadora. Igual que el número considerable de fallas que presentaba durante la operación y la cantidad de acciones correctivas que se le realizaban.

Tras la recopilación de información mediante entrevistas a los colaboradores que realizan las prácticas de mantenimiento, se evidenció que en su mayoría desconocen herramientas preventivas y la forma en la que deben medir la efectividad de sus acciones correctivas, siendo éstas las principales causas y el problema inicial de la implementación del programa por el cambio de metodología para la realización del mantenimiento.

Luego de la propuesta del programa de mantenimiento preventivo, tomando en cuenta las recomendaciones del fabricante y adecuándolo para la tendencia de fallas que se presentaba en la empresa.

Es notoria y medible la reducción de acciones correctivas, que en su lugar son realizadas acciones preventivas como revisiones o inspecciones rutinarias que son bajo el concepto de la herramienta VOSO, que consiste en ver, oler, sentir y oír. Además de realizar las recomendaciones cumplir con los períodos de re-lubricación y mantenimientos requeridos con relación a las horas de funcionamiento.

Esto con la finalidad de detección de desperfectos detectables que no afectan la operación del equipo como para ser considerado una falla, de no ser reparado puede conllevar a una falla y detención del equipo. La lubricación de los equipos actualmente es controlada, con anterioridad la aplicación del lubricante era sin considerar el tipo de aceite adecuado para las condiciones del equipo ni el tiempo requerido para el cambio de aceite. En ocasiones se realizaba el cambio de aceite.

La sistematización del mantenimiento apoyada con el sistema de gestión, mediante registros y procedimientos permitió la reducción de acciones correctivas, tal como lo indican los autores (Toapanta, García y Leodán, 2010). Al reducir las acciones correctivas se disminuye el riesgo de fallo y el alto costo que representa el paro de alguna operación.

Luego de la investigación, las palabras del autor (López, E., 2009) se adaptan a los resultados vistos. Con la elaboración de los métodos de control se obtuvo un mejor manejo de actividades de mantenimiento, llevar los registros al día es una importante fuente de retroalimentación para el programa de mantenimiento. Además de tener mejor facilidad para el manejo de información sobre la maquinaria y el personal.

Si bien se ve reflejada la mejora de la disponibilidad y se empezó la cultura de buenas prácticas, el concepto de confiabilidad no fue tocado en la investigación. De darle el seguimiento adecuado al programa si puede convertirse en un objetivo más conciso el tema de la confiabilidad. Pero como lo indica en la investigación realizada por el autor (Amendola, L., 2002) se redujo la extensión y el número de tareas a realizar con las buenas prácticas.

El costo por fallas se manejó en el parámetro de horas fuera de servicio, la información sobre costo por repuestos no se tuvo libre acceso. Por esta razón, no se pudo justificar el programa de mantenimiento preventivo con un análisis comparativo en costos contra el mantenimiento correctivo. Como lo indica el autor (Ruíz, J., 2009) al no tratar con prevención las posibles fallas, una falla mayor como lo eran las fugas en los cilindros o rotura en los sellos, el sistema hidráulico y principalmente la bomba trabajaban sin la cantidad correcta de aceite, provocando así mayor desgaste en el sistema.

Como lo desarrolló (Grijalva, W., 2003) en su investigación, llevar un historial de las reparaciones efectuadas en la maquinaria. Se facilita al utilizar el manual de fabricante como base para el desarrollo del plan de mantenimiento. El registro histórico o bitácora es parte fundamental para el mantenimiento preventivo.

La inspección rápida de los diferentes elementos y sistemas de la máquina, con la herramienta preventiva VOSO permitió identificar el inicio de una avería menor como se apreció en las fugas o sobrecalentamientos, que con el tiempo podría haberse convertido en daños severos a la culata. Llevar un control diario como lo indican (Maldonado y Sigüenza, 2012) es un factor importante para la prevención de fallas; sin embargo, en el caso de los otros equipos hay lapsos

en que no se utilizan, entonces estas inspecciones en esos casos es mejor realizarlas al finalizar y al inicio de operaciones.

Se realizó un diagnóstico de la situación actual de los sistemas de tracto-camiones basados en la manera de operación. Para ese objetivo, se realizó un análisis de criticidad, basado en 5 criterios: frecuencia de fallas, impacto operacional, flexibilidad operacional, costos de mantenimiento y seguridad personal y ambiental, permitiendo que las acciones de mantenimiento se descompusieran en 76 % de actividades preventivas y un 24 % de actividades correctivas. (Moreno, R., 2009).

Al igual que en la investigación aportada por (Moreno, R., 2009). Se practicó un diagnóstico de la situación en la que se encontraron los equipos y se tomó en cuenta principalmente los criterios de frecuencia de fallas, impacto que tiene en operación, costos por fallo en operación. Como resultado del enfoque en estos criterios, se logró la reducción en un 63 % las acciones correctivas.

CONCLUSIONES

1. Con la realización del diseño de gestión del mantenimiento preventivo aplicando la Norma ISO 9001 para las retroexcavadoras, como se evidencia en la tabla X, se logró reducir las fallas y los mantenimientos correctivos emergentes, en las retroexcavadoras bajo la Norma ISO 9001.
2. Se identificó el estado de los equipos, en los cuales se evidenció que el estado no es el óptimo y el mantenimiento que se practica es inadecuado.
3. Se determinaron las fallas frecuentes de los equipos, los cuales fueron principalmente fugas hidráulicas en los sellos de la bomba del sistema hidráulico como causas principales se encontraron. Mantenimiento inadecuado a los equipos y la falta de periodicidad y evaluación del mantenimiento.
4. Se diseñó un programa de programa de mantenimiento preventivo, basado en la normativa ISO 9001, además se evaluó por medio de los indicadores de tiempo entre fallas y frecuencia de fallas, evidenciando la evaluación en la tabla XII.

RECOMENDACIONES

1. Para continuar con la reducción de fallas, el programa de mantenimiento tiene que contemplar actualizaciones y retroalimentación con el aporte de registros que requiere la norma.
2. Se sugiere seguir identificando el estado de los equipos como método visual de evaluación del mantenimiento, para evitar el deterioro prematuro.
3. Se debe hacer una mejora continua con la determinación de las causas en el manejo de la información y la identificación de las fallas, para la realización del programa.
4. Es importante asegurar el cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo, basado en la Norma ISO 9001 y verificar la periodicidad de las acciones realizadas, dándoles así trazabilidad a los equipos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Amendola, L. (2002). Aplicación de la confiabilidad en la gestión de proyectos en paradas de plantas químicas. VI Internacional Congreso on Project Engineering, AEIPRO. Pág.154
2. Bona, J. Gestión del mantenimiento. Fundación Confemetal, Madrid, España. Consulta: 2018.
3. Cabrera, D. (2017). Modelado de sistemas dinámicos con *machine learning*, aplicaciones al mantenimiento basado en condición. Tesis doctoral, Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial, Universidad de Sevilla. Sevilla, España.
4. Carles, R. I. B. A. (2002). Diseño concurrente. España, Ediciones UPC.
5. Carnero, M. (2012). Programas de mantenimiento preventivo. España. EAE, 2012.
6. Chang, E. (2009). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento preventivo para una pequeña empresa del rubro de minería para reducción de costos del servicio de alquiler. Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima, Perú.
7. Donis, A. (2011). Implementación de mantenimiento preventivo/predictivo en equipo biomédico en el instituto mexicano

de seguridad social. Tesis de grado, Universidad Tecnológica de Tula. Hidalgo, México.

8. Ellis, H. (2003). *Principles of the transformation of the maintenance function to world-class standards of performance*. 1999. Estados Unidos.
9. Fernández, F. (2005). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado*. España. FC Editorial.
10. García, S. (2012). *Mantenimiento correctivo en centrales de ciclo combinado*. Consulta: 2018.
11. García, S. (2009) *Ingeniería de mantenimiento: manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento*. Renovatec.
12. Garrido, S. (2010). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. España, Ediciones Díaz de Santos.
13. Guevara, F. (2015). *Análisis y ejecución de movimiento de tierras en una obra empleando el diagrama de curva masa*. Tesis de Maestría en Ingeniería Civil con mención en ingeniería vial. Universidad de Piura. Perú.
14. González, F. (2005). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial*. 2da. edición, España, FC Editorial.
15. Goti, A. (2008). *Sound-based predictive maintenance: a cost-effective approach*. Págs. 37-40

16. Granados, C. (2003). Programa de mantenimiento preventivo de retroexcavadoras cargadoras. Tesis de grado, Escuela de Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico, Costa Rica.
17. Grijalva, W. (2003). Diseño de un programa de mantenimiento preventivo para una planta de café soluble. Tesis de grado, Ingeniería Mecánica, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
18. López, E. (2009). El mantenimiento productivo total TPM y la importancia del recurso humano para su exitosa implementación. Tesis de grado, Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá, Colombia.
19. Maldonado, H.; Siguenza, L. (2012). Propuesta de un plan de mantenimiento para maquinaria pesada de la empresa minera Dynasty Mining del Cantón Portovelo. Tesis de grado, Ingeniería Mecánica Automotriz, Universidad Politecnica Salesiana, Ecuador.
20. Márquez, Ángel; Ajuech, Leví; *et al.*, (2017). Mantenimiento: técnicas y aplicaciones industriales. España, Grupo Editorial Patria.
21. Mora, A. (2005). Mantenimiento estratégico para empresas de servicio. AMG.
22. Moreno, R. (2009). Diseño de un plan de mantenimiento de una flota de tractocamiones en base a los requerimientos en su contexto operacional. Tesis doctoral, Universidad de Oriente, Venezuela.

23. Moubray, J. (2004). RCM. Mantenimiento centrado en confiabilidad. Aladon LLC.
24. Nieto, C.; LÓPEZ, R. (2012). Metalmecánica, lubricación de maquinaria. Recuperado de: <http://campusvirtual.edu.uy/archivos/mecanicageneral/CURSO%20OPERADOR%20DE%20MANTENIMIENTO%20MECANICO%20INDUSTRIAL/12%20LUBRICACION%20DE%20MAQUINARIA.pdf>. [Consulta: 27 de mayo de 2018].
25. Pérez, C.; Salgado, G. (2012). Elaboración de un plan de mantenimiento preventivo programado para equipo pesado y motores fuera de borda del gobierno autónomo descentralizado del Cantón Colta con la utilización de un software. Tesis de grado, Universidad de Riobamba, Ecuador.
26. Porras, D. (2015). La planeación y ejecución de obras de construcción dentro de las buenas prácticas de la administración y la programación (Proyecto torres de la 26-Bogotá). Tesis de grado, Ingeniería Civil. Universidad Católica de Colombia. Colombia.
27. Ruiz, J. (2009). Implementación de un programa de mantenimiento preventivo para la maquinaria pesada de la empresa INVERGLOBLA INC LTDA. Tesis de grado, Universidad Pontificia Bolivariana Barrancabermeja, Bolivia. Anthony M. and Glenn R.
28. Smith, A.; Hinchcliffe, G. (2005). Develop good strategies for effective preventive maintenance. Plant Engineering.

29. Solé, A. (1991). Fiabilidad y seguridad de procesos industriales (Vol. 49). España, Marcombo.
30. Tecsup. (2007). Mantenimiento industrial. Lima.
31. Toapanta, F.; *et al.*, (2010). Diseño de un plan de mantenimiento para el equipo caminero y vehículos que dispone el gobierno municipal de Tena. Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.
32. ¿Qué es calidad? (n.d). Consulta: 12 de julio de 2019, Universidad Autónoma de México, página de información médica: <http://www.facmed.unam.mx/emc/computo/infomedic/presentac/modulos/ftp/documentos/calidad.pdf>

APÉNDICES

Apéndice 1. Lista de equipos y máquinas bajo mantenimiento

MDP- MANTENIMIENTO DE EQUIPOS Y MAQUINAS		REGISTRO-MANT-01-	PAG. DE
Fecha Aprobación:		Fecha Próxima Evaluación:	
LISTADO DE EQUIPOS Y MAQUINAS BAJO MANTENIMIENTO			
MAQUINA/EQUIPO	CODIGO	CORRECTIVO	PREVENTIVO
APROBACION DEL LISTADO			
Fecha:		Firma:	
ELABORADO POR :			
Vº Bº GERENCIA			
Observaciones:			


Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Plan de mantenimiento de equipos y máquinas Formato-
MANT-02**

MDP- MANTENIMIENTO DE EQUIPOS Y MAQUINAS		REGISTRO-MANT-02-	PAG. DE
Fecha Aprobación:		Fecha Próxima Revisión:	
PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO			
MAQUINA/EQUIPO		CÓDIGO	
TAREA		PERIODICIDAD	
APROBACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO			
Fecha:		Firma:	
ELABORADO POR :			
Vº Bº GERENCIA :			
Observaciones:			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Ficha técnica de equipos y máquinas Formato-MANT-03

MDP- MANTENIMIENTO DE EQUIPOS Y MAQUINAS		REGISTRO-MANT-03-	PAG. DE
FICHA TÉCNICA DE LA MAQUINA/EQUIPO			
CÓDIGO		FABRICANTE	
FECHA ENTRADA		FECHA FABRICACIÓN	
DESCRIPCIÓN			
CONTACTOS			
NOMBRE	CARGO	EMPRESA	TLF/FAX
			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Historial de revisiones y reparaciones Formato-MANT-04**

MDP- MANTENIMIENTO DE EQUIPOS Y MAQUINAS		REGISTRO-MANT-04-	PAG. DE
HISTORIAL DE REVISIONES/REPARACIONES			
MAQUINA/EQUIPO		CÓDIGO	
TAREA (DESCRIPCIÓN, HORAS, PERSONAL, REPUESTOS, IMPORTE, ETC)		HORA/FECHA	
		INICIO:	
		FINALIZACIÓN:	
		INICIO:	
		FINALIZACIÓN:	
		INICIO:	
		FINALIZACIÓN:	
		INICIO:	
		FINALIZACIÓN:	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Matriz de coherencia

Problema	Objetivo	Hipótesis	Metodología	Conclusión
<p>Problema general:</p> <p>Carencia de programa de mantenimiento preventivo para las retroexcavadoras.</p>	<p>Objetivo general:</p> <p>Diseñar la gestión de un programa de mantenimiento preventivo en la empresa dedicada a la renta de maquinaria y servicio de la construcción bajo la normativa ISO 9001.</p>	<p>Implementar un programa de mantenimiento preventivo basado en la norma.</p>	<p>Adaptar a la norma el mantenimiento para los equipos</p>	<p>Con el seguimiento adecuado, se logrará la implementación del programa de mantenimiento, basado en la normativa</p>
<p>Problemas específicos:</p> <p>Número considerable de acciones correctivas.</p> <p>Ausencia de sistema de información.</p> <p>No se gestiona bien el mantenimiento para las retroexcavadoras</p>	<p>Reducir las acciones correctivas en la maquinaria.</p> <p>Diseñar un sistema de información para el mantenimiento .</p> <p>Definir el mantenimiento preventivo conveniente para las retroexcavadoras según la normativa ISO 9001.</p>	<p>Convertir un gran porcentaje de acciones correctivas en preventivas,</p> <p>Conseguir un sistema definido para el manejo de la información.</p> <p>Establecer las acciones preventivas adecuadas para el equipo</p>	<p>Reducir las acciones correctivas con la programación de mantenimiento preventivo.</p> <p>Facilitar el mantenimiento con un control del mismo llevando registro.</p> <p>Readecuar el mantenimiento para que este prevenga fallos en el equipo.</p>	<p>Si se realiza una gestión correcta el número de acciones correctivas disminuirá.</p> <p>Con el control y registro, quedará el sistema para el manejo de información de los equipos.</p> <p>Definiendo que acciones se ven beneficiadas al adjudicar la norma en los procedimientos.</p>

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Entrevista a colaboradores

ENTREVISTA A COLABORADORES		
Pregunta	SI	NO
¿Conoce el tipo de mantenimiento que se hace?		
¿Ha llenado algún registro del mantenimiento realizado?		
¿Se basa en algún procedimiento para realizar el mantenimiento?		
¿Sabe cada cuánto hacer el mantenimiento?		
¿Miden cuánto tiempo tardan en reparar las fallas?		
¿Ha fallado el equipo en alguna operación?		
¿Toma en cuenta las recomendaciones del fabricante?		
¿Conoce herramientas de mantenimiento preventivo?		
¿Inspeccionan la máquina antes de usarla?		
¿Sabe que repuestos debe tener en stock?		

Fuente: elaboración propia.