

**PROPUESTA PARA LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO EN UNA INDUSTRIA
FORESTAL**

HERNANDO AUGUSTO GARCÍA OVALLE

**UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CALI
DICIEMBRE 2018**

**PROPUESTA PARA LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO EN UNA INDUSTRIA
FORESTAL**

HERNANDO AUGUSTO GARCIA OVALLE

Trabajo de grado para optar el título de Magister en Ingeniería Industrial

Director proyecto

JUAN CARLOS GARZON OSORIO

UNIVERSIDAD ICESI

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

CALI

DICIEMBRE 2018

Agradecimientos

A Dios por permitirme lograr este objetivo tan anhelado en mi vida.

A mi esposa Margaret, mis hijos David Alejandro y Juan Antonio por la paciencia y el tiempo que les dejé de dedicar.

A mi familia por el apoyo incondicional en la realización de este proyecto.

A Smurfit Kappa por la oportunidad y espacio en realizar la maestría.

A los ingenieros Juan Carlos Garzón, Jairo Guerrero, Andrés López, Angélica Burbano y a las personas que hicieron parte del desarrollo de este trabajo.

Tabla de contenido

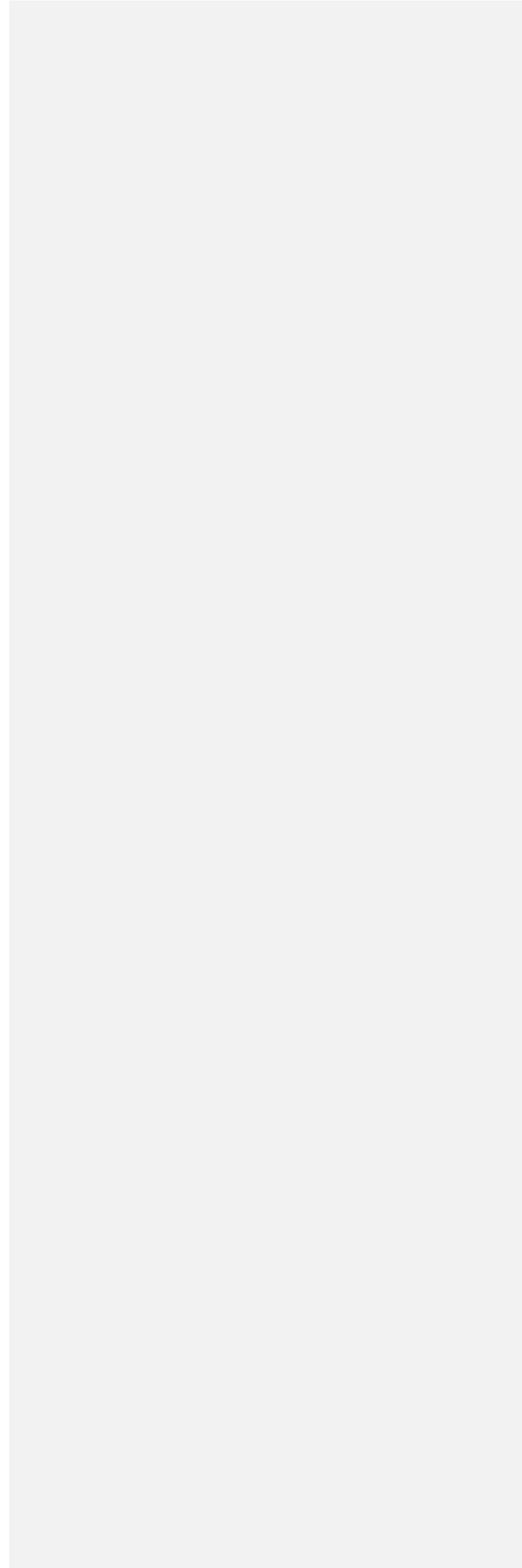
RESUMEN	7
INTRODUCCION	9
1 CAPÍTULO I. Definición del Problema	13
1.1 Contexto del Problema	13
1.2 Análisis y Justificación	16
1.3 Formulación del Problema	18
2 CAPITULO II. Objetivos	19
2.1 Objetivo del proyecto	19
2.2 Objetivos específicos	19
2.3 Entregables	19
3 CAPITULO III. Marco de referencia	20
3.1 Antecedentes	20
3.2 Marco teórico	23
4 CAPÍTULO IV. Metodología	35
4.1 Tipos, enfoque o propósito de estudio o de investigación	35
4.2 Métodos, técnicas e instrumentos	37
4.2.1 Método cualitativo	38
4.2.2 Método cuantitativo	38

4.2.3	Método caso de estudio	39
4.3	Diseño de la metodología	42
4.3.1	Fase de diseño	43
4.3.2	Fase de trabajo de campo	46
4.3.3	Fase de análisis y resultados	46
5	<i>CAPÍTULO V. Resultados</i>	48
5.1	Análisis de la situación actual	48
5.2	Análisis de criticidad	52
5.2.1	Método cualitativo de criticidad	52
5.2.2	Método cualitativo-cuantitativo de criticidad	53
5.3	Identificación de nivel de criticidad en los equipos	54
5.3.1	Sistemas y componentes de equipos críticos y semicríticos	56
5.3.2	Estado de mantenimiento preventivo y correctivo para cada familia de equipo	68
5.4	Análisis del estado actual de la gestión del mantenimiento versus modelos de gestión de mantenimiento existentes	71
5.5	Brecha para la gestión del mantenimiento	76
6	<i>CAPÍTULO VI. Propuesta de gestión de mantenimiento</i>	84
6.1	Roadmap	84
6.2	Matriz 5W-1H de la propuesta de gestión de mantenimiento	87
6.3	Cronograma	91
7	<i>CAPÍTULO VII. Conclusiones</i>	92
7.1	Conclusiones generales	92

7.2	Conclusiones específicas	93
7.3	Recomendaciones	96
7.4	Investigaciones futuras	97
	<i>Anexo A Encuesta acerca de la percepción de la gestión del mantenimiento</i>	<i>98</i>
	BIBLIOGRAFÍA	103

Listado de figuras

<i>Figura 1 Diagrama de flujo de la cosecha mecanizada</i>	13
<i>Figura 2 Entradas de materia prima para pulpa desde zona Sur a planta en Yumbo</i>	15
<i>Figura 3 Disponibilidad de equipos año 2017</i>	16
<i>Figura 4 Qué hacen lo gerentes de mantenimiento versus lo que ellos piensan que deberían hacer</i>	22
<i>Figura 5 Literatura de Gestión del mantenimiento</i>	24
<i>Figura 6 Clasificación de los diferentes tipos de mantenimiento</i>	26
<i>Figura 7 Ciclo de gestión de mantenimiento</i>	34
<i>Figura 8 Convergencia de la evidencia</i>	40
<i>Figura 9 Cadena de evidencia</i>	41
<i>Figura 10 Diseño de la metodología</i>	43
<i>Figura 11 Frecuencia de intervenciones por sistemas en familia de equipos</i>	50
<i>Figura 12 Frecuencia de intervenciones por familia de equipos en sistemas</i>	51
<i>Figura 13 Matriz de Riesgo</i>	54
<i>Figura 14 Diagrama circular de excavadora</i>	58
<i>Figura 15 Diagrama circular de arrastrador de troncos</i>	59
<i>Figura 16 Diagrama circular de winche</i>	60
<i>Figura 17 Diagrama circular de torre de madereo</i>	61
<i>Figura 18 Diagrama circular de grúa</i>	62
<i>Figura 19 Diagrama circular de cargador trineumático</i>	64
<i>Figura 20 Diagrama circular de tractor cargador</i>	65
<i>Figura 21 Porcentaje de mantenimiento preventivo por familias de equipos</i>	70
<i>Figura 22. Políticas, estrategias y objetivos e impacto de los equipos en producción</i>	79
<i>Figura 23 Enfoque de mantenimiento e identificación de trabajos a realizar</i>	80
<i>Figura 24 Planificación, programación y ejecución de actividades</i>	81
<i>Figura 25 Gestión de los recursos humanos y de la información</i>	82
<i>Figura 26 Aspecto económico y de mejoramiento continuo</i>	83



Lista de tablas

<i>Tabla 1 Distribución de equipos por familia en la división forestal</i>	14
<i>Tabla 2 Tipos de sistemas de mantenimiento y sus características</i>	21
<i>Tabla 3 Visión general de tácticas prederminativa (programada) en mantenimiento preventivo</i>	27
<i>Tabla 4 Visión general de tácticas proactivas en mantenimiento preventivo</i>	28
<i>Tabla 5 Visión general de tácticas predictiva en mantenimiento preventivo</i>	28
<i>Tabla 6 Matriz de gestión de mantenimiento</i>	33
<i>Tabla 7 Tipos de investigación</i>	36
<i>Tabla 8 Tácticas de caso de estudio para pruebas de validez y confiabilidad</i>	40
<i>Tabla 9 Protocolo de recopilación de datos</i>	44
<i>Tabla 10 Clasificación de equipos en sistemas y componentes</i>	45
<i>Tabla 11 Matriz de análisis de criticidad</i>	53
<i>Tabla 12 Equipos del proceso de cosecha mecanizada y vías con el respectivo nivel de criticidad</i>	55
<i>Tabla 13 Capacidades de producción por equipo y personas en la labor</i>	56
<i>Tabla 14 Análisis 5W-1H para determinar las causas que originan la baja disponibilidad</i>	66
<i>Tabla 15 Comparativo entre la situación actual con los modelos de gestión de mantenimiento</i>	75
<i>Tabla 16 Temas de la encuesta de percepción de la gestión del mantenimiento</i>	76
<i>Tabla 17 Matriz 5W-1H para la gestión del mantenimiento</i>	88
<i>Tabla 18 Cronograma</i>	91

RESUMEN

Desde hace varios años las compañías están obligadas a mejorar en cada uno de sus procesos productivos y administrativos para superar a los competidores que se encuentran en varias partes del mundo, existe una oportunidad grande de mejora y el objetivo de esta investigación consiste en realizar un propuesta para la gestión del mantenimiento enfocada en fortalecer el eslabón de la cadena de producción que se llama mantenimiento y con la cual se busca mejorar la disponibilidad mecánica de los equipos, disminuir las intervenciones en mantenimiento correctivo y los tiempos improductivos para que la división forestal pueda lograr la meta de abastecer con materia prima la planta XYZ e internamente generar ganancias económicas. La investigación contempla tres objetivos; determinar el estado actual de la gestión de los equipos de la división forestal, analizar el estado actual de la gestión del mantenimiento de la división forestal y compararla con los modelos de gestión de mantenimiento existentes y finalmente elaborar una propuesta para la gestión del mantenimiento de los equipos de la división forestal, que permita direccionar de manera gerencial con metodologías y estrategias claves para mejorar la disponibilidad de los equipos y generar confiabilidad en la operación.

Esta investigación se realizó a través del método caso de estudio, para la cual se recopiló información del módulo de costos del software de la compañía de los años 2012 al 2017, a través del análisis de esta información se clasificaron los equipos de acuerdo al nivel de criticidad (críticos y semicríticos) en la operación; a partir de esto se determinaron los sistemas y componentes de las familias de equipos en los cuales se generan más averías; así mismo para cada familia de equipos se determinó el estado del mantenimiento preventivo y correctivo; concluyendo que en términos generales el 50% de intervenciones son de mantenimiento preventivo.

El marco de referencia cuenta con artículos publicados entre los años 1995 hasta el 2018 y al analizar la situación actual de la gestión de mantenimiento se encontraron oportunidades de mejora que pueden concretarse definiendo las políticas y estrategias de mantenimiento, analizando las causas raíces de las averías, diseñando los planes de mantenimiento, evaluando y controlando la ejecución del mantenimiento y gestionando el recurso humano, con base en esto se realizaron encuestas y entrevistas a los operadores y gerentes de las empresas contratistas respectivamente, esta información se tabuló a través de la escala Likert y se realizaron gráficos de radar que permiten visualizar las brechas en las cuales se debe trabajar para desarrollar la propuesta de gestión de mantenimiento. Esta se compone de un roadmap, la matriz 5W-1H y el cronograma de actividades para la gestión del mantenimiento.

De acuerdo a todo este análisis se puede concluir que la propuesta para la gestión de mantenimiento es un camino viable para mejorar la disponibilidad de los equipos, disminuir las intervenciones en mantenimiento correctivo y tiempos improductivos donde se ha tenido en cuenta el contexto de la compañía.

Palabras claves

Gestión de mantenimiento, caso de estudio, disponibilidad de equipos, tiempos improductivos.

INTRODUCCION

La presente investigación se enmarca en el área de la gestión de mantenimiento y tiene como objetivo mejorar las actividades rutinarias que realizan los departamentos de mantenimiento en las empresas, los departamentos de mantenimiento han ido creciendo o tomando participación en todos los tipos de industria, pero este crecimiento en muchos sectores de las industrias ha sido muy lentamente, las características encontradas en este caso de estudio consisten en la falta de definición de políticas, estrategias y objetivos del área de mantenimiento, desconocimiento en el análisis de causas raíz e impacto de los equipos en la línea de producción, planes de mantenimiento poco profundos para los equipos, deficiencia en la evaluación y control del mantenimiento y escasa gestión del recurso humano. Para analizar gerencialmente este problema, el cual arroja como resultado la baja disponibilidad mecánica de los equipos, altas intervenciones en mantenimiento correctivo y tiempos improductivos se ha construido el marco de referencia que sirve de soporte teórico para plantear la propuesta de gestión de mantenimiento.

Esta investigación obedece al interés en conocer la causa de los problemas mencionados en el párrafo anterior para los equipos de la división; puesto que no se visualiza tendencia a la mejora y a futuro las necesidades de materias prima para la planta XYZ serán mayores, este es el momento oportuno en prepararse para asumir las nuevas exigencias de abastecimiento de materia prima.

La metodología a plantear se ha dividido en tres fases que se titulan; diseño, trabajo de campo, análisis y conclusiones. Cada uno de estas fases tiene una secuencia de ejecución de actividades y cumple un papel importante en el desarrollo de la investigación en construir la propuesta para la gestión del mantenimiento; ésta investigación sigue la metodología de investigación descriptiva, el diseño de la investigación es cualitativa, y el método a llevar a cabo es el estudio de caso.

La finalidad de esta investigación es realizar que la propuesta para la gestión del mantenimiento sea aplicable a este caso de estudio y para llevar a cabo se proponen tres objetivos; determinar el estado actual de la gestión del mantenimiento, analizar el estado actual de la gestión de mantenimiento y compararla con los modelos de gestión de mantenimiento existentes y por último elaborar una propuesta para la gestión del mantenimiento en una industria forestal, con la cual se busca mejorar la disponibilidad de los equipos, disminuir tanto intervenciones en mantenimiento correctivo como tiempos improductivos; para contribuir a mejorar en la productividad de la división y que se pueda cumplir con los estimados futuros de abastecimiento de materia prima a la planta XYZ.

El presente trabajo consta de 7 capítulos que se pueden relacionar de la siguiente manera;

En el Capítulo 1 se define el problema y para ello se sitúa en contexto el rol de la división forestal al interior de la empresa XYZ, se realiza análisis y justificación con base en la baja disponibilidad mecánica, altas intervenciones en mantenimiento correctivo y tiempos improductivos de los equipos, para continuar con la formulación del problema donde se cuantifican las consecuencias de la situación actual.

En el capítulo 2 se definen los objetivos; éstos se conforman en objetivos del proyecto, específicos y entregables, los objetivos están resumidos en la parte de arriba y cabe destacar que entre los entregables se encuentra el informe con el estado actual de la gestión del mantenimiento de los equipos de la división forestal, informe de la brecha entre el estado de la gestión del mantenimiento actual contra las estructuras de gestión de mantenimiento y la propuesta para la gestión del mantenimiento de los equipo de la división forestal de la empresa XYZ.

En el capítulo 3 se desarrolló el marco de referencia en el cual se encuentra el soporte teórico de la investigación, acá se realiza una descripción detallada de la evolución de la gestión del mantenimiento en el tiempo y con diferentes puntos de vista de autores de países como Brasil, Chile, Suecia, Estados Unidos, Malasia, China, España, Reino Unido, Holanda e India; esta información se utiliza en el desarrollo de los objetivos de la investigación, la metodología, resultados y finalmente en la propuesta de gestión de mantenimiento.

En el capítulo 4 se presenta la metodología a seguir durante esta investigación, de acuerdo a las características de ésta, el tipo de investigación a seguir es descriptiva, el diseño de investigación es cualitativa y enseguida se escoge el método caso de estudio que se divide en tres fases denominadas: fase de diseño, fase de trabajo de campo y fase de análisis y resultados.

En el capítulo 5 se presentan los resultados, se desarrolla el análisis de la situación actual, análisis de criticidad, identificación del nivel de criticidad en los equipos, análisis del estado actual de la gestión de mantenimiento versus modelo de gestión de mantenimiento existentes, la brecha para la gestión del mantenimiento, de este manera los primeros dos objetivos de la investigación se cubren en este capítulo. En el análisis de la situación actual de la gestión de mantenimiento se pudo establecer que el 50% de las intervenciones en los equipos son de mantenimiento preventivo y el otro 50% comprende las atenciones en mantenimiento correctivo a los equipos, además a través de un análisis de Pareto se identificaron en los equipos categorizados como críticos y semicríticos, en que tipos de sistemas y componente se presentan más averías.

Con base en el marco teórico se desarrolló la encuesta de percepción de la gestión del mantenimiento, ésta se divide en 10 temas que son analizados a través de la escala Likert y se

representan gráficamente en diagramas de radar, donde se pueden observar las oportunidades de mejora para el proceso de gestión de mantenimiento.

En el capítulo 6 se presenta la propuesta de gestión de mantenimiento del caso de estudio para intervenir el problema de baja disponibilidad mecánica, altas intervenciones en mantenimiento correctivo y tiempos improductivos; en pro de solucionar de manera gerencial con metodologías administrativas que generen tácticas y estrategias a ser aplicadas por el personal de producción y mantenimiento, para tal fin se presenta la propuesta de gestión de mantenimiento que se compone por un roadmap, la matriz 5W-1H de la propuesta de gestión de mantenimiento y el cronograma de actividades a ejecutar; de esta manera se logra el tercer objetivo. El alcance de esta investigación consiste en realizar la propuesta de gestión de mantenimiento de acuerdo a los recursos y necesidades con que cuenta la compañía y la gran mayoría de las acciones se enfocan en programas de capacitación que serán desarrolladas por personal de la compañía y eventualmente por especialistas en los temas. Aspectos de avances tecnológicos para ser instalados en los equipos no se contemplan en el alcance de esta investigación, tampoco es parte del alcance de la investigación la aplicación de modelos matemáticos de mantenimiento o de gestión de inventario.

En el capítulo 7 se presentan las conclusiones, formadas por conclusiones generales, específicas, recomendaciones e investigaciones futuras.

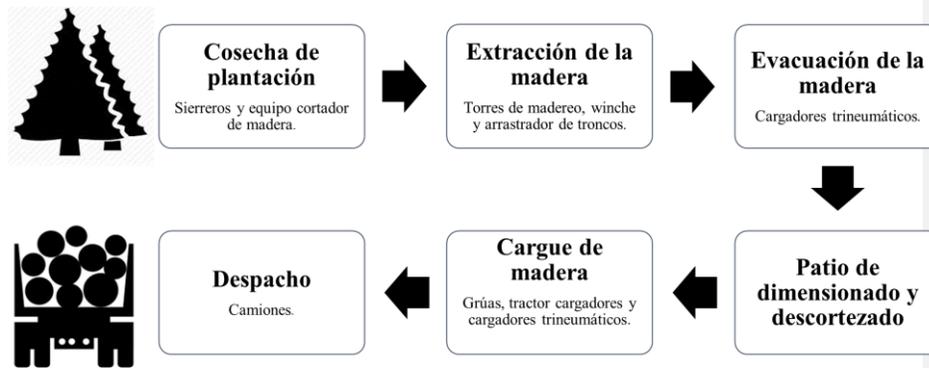
Se cuenta con el anexo A y éste enseña la encuesta de percepción de la gestión de mantenimiento que fue realizada a operadores y supervisores.

1 CAPÍTULO I. Definición del Problema

1.1 Contexto del Problema

La división forestal de la empresa XYZ se encarga de suministrar la materia prima virgen al sistema productivo de la empresa XYZ (fibra de pino y eucalipto), ésta tiene campo de acción en los departamentos de Caldas, Quindío, Risaralda, Valle del Cauca y Cauca. Esta propuesta para la gestión de mantenimiento se va a enfocar al proceso de gestión del mantenimiento; al interior de la división que se denomina proceso de mecanización y se encarga de responder por la disponibilidad de los equipos utilizados en la operación forestal (cosecha mecanizada); en la Figura 1 se muestra el diagrama de flujo de la cosecha de una plantación con su proceso de valor correspondiente.

Figura 1 Diagrama de flujo de la cosecha mecanizada



Fuente Elaboración propia

Para realizar esta labor la división cuenta con 140 equipos forestales distribuidos por familia como se presentan en la Tabla 1

Tabla 1 Distribución de equipos por familia en la división forestal

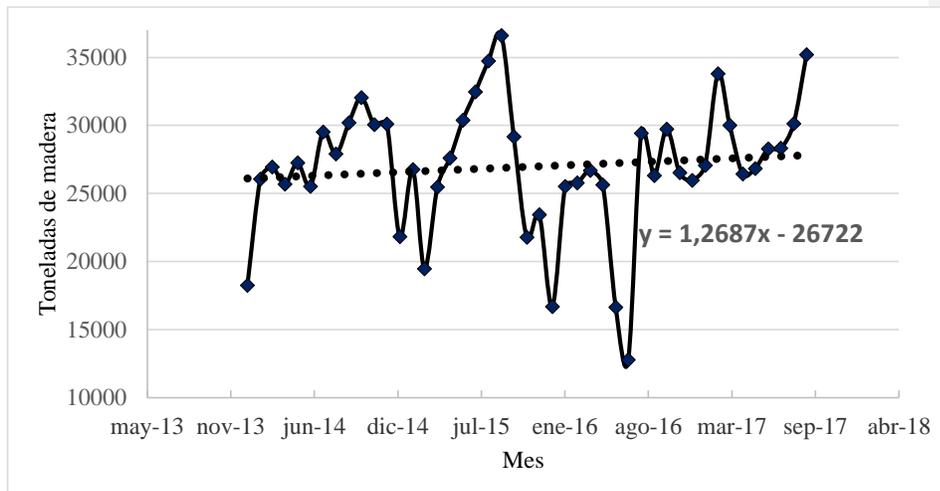
Familias de equipos	Cantidad
Arrastrador de troncos	1
Bulldócer	6
Camión	19
Cargador trineumático	43
Excavadora	4
Grúa	17
Motoniveladora	3
Torre de madereo	29
Tractor cargador	10
Winche	8
Total	140

Fuente: Elaboración propia

En la industria se han realizado muchas tareas para el control de calidad y se necesita realizar avances significativos en productividad, esta gran oportunidad existe en la gestión del mantenimiento (Cassady et al., 1998), con interés se han realizado cambios en la manera de gestionar el mantenimiento, pero estas metodologías se han planteado de forma aislada y no analizadas y evaluadas de acuerdo al contexto de la compañía; el departamento de mantenimiento requiere reducir los tiempos de paradas no programadas para aumentar la disponibilidad de los equipos (Exner et al., 2017), organizar y analizar la información que se genera con los técnicos y operadores cuando éstos realizan intervenciones a los equipos.

En la Figura 2 se puede observar la cantidad de madera en forma de troza (toneladas) que ha ingresado a la planta XYZ en el municipio de Yumbo desde el segundo semestre de 2013 hasta el segundo semestre de 2017; se puede inferir un crecimiento del 3% anual en el futuro, para lo cual se necesita mejorar la disponibilidad de los equipos en el corto plazo.

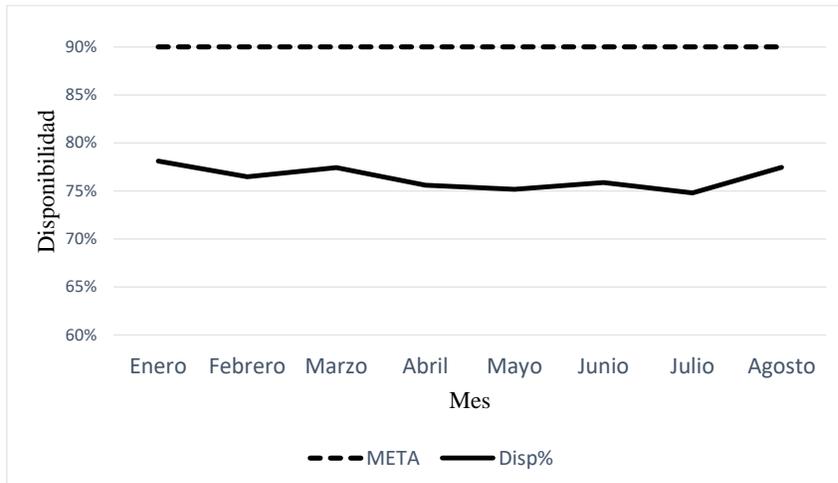
Figura 2 Entradas de materia prima para pulpa desde zona Sur a planta en Yumbo



Fuente: Elaboración Propia

El proceso de mecanización realiza las intervenciones técnicas a los equipos en los sitios de cosecha a través del personal propio que se desplaza en camionetas, cuando se necesita apoyo técnico se utilizan empresas contratistas para desarrollar los trabajos pendientes. En la actualidad la planeación y ejecución del mantenimiento se efectúa de manera informal, se aprovecha poco el software de la compañía, algunas intervenciones de mantenimiento lubricativo o preventivo se realizan de forma parcial con materiales incompletos y/o necesidades básicas de los equipos incumplidas, esto genera la necesidad de establecer una propuesta para la gestión de mantenimiento de equipos, que tenga una estrategia útil en la planeación, ejecución y control del mantenimiento. En la Figura 3 se presenta la disponibilidad obtenida en el año 2017 de los equipos que se relacionaron en la Tabla 1, donde se logra apreciar la variabilidad de ésta respecto a la meta del 90% que ha dispuesto la compañía.

Figura 3 Disponibilidad de equipos año 2017



Fuente Elaboracion Propia

De acuerdo al crecimiento del 3% en la necesidad de suministro de materia prima a la planta XYZ y debido a que la disponibilidad de los equipos no presenta estabilidad y tendencia a la mejora, se puede inferir con base en las Figura 2 y Figura 3 que a futuro se pueden ocasionar pérdidas económicas por causa del incumplimiento en las necesidades de abastecimiento de materia prima que establece la compañía.

1.2 Análisis y Justificación

De acuerdo al tema a tratar, y según los problemas que hoy se presentan en los equipos descritos en la Tabla 1 como la baja disponibilidad mecánica, las altas intervenciones de mantenimiento correctivo y los tiempos improductivos; se justifica la necesidad e importancia de mejorar el proceso de gestión del mantenimiento, para lo cual se requiere que la solución de las situaciones cambie en la manera de abordar los problemas pasando de ser reactivos a proactivos

(Ayo-Imoru y Cilliers, 2018) y con los cual se debe responder a los lineamientos y políticas organizacionales al interior del proceso de mecanización para ser más productivos y poder contribuir a la competitividad de la compañía (Chesworth, 2018)(Garg y Deshmukh, 2006).

El proyecto de grado desarrolla una propuesta para la gestión del mantenimiento en los equipos de la división forestal de la empresa XYZ, dónde se exploran las diferentes estrategias y metodologías que se encuentran en la literatura e industria para adaptar especialmente al caso mencionado, la que mejor se articule con base a los recursos y capacidades de la compañía, con el objetivo de reducir el tiempo de paradas no programadas, costos de mantenimiento, incrementar la disponibilidad de los equipos y optimizar el ciclo de vida de los mismos.

El rol del mantenimiento en las industrias ha evolucionado en el último siglo, se ha convertido estratégicamente en unas de las áreas de la ingeniería de mayor atención (Garg y Deshmukh, 2006), por tal justificación la división forestal necesita utilizar al máximo los equipos para cumplir con el abastecimiento de materia prima a la planta, razón suficiente para conocer los avances en el área de mantenimiento en la industria y equipos (fuera de carretera), lo anterior servirá de ayuda para conocer el estado actual de la gestión del mantenimiento (as is) y a dónde se pretende llegar (to be); dicho de otra forma gerenciar de manera confiable, con las metodologías y modelos necesarios para analizar el proceso de manera rápida y holística.

De acuerdo a (Cholasuke et al.,2004) si la gestión del mantenimiento es exitosa, en las compañías se pueden incrementar los ingresos por volumen de producción y precio, y se reducen los costos por pérdidas de producción y costos directos de mantenimiento

1.3 Formulación del Problema

En la división forestal de la empresa XYZ no se dispone de un propuesta de gestión de mantenimiento, actualmente se realizan cerca del 50% de la frecuencia de intervenciones de manera correctiva y el otro 50 % de forma preventiva, lo que ocasiona variabilidad y baja disponibilidad de los equipos (60-75) % y sobrecostos de \$70.000.000 al año debido al retraso del programa de producción, (3-5) % en pérdida de producción, inactividad de equipos y tripulaciones, pago de tiempo extra, alquiler de equipos alternos por el orden de \$10.000.000 mensuales.

2 CAPITULO II. Objetivos

2.1 Objetivo del proyecto

Elaborar una propuesta para la gestión del mantenimiento de los equipos de producción en la división forestal de la empresa XYZ.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar el estado actual de la gestión del mantenimiento de los equipos de la división forestal.
- Analizar el estado actual de la gestión del mantenimiento de la división forestal y compararla con los modelos de gestión de mantenimiento existentes.
- Elaborar una propuesta para la gestión del mantenimiento de los equipos de la división forestal de la empresa XYZ

2.3 Entregables

- Informe con estado actual de la gestión del mantenimiento de los equipos de la división forestal.
- Informe de la brecha (gap) entre el estado de la gestión del mantenimiento actual contra las estructuras de gestión de mantenimiento
- Propuesta para la gestión de mantenimiento de los equipos de la división forestal de la empresa XYZ

3 CAPITULO III. Marco de referencia

3.1 Antecedentes

Conforme a (Ayo-Imoru y Cilliers, 2018) y (Smith, 2006) antes de la segunda guerra mundial el mantenimiento se enfocaba en arreglar después de la falla, para los períodos posteriores a la segunda guerra Mundial, el mundo comenzó a experimentar gran avance en tecnología y las industrias tenían máquinas más complejas, la demanda de bienes y servicios aumentaba y los tiempos de inactividad (downtime) podían llevar el negocio al fracaso, con base en esto: el enfoque del mantenimiento ha evolucionado desde un enfoque correctivo hacia el preventivo; el mantenimiento preventivo de la década de 1970, se ejecuta de manera periódica, involucra programación de actividades en intervalos regulares para evitar fallas y llegar a un mantenimiento más rentable. Por su parte (Organ et al.,1997) argumenta que la gestión del mantenimiento debe ser proactiva donde se busque detener que los componentes se descompongan, que la gestión de mantenimiento se construya en confiabilidad y se incremente el tiempo de operación y producción

En la Tabla 2 se presenta la evolución que ha tenido la gestión de mantenimiento en la industria y se puede realizar una comparación con el realizado actualmente en la compañía evaluada; donde predomina el sistema de mantenimiento basado en la falla que data de la época de la segunda guerra mundial y con algunas ejecuciones de mantenimiento preventivo de la década de 1970, lo anterior se argumenta con base en el análisis de la situación actual de la gestión del mantenimiento.

Tabla 2 Tipos de sistemas de mantenimiento y sus características

Sistema de mantenimiento					
Tipo de mantenimiento	Periodo	Base	Enfoque	Salidas	
Correctivo	1950's	Falla	Arreglar después de la falla	Tiempo de inactividad Interrupciones no planeadas Alto costo de operación Alto costo de producción Alto costo de reparación Muchas emergencias Cliente insatisfecho Gerencia presionada	
Preventivo	Basado en el tiempo	1970's	Intervalos regulares	Servicio/Reparación basado en intervalos de tiempo	Tiempo de inactividad reducido Mantenimiento planeado Mantenimiento costoso Bajo costo de operación Reemplazo de partes buenas Menos emergencias Mantenimiento innecesario Cliente satisfecho Gerencia insatisfecha
	Basado en la condición	Práctica actual	Condición de la planta	Servicio/Reparación basado en el nivel de deterioro	Tiempo de inactividad reducido Mantenimiento planeado Costo de mantenimiento rentable Bajo costo de operación Reemplazo de solo partes malas Incremento de la producción Extensión de la vida de la planta Menos actividades de emergencia Cliente satisfechos Gerencia satisfecha

Fuente: Adaptada de Ayo-Imoru y Cilliers (2018)

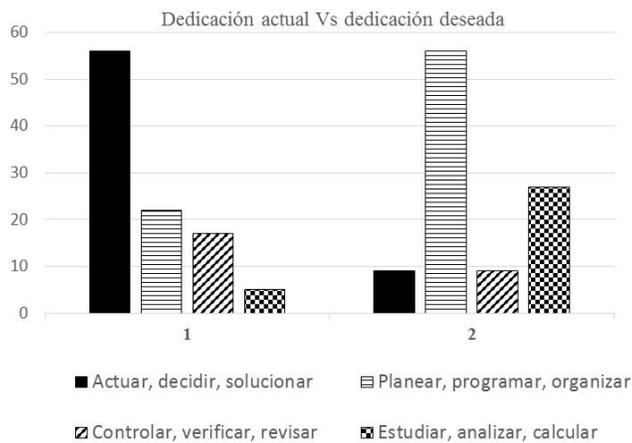
El tipo de mantenimiento correctivo genera altos costos de mantenimiento; que son directamente proporcionales a tiempos de inactividad y éstos se deben a actividades que no adicionan valor o generan desperdicios dentro de la ejecución de las actividades, entre los aspectos más importantes se deben tener en cuenta, que el costo de las actividades de mantenimiento pueden estar en el rango de 15% al 70% de los costos de producción total (Mostafa et al.,2015), un buen sistema de gestión de mantenimiento relacionado con personal experto y capacitado, puede prevenir problemas de

salud y seguridad, daños ambientales; generar vida útil más larga de los activos con pocas averías; y como resultado costos más bajos de operación.(Canadá, 2000).

La gestión de mantenimiento se asocia frecuentemente a un amplio rango de dificultades, entre ellas: pérdida de modelos de gestión de mantenimiento, pérdida de conocimientos y datos de los procesos, pérdidas de tiempo en realizar el análisis requerido para mejorar la gestión; en la Figura 4 se describe la situación uno (1) de la gestión del mantenimiento actual en la compañía evaluada (as is), en la cual se puede identificar el proceso de caso de estudio, comparada con la situación dos (2), la cual es el deber ser (to be) o situación deseada (Crespo, 2007), con mucha frecuencia se gira en torno a las actividades del día a día, se genera disminución en el desempeño de la gestión del mantenimiento a causa de hacer las cosas bien en lugar de hacer las correctas.(Garg y Deshmukh, 2006)

Comentado [U1]: Doing the right thing vs doing the thing right

Figura 4 Qué hacen lo gerentes de mantenimiento versus lo que ellos piensan que deberían hacer



Fuente: Adaptada de Crespo (2007)

Esta propuesta de gestión de mantenimiento debe apuntar a lograr la situación número dos (2), con el fin de evitar que la programación de actividades de mantenimiento se pierda cuando se presenta una avería o trabajo de emergencia (Garg y Deshmukh, 2006).

3.2 Marco teórico

Los principales conceptos a tratar acerca de los modelos de gestión del mantenimiento, se desprenden principalmente del mantenimiento correctivo y preventivo. La gestión del mantenimiento es un campo muy amplio que ha sido estudiada por varios autores; de acuerdo a la recopilación efectuada por (Garg y Deshmukh 2006) de varios documentos ha clasificado la literatura de gestión de mantenimiento en seis áreas: entre ellas se cuentan con tres áreas de mayor interés que en este caso de estudio son técnicas de mantenimiento, programación de mantenimiento y políticas de mantenimiento, las otras tres áreas tratan acerca de modelos de optimización de mantenimiento, medición del desempeño del mantenimiento y sistemas de información de mantenimiento; en la Figura 5 se pueden apreciar estas áreas, que serán útiles en el desarrollo del presente trabajo.

Figura 5 Literatura de Gestión del mantenimiento

Modelos de optimización de mantenimiento	Técnicas de mantenimiento	Programación de mantenimiento	Medición de desempeño de mantenimiento	Sistemas de información de mantenimiento	Políticas de mantenimiento
Bayesiano	Mantenimiento preventivo(PM)	Técnicas de CBM, mantenimiento predictivo y PM	Técnicas de mantenimiento: basado en vibraciones(VBM), cuadro de mando integral (BSC), despliegue de la función de calidad (QFD), sistema de información del mantenimiento (MIS), gestión del mantenimiento total (TMM), enfoque del sistema de auditoría, Índice de productividad de mantenimiento	Oportunidad creada por internet de las cosas (IT)	Integración del mantenimiento
Programación lineal entera mixta (MILP)	Mantenimiento basado en la condición CBM	Componentes de desgaste		Base de datos computarizada para reducir MTTR/MTBF	Conceptos de mantenimiento
Toma de decisiones de criterio múltiple (MCDM)	Mantenimiento productivo total TPM	Actividades modificadas por la tasa de reparación		Desarrollo en soporte de decisiones en planeación de mantenimiento	Nuevas ideas
Lingüística difusa	Sistema de gestión de mantenimiento computarizado CMMS	Combinación de producción y mantenimiento		Misceláneos	Misceláneos
Gailbraith	Mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM	Personal de mantenimiento	Efectividad general de los equipos OEE		
Mantenimiento para refinerías (MAIC)	Mantenimiento predictivo (MPd)		Efecto de la efectividad de las reparaciones		
Simulación	Outsourcing		Relación con la estrategia de mantenimiento		
Deterioro Markoviano	Mantenimiento centrado en efectividad ECM		Misceláneos		
proceso de jerarquía analítica	Gestión del mantenimiento estratégico SMM				
Red de Petri	Mantenimiento basado en el riesgo RBM				
Modelado organizacional					
Misceláneos					

Fuente Adaptada de Garg y Deshmukh (2006)

Los modelos de optimización de mantenimiento pueden ser tanto cualitativos como cuantitativos(Garg y Deshmukh, 2006).

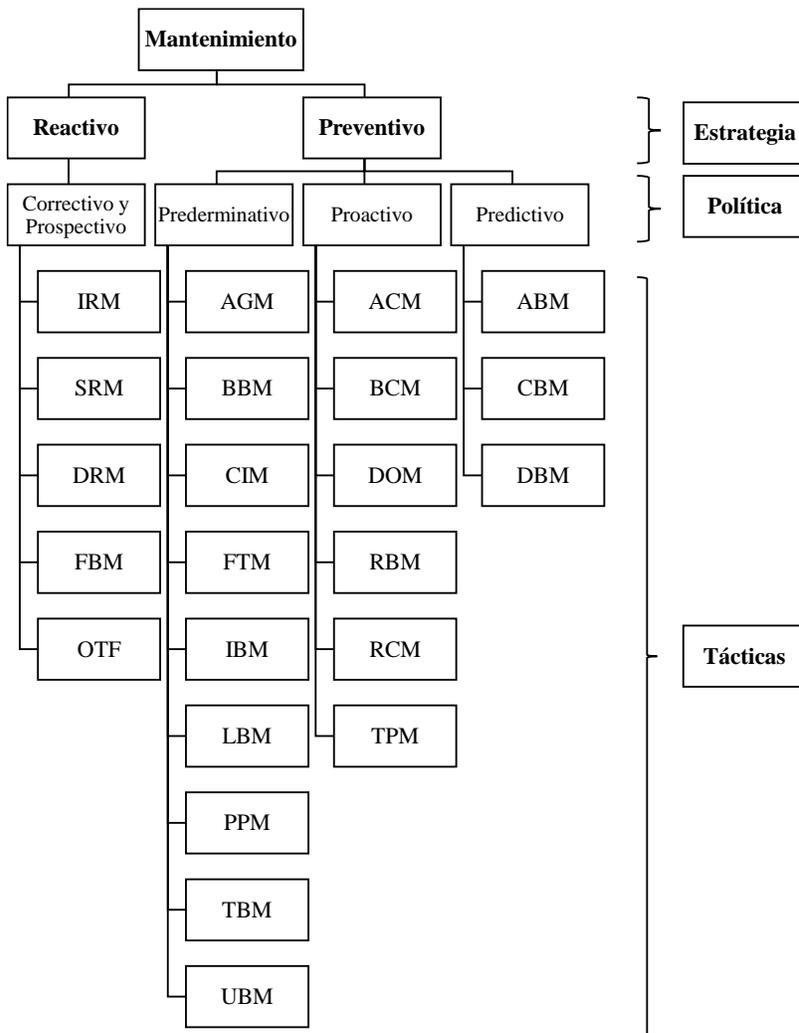
Los modelos cualitativos incluyen técnicas como: mantenimiento productivo total (TPM) el cual se centra en la persona y es parte integral de la gestión de la calidad total (TQM) y mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) con foco principal en la toma de decisiones de las tareas de mantenimiento a ser empleadas (Tsang, 2002).

Los modelos cuantitativos incorporan modelación matemática (determinística/estocásticas) (Garg y Deshmukh, 2006).Para desarrollar planes de mantenimiento integral en flotas de equipos (Cassady et al., 1998) plantea la nueva oportunidad para obtener ganancias significativas en la productividad la aplicación de técnicas de modelado matemático. Así mismo (Rawat y Lad, 2015) desarrollan modelación matemática con base en las tasas de falla de los componentes y tiene en cuenta el almacenamiento de piezas de repuesto con el objeto de minimizar el ciclo del costo de vida del mantenimiento de la flota; por otra parte (Dekker, 1996) define los modelos de optimización de mantenimiento cuyo objetivo es encontrar el equilibrio óptimo entre los costos y beneficios del mantenimiento, teniendo en cuenta todo tipo de restricciones.

Por lo que se refiere a (Khazraei y Deuse, 2011) han realizado una clasificación de los diferentes tipos de mantenimiento (Figura 6), se hace énfasis en la diferencia entre estrategia, política y táctica, y argumenta que en mantenimiento hay dos tipos de estrategias como son la reactiva y la preventiva, en la primera estrategia se gestionan políticas como la correctiva y prospectiva; en la estrategia preventiva se gestionan las políticas prederminativa, proactiva y predictiva, de igual manera cada una de estas políticas tienen sus respectivas tácticas; por ser parte

del interés y objeto de estudio se utilizaran las políticas predeeterminativa, proactiva y predictiva.
 (estrategia preventiva)

Figura 6 Clasificación de los diferentes tipos de mantenimiento



Fuente: Adaptada de Khazraei y Deuse (2011)

En la Tabla 3 se realiza una breve descripción de las tácticas de la política predefinida en la estrategia de mantenimiento preventivo.

Tabla 3 Visión general de tácticas predefinida (programada) en mantenimiento preventivo

Táctica	Abreviatura	Breve descripción
Mantenimiento basado en la edad	AGM	El mantenimiento se basa en la renovación por edad de la máquina, que se mantiene de forma preventiva hasta un cierto número de períodos de tiempo sin una falla
Mantenimiento basado en bloque	BBM	El mantenimiento se realiza de forma preventiva en intervalos de tiempo definidos que pueden tener diferentes longitudes
Mantenimiento de intervalo constante	CIM	El mantenimiento se realiza preventivamente a intervalos de tiempo definidos que tienen longitudes fijas y constantes
Mantenimiento de tiempo fijo	FTM	El mantenimiento intenta reducir el número de fallas al reemplazar, reparar o dar servicio a la herramienta después de un período de tiempo planificado y preestablecido
Mantenimiento basado en la inspección	IBM	Mantenimiento a través del cual la condición de los componentes sometidos a inspecciones técnicas y visuales a menudo se evalúa en una escala discreta
Mantenimiento basado en la vida	LBM	El mantenimiento se centra en la vida útil de la maquinaria y lleva a cabo un mantenimiento preventivo programado basado en él
Mantenimiento preventivo planificado	PPM	El mantenimiento es un trabajo regular y repetitivo para mantener el equipo en buen estado de funcionamiento y para optimizar su eficiencia y precisión
Mantenimiento basado en el tiempo	TBM	El mantenimiento se realiza en intervalos de tiempo fijos, ya sea que el problema sea evidente o no, para evitar la falla de los elementos mientras el sistema opera
Mantenimiento basado en el uso	UBM	El mantenimiento se lleva a cabo después de una cantidad específica y definida de tiempo a través del cual se utilizó el componente o la máquina

Fuente: Adaptada de Khazraei y Deuse (2011)

En la Tabla 4 se realiza una breve descripción de las tácticas de la política proactiva en la estrategia de mantenimiento preventivo.

Tabla 4 Visión general de tácticas proactivas en mantenimiento preventivo

Táctica	Abreviatura	Breve descripción
Mantenimiento centrado en la disponibilidad	ACM	El mantenimiento acentúa tres acciones de servicio mecánico, reparación y reemplazo en función de la disponibilidad
Mantenimiento centrado en el negocio	BCM	El mantenimiento se basa en la identificación de los objetivos del negocio, que luego se traducen en objetivos de mantenimiento
Diseño de mantenimiento	DOM	El mantenimiento se centra en el cambio de diseño debido a fallas recurrentes del mismo tipo que ocurren después de que un sistema se pone en servicio
Mantenimiento basado en riesgo	RBM	El mantenimiento se basa en un enfoque para minimizar el riesgo resultante de las averías o fallas
Mantenimiento Centrado en Confiabilidad	RCM	El mantenimiento se centra en la idea de que todos los equipos de una instalación no tienen la misma importancia que el proceso o la seguridad de la instalación
Mantenimiento productivo total	TPM	El mantenimiento se centra en el proceso y las personas, y la prevención del deterioro aspira a evitar cualquier tipo de holgura antes de que ocurra

Fuente: Adaptada de Khazraei y Deuse (2011)

En la Tabla 5 se realiza una breve descripción de las tácticas de la política predictiva en la estrategia de mantenimiento preventivo.

Tabla 5 Visión general de tácticas predictiva en mantenimiento preventivo

Táctica	Abreviatura	Breve descripción
Mantenimiento basado en la condición	CBM	El mantenimiento se basa en el hecho de que la mayoría de las fallas no ocurren instantáneamente y pueden predecirse mediante el monitoreo de la condición.
Mantenimiento basado en la evitación	ABM	El mantenimiento se centra en evitar una falla en lugar de detectarla. Se evita la falla mediante el acto de abstenerse de ella
Mantenimiento basado en la detección	DBM	El mantenimiento se lleva a cabo como consecuencia del monitoreo de la condición realizado solo por los sentidos humanos

Fuente: Adaptada de Khazraei y Deuse (2011)

Con respecto a las Tabla 3, se pueden apreciar nueve (9) tácticas de mantenimiento preventivo prederminativo (programadas) con unas diferencias muy pequeñas en cada uno de ellas, lo cual en la práctica pueden dar lugar a confusión por el personal encargado de esta planeación y ejecución, se considera que se debe ser menos específico para tener aplicabilidad y autonomía en la gestión del mantenimiento.

Las tácticas proactiva y predictiva de las Tabla 4 y Tabla 5 respectivamente están mejor enfocadas a la literatura y realidad en la industria, hay que mencionar que según (Fraser 2014) las tácticas de mantenimiento que más se han estudiado y aplicado en la industria son en su orden mantenimiento productivo total (TPM), mantenimiento basado por condición (CBM), mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) y monitoreo por condición (CM).

Como existen diferentes tácticas de gestión de mantenimiento, se han estudiado las diferentes maneras de medir el desempeño; (Simões et al., 2011) recopiló información de artículos de los años (1979-2009) y estableció que las cinco principales medidas de desempeño en la gestión de mantenimiento en la industria son: costo, efectividad global de los equipos (OEE), disponibilidad, calidad y tiempo medio entre fallas (MTBF), en esta propuesta de gestión de mantenimiento se van a establecer las estrategias con el objetivo de incrementar y mantener la disponibilidad de los equipos. Además (Cholasuke et al., 2004) argumenta que para una gestión de mantenimiento efectiva se deben tener en cuenta el despliegue de las políticas y organización, el enfoque del mantenimiento, la planificación de tareas y programación, la gestión de la información-sistemas de gestión de mantenimiento por software, la gestión de piezas de recambio, la gestión de recursos humanos, la contratación de mantenimiento, el aspecto financiero y la mejora continua.

Por lo que se refiere a (Lewis y Steinberg, 2001) el indicador de disponibilidad (% disponibilidad) se debe acompañar de indicadores como tiempo medio entre fallas (MTBF), tiempo medio para reparación (MTTR) y razón de desempeño, debido a que si se tienen dos piezas idénticas de un equipo, la primera falla una vez al día y el periodo de inactividad es de 1 hora, y la otra falla dos veces al día con una duración de inactividad de media hora, ambas piezas del equipo tienen la misma disponibilidad, pero la segunda tiene una frecuencia de falla más alta e interrumpe con más severidad el proceso de producción.

De acuerdo a los artículos de Garg y Deshmukh, (2006), Khazraei y Deuse (2011) y Simões et al., (2011) sus publicaciones se enfocan en clasificar la literatura referente al mantenimiento y se inclinan hacia la gestión del mantenimiento de la industria de manufactura; por esta razón se van a adaptar estrategias, técnicas, políticas y metodologías a los equipos que se estudian y analizan en este caso de estudio; como base para estructurar la propuesta de la gestión del mantenimiento.

En la misma línea de la gestión de mantenimiento (Exner et al., 2017) describe dos tipos de estrategias de mantenimiento; como son mantenimiento reactivo y proactivo, donde describe que el mantenimiento reactivo no es planeado y toma lugar después de la emergencia y el mantenimiento proactivo es planeado y se desarrolla antes que ocurra el error, además el mantenimiento proactivo se divide en mantenimiento preventivo y mantenimiento predictivo. Realizar el mantenimiento preventivo significa mantener los equipos dependiendo de intervalos de tiempo fijos (i.e cada año) o dependiendo el uso del equipo (i.e cada 1000 horas de operación) y el mantenimiento predictivo se basa en la condición actual del equipo, a pesar de lo anterior se puede ver la divergencia del concepto de estrategia entre Exner et al., (2017) y (Fraser, 2014), según la visión acerca de la gestión del mantenimiento. En consecuencia como se ve en la líneas anteriores pueden existir tantas jerarquías en los términos como autores, lo importante de esta variedad de

conceptos es poder interpretar la situación en las cuales se pueda enfrentar una persona en la vida profesional acerca de la gestión del mantenimiento.

Las cuatro estrategias que plantea (Tsang, 2002) tratan sobre: la entrega del servicio (outsourcing), la organización y estructuración del trabajo, la metodología del mantenimiento y el diseño de la infraestructura que soporta el mantenimiento; para estas estrategias se cuentan con dos factores transversales que son el factor humano y el flujo de la información; con base en la información preliminar la propuesta de gestión de mantenimiento se debe enfocar en las personas, los procesos y los equipos.

Son tan importante las personas y los procesos que (Lewis y Steinberg, 2001) expresa que el tiempo total de inactividad está en función de la habilidad de las personas y la logística del proceso; la habilidad se relaciona cuando los técnicos diagnostican y solucionan problemas y la logística del proceso cuando la respuesta de mantenimiento es buena, las partes o repuestos están en almacén o de fácil ubicación y finalmente cuando el equipos se prueba y se entrega al proceso de producción.

En este marco teórico se realizó un mapeo de las teorías que acompañan la gestión de mantenimiento, modelos de optimización, indicadores de desempeño, metodologías más utilizadas, tipo de mantenimiento, estrategias con el personal de mantenimiento, la revisión bibliográfica comprende autores de: Brasil, Chile, Suecia, Estados Unidos, Malasia, China, España, Reino Unido, Holanda e India. La Tabla 6 es la matriz de las áreas de la gestión de mantenimiento y se diseñó para consolidar la literatura encontrada para realizar esta investigación, se pueden apreciar verticalmente tres columnas que corresponden a las áreas de la propuesta de gestión de mantenimiento, los temas que conforman estas áreas y los 29 autores referenciados, al revisar la Tabla 6 de manera horizontal se pueden encontrar las cinco áreas de la propuesta de gestión de

mantenimiento como son políticas, estrategias y objetivos, impacto de los equipos en la línea de producción, diseño de planes de mantenimiento y recursos necesarios, programación de mantenimiento y gestión del recurso humano.

Al analizar la Tabla 6 se puede concluir que los temas tratados por los autores son de vital importancia en orientar hacia el desarrollo de la propuesta de gestión de mantenimiento, al continuar con este análisis se nota que en el área y/o tema de política, estrategia y objetivos el 52% de los autores menciona esta situación; en el área de diseño de planes de mantenimiento y recursos necesarios, 48% mantenimiento preventivo (PM), 38% mantenimiento por condición (CM), 34% mantenimiento basado en la condición (CBM), 52% mantenimiento productivo total (TPM), 59% mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM). En la programación de mantenimiento el tema más relevante son los indicadores de desempeño KPI's con 34%. Lo anterior son los temas relevantes a tener en cuenta en el momento de realizar la propuesta de gestión de mantenimiento

De acuerdo a este análisis, las áreas de impacto de los equipos en la línea de producción y gestión del recurso humano presentan un porcentaje aproximadamente de 17% de artículos en esta investigación, esto no indica que nos sean importantes y necesarios para los autores, por el contrario estos temas pueden estar implícitos en áreas del mantenimiento productivo total (TPM) y mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

Tabla 6 Matriz de gestión de mantenimiento

Áreas de propuesta de gestión de mantenimiento	Tema	Vanneste y Van Wassenhove (1995)	Manthey (1995)	Dekker (1996)	Cassady et al., (1998)	Lalib (1999)	Lewis y Steinberg (2001)	Tsang (2002)	Murthy et al., (2002)	Garrido (2003)	Choihaik et al., (2004)	Eber et al., (2006)	Smith (2006)	Gang y Deshmukh (2006)	Cuspo (2007)	Ahmadli et al., (2010)	Sullivan et al., (2010)	Simões et al., (2011)	Milje, (2011)	Khuzraei y Deuse (2011)	Viveros et al., (2013)	Kumar et al., (2013)	Fraser (2014)	Mostafa et al., (2015)	Pechnicki et al., (2015)	Jefferts et al., (2016)	Basri et al., (2017)	Exner et al., (2017)	Ayo-Iromy y Chliens (2018)	Lundgren et al., (2018)			
Políticas, estrategias y objetivos	Políticas, estrategias y objetivos	•	•			•	•	•	•	•	•			•	•				•	•	•												
Impacto de los equipos en la línea de producción	Criticidad de equipos/Cuello de botella										•										•												
	Análisis de causa raíz (ACR)		•								•				•						•										•		
Diseño de planes de mantenimiento y recursos necesarios	Modelación matemática			•	•	•	•							•	•										•	•	•	•	•	•			
	Mantenimiento preventivo (PM)	•		•					•	•	•	•	•	•	•					•	•	•											
	Monitoreo por condición (CM)					•			•	•	•	•	•	•	•					•	•	•											
	Mantenimiento basado en la condición (CBM)						•		•	•	•	•	•	•	•					•	•	•											
	Despliegue de la función de calidad (QFD)	•					•	•	•	•	•	•	•	•	•					•	•	•											
	Mantenimiento productivo total (TPM)			•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•					•	•	•											
	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•				•	•	•											
Lean													•										•										
Programación de mantenimiento	Programación a corto y mediano plazo										•																						
	Indicadores de desempeño KPI						•	•	•	•	•	•	•	•			•	•		•	•						•						
	Gestión de mantenimiento basado en computador (CMMS)					•	•	•	•	•	•	•	•	•							•	•										•	
Gestión del recurso humano	Perfiles de puestos y competencias																																
	Formación de personal						•	•	•	•	•	•	•	•					•														
	Participación del personal						•	•	•	•	•	•	•	•																			
	Evaluaciones de desempeño						•	•	•	•	•	•	•	•																			
	Satisfacción del personal						•	•	•	•	•	•	•	•																			

Fuente: Elaboración propia.

La gestión del mantenimiento moderno son las actividades encaminadas a determinar objetivos y prioridades de mantenimiento, estrategias y responsabilidades (Viveros et al., 2013), se debe agregar que en la Figura 7 se aprecia el ciclo de gestión de mantenimiento, en el cual se incluyen dos ciclos como son el proceso sostenido de mantenimiento y el ciclo aplicado utilizando el concepto de mejoramiento continuo.

4 CAPÍTULO IV. Metodología

La metodología es la manera en que va a realizarse la investigación, comprende los siguientes aspectos como el tipo de estudio o de investigación, el diseño de investigación, el método de investigación y los pasos, técnicas e instrumentos para la recolección de la información y el tratamiento o procesamiento de la misma (Toro Jaramillo y Parra Ramírez, 2006), por su parte (Bernal Torres, 2010) agrega que la metodología es el estudio de los métodos de investigación y no de los métodos en sí, también se entiende como el conjunto de aspectos operativos del proceso investigativo, y que es la concepción más conocida en el ambiente académico en general.

4.1 Tipos, enfoque o propósito de estudio o de investigación

Se consideran varios tipos de investigación de acuerdo con el nivel de profundidad del conocimiento: exploratoria, descriptiva, explicativa y predictiva Yin, (2003). Esta clasificación de los tipos de investigación es muy importante, debido al tipo de estudio que se trate varía la estrategia de investigación. El diseño, los datos que se recolectan, la manera de obtenerlos, el muestreo y otros componentes del proceso de investigación son distintos en cada uno de los tipos de estudio (Toro Jaramillo y Parra Ramírez, 2006)(Martínez Carazo, 2006).

A continuación se va a explicar en la Tabla 7 brevemente cada uno de estos tipos o enfoques de investigación.

Tabla 7 Tipos de investigación

Tipo de investigación	Características
Exploratoria	Sirven para preparar el terreno y generalmente anteceden las investigaciones descriptivas, correlacionales y explicativa
	Se centran en ubicar información
	Tiene como objeto familiarizar al lector con un tema desconocido, poco estudiado o novedoso
	Ayudan a obtener información sobre la posibilidad de llevar a cabo una información mas completa
	Sirve para desarrollar métodos para utilizar en estudios mas profundos
Descriptiva	En un estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones y se mide cada una de ellas independientemente, para así describir lo que se investiga
	Buscan especificar las propiedades/características importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis
	Sirven para analizar cómo es, se manifiesta un fenómeno y sus componentes
	Fundamentan la investigación correlacional
	Se centran en medir con la mayor precisión posible
	Pueden ofrecer la posibilidad de predicciones aunque sean rudimentarias
	El investigador debe ser capaz de definir que va a medir y como va a lograr la precisión en esta medición
	El investigador debe ser capaz de especificar quien o quienes tienen que incluirse en la medición
Correlacional	Los estudio correlacionales miden las dos o mas variables para las que se pretenden ver si están o no relacionadas en los mismo sujetos y después se analiza la correlación.
	La utilidad y el propósito principal de los estudios correlacionales cosiste en saber como se puede comportar un concepto o variable conociendo el comportamiento de otras u otras variables relacionadas
	Proporcionan un sentido de entendimiento del fenómeno a que hacen referencia
Explicativa	Van mas allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos
	Están dirigidos a responder a las causas de los eventos físicos o sociales
	Su interés se centra en explicar por que ocurre un fenómeno y en que condición se da este, o por que dos o mas variables están relacionadas
	Son mas estructuradas que las demás clases de estudio y de hecho implican los propósitos de ellas (exploración, descripción y correlación)

Adaptado de Toro Jaramillo y Parra Ramírez, (2006)

Algunas veces una investigación puede caracterizarse como exploratoria, descriptiva, correlacional o explicativa, pero no situarse como tal, la investigación puede empezar como exploratoria o descriptiva y después llegar a ser correlacional y aun explicativa, por ejemplo aunque un estudio sea esencialmente exploratorio contendrá elementos descriptivos (Toro Jaramillo y Parra Ramírez, 2006).

Dicho lo anterior la investigación debe hacerse “a la medida” del problema que se formule, es decir, no se dice a priori “se va llevar a cabo un estudio exploratorio o descriptivo” sino que primero se plantea el problema, se revisa la literatura y después se analiza si la investigación va a ser de una u otra clase (Toro Jaramillo y Parra Ramírez, 2006).

Para lograr los objetivos propuestos de esta investigación, se deben especificar propiedades, características y perfiles importante del grupo de personas que interactúan (Hernandez et al., 2006), en la operación de la compañía; se deben medir, recolectar y analizar la información que permita establecer porqué las causas de la baja disponibilidad de los equipos y cómo se puede plantear una propuesta para mantener y mejorar el proceso caso de estudio, se hace uso de la información teórica, que se encuentra consignada en el marco de referencia, la cual es muy valiosa para establecer el punto de partida y elementos de juicio para desarrollar un buen análisis y propuesta, de acuerdo a lo anterior el tipo de investigación que se va a seguir es descriptiva.

4.2 Métodos, técnicas e instrumentos

Es importante señalar que el método de investigación en ciencias sociales, es un tema polémico en el ámbito del conocimiento científico (Bernal Torres, 2010), en relación con el método científico y dado la diversidad de escuelas y paradigmas investigativos, estos métodos se han complementado y es frecuente reconocer, métodos como los siguientes: inductivo, deductivo, inductivo-deductivo,

hipotético-deductivo, analítico, sintético, analítico-sintético, histórico-comparativo, cualitativos y cuantitativos, adicional se va a exponer el caso de estudio, el cual es un método de investigación que no aparece muchas veces en la literatura pero que es importante en la investigación de las ciencias sociales y se va a adoptar en esta investigación. Por ser parte del alcance de este trabajo y para entender las diferencias se va a realizar una descripción corta del método cualitativo, cuantitativo y caso de estudio.

4.2.1 Método cualitativo

De acuerdo a (Bernal Torres, 2010) este método se orienta en profundizar casos específicos y no en generalizar, su preocupación no es prioritariamente medir, sino cualificar y describir el fenómeno social a partir de rasgos determinantes, según sean percibidos por los elementos mismos que están dentro de la situación estudiada, la investigación cualitativa pretende conceptuar sobre la realidad, con base en la información obtenida de la población o las personas estudiadas. La metodología cualitativa se compone de una fase heurística o de descubrimiento; fase hecha de observación, descripción, reflexión y generalización inductiva, con miras a generar hipótesis (lo que podría ser verdadero como solución al problema, respuesta a la cuestión o explicación del fenómeno).(Martínez Carazo, 2006).

4.2.2 Método cuantitativo

Consiste en el contraste de teorías ya existentes a partir de una serie de hipótesis surgidas de la misma, siendo necesario obtener una muestra, ya sea en forma aleatoria o discriminada, pero representativa de una población o fenómeno objeto de estudio. Así, el objetivo principal de los estudios de naturaleza cuantitativa, basados en un número elevado de observaciones, es determinar cuántos o con qué frecuencia ocurre un determinado suceso (Martínez Carazo, 2006).

4.2.3 Método caso de estudio

El método caso de estudio es una de las formas de realizar investigación en ciencias sociales (Yin, 2003), es una herramienta meritoria de investigación, y su mayor fortaleza radica que a través del mismo se mide y registra la conducta de las personas involucradas en el fenómeno estudiado, además en el método caso de estudio los datos pueden ser obtenidos desde una variedad de fuentes de evidencia, tanto cualitativas como cuantitativas; como documentos, registros de archivos, entrevistas directas, observación directa, observación de los participantes y artefactos físicos. (Martínez Carazo, 2006)(Yin, 2003).

En general el caso de estudio es la estrategia preferida cuando se plantean en la investigación preguntas de “cómo” y “por qué” (cómo se mejora la disponibilidad de los equipos y por qué los equipos presentan baja disponibilidad), cuando el investigador tiene poco control sobre los eventos; le permite a éste comprender las características significativas de eventos de la vida real, como ciclos de vida individuales, procesos gerenciales y organizacionales, cambios en el entorno, relaciones internacionales y la madurez de la industria. (Yin, 2003).

De acuerdo a (Yin, 2003) y como se muestra la Tabla 8 se deben hacer uso de las tácticas para buscar la validez y confiabilidad del caso de estudio.

Tabla 8 Tácticas de caso de estudio para pruebas de validez y confiabilidad

Prueba	Definición	Táctica del estudio de caso	Fase de la investigación en el cual ocurre esta táctica
Validez	Medida operacional correcta para los conceptos	Uso de múltiples fuentes de evidencia	Recopilación de datos
		Establecer cadena de evidencia	Recopilación de datos
		Hacer que los informantes clave revisen el borrador del informe del estudio de caso	Composición
Confiabilidad	Repetibilidad de operaciones en el caso de estudio	Usar protocolo de estudio de caso	Recopilación de datos
		Desarrollar base de datos del estudio de caso	Recopilación de datos

Adapta de Yin, (2003)

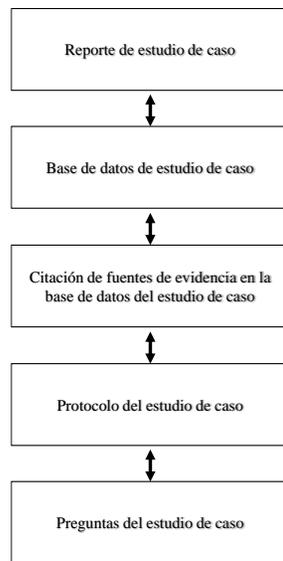
Una fortaleza de la recopilación de datos en el caso de estudio es la oportunidad de utilizar diferentes fuentes de evidencia, lo anterior supera otras estrategias de investigación, tales como experimentos, encuestas o historias.(Yin, 2003), la más importante ventaja presentada por utilizar múltiples fuentes de evidencia es el desarrollo de líneas convergentes de investigación (ver Figura 8), las fuentes de evidencia que se utilizaran en este trabajo son la encuesta, entrevista y los registros de archivos en bases de datos.



Adaptada de Yin, (2003)

Para mantener la cadena de evidencia, el principio es similar al que utilizan los investigadores forenses, para el caso de estudio el observador externo o lector del caso debe seguir el resultado de alguna evidencia, alternando desde las preguntas de la investigación inicial (ver Figura 9) hasta las conclusiones del caso de estudio y viceversa.

Figura 9 Cadena de evidencia



Adaptado de Yin, (2003)

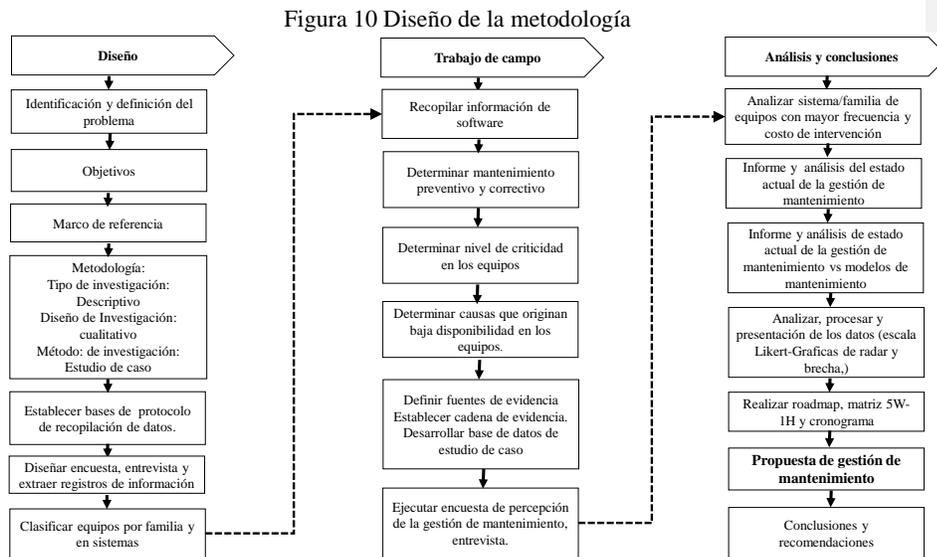
Con el fin de incrementar la confiabilidad en la investigación se recomienda tener un protocolo para tener repetibilidad en las operaciones del caso de estudio. Un protocolo de un caso de estudio tiene solamente una cosa en común con una encuesta y es que ambos están dirigidos a la recopilación de datos (Yin, 2003), El protocolo destina a guiar al investigador en llevar a cabo la recopilación de datos y se dirige a una parte completamente diferente de ser un instrumento, tenerlo es deseable bajo todas las circunstancias, para este caso de estudio se va a realizar un protocolo en

el capítulo diseño de la metodología. De acuerdo a (Yin, 2003) se deben desarrollar bases de datos para el caso de estudio y estas se conforman de memorias de los registros e archivos, encuestas y entrevistas. Es importante la base de datos porque otros investigadores pueden revisar la evidencia directamente y no estar limitados a los reportes escritos del reporte de caso.

Para formular la encuesta y la entrevista, se escogen los temas más importantes que los autores han estudiado con más profundidad y que están consignados en el marco de referencia, estos puntos o temas pueden ser de alto impacto en la compañía al aplicar la propuesta de gestión de mantenimiento. Para la encuesta se escogieron las personas de operación como operadores y supervisores, quienes están en contacto constante con los equipos en los frentes de cosecha; para la entrevista se escogieron a los gerentes de las empresas contratistas quienes son los jefes de los primeros y tienen un punto de vista y perfil de cargo diferente.

4.3 Diseño de la metodología

En la Figura 10 se muestran los pasos de la metodología que se siguieron para llevar a cabo esta investigación, la metodología se ha dividido en tres fases que se titulan; diseño, trabajo de campo, análisis y conclusiones. Cada uno de estas fases tiene una secuencia de ejecución de actividades y cumple un papel importante en el desarrollo de la investigación para construir la propuesta de gestión del mantenimiento.



Fuente: Elaboración Propia

4.3.1 Fase de diseño

La fase de diseño consiste en identificar y definir el problema a tratar, con la identificación y definición clara del problema se proceden a plantear los objetivos a desarrollar, con los objetivos generales y específicos se construye el marco de referencia a través de las bases de datos y libros acerca del tema de investigación, el marco de referencia se compone de antecedentes y marco teórico el cual aporta la parte teórica y provee las herramientas para tener elementos de juicio en la toma de decisiones, el siguiente paso se trata de la metodología en la cual de acuerdo al marco de referencia se define el tipo de investigación como descriptiva, la investigación de forma cualitativa y el método de investigación: caso de estudio; para la recopilación de datos se debe mencionar que

se utilizaron tres técnicas: registro de archivos, encuesta y entrevista. En la Tabla 9 se enseña el protocolo de recopilación de datos que recomiendan algunos autores para el caso de estudio.

Tabla 9 Protocolo de recopilación de datos

Protocolo de recopilación de datos					
Nombre de la investigación:					
Tipo de investigación	Exploratoria	Descriptiva	Correlacional	Explicita	
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Diseño de investigación	Cualitativa	Cuantitativa			
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Método de investigación	Caso de estudio	Cuantitativo	Cualitativo		
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Investigación realizada por:					
Tema de investigación:					
Registro de archivos					
Fuente de software					
Código equipos					
Tipo de transacción del software					
Parámetros					
Periodo inicial					
Periodo final					
Encuesta					
	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Indiferente	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
Escala de calificación					
Tipo de calificación	1	2	3	4	5
Tipo de análisis	Likert				
Tipo de gráfica	Radar				
Entrevista					
	Estructurada	Semi estructurada	No estructurada o abierta		
Tipo de entrevista	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar que la información recopilada del módulo de costos del software corresponde a los años 2012 al 2017 de los equipos que hacen parte de la división forestal; por otra parte la estructura de la encuesta cuenta con diez temas que fueron extraídos de la investigación realizada en el marco de referencia, el método de análisis se realiza por la escala Likert con una calificación de 1 a 5, calificando como 1 totalmente en desacuerdo y 5 totalmente de acuerdo; luego esta información se representa a través de gráficas de radar. La tercera fuente de evidencia se compone de las entrevistas que se dividen en estructuradas, semiestructuradas o no estructuradas o abiertas (Hernandez et al., 2006) para este caso de estudio se realizó entrevista no estructurada o abierta.

El siguiente aspecto trata de la clasificación de los equipos en sistemas y componentes, el cual se realiza con base a la experiencia propia y de los técnicos, así mismo es un primer acercamiento para analizar la información, no se desarrolla bajo ninguna norma y se realiza por la funcionalidad del sistema. De otra parte, como se cuentan para el análisis con 140 equipos, éstos se deben clasificar en familias según como se ilustra en la Tabla 1, las familias de equipos se dividirán en sistemas y estos sistemas se dividirán en componentes, en la Tabla 10 se aprecia esta subdivisión, con la finalidad de establecer que averías se están generando en los componentes.

Tabla 10 Clasificación de equipos en sistemas y componentes.

Sistema	Componentes principales del sistema
Motor	Lubricacion y mantenimineto, inyección de combustible, bloque.
Eléctrico	Motor de arranque y alternador, luces e instalación eléctrica.
Hidráulico	Bomba y motor, cilindro, mangueras, aceite hidráulico.
Rodamiento	Llantas, cadenas, carriles, rueda tensora.
Potencia	Reductor de velocidad, diferencial, caja de velocidad, servo transmisión, embrague.
Estructura	Boom y stick, chasis, cabina.
Cargue	Garra, carrito.

Fuente Elaboración propia.

4.3.2 Fase de trabajo de campo

Con la fase de diseño culminada, se procede desarrollar la fase de trabajo de campo, en la anterior se comienzan a desarrollar los objetivos, el primero de ellos consiste en determinar el estado actual de la gestión del mantenimiento, para este objetivo se recopiló información por medio del registro de archivos del módulo de costos del software que la compañía utiliza en área administrativa, debido a que no es el modulo adecuado para buscar actividades o intervenciones de mantenimiento de los equipos, este proceso se realizó prácticamente manual por tanto demandó mucho tiempo en la investigación.

Con base a la información obtenida en el párrafo anterior, el siguiente paso consiste en conocer de los dos tipos de mantenimiento que se realizan actualmente, en qué proporción se ejecutan mantenimiento preventivo y correctivo para cada familia de equipos.

Luego se determina el nivel de criticidad de los equipos entre críticos, semicríticos y no críticos con base en la experiencia que tiene la compañía en su operación. Conociendo el nivel de criticidad de los equipos para la producción nos enfocamos en conocer cuáles son los sistemas y las causas de las averías.

Con el protocolo del caso de estudio, se define los elementos de la cadena de evidencia, en este momento se realiza la encuesta y la entrevista, además con la base de datos se garantiza la validez y confiabilidad de la información del caso de estudio.

4.3.3 Fase de análisis y resultados

Como ya se ha definido el nivel de criticidad de los equipos de la división, se analiza por medio de un diagrama de frecuencias los equipos y sistemas que presentan mayor porcentaje en intervenciones y costos, con base en esto se determinan las familias de equipos que necesitan más

atención por parte del proceso de mantenimiento. Esta información se utiliza para identificar las causas que originan la baja disponibilidad de los equipos de la división forestal.

Para desarrollar el segundo objetivo, de acuerdo a la situación actual y con base en los modelos aproximados a la investigación se realizó la Tabla 15 en el cual se califican las actividades actuales con respecto a los modelos propuestos por los autores.

Con base en la información anterior se empieza a desarrollar el tercer objetivo de la propuesta de gestión de mantenimiento, como se ha dicho en este documento para el caso de estudio; una de las fuentes de información son las encuestas y entrevistas, se va a realizar una encuesta de percepción de la gestión del mantenimiento donde los operadores de los equipos serán la fuente de información primaria puesto que desarrollan las labores diarias y pueden juzgar la calidad del servicio que reciben; en este contexto, su retroalimentación debe ser incluida en la evaluación para la propuesta de gestión de mantenimiento (Simões et al., 2011), La información de las encuestas se tabulará con base en la escala de Likert y se representará con gráficas de radar para descubrir las brechas y oportunidades de mejora que se tienen en la gestión de mantenimiento. La entrevista no estructurada a los gerentes de las empresas contratistas es útil para validar información en temas que las personas en la encuesta no deseen responder con sinceridad.

Como no se tiene un sistema de gestión de mantenimiento y tampoco un punto de partida con soporte teórico y práctico, se considera que la propuesta de gestión de mantenimiento sigue una secuencia lógica para desarrollar este objetivo y se compone de formular un roadmap, matriz 5W-1H y un cronograma de actividades. Por último se desarrollan las conclusiones generales, específicas, recomendaciones e investigaciones futuras.

5 CAPÍTULO V. Resultados

Los resultados de la investigación se pueden dividir en tres tipos, el primer resultado obtenido por recopilación de la información de los años 2012 al 2017 por medio del módulo de costos del software de la compañía, a través de éste se extrajo la información para analizar y determinar la situación actual de la gestión de equipos. El segundo resultado se obtiene de comparar la situación actual con respecto a los artículos encontrados en la investigación en los cuales se condensa el marco teórico, el tercer resultado nuevamente hace uso del marco teórico y desarrolla la estructura del caso de estudio en el cual se recopila información por medio de encuestas y entrevistas, lo anterior para traducir esta información en brechas y oportunidades de mejora. Con lo mencionado anteriormente se construye la propuesta de gestión de mantenimiento.

5.1 Análisis de la situación actual

De acuerdo a (Viveros et al., 2013) para determinar el estado actual de maquinaria se necesita conocer: la planificación, programación y ejecución de las tareas de mantenimiento, el histórico de fallas, indicadores de gestión de mantenimiento como tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio de reparación (MTTR), recursos financieros asignados al mantenimiento, impacto económico o en producción (consecuencia de falla del equipo) por parada no programada de la planta o subsistema, sin embargo la compañía actualmente realiza la planificación y programación sin poder evaluar la eficiencia de esta gestión, no se lleva un registro de horas de operación y de averías a través de un software de mantenimiento o similar en el cual se pueda analizar la información rápidamente, someramente se administran indicadores de disponibilidad.

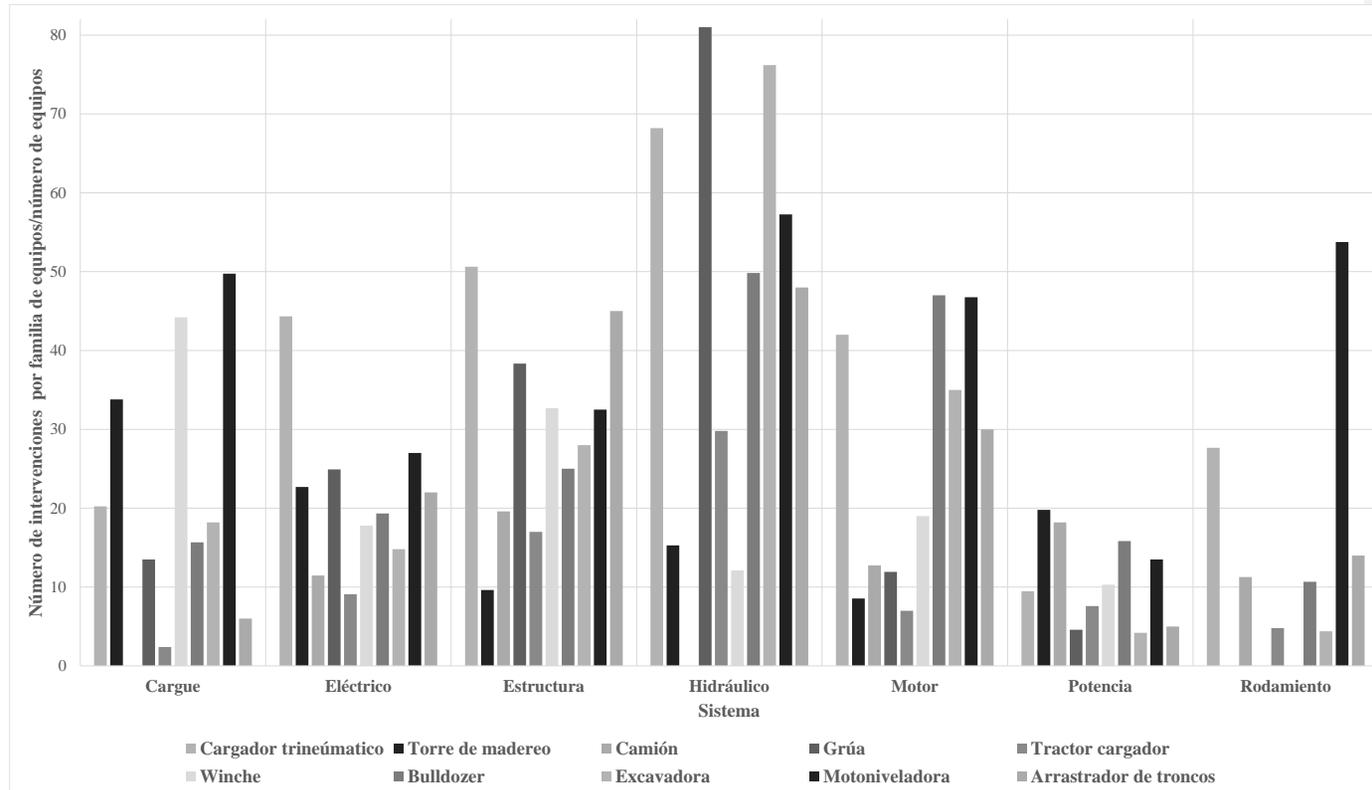
Se ha realizado la Figura 11 y la Figura 12 con base en la información de los años 2012 al 2017, en ambas figuras el eje vertical es la razón del número de intervenciones que ha tenido cada familia de equipos entre el número de equipos (número de intervenciones por familia de

equipos/número de equipos). Respectivamente para las figuras mencionadas anteriormente los ejes horizontales exponen el comportamiento de cada uno de los sistemas en las diferentes familias de equipos y el comportamiento de cada familia de equipos en los sistemas propios.

Se debe agregar con base en el análisis de estas figuras, que el sistema hidráulico presenta las mayores cantidades de intervenciones en las familias de cargadores trineumáticos, grúas de cargue, excavadoras y motoniveladoras; el sistema estructura continua en la lista de cantidades de intervenciones en familias de cargadores trineumáticos, grúas de cargue, motoniveladoras y arrastrador de troncos, siguiendo este orden de cantidad de intervenciones, se tiene el sistema eléctrico de las familias de equipos de cargadores trineumáticos, grúas de cargue y motoniveladoras, luego se presenta el número de intervenciones del sistema motor que impacta a los cargadores trineumáticos, buldóceres, excavadoras, motoniveladoras y arrastrador de troncos; para finalizar se conoce que el sistema de cargue tiene gran cantidad de intervenciones en las familias de cargadores trineumáticos, torre de madero y motoniveladoras

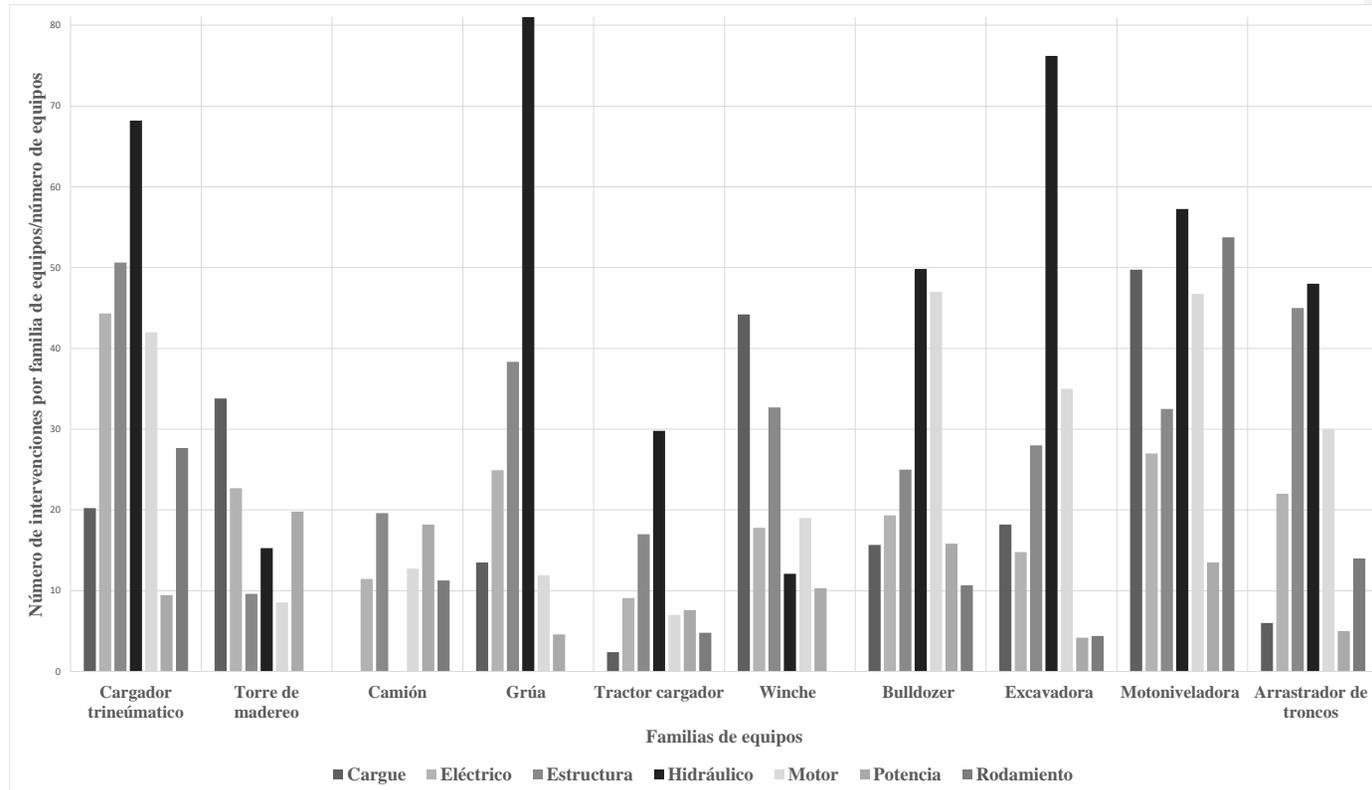
Conforme a lo anterior los sistemas que necesitan mayor atención en orden de número de intervenciones que se puede traducir en orden de prioridades se tienen el sistema hidráulico, estructura, eléctrico, motor, cargue, potencia y rodamiento. Esto nos dice que para la actividad rutinaria se debe contar con personal capacitado en aspectos técnicos y de operación, repuestos necesarios para atender intervenciones y disminuir el tiempo de inactividad de los equipos para que puedan ser aprovechados por producción.

Figura 11 Frecuencia de intervenciones por sistemas en familia de equipos



Fuente: Elaboración propia

Figura 12 Frecuencia de intervenciones por familia de equipos en sistemas



Fuente: Elaboración propia.

5.2 Análisis de criticidad

El análisis de criticidad es un conjunto de métodos que permite definir la jerarquía o prioridades de un proceso, sistema, equipos; generando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, para direccionar esfuerzos y recursos técnico-económicos en áreas y eventos que tienen mayor impacto en el negocio (Viveros et al., 2013). A continuación se van a explicar los métodos más comunes para encontrar la criticidad en los equipos de las compañías.

5.2.1 Método cualitativo de criticidad

En muchas ocasiones no existen datos históricos con base en los cuales se puedan obtener los índices o número probabilístico de riesgo del activo o equipo, en estos casos es posible utilizar técnicas de naturaleza más cualitativa con el objetivo de ir garantizando niveles iniciales adecuados de efectividad en las operaciones de mantenimiento (Viveros et al., 2013), el método cualitativo está basado en opiniones de especialistas donde combinan criterios técnico y financieros para jerarquizar un equipo.

De acuerdo a (Garrido, 2003) y como se muestra en la Tabla 11 para el análisis de criticidad se deben considerar los criterios de seguridad y medio ambiente, producción, calidad y mantenimiento y la calificación más alta en los criterios mencionados con anterioridad es la que valora a un equipo entre crítico, semicrítico (importante) y no crítico (prescindible). En este caso de estudio de los cuatro criterios definidos no aplica el concepto de calidad para la presentación o futuros rechazos de la materia prima puesto que la gran mayoría de ésta se dirige a un proceso de astillado y la madera que se vende a los aserríos se transforma en nuevas formas de producto.

Tabla 11 Matriz de análisis de criticidad

Tipo de equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento
A Crítico	Puede originar accidente muy grave	Su parada afecta al plan de producción	Es clave para la calidad del producto	Alto costo de reparación en caso de avería
	Necesita revisiones periódicas frecuentes(mensuales)		Es el causante de una alta porcentaje de rechazos	Avería muy frecuentes
	Ha producido accidentes en el pasado			Consumo una parte importante de los recursos de mantenimiento (mano de obra y materiales)
B Importante / Semicrítico	Necesita revisiones periódicas frecuentes(anuales) Puede ocasionar un accidente grave, pero la posibilidades son remotas	Afecta a la producción, pero es recuperable (no llega a afectar a los clientes o al plan de producción)	Afecta a la calidad, pero habitualmente no es problemático	Coste medio en mantenimiento
C prescindible / No crítico	Poca influencia en seguridad	Poca influencia en producción	No afecta la calidad	Bajo coste de mantenimiento

Adaptado de (Garrido, 2003)

5.2.2 Método cualitativo-cuantitativo de criticidad

En este se involucran datos objetivos para generar una guía de criticidad cuantificada según: frecuencia de falla, impacto en producción (por falla), costos de reparación, tiempo de reparación, impactos en seguridad personal e impacto ambiental. El factor cualitativo está representado en generar la escala o criterio que represente los resultados de cada ítem medible, y la definición final de la jerarquización de criticidad (Viveros et al., 2013).

El riesgo o criticidad (crítico C, Semicrítico SC y No crítico NC) se define como el producto de la frecuencia por la consecuencia de la falla, donde la frecuencia es el número de fallas en un tiempo determinado y la consecuencia de la falla consiste de una serie de factores o criterios de importancia en función de las necesidades de la organización, como impacto operacional, costos

de mantenimiento e impacto en seguridad y medio ambiente. La Figura 13 es la matriz típica para evaluar el riesgo de los equipos.

Figura 13 Matriz de Riesgo

Frecuencia	5	C	C	C	C	C
	4	SC	C	C	C	C
	3	SC	SC	C	C	C
	2	NC	SC	SC	C	C
	1	NC	NC	SC	SC	C
		1	2	3	4	5
		Consecuencia				

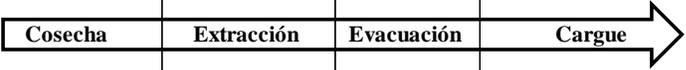
Elaboración Propia.

5.3 Identificación de nivel de criticidad en los equipos

Con base en la información anterior y de acuerdo al contexto en el que se encuentra la división forestal como: cambio de clima, de la demanda del mercado, de la necesidad de materia prima, aspectos sociales de la región, variabilidad en la disponibilidad de equipos, etcétera; el método de análisis de criticidad que mejor se acondiciona es el cualitativo puesto que por experiencia en la división se tienen detectados las familias de equipos que pueden causar el cuello de botella o la ruta crítica durante la operación. En la Tabla 12 se mencionan las familias de equipos que intervienen en el proceso de cosecha y vías con el respectivo nivel de criticidad, para la compañía la prioridad es el abastecimiento de la materia prima para la planta XYZ y el proceso de cosecha cuenta con los equipos para esta función, estos equipos se califican con un nivel de criticidad entre crítico o semicrítico (importante); para equipos de construcción y mantenimiento de vías el nivel de criticidad se cataloga no crítico (prescindible) debido a que no siempre se desarrollan vías y estos equipos se pueden alquilar con mayor facilidad en la región. Estos niveles de criticidad no

son estáticos y un equipo semicrítico (importante) o no crítico (prescindible) puede cambiar a nivel crítico según las necesidades de la operación. El orden lógico del trabajo de producción comienza en la cosecha de madera y termina en el cargue de la misma y es lo que representa la flecha en la parte superior de la Tabla 12.

Tabla 12 Equipos del proceso de cosecha mecanizada y vías con el respectivo nivel de criticidad

				Mantenimiento/ Construcción de vías
Excavadora con accesorio cortador de madera	Arrastrador de troncos	Cargador trineúmatico	Tractor cargador/Grúa /Cargador trineúmatico	Buldócer /Motoniveladora
	Torre de madereo	Cargador trineúmatico	Tractor cargador/Grúa /Cargador trineúmatico	
	Winche	Cargador trineúmatico	Tractor cargador/Grúa /Cargador trineúmatico	
Crítico	Crítico	Semicrítico	Semicrítico	No crítico

Elaboración propia

En la Tabla 13 se aprecian las capacidades de producción estimadas de los equipos catalogados como críticos y semicríticos y todo el grupo de personas de apoyo por cada equipo en el frente de cosecha, lo anterior es de gran utilidad para dimensionar el impacto en la producción por la no disponibilidad de estos equipos.

Tabla 13 Capacidades de producción por equipo y personas en la labor

Familias de equipos	Cantidad	Produccion (toneladas)	Personas por frente de cosecha
Cargador trineumatico	43	1100	8
Torre de madereo	29	1100	9
Camión	19	1500	8
Grúa	17		
Tractor cargador	10	900	4
Winche	8	750	5
Excavadora	4	3500	15
Arrastrador de troncos	1	3500	15

Elaboración propia

5.3.1 Sistemas y componentes de equipos críticos y semicríticos

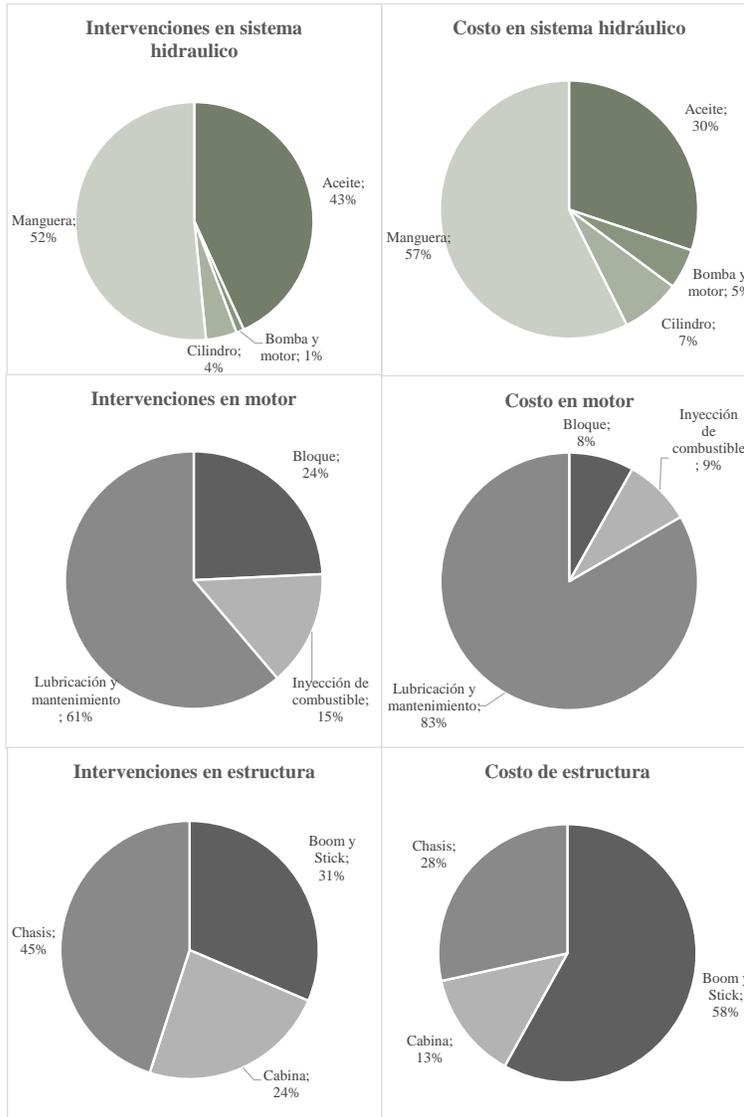
De acuerdo a un análisis de Pareto y con base en la clasificación en el nivel de criticidad para los equipos, se va a analizar los sistemas en los cuales se presentan la mayor cantidad de averías; para los equipos críticos y semicríticos, se realizaron diagramas circulares (excavadora, arrastrador de troncos, winche, torre de madereo, cargador trineumatico, grúa de cargue, y tractor cargador) con el objetivo de identificar los componentes que han requerido mayor número de intervenciones y porcentaje de costos en los sistemas. Con base en estos componentes se realiza una matriz 5W-1H para analizar las causas de las averías y proponer el plan de acción para mejorar la disponibilidad de los equipos.

En la Figura 14 se muestran los diagramas circulares correspondientes a la excavadora, en el cual se observa una columna de diagrama circular para el porcentaje de intervenciones en sistema hidráulico, motor y estructura y otra columna con el porcentaje de costos de los sistemas mencionados anteriormente; se presenta en el sistema hidráulico intervenciones del 52% y costos

de 57% en el componente mangueras, intervenciones del 43% y costos de 30% para el componente aceite, al mejorar en la gestión del componente manguera se disminuyen las intervenciones y costos del componente aceite; en segundo lugar, en el sistema motor se presenta 61% de intervenciones y 83% de costos en el componente lubricación y mantenimiento. Por último se presenta en el sistema estructura intervenciones del 45% y costos de 28% en el componente chasis, intervenciones del 31% y costos de 58% para el componente boom y stick, este último porcentaje de costos puede obedecer a la escasa realización de lubricación.

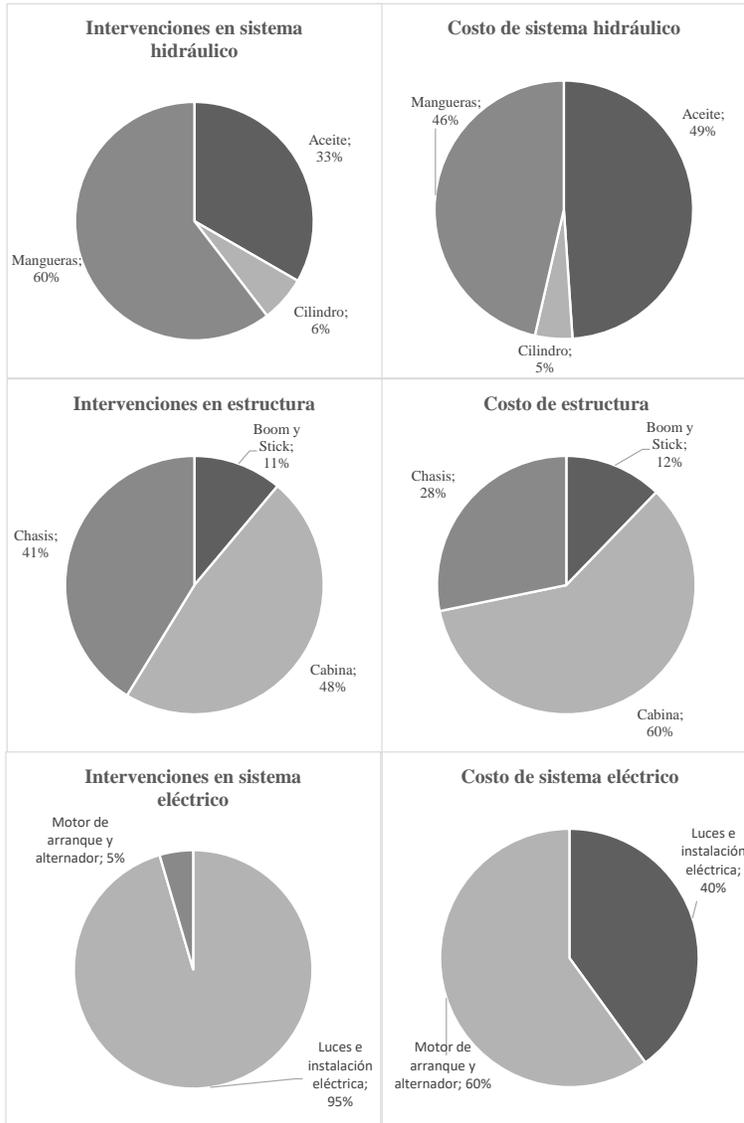
En la Figura 15 se presentan los diagramas circulares correspondientes al arrastrador de troncos, en el cual se observa una columna de diagrama circular para el porcentaje de intervenciones en sistema hidráulico, estructura y eléctrico y otra columna con el porcentaje de costos de los sistemas mencionados anteriormente; se presenta en el sistema hidráulico intervenciones del 60% y costos de 46% en el componente mangueras, intervenciones del 33% y costos de 49% para el componente aceite, al mejorar en la gestión del componente mangueras se disminuyen las intervenciones y costos del componente aceite; en segundo lugar, en el sistema estructura se presenta 48% de intervenciones y 60% de costos en el componente cabina; por último se presenta en el sistema eléctrico intervenciones del 95% y costos de 40% en el componente luces e instalación eléctrica.

Figura 14 Diagrama circular de excavadora



Fuente. Elaboración Propia

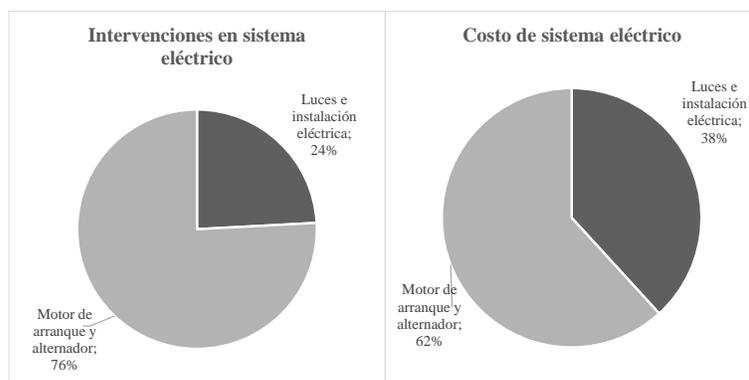
Figura 15 Diagrama circula de arrastrador de troncos



Fuente elaboración propia

En la Figura 16 se enseña el diagrama circular del winche, en donde se presentan la mayor cantidad de averías en los sistemas de cargue, estructura y sistema eléctrico; correspondiendo a los dos primeros sistemas el 100% de intervenciones y costos. El sistema de cargue se compone de un accesorio que se llama carrito y con el cual se iza y se transporta la madera por medio de cables, debido a la gran cantidad de partes que lo componen merece un estudio y análisis especial que esta por fuera del alcance de este trabajo; el sistema de estructura se compone por el chasis donde está montado el equipo. Se puede observar que el 76% de las intervenciones corresponden al 62% de los costos en el componente motor de arranque y alternador en el sistema eléctrico.

Figura 16 Diagrama circular de winche

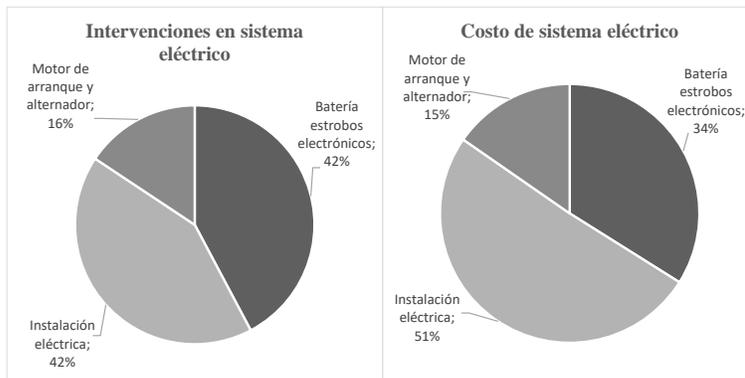


Fuente: Elaboración propia

En la Figura 17 se presenta el diagrama circular de la torre de madereo, esta familia de equipos cuenta con tres sistemas en los cuales se tienen las averías de mayor impacto, en su orden son el sistema de cargue (carreto) mencionado en la parte superior, sistema de potencia y eléctrico, en los primeros dos sistemas no se realiza una división en componentes, puesto que por el tamaño es mejor analizarlos como un solo conjunto y merece un análisis diferente que esta por fuera del alcance de este trabajo. En el componente instalación eléctrica el 42% de las intervenciones

generan un 51% de los costos y en el componente baterías para estrobos electrónicos el 42% en las intervenciones genera el 34% de costos.

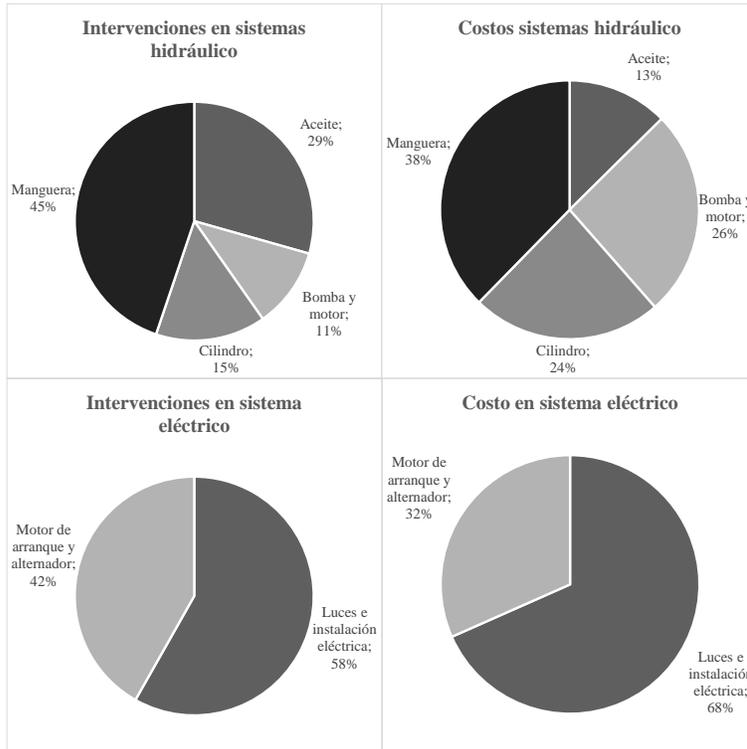
Figura 17 Diagrama circular de torre de madero



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 18 se presentan los diagramas circulares de la grúa en los cuales se puede apreciar que los sistemas en donde más se generan averías son los sistema hidráulico y eléctrico; el sistema hidráulico presenta intervenciones del 45% y costos del 38% en el componente mangueras, intervenciones del 29% y costos de 13% para el componente aceite, sin embargo son de atención especial las intervenciones del 11% en bomba y motor con un 26% de costos, e intervenciones del 15% en cilindros que generan un 24% de los costos. De igual manera en el sistema eléctrico el 58% de las intervenciones en luces e instalación eléctrica corresponde a un 68% de los costos de este sistema.

Figura 18 Diagrama circular de grúa



Fuente: Elaboración propia

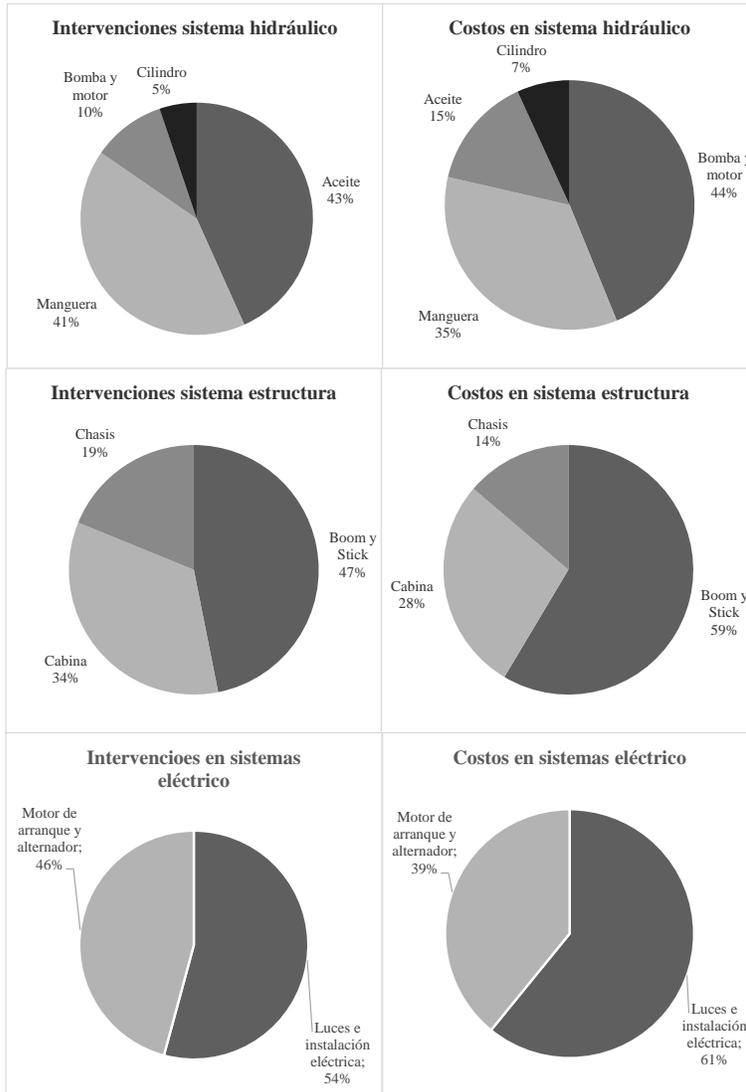
En la Figura 19 se presentan los diagramas circulares del cargador trineumatico, donde se aprecia que los sistemas en los cuales se generan averías son en su orden sistema hidráulico, estructura y el sistema eléctrico; se presenta en el sistema hidráulico intervenciones del 43% y costos de 15% en el componente aceite, intervenciones del 41% y costos de 35% para el componente mangueras. En segundo lugar, en el sistema estructura se presenta 47% de intervenciones y 59% de costos en el componente boom y stick; por último se presenta en el sistema

eléctricas intervenciones del 54% y costos de 61% en el componente luces e instalación eléctrica, e intervenciones del 46% y costos de 39% para el componente motor de arranque y alternador.

En la Figura 20 se presentan los diagramas circulares del tractor cargador, donde se valora que los sistemas en los cuales se generan averías son en su orden sistema hidráulico y eléctrico; se presenta en el sistema hidráulico intervenciones del 52% y costos de 61% en el componente mangueras, intervenciones del 37% y costos de 19% para el componente aceite. En segundo lugar, en el sistema eléctrico se presenta 67% de intervenciones y 53% de costos en el componente luces e instalación eléctrica.

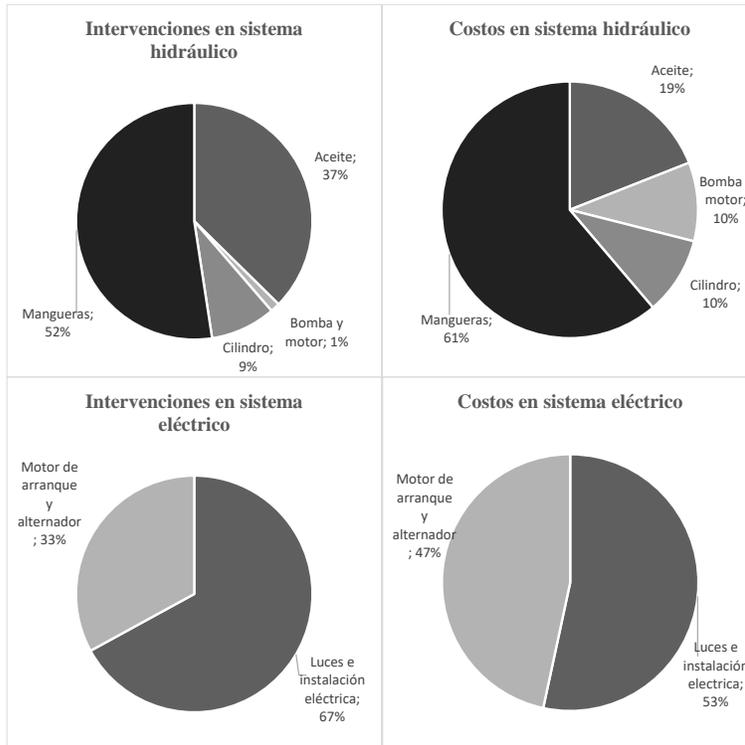
Conforme a los diagramas circulares mostrados se puede observar que para diferentes familias de equipos en los mismos sistemas y componentes se generan sino las mismas, similares tipo de averías, en muchos casos previniendo el daño en un componente manguera del sistema hidráulico se pueden evitar intervenciones y costos en suministro de aceite, si en el sistema eléctrico la instalación está en buen estado puede redundar en mejores condiciones para el funcionamiento del alternador y motor de arranque, es decir si se corrige el daño en un componente se puede evitar la intervención en el otros, y con base a este análisis de la información se va desarrollar la Tabla 14 que es la matriz 5W-1H para determinar las causas de las averías que originan la baja disponibilidad de los equipos

Figura 19 Diagrama circular de cargador trineumático



Fuente: Elaboración propia

Figura 20 Diagrama circular de tractor cargador



Fuente: Elaboración propia

Tabla 14 Análisis 5W-1H para determinar las causas que originan la baja disponibilidad

Qué?	Por qué?	Cuándo?	Dónde?	Quien?	Cómo?
Daño en mangueras hidráulicas	La manguera se daña, se parten o se desgarran	Se ve durante la operación del equipo	La acción de mejora se va a realizar directamente en el equipo	El técnico mecánico con el operador	Proteger e instalar de manera segura las mangueras hidráulicas para disminuir el riesgo de enredo con ramas o roce con elementos extraños. Capacitar a técnicos/operadores en montaje de mangueras
Daño en mangueras hidráulicas	La calidad de la manguera no cumple los requerimientos	Cuando se revientan o estallan	Directamente con el proveedor se van a escoger las marcas y calidades de las mangueras	El ingeniero de mecanización, técnicos y departamento de compras	Capacitar a técnicos acerca de identificación en calidad de mangueras hidráulicas
Daño en cilindros hidráulicos	Los cilindros sufren impacto	Durante el cargue de las trozas	Generalmente en cilindro de garra	Ingeniero de mecanización y de cosecha	Capacitar a operador y técnico en operación y mantenimiento de cargador trineumático, tractor cargador y grúa de cargue
Daño en cilindros hidráulicos	Los cilindros presentan fugas por las empaquetaduras que se instalan	Durante la operación	Generalmente en cilindro de garra	Ingeniero de mecanización y de cosecha	Realizar reparaciones de cilindros con proveedores calificados
Fuga de aceite hidráulico	La empaquetadura para la reparación de cilindros y bombas hidráulicas no es la adecuada	Cuando se repara, al poco tiempo vuelve a presentar la fuga de aceite.	Previamente alistar los materiales originales	Auxiliar de mecanización	Capacitar en planeación de mantenimiento a técnicos. Aprender a manejar el Software mantenimiento de la compañía.
Fuga de aceite hidráulico	Los componentes hidráulicos tienen demasiado desgaste en sus piezas de movimiento	Cuando se repara en taller	Definir mediante criterio técnico que componentes no se deben seguir usando.	Ingeniero de mecanización y técnicos mecánicos	Trabajar de acuerdo a estándares del fabricante

Qué?	Por qué?	Cuándo?	Dónde?	Quien?	Cómo?
Daño en sistema de inyección	Los equipos no se tanquean cuando la jornada termina. El combustible se contamina con agua	Cuando el equipo se apaga	Cuando el tanque de combustible o los filtros de combustible se llena de agua	El operador y supervisor del frente de cosecha	Capacitar a los operadores/ supervisores sobre daños que puede ocasionar el agua en el sistema de inyección. Garantizar hermeticidad en los tanques de combustible del equipo y evitar el agua en los sitios de tanqueo.
Los motores se reparan y no duran el tiempo recomendado por fabrica	Son motores que tienen muchas horas de trabajo	Cuando se repara en taller o concesionario	Se está viendo el problema en los motores de los cargadores trineumatico	Ingeniero de mecanización con proveedor de rectificadora	Analizar técnicamente si es viable reparar o cambiar un motor diésel.(revisar tolerancias)
Desgaste en elementos de boom y stick	No se lubrica adecuadamente los puntos de articulación	Durante la operación	Los problemas se ven la operación	Técnico mecánico	Capacitar y realizar seguimiento en la operación y mantenimiento de los equipos
Desgaste en elementos de boom y stick	Los elementos como bujes y pasadores son realizado sin las especificaciones técnicas	Durante la reparación	Los problemas se ven en el taller del proveedor	Técnico mecánico e ingeniero de mecanización	Establecer con el proveedor las necesidades técnicas del trabajo.Solicitar los repuestos originales
Daño en motor de arranque y alternador	Los elementos del sistema de arranque y alternador son de poca calidad en ciertos equipos	Durante la reparación	Los problemas se presentan por los general en los cargadores trineumáticos	Técnico mecánico e ingeniero de mecanización y proveedor de servicio eléctrico	Realizar reparación de los componentes del sistema eléctrico con elementos de alta calidad.

Fuente: Elaboración propia

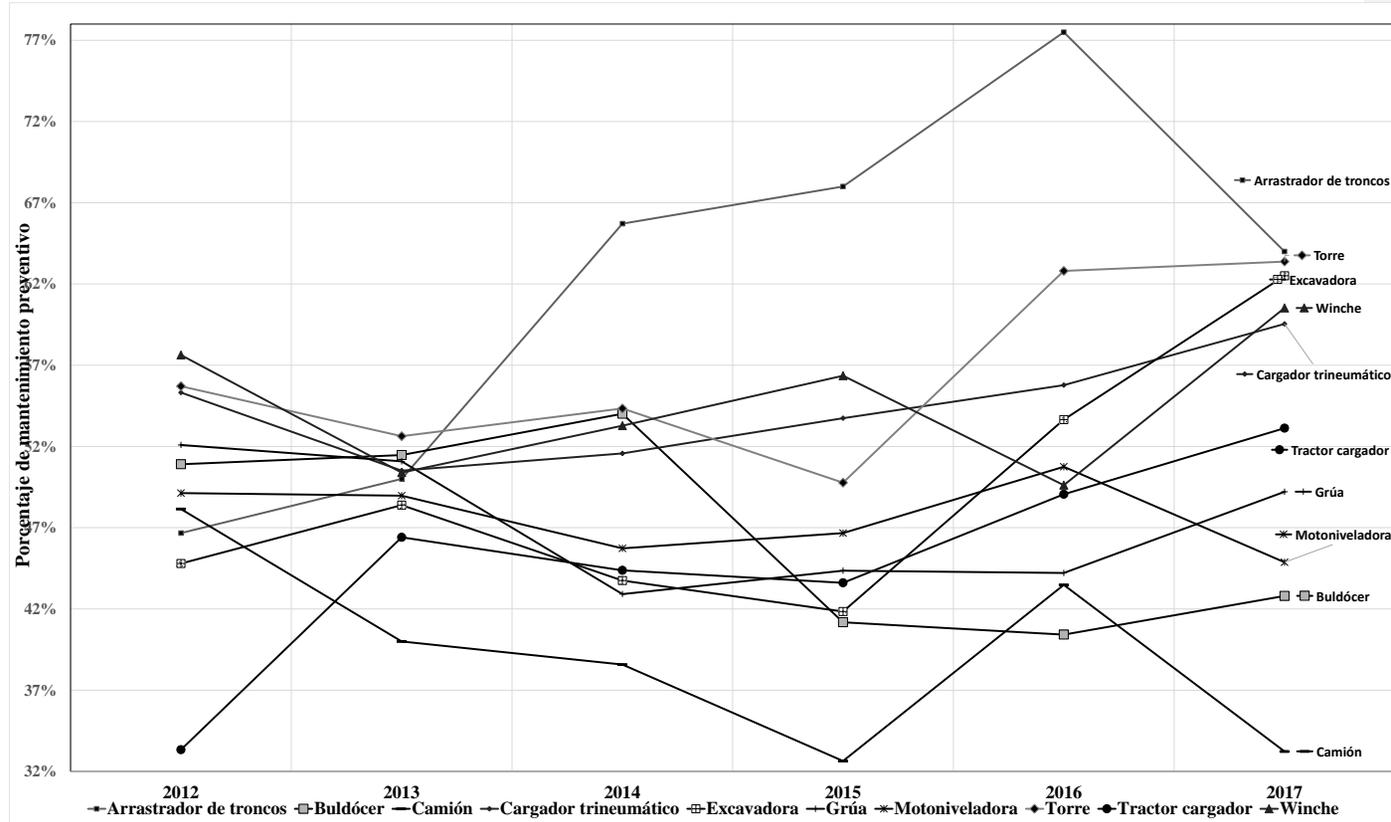
5.3.2 Estado de mantenimiento preventivo y correctivo para cada familia de equipo

En la actualidad solo se realiza intervenciones de mantenimiento preventivo y correctivo, el mantenimiento preventivo generalmente se enfoca en ser lubricativo y el mantenimiento correctivo para atender las emergencias de los equipos. La Figura 21 se realizó con base en las actividades guardadas al momento de realizar la intervención como mantenimiento preventivo y correctivo, esto quiere decir que si el arrastrador de troncos en el años 2014 tuvo el 66% de las intervenciones de forma preventiva, el 34% de las intervenciones restante fueron actividades correctivas, si el tractor cargador en el año 2015 tuvo el 44% de las intervenciones preventivas, el 56 % de las intervenciones fueron correctivas; todo el análisis del porcentaje de mantenimiento preventivo que han tenido las familias de equipo se basa en los años 2012 al 2017. Se debe destacar que los factores que afectan esta grafica son influenciadas por la carencia de mano de obra durante los años 2014-2015 y el desabastecimiento en repuestos con algún proveedor por aspectos internos de negociación.

La tendencia de mejora en el mantenimiento preventiva se puede apreciar en: tractor cargador, cargador trineumatico, winche, excavadora y arrastrador de troncos, sin tendencia a la mejora en el mantenimiento preventivo se tiene: camión y buldócer; permanecen casi estables la grúa y motoniveladora. Como varios de los equipos críticos y semicríticos trabajan en serie es bastante probable que si existe tendencia hacia la mejora en el mantenimiento preventivo de un winche, a raíz de la avería de una grúa o un tractor cargador no se pueda completar el ciclo de despacho de la madera. De acuerdo a este análisis se puede observar alta variabilidad en el mantenimiento preventivo, se puede concluir que la mayoría de los equipos reciben intervenciones de manera

preventiva y entre ellas cabe resaltar que las actividades de mantenimiento preventivo no siempre son completas y bien ejecutadas.

Figura 21 Porcentaje de mantenimiento preventivo por familias de equipos



Fuente: Elaboración Propia.

5.4 Análisis del estado actual de la gestión del mantenimiento versus modelos de gestión de mantenimiento existentes

En la literatura consultada para esta investigación la mayoría de autores se enfocan en gran medida en la industria de la manufactura y con menor proporción a los equipos denominados fuera de carretera como son los equipos agrícolas, forestales y de construcción. En la Tabla 15 se comparan la situación actual de la compañía versus los modelos actuales que se ajustan al área de interés de gestión de mantenimiento, así mismo se presentan temas en común que puede tener aplicación en la compañía, estos modelos son los más relevantes encontrados en las bases de datos consultadas y corresponden a los años 2002 al 2014, el objetivo de este caso de estudio es mejorar la gestión del mantenimiento con referencia a los modelos de gestión de mantenimiento y disminuir la brecha entre la teoría y la práctica con base en las capacidades y recursos de la compañía; estructura jerárquica, plan de reposición de equipos, perfil de técnicos y operadores, cultura organizacional, edad de los equipos, información técnica disponible. De acuerdo al capítulo 5.1, existen más diferencias que similitudes en este caso de estudio respecto a los modelos de gestión del mantenimiento, simultáneamente estos últimos son pioneros en investigación, experiencia, recursos y tecnología aplicada en los equipos y la gestión del mantenimiento.

Los temas a comparar son en su orden políticas, estrategias y objetivos, impactos de los equipos en la línea de producción, diseño de los planes de mantenimiento y recursos necesarios, programación de mantenimientos, evaluación y control de la ejecución del mantenimiento y gestión de los recursos humanos.

En el tema de políticas, estrategias y objetivos el 60% de los autores que se investigaron están de acuerdo en el despliegue de las políticas de la organización y los consideran importante para el éxito de la gestión de mantenimiento, por este motivo se encuentra en la parte inicial de la tabla, se

le asigna una calificación actual del caso de estudio de dos puntos, debido a las mejoras y ajustes que deben de realizarse.

La gestión de mantenimiento se debe preparar para conocer el impacto que causan cada uno de los equipos en su línea de producción, relativo al concepto de criticidad y causas raíces de los problemas; el 20% y 30% respectivamente de los autores abarca el concepto de criticidad de equipos y análisis de causa raíz, estos conceptos son importantes puesto que si son desarrollados con éxito por el equipo de mantenimiento, generan un impacto positivo en la disponibilidad de los equipos redundando en una operación más confiable.

Las áreas de diseño de planes de mantenimiento y recursos necesarios son la parte central de la propuesta porque presentan diferentes tácticas o estrategias que se pueden aplicar para incrementar la disponibilidad de los equipos, ésta se compone de seis temas como son mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), despliegue de la función de la calidad (QFD), mantenimiento centrado en la confiabilidad (CBM), monitoreo por condición (CM), mantenimiento preventivo (PM) y mantenimiento productivo total (TPM). Se puede inferir que debido a que el 80% de los autores coinciden en trabajar con mantenimiento centrado en la confiabilidad, este debe ser un camino a recorrer próximamente; actualmente en la compañía no se aplica, y para llegar a esto se necesitan realizar unos pasos previos de capacitación y formación al grupo de gestión de mantenimiento.

El mantenimiento preventivo (PM) es nombrado por el 70% de los autores de los modelos de gestión de mantenimiento y es la parte estructural de todos planes de mantenimiento, inicialmente la propuesta de investigación debe ser muy fuerte en este aspecto para que tenga éxito lo pasos que se deriven de esta.

El mantenimiento centrado en la condición (CBM) es estudiado por el 60% de los autores, en este método se aplica el monitoreo directo a la condición mecánica, la eficiencia del sistema y otros indicadores para predecir el tiempo actual de la falla o la pérdida de eficiencia (Fraser, 2014) para llevar a cabo este método se deben realizar una inversión en tecnología en instalar accesorios adicionales a los equipos y adquirir elementos de medición de vibraciones, temperatura y detección de fugas.

El despliegue de la función de la calidad (QFD) se trata por el 40% de los autores y las metas fundamentales consisten en mejoramiento continuo y reducción del desperdicio y tiene relación estrecha con el mantenimiento productivo total (TPM). El mantenimiento productivo total (TPM) es tratado por el 90% de los autores, esta técnica inició en Japón en la década del 70 y ha sido muy exitosa en las empresas japonesas, con cambios culturales orientados a las personas, lo cual implica cambiar las actitudes de los trabajadores hacia la importancia de la eliminación de desperdicios, y la producción de bienes y servicios para satisfacer las necesidades de los clientes en el contexto de las cadenas cliente-proveedor.(Fraser, 2014).

Las técnicas anteriores han seguido una secuencia lógica de desarrollo, ellas se relacionan estrechamente y de acuerdo a los autores el nombre puede cambiar, pero en el fondo se trata de eliminar los desperdicios y mejorar en los proceso de satisfacer necesidades de los clientes.

En el área de programación de mantenimiento (Garrido, 2003) es el único que trata acerca de la programación a corto y mediano plazo, este es un aspecto vital para realizar un buena ejecución de las actividades de mantenimiento y evitar reprocesos.

Con respecto a la evaluación y control de la ejecución de mantenimiento se tienen tres temas, la programación a corto y mediano plazo, indicadores de desempeño (KPI's) y gestión de

mantenimiento basado en computador (CMMS). Conviene resaltar que (Garrido, 2003) en su libro trata el aspecto de la programación a corto y mediano plazo y es el único de los autores que entra en detalle en este aspecto. Hay que mencionar que el 60% de los autores se concentra en los indicadores de desempeño, y para lograr esta métrica se debe capacitar a las personas en el “cómo” y “para que” se miden estos indicadores de desempeño, analizarlo como un aliado y no como una camisa de fuerza para colocar un número, en este caso de estudio se lleva el indicador de disponibilidad de equipos. Cuando los indicadores de desempeño se formalicen se deben generar por el software de la compañía y para alcanzar esta meta se debe administrar el módulo respectivo de mantenimiento; por tal motivo el siguiente tema consiste en la gestión de mantenimiento basado por computador, y se considera un punto relevante en la gestión del mantenimiento para realizar actividades de planeación, programación, indicadores de desempeño y actividades complementarias que permitan facilitar el trabajo.

Con respecto al área de conocimiento de la gestión del recurso humano se ha dividido en temas de formación de personal, participación del personal, evaluación de desempeño y satisfacción del personal, se considera parte activa de la gestión de mantenimiento y se nota que cerca del 30% de los autores tratan estos temas, y en este caso de estudio la propuesta tiene el componente de la gestión del recurso humano, puesto que las personas tienen el conocimiento y son quienes realizan la transformación hacia las mejoras que la compañía necesita.

Es trascendental gestionar los repuestos e inventario en la propuesta, dado que estos son la materia prima de la planeación, programación y ejecución de las actividades; así mismo está entre los costos más altos de mantenimiento en la industria (Cholasuke et al., 2004).

Tabla 15 Comparativo entre la situación actual con los modelos de gestión de mantenimiento

Áreas de propuesta de gestión de mantenimiento	Temas	Estado actual respecto a los modelos de gestión de mantenimiento (siendo 1 calificación mas baja y 4 calificación mas alta)	Tsang (2002)	Garrido (2003)	Cholasutke et al.,(2004)	Eti et al., (2006)	Crespo (2007)	Simões et al., (2011)	Khazraei y Deuse (2011)	Viveros et al., (2013)	Kumar et al., (2013)	Fraser (2014)
Políticas, estrategias y objetivos	Políticas, estrategias y objetivos	2	•	•	•		•		•	•		
Impacto de los equipos en la línea de producción	Criticidad de equipos/Cuello de botella	1		•						•		
	Análisis de causa raíz (ACR)	1		•			•			•		
Diseño de planes de mantenimiento y recursos necesarios	Mantenimiento preventivo (PM)	2	•	•		•	•	•	•	•		
	Mantenimiento basado en la condición (CBM)	1	•	•		•		•	•			•
	Despliegue de la función de calidad (QFD)	1	•	•		•		•				
	Mantenimiento productivo total (TPM)	1	•	•	•	•	•	•	•	•		•
	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)	1	•	•	•	•	•		•	•		•
Evaluación y control de la ejecución del mantenimiento	Programación a corto y mediano plazo	1		•								
	Indicadores de desempeño KPI	1	•	•	•			•		•	•	
	Gestión de mantenimiento basado en computador (CMMS)	1	•	•		•	•			•		
Gestión del recurso humano	Formación de personal	1	•	•	•			•				
	Participación del personal	2	•	•	•							
	Evaluaciones de desempeño	2	•	•	•							
	Satisfacción del personal	2	•	•	•							

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 15 es la guía que se va a seguir para estructurar la propuesta de gestión de mantenimiento y cuenta con información de autores de diferentes países y con la información relevante para las industrias en la actualidad.

5.5 Brecha para la gestión del mantenimiento

Para realizar la propuesta de gestión de mantenimiento se necesita obtener información de los usuarios del mismo, como son operadores de los equipos, técnicos mecánicos y supervisores, para tal fin se realizaron encuestas y entrevistas y estas se desarrollaron con base al marco de referencia, que tiene condensado los elementos necesarios que la industria utiliza en la gestión del mantenimiento, en la Tabla 16 se presentan los temas que cubren la encuesta.

Tabla 16 Temas de la encuesta de percepción de la gestión del mantenimiento

Item	Tema
1	Políticas, estrategias y objetivos en el proceso de mecanización
2	Impacto de los equipos en la línea de producción
3	Enfoque de mantenimiento
4	Identificación de trabajos a realizar
5	Planificación y programación de actividades
6	Ejecución de actividades
7	Gestión de recursos humanos
8	Gestión de la información y sistemas de gestión de mantenimiento informatizados
9	Aspecto económico
10	Mejoramiento continuo

Fuente: Elaboración propia

Con base a las gráficas de radar se pueden apreciar las brechas que existen en los diferentes temas de la gestión del mantenimiento que abarca el caso de estudio.

En el tema de políticas, estrategias y objetivos en el proceso de mecanización se tienen oportunidades grandes de mejora para alinear a las personas involucradas en éste, trabajando en el diagrama de radar de la Figura 22, los operadores y supervisores entenderán en que consiste el plan de mantenimiento, los recursos y las personas que están para atender el mantenimiento, el rol del operador en la operación y mantenimiento, cómo se mide el desempeño y el cuidado al equipo,

según el nivel de criticidad y edad del equipo el plan de mantenimiento puede ser diferente entre equipos de similares características, se enseñaran los métodos de mantenimiento que se proponen para los equipos, igualmente los cuidados al medio ambiente y de seguridad en el trabajo.

Con referencia al tema del impacto de los equipos en la línea de producción, el diagrama de radar de la Figura 22 trata los puntos necesarios para que las acciones de ejecución del mantenimiento, calidad e instalación del repuesto, diagnostico, tiempo de respuesta, análisis de causa de falla y suministro de repuestos básicos generen poco tiempo de inactividad en el proceso de producción.

Para revisar el enfoque de mantenimiento el diagrama de radar de la Figura 23 sugiere aspectos como técnicas de mantenimiento, tipos de mantenimiento, carta de lubricación y engrase del equipo, las actividades que se realizan cada tiempo fijo de operación (250H, 500H, 1000H y 2000H), plan de mantenimiento preventivo, predictivo y por condición.

Al explorar la identificación de trabajos a realizar se quiere por medio del diagrama de radar de la Figura 23 que el operador y técnico mecánico adquieran destrezas en inspecciones visuales del estado del equipo, para que esta información sea recopilada en realizar la respectiva planeación de las actividades.

Continúa entonces un punto crucial que es la planificación y programación de actividades de acuerdo al diagrama de radar de la Figura 24, en el cual se evalúa la calidad de la planeación, comunicación entre mecanización y cosecha y cumplimiento de la programación.

El siguiente diagrama de radar de la Figura 24 examina la ejecución de actividades, la intención es efectuar las ejecuciones de las actividades eficientemente iniciando con aspectos básicos como limpieza, mantenimiento preventivo, nivel de satisfacción y tiempo de calidad por la actividad

realizada, prevención de reprocesos por falta de repuesto, falta de herramienta o por desconocimiento técnico.

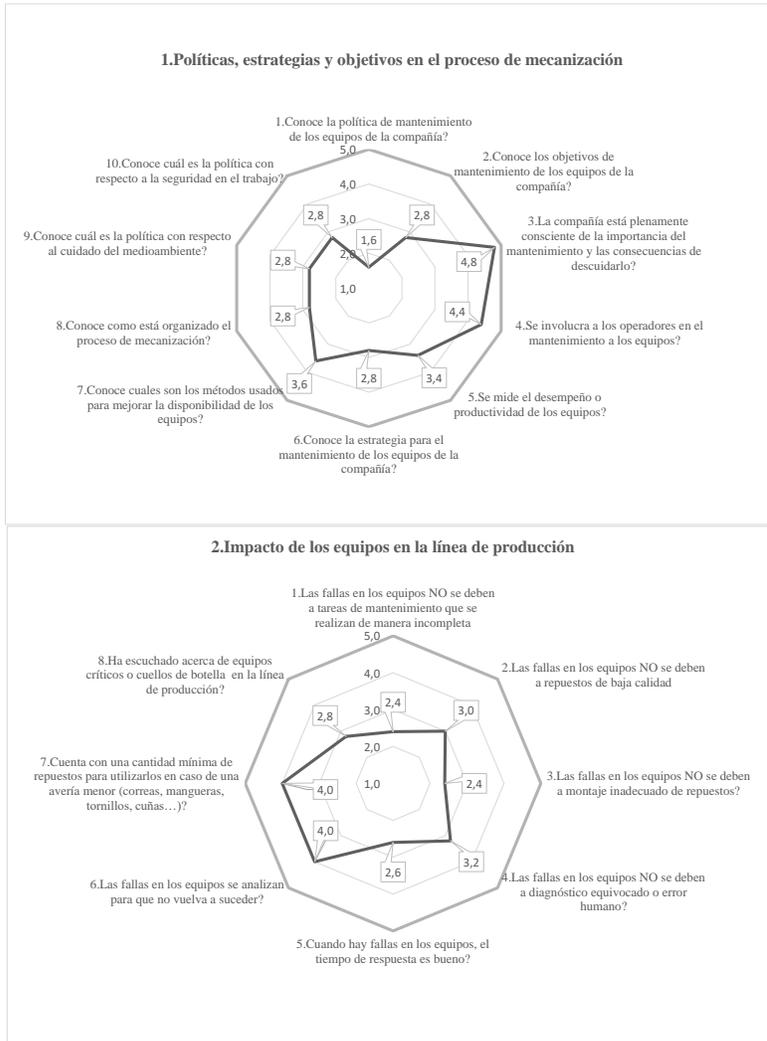
Para lograr esto se deben apoyar en la gestión del recurso humano, ver diagrama de radar de la Figura 25 donde se busca motivar, retroalimentar, reconocer, entrenar a las personas involucradas en el proceso de operación y mantenimiento.

En la gestión de la información y sistema de gestión de mantenimiento informatizado, cómo se observa en el diagrama de radar de la Figura 25 se desea a través del software que la compañía administra generar los documentos de mantenimiento y retroalimentar el sistema para que se vuelva una herramienta de planificación, y que el técnico ejecute las intervenciones con mejor información técnica.

Se contempla el aspecto económico que se puede ver en el diagrama de radar de la Figura 26 que pretende que el operador y el técnico mecánico se concienticen que los daños en los equipos son costosos, se deja de producir y la compañía pierde dinero.

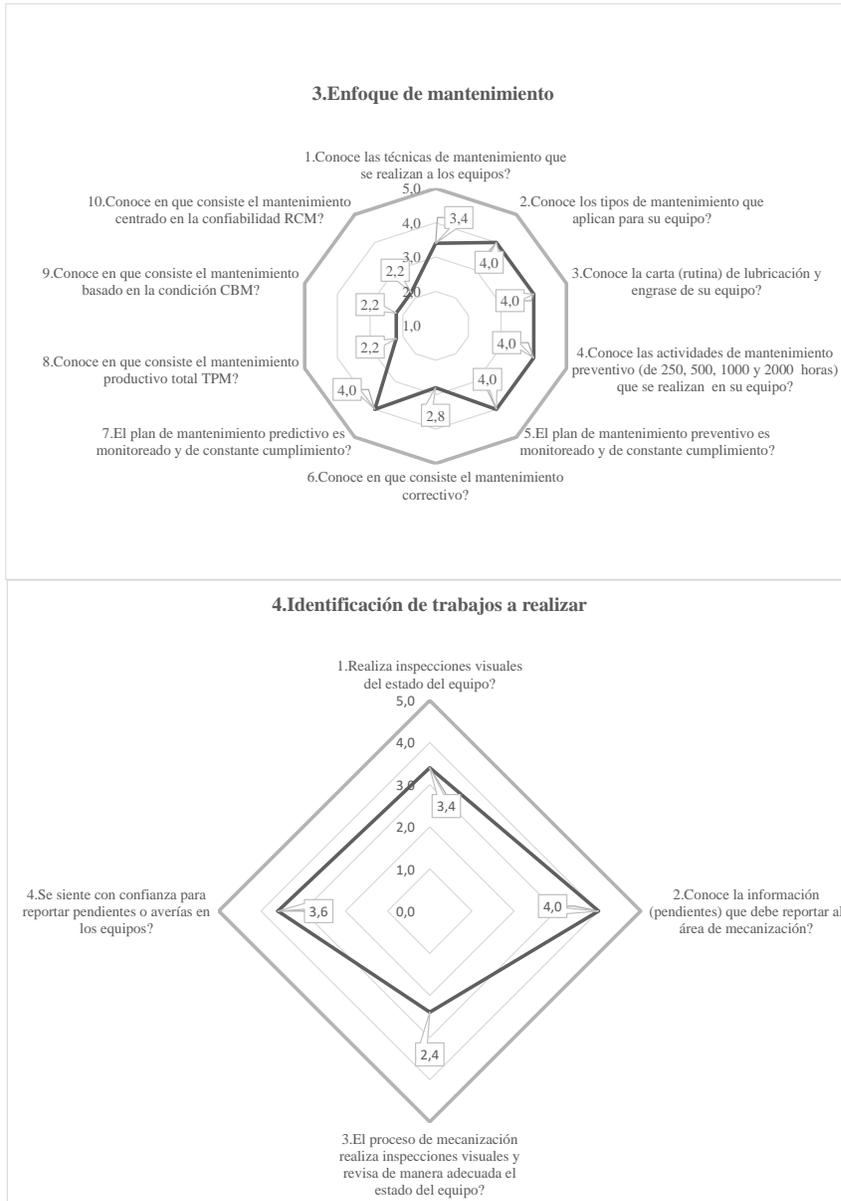
Por último se tiene la gráfica de radar del mejoramiento continuo de la Figura 26 y son las cuestiones básicas en realizar mejoras como la asignación de un equipo a un operador, conocimiento del manual de operación y mantenimiento, buena comunicación entre pares y superiores, planes de mejoramiento en los equipos, retroalimentación por parte de mecanización a las empresas contratistas.

Figura 22. Políticas, estrategias y objetivos e impacto de los equipos en producción



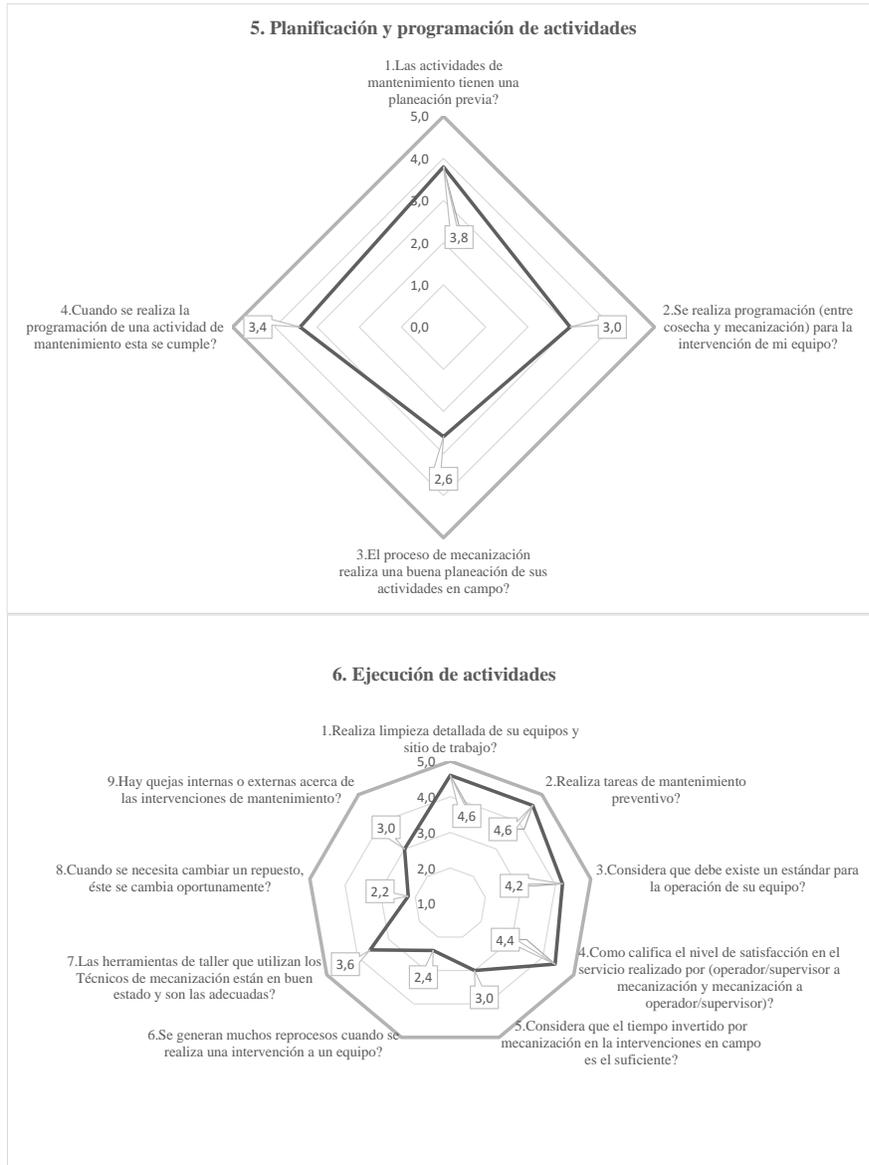
Fuente: Elaboración propia

Figura 23 Enfoque de mantenimiento e identificación de trabajos a realizar



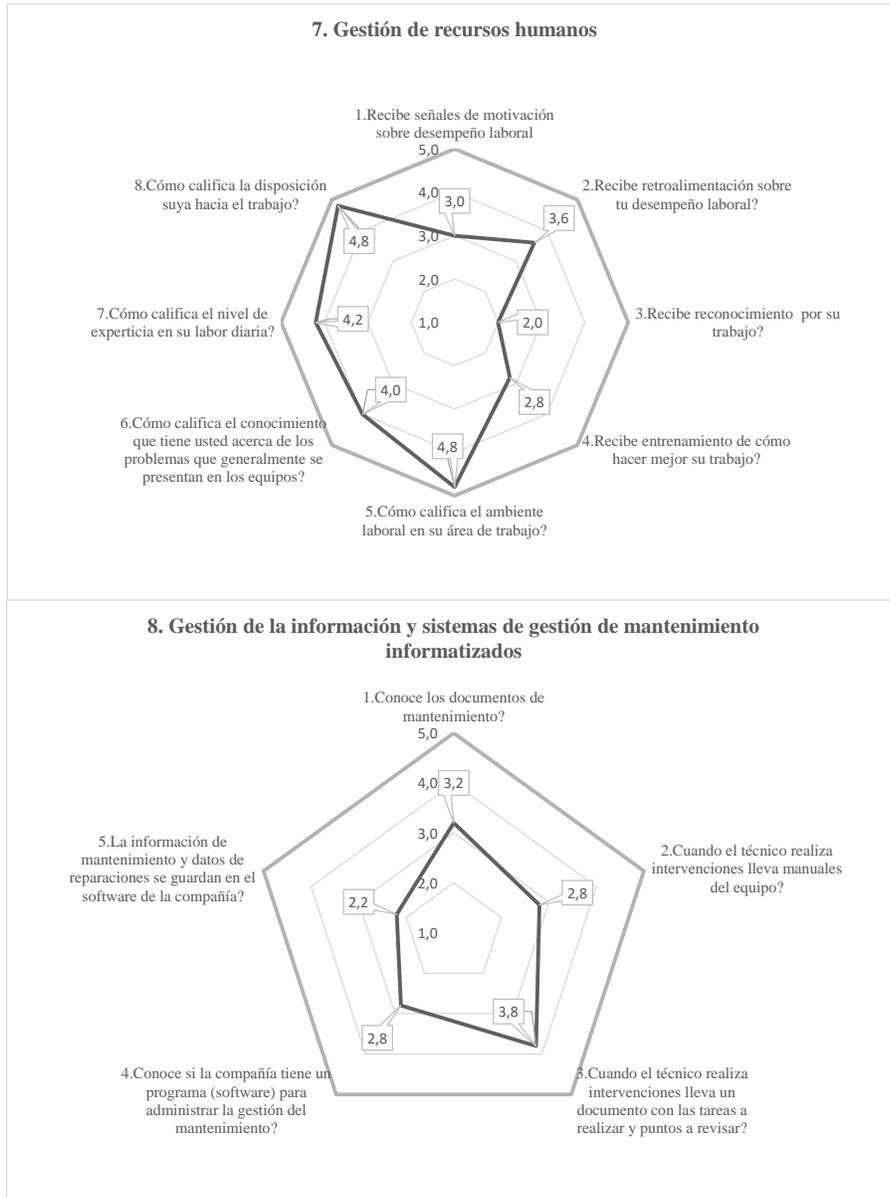
Fuente: Elaboración propia

Figura 24 Planificación, programación y ejecución de actividades



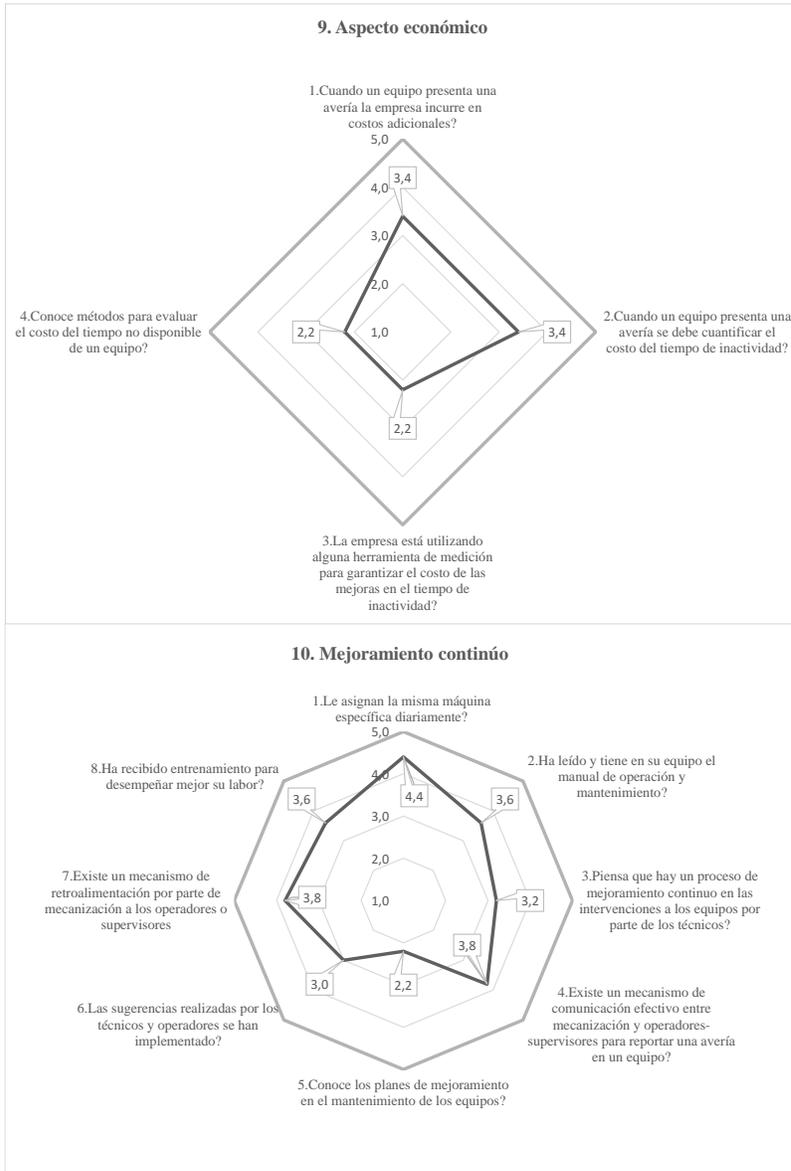
Fuente: Elaboración propia

Figura 25 Gestión de los recursos humanos y de la información



Fuente: Elaboración propia

Figura 26 Aspecto económico y de mejoramiento continuo



Fuente: Elaboración propia

6 CAPITULO VI. Propuesta de gestión de mantenimiento

La propuesta de gestión de mantenimiento de este caso de estudio interviene el problema de la baja disponibilidad mecánica, altas intervenciones en mantenimiento correctivo y tiempos improductivos de manera gerencial y sigue con la aplicación de metodologías administrativas que generan tácticas y estrategias a ser aplicadas por el personal de producción y mantenimiento. Esta propuesta se conforma de un roadmap, matriz 5W-1H para la gestión del mantenimiento y el cronograma de actividades y se fundamenta en la integración de los diagramas circulares realizados a las familias de equipos en los cuales se visualiza por medio de un análisis de Pareto, los sistemas y componentes que más presentan averías; el comportamiento del mantenimiento preventivo y correctivo durante los años 2012 al 2017, la tabulación y análisis de las encuestas realizadas a los operadores nos muestra una brecha para desarrollar los avances y por medio de los análisis 5W-1H se pueden identificar las causas de la averías en las familias de equipos y plantear la gestión del mantenimiento.

6.1 Roadmap

Un roadmap (Figura 27) trata de reflejar los caminos que nos guiarán desde nuestra posición actual al destino deseado, éste toma generalmente la forma de una representación gráfica que proporciona una visión estratégica de alto nivel sobre el tema o foco de interés que se analiza, soportado por una adecuada documentación (GipuzKoa Berritzen - Innobasque, 2011)

El roadmap representa la aplicación de la estrategia reflejando los hitos u objetivos de todas las perspectivas de análisis que se consideran en dicha estrategia. El esquema del roadmap se plasma en dos ejes: en el eje vertical se reflejan aspectos o perspectivas que se van a analizar y en el eje horizontal se determina los tramos de horizonte que se van a considerar en la reflexión. El roadmap final muestra el camino que se debe seguir desde el hoy (as is) hasta la visión de futuro

a largo plazo que se quiere construir(to be).Se deben marcar los hitos que se desean alcanzar en cada una de las perspectivas en un horizonte que se divide en tres tramos diferenciados(Gipuzkoa Berritzen - Innobasque, 2011) certezas o corto plazo, apuestas o medio plazo e incertidumbre o largo plazo. La estructura de este roadmap se fundamenta en la Tabla 6 y Tabla 15, en la cual se condensa la literatura encontrada en el marco de referencia.

Figura 27 Roadmap de la propuesta de gestión de mantenimiento



Fuente. Elaboración propia

6.2 Matriz 5W-1H de la propuesta de gestión de mantenimiento

La 5W-1H es una metodología de análisis empresarial que consiste en contestar seis preguntas básicas: qué (what), por qué (why), cuándo (when), dónde (where), quién (who) y cómo (how). Esta regla puede considerarse como una lista de verificación mediante la cual es posible generar estrategias para implementar mejoras (Trias et al.,2009). Con base en los resultados de la encuesta y guiándose por las calificaciones con más bajos resultados, de acuerdo a la escala comprendida entre totalmente en desacuerdo a totalmente de acuerdo se va a realizar una matriz 5W-1H para la propuesta de gestión de mantenimiento .

Tabla 17 Matriz 5W-1H para la gestión del mantenimiento

Qué?	Por qué?	Cuándo?	Dónde?	Quien?	Cómo?
Involucrar en la operación a operadores, supervisores y técnicos acerca del impacto de los equipos en la línea de producción	Se piensa que los equipos son elementos aislados en la cadena de suministro de madera	Capacitación debe realizarse con sentido de urgencia	En cada uno de los frentes de trabajo y en el taller	Ingenieros de mecanización y técnicos	Definir tareas de mantenimiento para cada familia de equipo. Planear actividades de mantenimiento preventivo y correctivo, alistar materiales. Suministrar repuestos al operador de fácil instalación y evitar avería del equipo. Establecer repuestos en almacén críticos con máximos y mínimos. Capacitar a técnicos en hidráulica, electricidad automotriz. Capacitar a operadores en cuidados básicos de los equipos. Capacitar a técnicos y operadores en análisis de causa raíz de las averías
Mejorar el enfoque de mantenimiento para los equipos	Por costumbre se está atendiendo equipos cuando sufren la avería	Capacitación debe realizarse con sentido de urgencia	La acción se va a realizar a cada uno de los técnicos mecánicos	Ingenieros de mecanización y proveedores de lubricantes	Definir rutinas de lubricación y engrase de los equipos. Definir tareas de mantenimiento preventivo cada 250H, 500H, 1000H y 2000H para cada familia de equipo. Aplicar metodología de mantenimiento productivo total (TPM) a las operaciones diarias de trabajo. Actividades de mantenimiento basado en la condición (CBM) y mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) serán tenidos en esta propuesta
Planear los trabajos a realizar a los equipos	Pequeños desajustes generan averías	Capacitación debe realizarse con sentido de urgencia	La acción se va a realizar a los técnicos mecánicos	Los ingenieros de mecanización.	Desarrollar actividades de identificación de las tareas pendientes de los equipos con los técnicos mecánicos y en conjunto con los operadores.

Qué?	Por qué?	Cuándo?	Dónde?	Quien?	Cómo?
Mejorar la planificación y programación de actividades	Se improvisa en la planificación y programación de actividades	Capacitación debe realizarse con sentido de urgencia	La acción se va a realizar con cada uno de los técnicos mecánicos	Los ingenieros de mecanización	Capacitar en planificación y programación de las actividades, contemplando tiempo real, mano de obra, herramientas, repuestos, periodicidad, ejecución de actividades a corto y mediano plazo (listas de chequeo, ordenes de trabajo)
Mejorar en la ejecución de actividades	Se generan reprocesos e inconformidad con el servicio prestado a los clientes	Capacitación debe realizarse con sentido de urgencia	La acción se va a realizar con cada uno de los técnicos mecánicos	Los ingenieros de mecanización	Capacitar a operadores y técnicos mecánicos en cuidados básicos a los equipos, (limpieza e inspecciones visuales). Definir herramientas para la ejecución de las actividades en campo y taller. Gestionar los repuestos necesarios por cada familia de equipos
Mejorar y potenciar el perfil del recurso humano	Operadores y técnicos tienen bajo nivel educativo, pocas habilidades en liderazgo, comunicación	Capacitación debe realizarse con sentido de urgencia	A los técnicos mecánicos y los operadores de equipos	Los ingenieros de mecanización son los responsables de coordinar estas actividades	Capacitar a los operadores de equipos y técnicos mecánicos en liderazgo, autoestima, motivación, trabajo en equipo, comunicación efectiva y toma de decisiones, adicional formación en aspectos técnicos de la operación.
Integrar la información y sistemas ERP a la gestión del mantenimiento .	No se puede explotar las ventajas del software, porque se subutiliza	La capacitación debe realizarse con sentido de urgencia	En la compañía	Ingenieros y auxiliares	Capacitar en el módulo de mantenimiento del software que la compañía utiliza
Incentivar a operadores y técnicos en disminuir	Operadores y técnicos no consideran pérdidas económicas al	La capacitación debe realizarse con sentido de urgencia	A técnicos y operadores de equipos	Los ingenieros de mecanización	Capacitar a los operadores y técnicos acerca de los costos que se generan cuando un equipo tiene una avería y el valor de la producción no realizada

Qué?	Por qué?	Cuándo?	Dónde?	Quien?	Cómo?
costos por las averías	momento de la falla				
Mejorar continuamente en las actividades de operación y mantenimiento	Las actividades se realizan sin la conciencia de poder realizarse mejor	La capacitación debe realizarse con sentido de urgencia	en el proceso de mecanización	Los ingenieros de mecanización son los responsables de coordinar estas actividades	Realizar formación enfocada a la retroalimentación y comunicación acerca de las mejoras realizadas en los equipos. Explicar en qué consiste el mejoramiento continuo en esta organización

Fuente: Elaboración propia.

7 CAPITULO VII. Conclusiones

7.1 Conclusiones generales

Para iniciar a ser competitivos y poder compararnos con empresas de similares características se deben integrar aspectos como políticas de compañía, gestión del mantenimiento a través de software, técnicas de mantenimiento como TPM, cultura organizacional, indicadores de desempeño, gestión del recurso humano, planeación, programación, ejecución y análisis de las actividades y gestión de los inventarios y repuestos. En esta investigación se elaboró una propuesta para la gestión del mantenimiento de los equipos de producción de la división forestal de la empresa XYZ, esta propuesta está orientada a resolver los problemas que tiene la división respecto a la disponibilidad de los equipos, con la ventaja de poder hacerse extensiva a empresas de similares características, de acuerdo a los resultados encontrados en este trabajo se concluye que se necesita una propuesta para mejorar la gestión del mantenimiento que le permita a la empresa generar un impacto positivo en el abastecimiento de materia prima a la planta XYZ.

La estructura organizacional del proceso de mecanización es pequeña para la cantidad de actividades que se generarán a partir de la propuesta para la gestión del mantenimiento, por tal motivo se deben definir los roles de las personas involucradas y gestionar el recurso adicional que se necesita.

Con esta propuesta se logró tener una visión más amplia del proceso y se presentan oportunidades de mejora que en el pasado se obviaban, lo cual nos ofrece más herramientas y elementos de juicio para desarrollar nuestro cargo de una forma más gerencial.

7.2 Conclusiones específicas

Como resultado de haber determinado el estado actual de la gestión del mantenimiento de los equipos de la división forestal, el porcentaje de disponibilidad es el único indicador de desempeño que se usa actualmente, y para medir el desempeño se utilizan indicadores de gestión de mantenimiento como tiempo medio entre fallas (MTBF) y tiempo medio de reparación (MTTR), de acuerdo esto se puede concluir que actualmente no se está midiendo correctamente según lo expresado por los diferentes autores en la literatura.

Debido a que el 50% de las intervenciones son correctivas y el 50% son preventivas con alguna deficiencia en la ejecución, es así que la planeación, programación y ejecución de las actividades no se integran ocasionando que cuando se realizan los trabajos se genere improvisación o cuando aparece una emergencia se incumple la actividad previamente planeada generándose un círculo vicioso.

Para conocer el estado actual de la gestión de mantenimiento, la ruta a seguir consistió en revisar el módulo de costos de los años 2012 al 2017, determinar sistemas y componentes que presentan averías, en consecuencia para poder gestionar este proceso se debe implementar la gestión del mantenimiento a través del software de la compañía.

Por medio de la Figura 11 y Figura 12 y de acuerdo al número de intervenciones por familia de equipos entre el número de equipos, se puede concluir que los técnicos mecánicos deben tener conocimientos sólidos en sistemas hidráulicos, revisión de las estructuras (boom y stick, chasis y cabina) y capacitación de sistemas eléctricos, por tanto se necesita formarlos en evaluación y diagnósticos de sistemas hidráulicos, revisión por desgaste en las estructuras de los equipos y en diagnósticos de sistemas eléctricos.

En la actualidad la familia de cargadores trineumáticos consta de 43 equipos y tiene el promedio más alto de intervenciones en el sistema estructura (boom y stick) (Figura 11), por esta razón se debe tener un planteamiento especial en este sistema con inspecciones visuales, lubricación, mantenimiento preventivo y predictivo, alistamiento de repuestos con el fin de evitar que el equipo tenga tiempo de inactividad por esta causa.

Comparando la familia de cargadores trineumáticos con las demás familia de equipos, estos presentan un porcentaje de intervenciones de 20%, 43%, 51% y 70% en los sistemas de cargue, eléctrico, estructura e hidráulica respectivamente; en consecuencia estos equipos semicríticos necesitan plan de seguimiento y control en la operación y mantenimiento, es así que se necesita realizar un trabajo conjunto con el grupo de producción con el fin de realizar entrenamiento a los operadores, estructurar proceso de selección de operadores y plan de mantenimiento preventivo detallado para estos equipos.

Las grúa de cargue, las excavadoras y los cargadores trineumáticos respectivamente presentan 81%, 75%, 68% en intervenciones al sistema hidráulico de donde resulta necesario establecer una rutina de revisiones a las mangueras, cilindros, bombas y motores hidráulicos para reducir costos de mantenimiento y mejorar la disponibilidad.

Los sistemas de potencia en todos los equipos presentan pocas intervenciones, se infiere que han sido bien calculados y seleccionados por los fabricantes de los equipos, caso contrario ocurre con los sistemas eléctricos del cargador trineumatico.

En el sistema hidráulico de las excavadoras, arrastrador de troncos, cargador trineumatico, grúa y tractor cargador el componente mangueras representan los porcentaje más altos de las intervenciones y los costos más altos de éste sistema, así que se pueden reducir estos porcentajes

mejorando en la operación, calidad de las mangueras y protegiéndola de elementos extraños, si se controla esta variable se disminuye lo correspondiente al sistema aceite; se mejora la disponibilidad de los equipos y se reduce los costos de mantenimiento.

Los sistemas eléctricos es las grúas de carga, cargadores neumáticos, tracto cargadores, torres de maderío y winches son muy sensibles en sus componentes de motor de arranque, alternador e instalación eléctrica y luces, en consecuencia se debe realizar un plan de mantenimiento preventivo eléctrico con soporte de un proveedor experto en el tema.

De acuerdo a este análisis se puede observar alta variabilidad en el mantenimiento preventivo, se puede concluir que la mayoría de los equipos reciben intervenciones de manera preventiva y entre ellas cabe resaltar que las actividades de mantenimiento preventivo no siempre son completas y bien ejecutadas, el complemento de las intervenciones se realizan de manera correctiva.

Con base en el análisis realizado de la Tabla 15, donde se comparó la situación actual con los modelos de gestión de mantenimiento más recientes (años 2002 al 2014), se puede concluir que se necesita de manera urgente implementar las políticas, estrategias y objetivos, el impacto de los equipos en la línea de producción, diseñar los planes de mantenimiento, evaluación y control de la ejecución de mantenimiento y la gestión del recurso humano para generar mejoras, que en este momento pueden ser difíciles de cuantificar; sin lugar a duda con el respaldo de este caso de estudio varios aspectos positivos se van a concretar.

Para llevar a cabo esta propuesta no es suficiente con las personas que actualmente conforman el equipo, lo cual quiere decir que se debe contar con recurso humano y económico extra, con base a lo anterior la gerencia debe definir la asignación de estos recursos.

La formulación de la encuesta busca tener una secuencia lógica para llevar a cabo la gestión del mantenimiento, los resultados nos arrojan un balance similar al que se presumía inicialmente planteado, así que de esta manera se tiene un soporte real para iniciar a implementar las mejoras que están en función del ingeniero de mantenimiento.

7.3 Recomendaciones

A la información que fue obtenida del software de la empresa se le realizó un tratamiento muy rudimentario con probabilidad de cometer errores al realizar el direccionamiento para el respectivo análisis, se recomienda capacitarse y solicitar los permisos respectivos de transacciones en la utilización del software.

Se recomienda trabajar en la gestión de inventarios y repuestos, normalmente se presenta desabastecimiento de algunos repuestos, generando demoras en las intervenciones, se podría realizar a través de un modelo de pronósticos con los repuestos más representativos.

Es válido que la criticidad se obtuvo por medio cualitativos, pero se recomienda realizar la matriz de criticidad con medios cuantitativos y poder valorar lo referente a la frecuencia y consecuencia para darle más elementos de peso a este concepto

7.4 Investigaciones futuras

Sería interesante que las próximas investigaciones estuvieran enfocada en realizar la medición de la eficiencia global de los equipos (OEE), trabajar con mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), estructurar el proceso para implementar TPM, estudiar acerca de la norma ISO 55000 de los activos y realizar un modelo matemático donde se involucre los componentes de los equipos (motores de arranque, alternadores, turbinas, tensores de correa, bombas hidráulicas) para realizar el mantenimiento predictivo de los equipos

Anexo A Encuesta acerca de la percepción de la gestión del mantenimiento

A continuación usted encontrará una serie de preguntas organizadas por temas para medir la percepción de la gestión del mantenimiento en la compañía.

La escala de calificación se mide de 1 a 5, iniciando en 1 con totalmente en desacuerdo y alcanzando la escala 5 con totalmente de acuerdo. En la tabla de abajo se puede apreciar la tabla

Totalmente de acuerdo	5
De acuerdo	4
Indiferente no sabe	3
En desacuerdo	2
Totalmente en desacuerdo	1

1. Políticas, estrategias y objetivos en el proceso de mecanización

		1	2	3	4	5
1	Conoce la política de mantenimiento de los equipos de la compañía?					
2	Conoce los objetivos de mantenimiento de los equipos de la compañía?					
3	La compañía está plenamente consciente de la importancia del mantenimiento y las consecuencias de descuidarlo?					
4	Se involucra a los operadores en el mantenimiento a los equipos?					
5	Se mide el desempeño o productividad de los equipos?					
6	Conoce la estrategia para el mantenimiento de los equipos de la compañía?					
7	Conoce cuales son los métodos usados para mejorar la disponibilidad de los equipos?					
8	Conoce como está organizado el proceso de mecanización?					
9	Conoce cuál es la política con respecto al cuidado del medioambiente?					
10	Conoce cuál es la política con respecto a la seguridad en el trabajo?					

2. Impacto de los equipos en la línea de producción

		1	2	3	4	5
1	Las fallas en los equipos NO se deben a tareas de mantenimiento que se realizan de manera incompletas?					
2	Las fallas en los equipos NO se deben a repuestos de baja calidad?					

3	Las fallas en los equipos NO se deben a montaje inadecuado de repuestos?						
4	Las fallas en los equipos NO se deben a diagnóstico equivocado o error humano?						
5	Cuando hay fallas en los equipos, el tiempo de respuesta es bueno?						
6	Las fallas en los equipos se analizan para que no vuelva a suceder?						
7	Cuenta con una cantidad mínima de repuestos para utilizarlos en caso de una avería menor (correas, mangueras, tornillos, cuñas...)?						
8	Ha escuchado acerca de equipos críticos o cuellos de botella en la línea de producción?						

3. Enfoque de mantenimiento

		1	2	3	4	5
1	Conoce las técnicas de mantenimiento que se realizan a los equipos?					
2	Conoce los tipos de mantenimiento que aplican para su equipo?					
3	Conoce la carta (rutina) de lubricación y engrase de su equipo?					
4	Conoce las actividades de mantenimiento preventivo (de 250, 500, 1000 y 2000 horas) que se realizan en su equipo?					
5	El plan de mantenimiento preventivo es monitoreado y de constante cumplimiento?					
6	Conoce en que consiste el mantenimiento correctivo?					
7	¿El plan de mantenimiento predictivo es monitoreado y de constante cumplimiento?					
8	Conoce en que consiste el mantenimiento productivo total TPM?					
9	Conoce en que consiste el mantenimiento basado en la condición CBM?					
10	Conoce en que consiste el mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM?					

4. Identificación de trabajos a realizar

		1	2	3	4	5
1	Realiza inspecciones visuales del estado del equipo?					

2	Conoce la información (pendientes) que debe reportar al área de mecanización?					
3	El proceso de mecanización realiza inspecciones visuales y revisa de manera adecuada el estado del equipo?					
4	Se siente con confianza para reportar pendientes o averías en los equipos?					

5. Planificación y programación de actividades

		1	2	3	4	5
1	Las actividades de mantenimiento tienen una planeación previa?					
2	Se realiza programación (entre cosecha y mecanización) para la intervención de mi equipo?					
3	El proceso de mecanización realiza una buena planeación de sus actividades en campo?					
4	Cuando se realiza la programación de una actividad de mantenimiento esta se cumple?					

6. Ejecución de actividades

		1	2	3	4	5
1	Realiza limpieza detallada de su equipos y sitio de trabajo?					
2	Realiza tareas de mantenimiento preventivo?					
3	Considera que debe existe un estándar para la operación de su equipo?					
4	Como califica el nivel de satisfacción en el servicio realizado por (operador/supervisor a mecanización y mecanización a operador/supervisor)?					
5	Considera que el tiempo invertido por mecanización en la intervenciones en campo es el suficiente?					
6	No se generan muchos reprocesos cuando se realiza una intervención a un equipo?					
7	Las herramientas de taller que utilizan los técnicos de mecanización están en buen estado y son las adecuadas?					
8	Cuando se necesita cambiar un repuesto, éste se cambia oportunamente?					

9	Hay quejas internas o externas acerca de las intervenciones de mantenimiento?						
---	---	--	--	--	--	--	--

7. Gestión de recursos humanos

		1	2	3	4	5
1	Recibe señales de motivación sobre desempeño laboral?					
2	Recibe retroalimentación sobre tu desempeño laboral?					
3	Recibe reconocimiento por su trabajo?					
4	Recibe entrenamiento de cómo hacer mejor su trabajo?					
	De 1 a 5, siendo 1 (uno) la escala más baja y 5 (cinco) la escala más alta, como califica usted:					
5	El ambiente laboral en su área de trabajo?					
6	El conocimiento que tiene usted acerca de los problemas que generalmente se presentan en los equipos?					
7	El nivel de experticia en su labor diaria?					
8	La disposición suya hacia el trabajo?					

8. Gestión de la información y sistemas de gestión de mantenimiento informatizados

		1	2	3	4	5
1	Conoce los documentos de mantenimiento?					
2	Cuando el técnico realiza intervenciones lleva manuales del equipo?					
3	Cuando el técnico realiza intervenciones lleva un documento con las tareas a realizar y puntos a revisar?					
4	Conoce si la compañía tiene un programa (software) para administrar la gestión del mantenimiento?					
5	La información de mantenimiento y datos de reparaciones se guardan en el software de la compañía?					

9. Aspecto económico

		1	2	3	4	5
1	Cuando un equipo presenta una avería la empresa incurre en costos adicionales?					
2	Cuando un equipo presenta una avería se cuantifica el costo del tiempo de inactividad?					

3	La empresa está utilizando alguna herramienta de medición para garantizar el costo de las mejoras en el tiempo de inactividad?						
4	Conoce métodos para evaluar el costo del tiempo no disponible de un equipo?						

10. Mejoramiento continuo

		1	2	3	4	5
1	¿Le asignan la misma máquina específica diariamente?					
2	Ha leído y tiene en su equipo tiene el manual de operación y mantenimiento?					
3	Piensa que hay un proceso o indicios de mejoramiento continuo en las intervenciones a los equipos por parte de los técnicos?					
4	Existe un mecanismo de comunicación efectivo entre mecanización y operadores-supervisores para reportar una avería en un equipo?					
5	Conoce los planes de mejoramiento en el mantenimiento de los equipos?					
6	Las sugerencias realizadas por los técnicos y operadores se han implementado?					
7	Existe un mecanismo de retroalimentación por parte de mecanización a los operadores o supervisores?					
8	Ha recibido entrenamiento para desempeñar mejor su labor?					

BIBLIOGRAFÍA

- Ayo-Imoru, R. M., & Cilliers, A. C. (2018). A survey of the state of condition-based maintenance (CBM) in the nuclear power industry. *Annals of Nuclear Energy*, 112, 177–188. <https://doi.org/10.1016/j.anucene.2017.10.010>
- Bernal Torres, C. A. (2010). *Metodología de la investigación. Administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. (O. Fernandez Palma, Ed.) (Tercera). Pearson.
- Canadá, G. of. (2000). MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEMS. *Maintenance Management Systems*. Retrieved from <http://publications.gc.ca/collections/Collection/P25-5-2-2000E.pdf>
- Cassady, C. R., Murdock, M. W. P., A, J. N., & Pohl, E. A. (1998). Comprehensive fleet maintenance management. *SMC'98 Conference Proceedings. 1998 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (Cat. No.98CH36218)*, 4665–4669. <https://doi.org/10.1109/ICSMC.1998.727588>
- Chesworth, D. (2018). Industry 4 . 0 Techniques as a Maintenance Strategy (A Review Paper). *Researchgate.Net/Publication/322369285*, (January), 0–8. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18116.32644>
- Cholasuke, C., Bhardwa, R., & Antony, J. (2004). The status of maintenance management in UK manufacturing organisations: results from a pilot survey. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 10(1), 5–15. <https://doi.org/10.1108/13552510410526820>
- Crespo, A. (2007). *The Maintenance Management Framework. Models and methods for complex*

Symplex Maintenance. Springer. SPRINTER.

Dave, G. (2017). Updated Empathy Map Canvas – The XPLANE Collection – Medium. Retrieved from <https://medium.com/the-xplane-collection/updated-empathy-map-canvas-46df22df3c8a>

Dekker, R. (1996). Applications of maintenance optimization models: a review and analysis. *Reliability Engineering and System Safety*, 51, 229–240.

Exner, K., Schnürmacher, C., Adolphy, S., & Stark, R. (2017). Proactive Maintenance as Success Factor for Use-Oriented Product-Service Systems. In *Procedia CIRP 64* (pp. 330–335). Berlin: Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.024>

Fraser, K. (2014). Facilities management: the strategic selection of a maintenance system. *Journal of Facilities Management*, 12(1), 18–37. <https://doi.org/10.1108/JFM-02-2013-0010>

Garg, A., & Deshmukh, S. G. (2006). Maintenance management: literature review and directions. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 12(3), 205–238. <https://doi.org/10.1108/13552510610685075>

Garrido, G. S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. (Díaz de Santos, Ed.) (1 edición). Díaz de Santos.

Gasca, M. C., Camargo, L. L., & Medina, B. (2017). Sistema para Evaluar la Confiabilidad de Equipos Críticos en el Sector Industrial. *Información Tecnológica*, 28(4), 111–124. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000400014>

Gipuzkoa Berritzen - Innobasque. (2011). Roadmapping : Una herramienta para definir estrategias de I + D + i de éxito. *Agencia Vasca de La Innovación*. Agencia vasca de la innovación y berritzen.

- Hernandez, R., Fernandez-Collado, C., & Baptista, P. (2006). *Metodologia de la investigacion* (Cuarta). McGraw-Hill.
- Khazraei, K., & Deuse, J. (2011). A strategic standpoint on maintenance taxonomy. *Journal of Facilities Management Journal of Quality in Maintenance Engineering Iss Journal of Facilities Management*, 9(1), 96–113. Retrieved from <https://doi.org/10.1108/14725961111128452>
- Lewis, M. W., & Steinberg, L. (2001). Maintenance of mobile mine equipment in the information age. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 7(4), 264–274. Retrieved from <https://doi.org/10.1108/13552510110407050/>
- Martínez Carazo, P. C. (2006). El método de estudio de caso: estrategia metodológica de la investigación científica. *Pensamiento & Gestión*, 20, 165–193. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64602005>
- Mostafa, S., Dumrak, J., & Soltan, H. (2015). Lean Maintenance Roadmap. *Procedia Manufacturing*, 2(February), 434–444. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.076>
- Organ, M., Whitehead, T., Evans, M., Organ, M., Whitehead, T., & Evans, M. (1997). Availability-based maintenance within an asset management programme. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 3(4), 221–232.
- Rawat, M., & Lad, B. K. (2015). An integrated approach for fleet level maintenance planning. *International Journal of Performability Engineering*, 11(3), 229–242.
- Simões, J. M., Gomes, C. F., & Yasin, M. M. (2011). A literature review of maintenance performance measurement. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 17(2), 116–137.

<https://doi.org/10.1108/13552511111134565>

Smith, A. (2006). Reliability-Centered Maintenance 13.1 (pp. 161–171).

Toro Jaramillo, I. D., & Parra Ramírez, R. D. (2006). *Metodo y conocimiento Metodologia de la investigacion*. Fondo Editorial Universidad Eafit.

Trias, M., Fajardo, S., Flores, L., & Gonzalez, P. (2009). Las 5 W + H y el ciclo de mejora en la gestión de procesos. Laboratorio tecnologico del Uruguay. Retrieved from <http://ojs.latu.org.uy/index.php/INNOTEC-Gestion/article/view/5/4#.ULhIOYa3vFo>

Tsang, A. H. C. (2002). Strategic dimensions of maintenance management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 8(1), 7–39. Retrieved from <https://doi.org/10.1108/13552510210420577>

Viveros, P., Stegmaier, R., Kristjanpoller, F., & Crespo-, A. (2013). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo Proposal of a maintenance management model and its main support tools. *Revista Chilena de Ingenieria*, 21(1), 125–138.

Yin, R. K. (2003). *Case Study Reserach - Design and Methods*. (K. Wiley, Ed.), *Applied social research methods series* (3rd ed.). SAGE Publications. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2010.09.005>