

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA
CONFIABILIDAD PARA LA LINEA DE COSECHADORAS DE UN TALLER
AGRÍCOLA EN UN INGENIO AZUCARERO.

LESLY TATIANA ROJAS FORERO

UNIDAD CENTRAL DEL VALLE DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA INDUSTRIAL
TULUÁ
2015

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA
CONFIABILIDAD PARA LA LINEA DE COSECHADORAS DE UN TALLER
AGRÍCOLA EN UN INGENIO AZUCARERO.

LESLY TATIANA ROJAS FORERO

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Industrial

Director
ANDRES FELIPE LAVERDE
Ingeniero Mecánico

UNIDAD CENTRAL DEL VALLE DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
TULUÁ
2015

Nota de aceptación:

Firma del director

Firma de jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Tuluá, Octubre de 2015

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mi madre y mi padre por su gran esfuerzo, por inculcarme grandes valores y brindarme la oportunidad de prepararme en la profesión que desde niña amo; a mis profesores por dedicar su tiempo y transmitir su conocimiento para forjar grandes profesionales.

Lesly Tatiana Rojas Forero

AGRADECIMIENTOS

Quiero dar mis agradecimientos a todas las personas que me brindaron el apoyo, la guía y los ánimos para el desarrollo del proyecto. Al director de la tesis por la guía, acompañamiento y asesoría brindada durante todas las fases del proyecto.

A todo el personal del área mantenimiento por el tiempo dedicado para el diseño de la estrategia de mantenimiento, por los aportes brindados y por su disponibilidad para el proceso de la estrategia de mantenimiento.

CONTENIDO

RESUMEN.....	13
ABSTRACT.....	14
INTRODUCCIÓN.....	15
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.1. DESCRIPCIÓN.....	17
1.2. FORMULACIÓN.....	19
1.3. SISTEMATIZACIÓN.....	20
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	21
3. OBJETIVOS.....	23
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	23
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
4. MARCO REFERENCIAL.....	24
4.1 MARCO TEÓRICO.....	24
4.1.1 Mantenimiento centrado en la confiabilidad.....	24
4.1.2. Ciclo PHVA.....	36
4.2 MARCO CONCEPTUAL.....	37
4.3 MARCO DE ANTECEDENTES.....	41
4.4 ESTADO DEL ARTE.....	43
5. ANÁLISIS RCM PARA EL EQUIPO DE COSECHADORA JOHN DEERE 3520	47
5.1. DESCRIPCIÓN DE FUNCIONES, CONTEXTO OPERACIONAL Y CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EQUIPO.....	48
5.2. ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD Y CRITICIDAD PARA EL EQUIPO.....	53

5.3. ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA.....	71
5.4. ANALISIS DE RESULTADOS.	75
6.TAREAS DEMANTENIMIENTO.....	76
6.1 Escalas de valoración de consecuencias	76
7.STANDAR JOBS	101
7.1 Cambio de Aceite	102
7.2 CAMBIO DE SELLOS Y RODAMIENTOS DEL MOTOR	103
7.3 CAMBIO DE FILTRO DE AIRE	105
7.4 CAMBIO DE RODAMIENTOS DEL TORNILLO.....	106
7.5 CAMBIO O LIMPIEZA DE MANGUERAS	108
8 VALIDACIÓN DEL PROYECTO	109
8.1 PROYECCION DE INDICADORES	109
9. CONCLUSIONES	112
BIBLIOGRAFÍA.....	112

TABLAS

Tabla 01.....	53
Tabla 02.....	54
Tabla 03.....	57
Tabla 04.....	58
Tabla 05.....	60
Tabla 06.....	61
Tabla 07.....	62
Tabla 08.....	64
Tabla 09.....	65
Tabla 10.....	66
Tabla 11.....	67
Tabla 12.....	68
Tabla 13.....	69
Tabla 14.....	70
Tabla 15.....	71
Tabla 16.....	72
Tabla 17.....	73
Tabla 18.....	74
Tabla 19.....	75
Tabla 20.....	76

Tabla 21.....	77
Tabla 22.....	78
Tabla 23.....	79

GRAFICOS

Grafico 1.....	18
Grafico 2.....	21
Grafico 3.....	56
Grafico 4.....	60
Grafico 5.....	94
Grafico 6.....	95

GLOSARIO

ACTIVO (ASSET): Maquinaria, equipo, edificios, plantas y otros ítems requeridos permanentemente para producir y suministrar un producto.

AVAILABILITY: característica de falla, propiedades generales como patrón de falla y comportamiento de un modo de falla o número de modos de falla.

CAUSA DE FALLA: circunstancia durante el diseño, manufactura o uso que conlleva a una falla.

CONFIABILIDAD: Probabilidad de que un equipo o sistema logre cumplir una función establecida durante un intervalo de tiempo cuando es operado bajo ciertas condiciones establecidas.

COMPONENTE: una de las partes que conforman a un ítem, pudiendo ser hardware o software, y puede estar subdividido en otros componentes.

CONDITION MONITORING (Monitoreo de Condición): medición continua o periódica y la interpretación de la información que indica la condición de un ítem y determina la necesidad de su mantenimiento.

CONSECUENCIA DE FALLA: daño real o potencial de una falla de una planta para la seguridad, economía o ambiente.

CRITICIDAD: medición del riesgo de un ítem bajo las siguientes asunciones: no mantenimiento, independiente de inspección y considerando la falla no revelada de la función de protección.

DEFECTO: es denominado a la condición anormal que puede causar una reducción o pérdida de la capacidad de un ítem de realizar las funciones requeridas.

DISPONIBILIDAD: habilidad de un ítem para estar en un estado de desempeñar las funciones requeridas bajo unas condiciones dadas en un instante o intervalo dado de tiempo.

FALLA FUNCIONAL: terminación de la habilidad de un ítem para realizar una función requerida, o su funcionamiento no es de acuerdo con los requerimientos específicos.

FALLA NO REVELADA: cualquier falla cuya ocurrencia puede ser solo detectada por falla a una función en demanda, o por inspección, o por una prueba.

FALLA REVELADA: la ocurrencia de la falla es obvia por la terminación de la habilidad de ítem afectado para realizar su función requerida.

FUNCIÓN: propósito específico de una entidad o su acción característica.

INSPECCIÓN: actividades de medición, exámenes, pruebas, cálculos de una o más características de un producto o servicio, y compararlos con los requerimientos específicos para determinar una conformidad.

INTEGRIDAD: cuando un sistema está en unas condiciones de operación específicas y que no hay riesgo posible que su falla afecte las personas, el ambiente o el valor del activo.

MODO DE FALLA: descripción cualitativa de cómo un ítem puede fallar.

MODO DOMINANTE DE FALLA: modo de falla con alta probabilidad de ser responsable de una falla funcional bajo consideración.

RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE (RCM): estrategia de mantenimiento que es centrado en confiabilidad, el cual es desarrollado como un proceso estructurado y soportado en una decisión multidisciplinaria para la determinación del costo-efectivo de los requerimientos óptimos de mantenimiento de cualquier activo físico en su contexto operacional.

RESUMEN

Este proyecto presenta el diseño de la estrategia de mantenimiento basada en RCM para línea crítica del Taller Agrícola de un Ingenio Azucarero del Valle del Cauca, la cual está compuesta por una flota de Cosechadoras. Logrando de esta manera aumentar la confiabilidad de los equipos por medio del cambio de la estrategia de mantenimiento actual que es correctiva para plantear una estrategia preventiva.

Para el desarrollo del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM se definieron los equipos y los sistemas que los conforman, para luego hacer el análisis de criticidad de cada uno de sus sistemas y determinar cuáles sistemas requieren mayor atención por su alta criticidad, posteriormente se realizó el análisis de fallas en el cual a partir de la función principal del equipo se plantearon las fallas funcionales que se pueden presentar, además de sus modos de falla y el efecto de las mismas. Después se realizó el análisis de las consecuencias de cada modo de falla, para lograr de esta manera diseñar tareas de mantenimiento en las cuales se especificó el intervalo de tiempo en que se deben realizar y el responsable de su ejecución. Por último para el RCM se realizaron los Standar Jobs que son procedimientos estandarizados que tienen como objetivo brindar una guía para la realización de las tareas de mantenimiento.

ABSTRACT

This work presents the design of the maintenance strategy based RCM critical line for Agricultural Workshop of a sugar mill of Valle del Cauca, which consists of a fleet of harvesters. Thus achieving increasing equipment reliability by changing the current strategy is corrective maintenance to raise a preventive strategy.

For the development of Centered Maintenance Reliability RCM equipment and systems that shape, defined and then do the analysis of criticality of each of their systems and determine which need further attention for its highly critical systems, subsequently it took place failure analysis in which from the main function of functional equipment failures that may occur, in addition to its failure modes and effect thereof is raised. After analysis of the consequences of each failure mode was performed, thus achieving maintenance design in which the time interval in which to perform and be responsible for its implementation was specified. Finally for the Standard RCM Jobs that are standardized procedures that aim to provide guidance for performing maintenance tasks were performed.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo nace gracias a que a la idea de realizar una propuesta de un modelo para mantenimiento preventivo dirigido a las cosechadoras de caña de azúcar, el informe tiene como propósito brindar un documento que integrara procedimientos para implementar un mantenimiento preventivo exitoso. Para lograr un adecuado cumplimiento de las exigencias de los clientes se hace necesario contar con una maquinaria confiable en su operación y buenas condiciones de mantenimiento en las diferentes áreas de la empresa.

Actualmente el ingenio azucarero se encuentra disminuyendo gastos, por lo que la planificación de mantenimiento preventivo y correctivo genera reducción en gastos para la intervención de los equipos. El propósito de este informe consiste en comprobar, aplicar información real del segundo trimestre y de esta forma determinar el porcentaje que se puede utilizar y proponer un nuevo plan.

Se propone un modelo de mantenimiento para la línea de cosechadoras que pretende cambiar la mentalidad tradicional del mantenimiento, a uno que se ha medible y alcanzable para lograr cumplir las metas trazadas en los objetivos, permitiendo que dichos activos funcionen de manera eficiente y confiable en su contexto operacional. Analizando el estado del área, los procesos y actividades con un enfoque al mantenimiento basado en la confiabilidad. Posteriormente se desarrolla el modelo del RCM propuesto, iniciando con el diseño de actuación estratégica, pasando continuamente a estructurar el plan de mantenimiento de la línea de cosechadoras.

Es importante dejar claro que el modelo tomado como plataforma para esta investigación, posee un generador de base de datos elaborado en Microsoft Excel, logrando una planificación efectiva y visualización de los problemas más

frecuentes que atacan las cosechadoras. En el siguiente informe se detallan cuatro puntos importantes para el mantenimiento y que a continuación se detallan:

1. Conocer sus equipos: para lograr esto se requiere de un inventario detallado.
2. Almacenar la información: es necesario que la información de los trabajos sea en un formato accesible, tanto para el técnico que lo realiza como para el encargado de digitar la información recolectada.
3. Establecer frecuencias de mantenimiento: gracias a las bases de datos digitalizadas se pueden tomar decisiones acerca del tipo de mantenimiento que se requiere.
4. Comprobar: es indispensable una vez que se tengan las frecuencias, comenzar a comprobar por medio de intervenciones, para saber si tiene que disminuir o aumentar los ciclos entre mantenimientos.

Estos cuatro puntos son de vital importancia en los mantenimientos planificados. Teniendo en cuenta lo anterior se quiere proponer una solución orientada a mejorar los indicadores de mantenimiento mediante la utilización de metodologías investigadas a través del proceso de práctica empresarial.

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

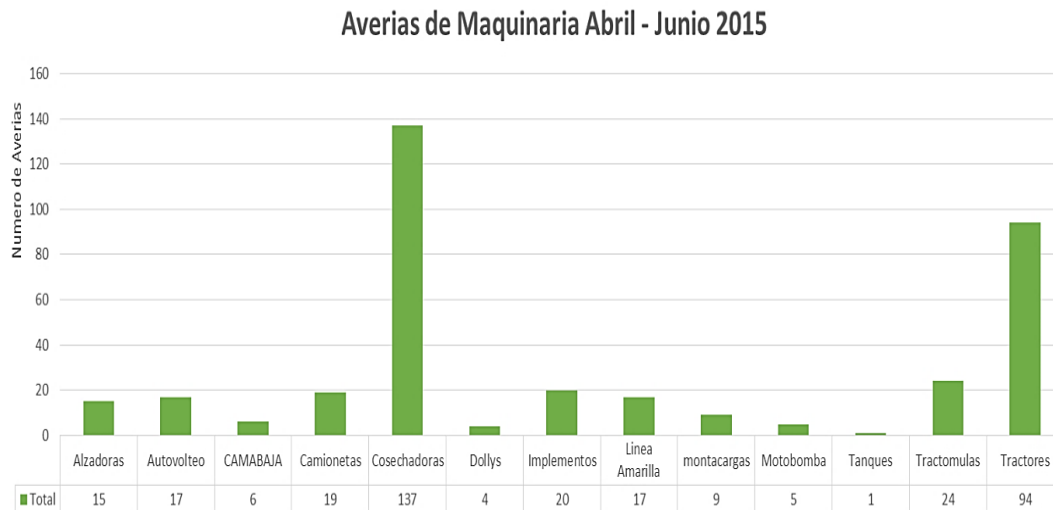
1.1. DESCRIPCIÓN

El ingenio azucarero utilizado para este estudio es una empresa agroindustrial colombiana con noventa y cinco años de experiencia en el mercado nacional e internacional en la producción y comercialización de azúcar, miel y alcohol. Actualmente es líder en la producción de azúcar en Colombia con el 22,7% de participación.

Actualmente, este ingenio azucarero está realizando la cosecha de la caña de azúcar de manera manual y mecanizada; la cosecha manual corresponde al 52% de la caña de azúcar total que ingresa a la fábrica para iniciar proceso de transformación, la cosecha mecanizada corresponde al 48% de la caña azúcar.

La cosecha mecanizada tiene como ventaja la rapidez y un menor costo por tonelada recolectada, pero al ser destructiva, sólo puede ser utilizada en cultivos de maduración concentrada. La inversión necesaria para la adquisición, el costo de mantenimiento hace que la decisión de compra deba ser cuidadosamente analizada. El corte mecanizado de caña de azúcar depende de las siguientes variables: el diseño de campo, maquina cosechadora, el operario de la máquina, el mantenimiento de la máquina y la logística el corte y transporte; con la integración adecuada de las variables anteriores se alcanza el éxito de la cosecha mecanizada.

Grafico 1. Anomalías de maquinaria presentadas durante el segundo trimestre del año 2015



Fuente: El autor con datos de área de Taller agrícola del Ingenio azucarero del Valle del Cauca

Durante este trimestre se puede evidenciar que la maquinaria que más presenta anomalías son las cosechadoras, lo que ha generado que esta línea actualmente haga uso de aproximadamente el 60% del presupuesto anual del Taller Agrícola. El Taller Agrícola se encarga de mantener la disponibilidad de la maquinaria utilizada en las labores de preparación, adecuación y cosecha tanto manual como mecanizada, lo que contribuye a que las labores descritas anteriormente cumplan con los porcentajes de entradas de caña requeridos para la fabricación de azúcar. Por tal razón el Taller Agrícola es un proceso importante dentro de la empresa, la eficiencia de sus operaciones depende el desempeño de las áreas encargadas de la cosecha de caña.

El enfoque para el diseño del plan de mantenimiento en la línea cosechadoras no se basó solo en el gran número de anomalías que presenta, también está basado en que este equipo es uno de los recurso más costosos de la empresa, no solo

por el gran costo de adquisición, sino también por el costo de mano de obra, repuestos y servicios externos los cuales representa el mayor porcentaje de gastos en el taller agrícola; por cada hora de varada de este equipo se dejan de ingresar 40 toneladas de caña a la planta de producción. Lo cual nos demuestra que el mejoramiento del mantenimiento de las cosechadoras no abarcaría solo el área de taller agrícola, sino también la producción de la empresa y la eficiencia en el área de cosecha mecanizada.

En el área de taller agrícola no solo se encuentra la falta de diseño de mantenimiento para los diferentes tipos de maquinaria que se atienden, también presenta situaciones como acumulación de materiales innecesarios, falta datos confiables para la toma de decisiones, documentación y registro de procesos claves, habito tanto de limpieza como seguridad, entre otros, estos problemas generan un impacto sobre los clientes internos ya que la demora en la entrega en la maquinaria produce retrasos en los procesos de otras áreas algunas ya nombradas anteriormente.

Actualmente el indicador de disponibilidad de maquinaria exige el 85% de disponibilidad al área de taller agrícola porcentaje en el cual las cosechadoras en su mayoría permanece debajo de este; con el diseño de este plan de mantenimiento lo que se busca es brindar la conservación de los equipos durante el mayor tiempo posible y con el rendimiento máximo que nos pueda brindar.

1.2. FORMULACIÓN

¿Cómo diseñar un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad para la línea de cosechadoras de un taller agrícola en un ingenio azucarero?

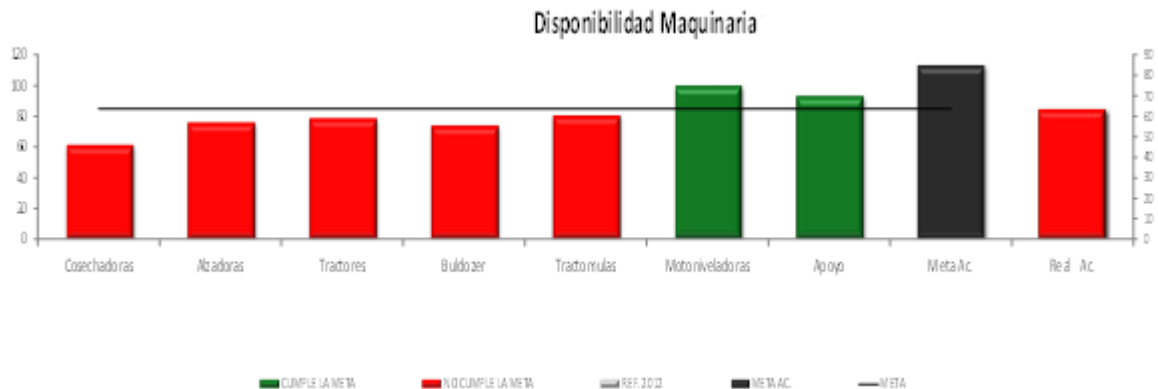
1.3. SISTEMATIZACIÓN

- ¿Cómo realizar las inspecciones de las acciones, los procedimientos, el equipo y las instalaciones del área de mantenimiento?
- ¿Qué documentos, procedimientos, instructivos y normas del departamento de mantenimiento utilizar para la toma de decisiones?
- ¿Qué análisis de deficiencias y estudios de mejora de procesos se deben emplear para iniciar la búsqueda de tareas?
- ¿Qué materiales y refacciones se deben asegurar en disponibilidad y calidad para un la realización del mantenimiento?
- ¿Qué tipo de instrumentos de medición se deben incorporar para evaluar los resultados de las actividades RCM?
- ¿Qué actividades se deben seleccionar para el manual de implementación del plan de mantenimiento?

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Actualmente el Ingenio azucarero ubicado en la paila, Valle del Cauca, maneja en su taller de maquinaria agrícola un programa de mantenimiento correctivo y un plan de mantenimiento preventivo pobre, el cual a pesar de existir no ha sido capaz de asegurar la confiabilidad de los equipos involucrados, esto se evidencia a través de su indicador de disponibilidad (Grafico 2), el cual nos muestra como la mayoría de maquinaria no cumple con las metas propuestas, también nos demuestra como la línea crítica del taller agrícola es la línea de cosechadoras, debido a que esta es la que presenta la disponibilidad más baja y mayor número de daños y anomalías lo cual se puede observar en el grafico 1, esto se debe a la falta de planeación y control en los mantenimientos.

Grafico 2. Disponibilidad de maquinaria presentada durante el segundo trimestre del año 2015



Fuente: El autor con datos de área de Taller agrícola del Ingenio Azucarero del Valle del Cauca

Los equipos de la línea crítica deben brindar una eficaz confiabilidad, ya que este tipo de maquinaria es indispensable para la cosecha de caña de azúcar, por lo

cual necesita un programa de mantenimiento que permita disminuir las posibles fallas aumentando la disponibilidad, por lo cual se plantea la necesidad de aplicar un programa de mantenimiento basado en Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).

El RCM brinda confiabilidad, desde el mismo momento que el equipo está funcionando, sin tener que esperar una parada por daño, además de garantizar adecuados y eficientes procedimientos estandarizados de mantenimiento con el fin de asegurar el trabajo realizado por cada integrante del departamento de mantenimiento.

Con la estrategia de mantenimiento RCM el Ingenio Azucarero, especialmente el Taller Agrícola, pretende reducir costos de mantenimiento, implementar procedimientos estandarizados para la línea crítica, reducir el tiempo de mantenimiento y aumentar la eficiencia de los equipos y por consiguiente elevar la disponibilidad. Además esta estrategia servirá de guía para la implementación del RCM en todas las líneas del taller agrícola.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para las maquinas cosechadoras de caña, disminuyendo los costos de mantenimiento e incrementando la disponibilidad de operación.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un diagnóstico inicial de la maquinaria en la cuales se registren la características físicas y operacionales necesarias para el diseño del plan de mantenimiento.
- Analizar las fallas de las cosechadoras mediante la metodología RCM, identificando cuales son los modos de falla que afectan el cumplimiento de las expectativas de la maquinaria.
- Diseñar el plan de mantenimiento para las cosechadoras
- Realizar validación del proyecto.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO TEÓRICO

4.1.1 Mantenimiento centrado en la confiabilidad. El mantenimiento centrado en confiabilidad o RCM, fue desarrollado especialmente por la industria de aviación civil hace más de 30 años. A través de los años el RCM se ha utilizado para diferentes empresas alrededor del mundo, desde grandes empresas petroquímicas hasta las fuerzas armadas del mundo para determinar las tareas de mantenimiento de sus equipos.

El RCM está basado en muchos conceptos de mantenimiento que se creían correctos, pero a medida del tiempo se encontró que estaban errados. En algunos casos, esta clase de conceptos se convierten peligrosos; uno de los errores considerado en estos conceptos es el de creer que a medida que el equipo envejece produce más fallas, esto se demostró falso. En los siguientes conceptos se explicará a más profundidad el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad y sus etapas de evolución.

4.1.1.1 Funciones y parámetros de funcionamiento. El primer paso en el RCM es determinar las funciones de cada equipo en su contenido operacional, con los parámetros funcionales deseados, lo que los usuarios esperan que realicen los equipos; se dividen en 2 categorías:

Funciones Primarias, resumen el porqué de la adquisición del equipo. En esta se describen temas como la velocidad, producción, capacidad de almacenaje, calidad de producto y servicio al cliente.

Funciones Secundarias, se describen las necesidades de los usuarios como son área de seguridad, control, contención, confort, integridad estructural, economía, protección, eficiencia operacional, entre otros.

4.1.1.2 Fallas Funcionales. Son aquellas que ocurren cuando: el activo no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro aceptable de funcionamiento que el usuario considere aceptable. En este término se da a entender todas las fallas parciales que tenga el equipo, esto quiere decir aquellas fallas las cuales el equipo funciona de una manera inaceptable.

4.1.1.3 Modos de Falla. Son aquellos que incluyen los que han ocurrido en equipos iguales o similares operando en las mismas actividades, fallas que se están previniendo con mantenimientos existentes y las fallas probables que no han ocurrido pero son consideradas como posibles.

4.1.1.4 Efectos de Falla. Proceso el cual consiste en listado de los efectos de falla, que se describen lo que ocurre con cada modo de falla. Esta descripción debe contener toda la información necesaria para apoyar la evaluación de las consecuencias de la falla.

4.1.1.5 Consecuencia de la Falla. En el RCM se considera de mayor importancia las consecuencias de las fallas que sus características técnicas, las consecuencias se dividen en 4 grupos los cuales son:

Consecuencia de fallas ocultas: las fallas ocultas no tienen un impacto directo, pero exponen a la organización a fallas múltiples con consecuencias serias y hasta catastróficas. (La mayoría están asociadas a sistemas de protección sin seguridad inherente)

Consecuencias ambientales y para la seguridad: una falla tiene consecuencias para la seguridad si es posible que cause daño o la muerte a alguna persona. Tiene consecuencias ambientales si infringen alguna normativa o reglamento ambiental tanto como corporativo como regional o internacional.

Consecuencias Operacionales: *una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (cantidad, calidad del producto, atención al cliente o costos operacionales además del costo directo de la reparación).*

Consecuencias No-Operacionales: *las fallas que caen en esta categoría no afectan a la seguridad ni la producción, solo implican el costo directo de la reparación.”¹*

4.1.1.6 Beneficios del RCM. La implementación del RCM debe llevar a equipos más seguros y confiables, reducciones de costos (directos e indirectos), mejora en la calidad del producto, y mayor cumplimiento de las normas de seguridad y medio ambiente. El RCM también está asociado a beneficios humanos, como mejora en la relación entre distintas áreas de la empresa, fundamentalmente un mejor entendimiento entre mantenimiento y operaciones.

4.1.1.7 Normas SAE JA 1011 y 1012. En lo referente a la Norma SAE JA 1011, se dice que esta no presenta un proceso RCM estándar. Su título es: “Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad”. Este estándar muestra criterios con los cuales se puede comparar un proceso. Si el proceso satisface dichos criterios, se lo considera un “proceso RCM”, caso contrario no lo es. (Esto no significa necesariamente que los procesos que no cumplan con el estándar SAE RCM no resulten válidos para la formulación de estrategias de mantenimiento. Sólo quiere decir que no se le debe aplicar el término RCM a los mismos.)

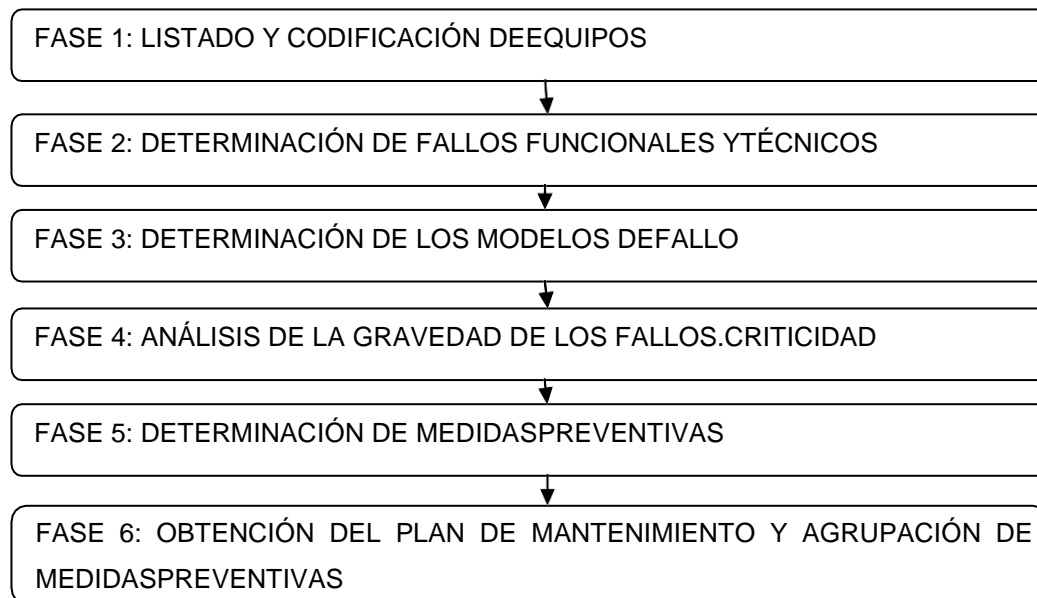
Por su parte, en la norma SAE JA 1012, se establece que es una guía para la norma del RCM, pero no intenta ser un manual ni una guía de procedimientos para realizar el RCM. Aquellos que desean aplicar RCM están seriamente invitados a

¹ MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Traducido por Ellmann, Suerio y Asociados. Español Ed. Aladon LLC. 2004. p 11. ISBN 09539603-2-3

estudiar la materia en mayor detalle, y a desarrollar sus competencias bajo la guía de Profesionales RCM experimentados. (Moubray, 2000)

4.1.1.8 Fases de desarrollo del RCM. El desarrollo del RCM está compuesto por siete fases

Grafico 1. Fases de desarrollo del RCM

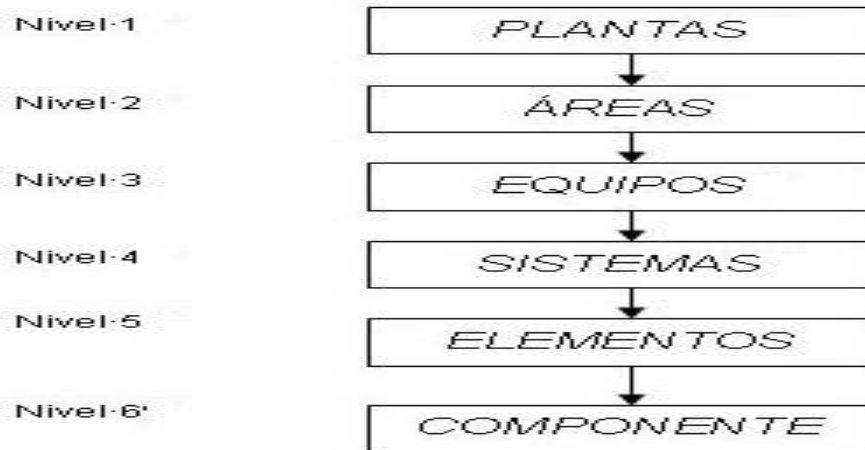


Fuente: Jhon Moubray, Mantenimiento centrado en la confiabilidad

4.1.1.8.1 Fase 1: Listado y codificación de equipos

El primer problema que se plantea al intentar realizar un análisis de fallas según la metodología de RCM es elaborar una lista ordenada de los equipos según el alcance establecido para el mismo. Esta lista no debe ser una simple lista en la que se enlisten los equipos y maquinaria sino que debe ser una lista estructurada en la que se establezcan las relaciones de dependencia de cada uno de los ítems con los restantes.

En una planta industrial se pueden identificar los siguientes niveles en el momento elaborar la lista estructurada de equipo y maquinaria, como se muestra en la Figura, en la que se plantea que se debe partir de lo general que es la planta o nivel uno para llegar a lo particular que son los componentes que es el nivel 6.



Una empresa puede tener una o varias plantas de producción, cada una de las cuales puede estar dividida en diferentes zonas o áreas funcionales. Estas áreas pueden tener en común la similitud de sus equipos, una línea de producto determinada o una función. Cada una de estas áreas está formada por un conjunto de equipos, iguales o diferentes, que tienen una entidad propia. Cada equipo, a su vez, está dividido en una serie de sistemas funcionales, que se ocupan de una misión. Los sistemas a su vez se descomponen en elementos y los componentes son partes más pequeñas de los elementos, y son las partes que habitualmente se sustituyen en una reparación.

4.1.1.8.2 Fase 2: Determinación de fallas funcionales y técnicas

Una falla es la incapacidad de un ítem para cumplir alguna de sus funciones. Si se realiza correctamente el listado de funciones, es muy fácil determinar las fallas:

Se tendrá una posible falla por cada función que tenga el ítem (sistema, subsistema o equipo) y no se cumpla.

Puede ser conveniente hacer una distinción entre fallas funcionales y fallas técnicas. Se define como falla funcional aquella falla que impide al sistema en su conjunto cumplir su función principal. Naturalmente, son los más importantes.

Las fallas técnicas afectan tanto a sistemas como a subsistemas o equipos. Una falla técnica es aquel que, no impidiendo al sistema cumplir su función, supone un funcionamiento anormal de una parte de este. Estas fallas, aunque de una importancia menor que las fallas funcionales, suponen funcionamientos anormales que pueden tener como consecuencia una degradación acelerada del equipo y acabar convirtiéndose en fallas funcionales del sistema.

Las fuentes de información para determinar los fallos son muy diversas. Entre las principales se encuentran las siguientes: consulta al histórico de averías, consultas al personal de mantenimiento y de producción y estudio de los diagramas lógicos y funcionales de la planta.

4.1.1.8.3 Fase 3: Determinación de los modelos de falla. Una vez determinados todas las fallas que pueden presentar un sistema, un subsistema o uno de los equipos significativos que lo componen, deben estudiarse los modos de falla. Se podrá definir el modo de falla como la causa primaria de una falla, o como las circunstancias que acompañan una falla concreta.

Cada falla, funcional o técnica, puede presentar, múltiples modos de falla. Cada modo de falla puede tener a su vez múltiples causas, y estas a su vez otras causas, hasta llegar a lo que se denomina las causas raíz.

No obstante, la experiencia demuestra que si se trata de hacer un estudio tan exhaustivo, los recursos requeridos son excesivos. El análisis termina abandonándose con pocos avances. Por lo tanto, es importante definir con qué grado de profundidad se van a estudiar los modos de falla, de forma que el estudio

sea abordable y técnicamente factible. Es aconsejable estudiarlos modos de falla y causas primarias de estas fallas, y no seguir profundizando.

4.1.1.8.4 Fase 4: Análisis de la gravedad de las fallas. El siguiente paso es determinar los efectos de cada modo de falla y, una vez determinados, clasificarlos según la gravedad de las consecuencias.

La primera pregunta a responder en cada modo de fallo es: ¿Qué pasa si ocurre? Una sencilla explicación de lo que sucederá será suficiente. A partir de esta explicación, estaremos en condiciones de valorar sus consecuencias para la seguridad y el medio ambiente, para la producción y para el mantenimiento.

Consideraremos tres posibles casos: que la falla sea crítica, que la falla sea importante o que sea tolerable.

En lo referente a la seguridad y al impacto medioambiental de la falla, se considera que la falla es crítica, si existen ciertas posibilidades de que pueda ocurrir, y ocasionar un accidente grave, bien para la seguridad de las personas o bien para el medioambiente. Se considera que es importante si, aunque las consecuencias para la seguridad y el medioambiente fueran graves, la probabilidad de que ocurra el fallo es baja. Por último, se considera que la falla es tolerable si tiene poca influencia en estos dos aspectos.

En cuanto a la producción, podemos decir que una falla es crítica si supone una parada de planta, una disminución del rendimiento o de la capacidad productiva, y además, existe cierta probabilidad de que la falla pudiera ocurrir. Si la posibilidad es muy baja, aunque pueda suponer una parada o afecte a la potencia o al rendimiento, la falla debe ser considerada como importante. Y por último, la falla será tolerable si no afecta a la producción, o lo hace de modo despreciable.

Desde el punto de vista del mantenimiento, si el costo de la reparación (de la suma de la falla más otras fallas que pudiera ocasionar) supera una cantidad

determinada, la falla será crítica. Será importante si está en un rango inferior y será tolerable por debajo de cierta cantidad.

Para que una falla sea crítica, debe cumplir alguna de estas condiciones:

- Que pueda ocasionar un accidente que afecte a la seguridad o al medioambiente, y que existan ciertas posibilidades de que ocurra
- Que suponga una parada de planta o afecte al rendimiento o a la capacidad de producción.
- Que la reparación de la falla más las fallas que provoque este (fallas secundarias) sea superior a cierta cantidad.

Para que una falla sea importante:

- No debe cumplir ninguna de las condiciones que la hagan crítica. Además debe cumplir alguna de estas condiciones:
- Que pueda ocasionar un accidente grave, aunque la probabilidad sea baja.
- Que pueda suponer una parada de planta, o afecte a la capacidad de producción y/o rendimiento, pero que probabilidad de que ocurra sea baja.
- Que el costo de reparación sea medio.

Para que una falla pueda ser considerada tolerable:

No debe cumplir ninguna condición que le haga ser crítico o importante, y además, debe tener poca influencia en seguridad y medioambiente, además de no afectar la producción de la planta y tenga un costo de reparación bajo.

4.1.1.8.5 Fase 5: Determinación de medidas preventivas

Determinados los modos de falla del sistema que se analiza y clasificados estos modos de falla según su criticidad, el siguiente paso es determinar las medidas preventivas que permiten evitar la falla y minimizar sus efectos. Desde luego, este es el punto fundamental de un estudio RCM.

Las medidas preventivas que se pueden tomar son de cinco tipos: tareas de mantenimiento, mejoras, formación del personal, modificación de instrucciones de operación y modificación de instrucciones de mantenimiento. Es aquí donde se ve la enorme potencia del análisis de fallas: no solo se obtiene un conjunto de tareas de mantenimiento que evitaren estas fallas, sino que además se obtendrán todo un conjunto de otras medidas, como un listado de modificaciones, un plan de formación, una lista de procedimientos de operación necesarios. Y todo ello, con la garantía de que tendrán un efecto muy importante en la mejora de resultados de una instalación.

4.1.1.8.6 Fase 6: Obtención del plan de mantenimiento y agrupación de medidas preventivas.

Determinadas las medidas preventivas para evitar los fallos potenciales de un sistema, el siguiente paso es agrupar estas medidas por tipos (tareas de mantenimiento, mejoras, procedimientos de operación, procedimientos de mantenimiento y formación), lo que luego nos facilitara su implementación.

El resultado de esta agrupación es:

- Plan de Mantenimiento lo componen el conjunto de tareas de mantenimiento resultante del análisis de fallos.
- Lista de mejoras técnicas a implementar, tras el estudio, se tendrá una lista de mejoras y modificaciones que son convenientes realizar en la instalación. Estas mejoras estarán condicionadas a la disponibilidad de recursos de la planta.
- Capacitación de personal las actividades de formación determinadas estarán divididas normalmente en formación para personal de

mantenimiento y formación para personal de operación. En algunos casos, es posible que se sugiera formación para contratistas, en tareas en que estos están involucrados.

- Lista de Procedimientos de operación y mantenimiento a modificar se habrá generado una lista de procedimientos a elaborar o a modificar que tienen como objetivo evitar fallos o minimizar sus efectos. Habrá un tipo especial de procedimientos, que serán los que hagan referencia a medidas provisionales en caso de falla.
- Análisis de criticidad para las fallas. Es la identificación por medio de valores numéricos, de los riesgos que tienen las fallas en el momento en que se presentan. Establece una serie de valores como herramientas para la estimación de cada factor asignándole diferentes pesos con base en las condiciones de operación, de ambiente y de seguridad que posean cada equipo o componente en estudio.
 - Índice de riesgo o número de prioridad de riesgo NPR (criticidad). Este índice muestra en qué sentido es importante cada falla, la NASA² aporta dos documentos que sirven como base para estimar la criticidad de cada falla, (tabla 1 y tabla 2), el NPR está definido por la siguiente expresión:

$$\text{NPR} = \text{F.G}$$

- Gravedad o severidad G Se entiende severidad como cual grave puede ser la interrupción o falla de la función del activo. La tabla 1 se usa para determinar la severidad.

² National and Aeronautics Space Administration.

Tabla 1. Severidad de las fallas.

<i>severidad</i>		
Ran	Efecto	comentario
1	Ninguno	<i>La falla no tendrá efecto en el ambiente, la seguridad y la función del sistema</i>
2	muy leve	<i>Perturbación menor funcionamiento posible acción correctiva durante el funcionamiento</i>
3	Leve	<i>Igual a la anterior pero con una acción correctiva que dura un poco más</i>
4	Entre Leve y moderad	<i>Perturbación menor, probabilidad de reacomodar la función del sistema o demora del proceso</i>
5	Moderado	<i>Demora del 100% del sistema o reacomodación total</i>
6	Entre moderado y alto	<i>Se pierde una parte importante de la función del sistema, demora en la reparación</i>
7	Alto	<i>Alta pérdida de la función del sistema, demoras mayores para restaurar el funcionamiento del sistema</i>
8	Muy alto	<i>Se pierde función, gran demora en la reparación</i>
9	Riesgoso	<i>Inconvenientes graves en cuanto a seguridad, salud y ambiente, la falla puede ocurrir sin advertencia previa.</i>

Tomado de: ((NASA), 2000)

- **Frecuencia o probabilidad F** Determina la facilidad con la que puede presentarse la falla.

La información de registro de fallas se obtiene del sistema de información SIP y de los datos recolectados en campo, para un periodo de tiempo de 2 meses abril y mayo de 2015, En donde se registra la falla, la fecha y hora, solo se tomaron en cuenta las paradas imprevistas del equipo.

Inicialmente se puede cuantificar por medio de la tabla 2, utilizada también en las instalaciones y equipos de la NASA. En este caso se tienen las estadísticas de las fallas. A partir de estas se determinan la frecuencia exacta de ocurrencia, con base en un total de fallas que puede ser mensual, anual o durante un periodo definido de tiempo. Se sugiere escalar entonces los valores en base al total de las fallas y a la tabla 2

Tabla 2. Probabilidad de ocurrencia de fallas.

Tabla de probabilidad

Ran	probabilid	Comentar
1	1/10000	Probabilidad remota, no se espera la falla
2	1/5000	Probabilidad baja
3	1/2000	Probabilidad baja
4	1/1000	Ocasional
5	1/500	Moderada
6	1/200	Moderada
7	1/100	Alta
8	1/50	Alta
9	1/20	muy alta

Tomado de: ((NASA), 2000)

- El NPR tiene una tabla de peso relativo de cada fallo según sea el producto de (F.G) aporta un valor que estima el peso de cada fallo en la tabla 3 se da este peso relativo.

Tabla 3. NPR peso relativo.

<i>Componente del NPR</i>	<i>Clasificaci</i>	<i>Peso</i>
<i>Índice de riesgo NPR</i>	Bajo	<i>1 a 5</i>
	Medio	<i>5 a 10</i>
	Alto	<i>10 a</i>
	<i>Muy Alto</i>	<i>20 a</i>

Tomado de: ((NASA), 2000)

4.1.2. Ciclo PHVA. Dado a conocer por Edwards Deming en la década de los 50, las siglas de este ciclo significa: Planear, Hacer, Verificar y Actuar; esta herramienta es una de las principales a la hora de buscar un mejoramiento continuo y es muy utilizada por los sistemas de gestión de la calidad, por su dinamismo esta herramienta puede ser utilizada en todos los procesos de la organización.

4.1.2.1 Planificar. En esta etapa se definen los objetivos y como lograrlos, de acuerdo a las necesidades del cliente. En esta etapa del ciclo es donde se deben escuchar opiniones de trabajadores de todos los niveles de organización, esta etapa es la más importante ya que de la planificación depende que los resultado se han confiables.

4.1.2.2 Hacer. Es ejecutar lo planeado, ejecutar los objetivos previstos mediante el seguimiento y medición de los procesos, verificando q estén cumpliendo los objetivos específicos del tema que se busca mejorar.

4.1.2.3 Verificar. En esta etapa comprobamos que se hayan ejecutado los objetivos previstos mediante el seguimiento y medición de los procesos, confirmando que estos estén acorde con las políticas y a toda la planeación inicial.

4.1.2.4 Actuar. En este punto se tratan de hacer las ultimas correcciones pertinentes y también se realiza la formación y capacitación que se requiera para el control de realizado.

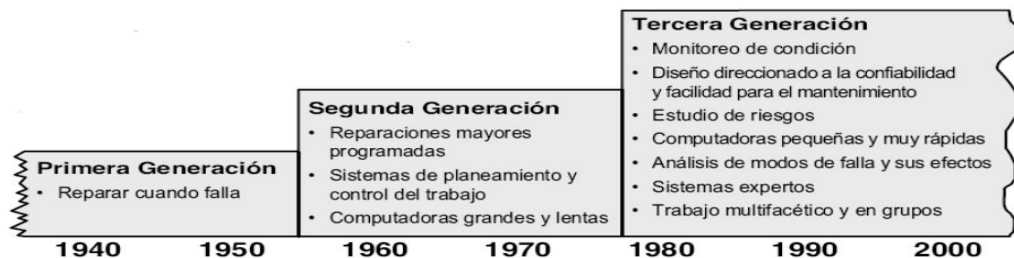
4.2 MARCO CONCEPTUAL

Mantenimiento centrado en la confiabilidad. El RCM, fue desarrollado especialmente por la industria de aviación civil hace más de 30 años. A través de los años el RCM se ha utilizado para diferentes empresas alrededor del mundo, desde grandes empresas petroquímicas hasta las fuerzas armadas del mundo para determinar las tareas de mantenimiento de sus equipos.

El RCM está basado en muchos conceptos de mantenimiento que se creían correctos, pero a medida del tiempo se encontró que estaban errados. En algunos casos, esta clase de conceptos se convierten peligrosos; uno de los errores considerado en estos conceptos es el de creer que a medida que el equipo envejece produce más fallas, esto se demostró falso. En los siguientes conceptos se explicará a más profundidad el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad y sus etapas de evolución.

El mantenimiento centrado en confiabilidad “un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual”³ esta es la definición formal del RCM. El RCM ha tenido una evolución en 3 diferentes generaciones descritas a continuación:

Imagen 2. Generaciones del RCM



Fuente: Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

³ MOUBRAY. Op. Cit., p. 06.

- Primera Generación. Esta generación inicia en la Segunda Guerra Mundial. En ese momento de la historia las empresas no se encontraban totalmente mecanizadas, por lo que los tiempos de varadas de las maquinarias no eran de gran importancia. Esto quiere decir que la prevención de las fallas no era de gran importancia ni prioridad para los gerentes. Como resultado de esto no se veía la necesidad de un mantenimiento sistemático, mayor a la lubricación y limpieza del equipo. Se necesitaban menos habilidades para realizar el mantenimiento que hoy en día.
- Segunda Generación. Durante la Segunda Guerra Mundial todo tuvo un gran cambio. La guerra aumento la demanda de todos los tipos de bienes, al igual que decrecía el número de trabajadores en las industrias, en este punto se vio la importancia de la mecanización. En los años 50 se ve un aumento en calidad y complejidad de todo tipo de máquinas. La industria empieza a estar en manos de ello.

Al crearse esta dependencia, se evidencio la importancia de las paradas de maquinaria. En este punto empezó el cuidado y prevención de fallas de las mismas. Dando lugar al inicio del *mantenimiento preventivo*. En los 60 los mantenimientos consistían en reparaciones grandes cada cierto intervalo de tiempo. Esto llevo al crecimiento en los costos por operación, lo que termino en la creación de los *sistemas de planeamiento y control de mantenimiento*.

- Tercera Generación. A partir de los 60 se han dado muchos cambios en la industria estos cambios de han clasificados en *nuevas expectativas, nuevas investigaciones, nuevas técnicas*.
- ✓ NUEVA EXPECTATIVA; tiempo de parada en maquina afecta la producción, los costos de operación y el servicio al cliente; la confiabilidad y

la disponibilidad son factores claves; los parámetros de calidad no se deben ver afectados por la automatización; por último y no menos importante el medio ambiente y la seguridad.

- ✓ NUEVAS INVESTIGACIONES; la industria en general se centra en prestar mucha atención para hacer las tareas de mantenimiento correctamente, pero es más necesario está seguro que los trabajos que van hacer se han los correctos y necesarios.
- ✓ NUEVAS TECNICAS; Herramientas de soporte para la toma de decisiones, como estudio de riesgo, análisis de falla y sus efectos; Nuevos métodos de mantenimiento, tal como el monitoreo de condición; Diseño de equipos, con un mayor énfasis en la confiabilidad y facilidad para el mantenimiento; Un drástico cambio en el modo de pensar la organización.

El RCM aplicado correctamente logra grandes mejoras en la efectividad del mantenimiento y a en gran parte lo logra demasiado rápido. El proceso de RCM en marca las siete preguntas básicas las cuales nos la pauta para la correcta implementación del plan de mantenimiento de centrado en la confiabilidad; en la práctica el personal de mantenimiento no puede responder todas las preguntas, para esto es necesario contar con el apoyo de operadores y personal a cargo de los equipos.

Las preguntas básicas del RCM son:

1. ¿Cuáles son las funciones y parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
2. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?

4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
5. ¿En qué sentido es importante cada falla?
6. ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

Los análisis de RCM aplicados correctamente brindan tres resultados visibles:

1. Planes de mantenimientos definidos por el departamento de mantenimiento
2. Procedimientos de operación revisados, para los operadores del activo
3. Lista de cambios en los diseños de los activos, manera de operación y lidiar con situaciones en las que el mismo no brinda el funcionamiento deseado

4.3 MARCO DE ANTECEDENTES

Al final de 1950. La industria aeronáutica estaba pasando por una mala etapa en la cual los accidentes por despegues están superando los 60 accidentes por mes, lo cual se puede calcular como dos accidentes de aviones por día. Esta era en su gran mayoría fallas mecánicas en los equipos, en este punto la industria vio la necesidad de ver más allá del mantenimiento basado en las recomendaciones de los fabricantes.

El RCM fue creado en los años sesenta, los resultados de esta filosofía fueron sorprendentes, llegando a convertirse en la herramienta escogida por las fuerzas militares norteamericanas y la industria nuclear; a finales de los setenta e inicios de los 80's, las empresas de diferentes sectores comerciales en diferentes países decidieron acoger esta filosofía, en los Estados Unidos fue acogida con pequeños cambios.

El mantenimiento centra en la confiabilidad tiene su nombre partiendo de la idea que "RCM se llama Mantenimiento centrado en la Confiabilidad porque reconoce que el mantenimiento no puede hacer más que asegurar que los elementos físicos continúan consiguiendo su capacidad incorporada confiabilidad inherente"⁴. El RCM debe asegurar el mantenimiento de los equipos, lo cual se refiere a que se debe sostener o mejorar la situación actual ciertos o todos equipos de la planta para obtener una mayor disponibilidad de equipos en situaciones normales de trabajo.

A modo de conclusión el ingeniero mecánico Carlos Mario Pérez escribió "Si el RCM se usa correctamente para volver a evaluar los requisitos de mantenimiento de los equipos existentes, transformará ambos requisitos y la forma en que se percibe la función del mantenimiento como operación total. El resultado es un

⁴ SOPORTE & CIA LTDA. Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) [En línea]. http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos_rcm_archivos/RCM2%20EXPLICACION.pdf [citado en 12 de agosto de 2015]

mantenimiento menos costoso, más armonioso y más eficaz.”⁵. De lo cual es de entender que un mantenimiento basado en RCM no puede llegar a conseguir grandes logros para la gerencia del mantenimiento y para la resolución de problemas en ciertos grupos de equipos que nos pueden estar ocasionando daños críticos y por tal desembolsando grandes costos por las reparaciones correctivas constantes.

⁵ Ibíd., p. 22

4.4 ESTADO DEL ARTE

En cualquier proceso de investigación es necesario seguir diversos pasos, todos ellos fundamentales, para abordar cualquier problema. Uno de ellos es el estado del arte, cuya elaboración es necesaria para afianzar la formulación del problema o tema investigativo, aunque generalmente se inicia cuando se está planteando el problema. A continuación se presentan los trabajos de grado, artículos y libros utilizados para el planteamiento de este problema.

4.4.1 Desarrollo de trabajos de grado sobre mantenimiento. Se han desarrollado una serie de trabajos de grado que permiten desde cualquier punto de vista del conocimiento, obtener beneficios y desarrollar así el proceso de gestión de mantenimiento. A continuación se relacionan los trabajos de grado relacionados con este trabajo de grado, los cuales fueron consultados en el sistema informático de la biblioteca Néstor Grajales López y base de datos de diferentes universidades, a continuación se relacionan los trabajos de grado relacionados con este trabajo de grado.

Título: Diseño de un programa de mantenimiento productivo total e implementación de la primera fase para el área taller industrial del ingenio pichichi s.a.

Autor: Cristhian Pabel Londoño Rengifo

Año: 2012, Unidad Central del Valle del Cauca

Proyecto realizado en el Taller industrial del Ingenio Pichichi S.A. para evitar la subcontratación a terceros para el mecanizado de piezas, además para la disminución de tiempo. La implementación del programa TPM se implementara para lograr un mayor grado de eficiencia en los equipos de trabajo lo que permitirá mayor calidad en los mecanizados realizados y en el tiempo de entrega, además de generar un mayor compromiso por parte de los colaboradores del área.

Título: Plan para la implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para plantas de concreto en proyectos del ICE.

Autor: Randall Rojas Barahona

Año: 2010, Universidad para la Cooperación Internacional

Proyecto el cual me permitir conocer la elaboración del manual de RCM, en donde se incluyan listas de chequeo diario para el operador, así como mejorar los instructivos de mantenimiento preventivo actuales, es necesario incluir listas de repuestos y consumibles requeridos en el proceso de RCM, a fin de garantizar que la planta continúe trabajando dentro de su contexto operacional actual.

Título: Aplicación de técnicas de mantenimiento centrado en la confiabilidad a máquinas de colada continua de planchones

Autor: Raúl Antonio Guáimaran Guzmán

Año: 2005, Universidad Simón Bolívar

En este trabajo se encuentra la relación costo – riesgo – beneficio, para lo cual la se recomienda la implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad, también se encuentra de manera detallada las herramientas necesarias para la correcta implementación del RCM en una empresa.

4.4.2 Artículos y libros. Estos utilizados para la elaboración del proyecto a desarrollar, a través de los cuales se adquirieron conocimientos útiles para el desarrollo del proyecto. Estos artículos se encontraron a través de base de datos de universidades colombianas e internacionales.

Fundamentos para la introducción del RCM a la industria azucarera.

En este trabajo se muestra como el RCM, es una herramienta para la corrección de un sistema de mantenimiento en desarrollo. Tomando como factor de riesgo principal para este tipo de producción la indisponibilidad técnica, en este trabajo se

exponen las etapas principales de la aplicación del RCM a las condiciones de la industria azucarera cubana y las consideraciones y métodos de su implementación.

Mantenimiento centrado en confiabilidad.

Este libro fue traducido al español para satisfacer la creciente demanda de conocimiento aplicable de las avanzadas técnicas de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, este libro sirve como base para gerentes de mantenimiento, producción y operaciones que desean saber que es el RCM, que logra y como es aplicado. También brinda a los estudiantes una formulación de estrategias para manejo de activos físicos.

Diseño de ejercicio docente basado en el estudio comparativo de metodologías de optimización del mantenimiento

La enseñanza basada en problemas constituye un paso importante en la educación de los ingenieros. Partiendo del desarrollo de la enseñanza activa, el artículo presenta el diseño de un ejercicio docente basado en el estudio comparativo de dos métodos de optimización del mantenimiento: categorización de equipos y mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM en inglés). La aplicación concluye con referencias comparativas de carácter técnico donde se demuestra la superioridad del segundo método. Finalmente, se establecen recomendaciones para el diseño técnico metodológico del ejercicio.

Optimización del mantenimiento preventivo utilizando las técnicas de diagnóstico integral. Fundamento teórico práctico

Se expone un método para la optimización del mantenimiento preventivo planificado (MPP) a partir de la introducción del mantenimiento basado en la condición (MBC) en las turbinas y generadores de vapor de una central termoeléctrica cubana, utilizando las técnicas de diagnóstico integral. Se presenta el estado del arte del desarrollo del mantenimiento y se caracteriza este en las

centrales termoeléctricas cubanas; además, se realiza un estudio estadístico de las fallas y se presentan varios casos de estudio con la finalidad que el lector pueda comprender la necesidad de implantación de esta técnica, cuyos únicos costos son la organización de los datos de fallas y la colaboración del personal técnico ligado a las mismas.

La evaluación de tareas en un proceso de mantenimiento centrado en la confiabilidad

El presente trabajo trata el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y los criterios asociados. Considera que la aplicación de los principios del RCM facilita la evaluación y aplicación del mantenimiento de manera racional y con valor agregado. En el artículo se abordan particularmente los criterios básicos para la evaluación de tareas de mantenimiento como parte de un proceso RCM. Propone, un diagrama de decisión y un novedoso diagrama de evaluación de tareas. En el se aclara la diferencia conceptual entre tarea de mantenimiento predictiva y la tarea de mantenimiento según condición. Las propuestas han sido establecidas de conformidad con las normas internacionales SAE JA 1011, SA JA 1012 y EN 13306.

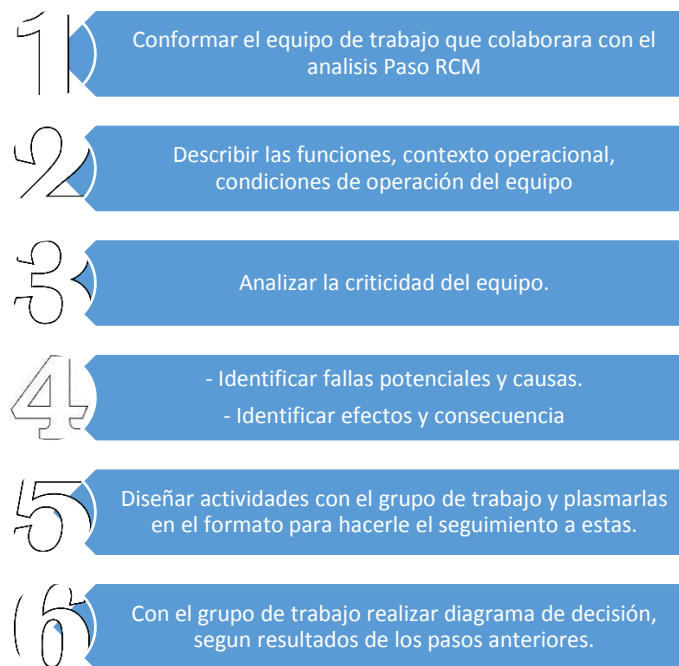
Caso de aplicación de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM, previa existencia de mantenimiento preventivo.

En este artículo se presenta el resultado de la aplicación de una metodología, mediante la cual a una empresa del orden nacional, del ramo del transporte de encomiendas, con un programa de Mantenimiento Preventivo madurado, se le aplicó un programa de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, con lo cual se modificó su Programa de Mantenimiento Preventivo, simplificándolo, y haciéndole aportes de Mantenimiento Predictivo y Mantenimiento Autónomo. El rediseño de la función Mantenimiento ha logrado reducir la Carga de trabajo de Mantenimiento, sin reducir la disponibilidad de los equipos, y en el peor de los casos conservando la Confiabilidad.

5. ANÁLISIS RCM PARA EL EQUIPO DE COSECHADORA JOHN DEERE 3520

El taller Agrícola del Ingenio Azucarero del Valle del Cauca cuenta con un área de mantenimiento de COSECHADORAS. El área debe garantizar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, ya que las cosechadoras mecánicas son un elemento esencial en el proceso productivo del ingenio. Como se sabe todo equipo o sistema que realiza algún trabajo falla en algún momento, fallas que tienen consecuencias operacionales, de seguridad y medio ambiente. Las cosechadoras no es la excepción, es por eso que la metodología RCM tiene como objetivo encontrar las causas de estas fallas y prevenirlas.

Para lograr una mejor aplicación del análisis RCM se debe seguir el siguiente diagrama, el cual da una visión general del RCM y facilita la consecución de dicho análisis.



5.1. DESCRIPCIÓN DE FUNCIONES, CONTEXTO OPERACIONAL Y CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL EQUIPO.

La John Deere 3520 es la cosechadora más vendida en la industria global. La 3520 logra pasar por las condiciones más difíciles y está equipada con el comprobado motor John Deere 4 Valve PowerTech™ 9.0L de 337 hp (375 hp opcional), diseñado específicamente para aplicaciones agrícolas. La verdadera prueba de fuerza no es lo que la cosechadora puede hacer a la potencia nominal del motor sino lo que puede hacer por encima de ésta. Cuando usted carga al máximo la máquina, puede desarrollar hasta 10% de reserva de potencia. Este músculo adicional es lo que le permite cosechar fácilmente campos con condiciones difíciles. Confiable, poderoso, y económico en combustible. El motor John Deere de 9.0 L amplía las fronteras de potencia. El paquete de enfriamiento con sistema de auto limpieza elimina la necesidad de paradas frecuentes para remover la materia extraña de las superficies de la entrada de aire, logrando mayor tiempo de operación en la zafra. La 3520 viene con una impresionante lista de especificaciones estándares y opciones disponibles que fácilmente llenará sus expectativas y necesidades.

Imagen 1 Motor Cosechadora John Deere



Fuente: <http://www.probicana.com.ar/>

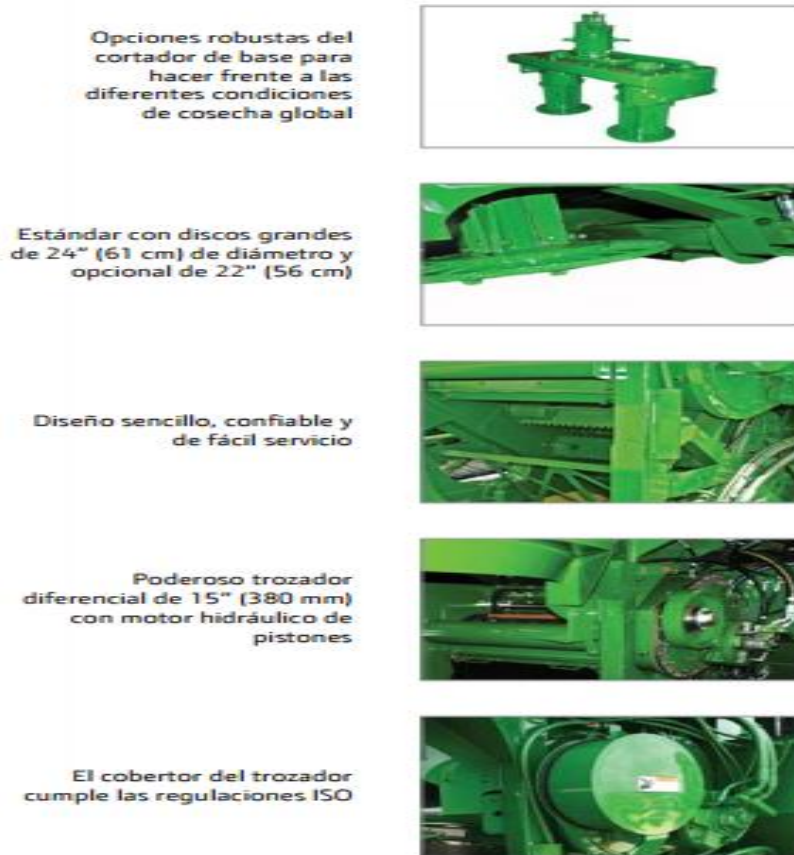
Consistentemente mantienen la orientación adecuada al suelo. El beneficio es que minimizan las pérdidas de caña entera por debajo de la punta de los divisores al variar la altura del surco y reducen el contenido de tierra. Las ruedas de flotación opcionales conservan la altura apropiada y pareja de los divisores, logrando reducir los casos de surcado de tierra y de levantamiento de los divisores por encima de caña tumbada.

Adicionalmente esta opción tiene una posición de flotación que le permite al pistón del divisor moverse libremente con la rueda siguiendo el perfil del suelo. Los sinfines exteriores opcionales con sierras laterales ayudan a cosechar caña larga, pesada y tumbada. Los sinfines interiores estándar giran para levantar y centrar la caña al cosecharla. Los exteriores giran en dirección opuesta de los interiores para apartar de la máquina la caña del surco adyacente.

Las cañas que no fueron separadas antes de llegar a las sierras laterales opcionales se cortan para que no sean arrancadas de raíz. Con la opción de ajuste hidráulico de la inclinación de los divisores de cosecha y rodillo tumbador se logra hacer un cambio de posición rápidamente sin parar, que de otra manera se tarda hasta veinte minutos. Con la punta inclinada hacia abajo se levanta caña muy acostada para asegurarnos que toda la cosecha sea alimentada hacia dentro de la máquina. En caña erecta, con la punta inclinada hacia arriba, se reduce el contenido de tierra.

El rodillo tumbador en la posición de más afuera facilita la alimentación en caña pesada y caída. Las aletas con dientes profundos de los rodillos tumbadores evitan que se arrollen las hojas de caña y enredaderas. Los rodillos tumbadores de los divisores de cosecha opcionales son de mando hidráulico y están montados en forma independiente en cada divisor. Estos rodillos ayudan a guiar suavemente, hacia el centro de la garganta de la máquina, la caña larga y que se puede arrollar, minimizando la acumulación de caña en la parte superior de los divisores.

Imagen 2 Partes del trozador y el cortador de base



Fuente: <http://www.probicana.com.ar/>

El trozador y el cortador de base están en un mismo circuito hidrostático de alta presión, impulsado por una bomba de pistones que maximiza la eficiencia y el desempeño. El cortador de base utiliza un motor hidráulico de pistones. El diseño del cortador de base es de mando central con tan solo 4 engranajes para balancear la carga y reducir el desgaste.

El uso de rodamientos inferiores lubricados con grasa reduce drásticamente o elimina las fugas de aceite. El rodillo pateador de tres aletas minimiza la entrada de tierra y la acumulación de lodo. El paso de los rodillos alimentadores es recto y se abre ampliamente para reducir el quiebre de la caña y mejorar la alimentación al trozador. Los rodillos inferiores son de gran diámetro y cuentan con paletas

profundas para mejorar la remoción de tierra y lodo. El acceso es fácil con rodamientos exteriores atornillados y amortiguadores de caucho reemplazables en los topes de los rodillos superiores.

Imagen 3 Cosechadora John Deere 3520



Fuente: <http://www.probicana.com.ar/>

La 3520 cuenta con un elevador de alta capacidad y estructura tubular que extiende la durabilidad. Los piñones superiores e inferiores reducen el desgaste y prolongan la vida de la cadena.

Las paredes altas y tablillas reversibles permiten trabajar con la caña más pesada evitando que los trozos se devuelvan. Tal y como su antecesor, las mangueras del elevador se han puesto dentro del chasis sólido aumentando la vida al mejorar la protección y minimizar la exposición.

Imagen 4 Elevador



Elevador de Alta Capacidad

- Diseñado especialmente para caña de alta producción
- Paredes altas y tabillas reversibles de 18 cm (7")
- Acumulador en el circuito del elevador
- Piñones en cada curva
- Sin eje impulsor
- Ajuste de la cadena con pistón de grasa

Extractor Primario

- Ventilador de 4 aspas y 152 cm (5') de diámetro montado directamente al eje del motor hidráulico para reducir vibraciones
- No es necesario remover el motor hidráulico para el transporte
- Nueva forma del capuchón
- Diseño exclusivo del soporte y aspas que no requiere balanceo
- Sistema de apoyo del motor hidráulico con cuatro soportes montados en cauchos mejora la estabilidad del ventilador y reduce las vibraciones dañinas
- Opera eficientemente a bajas RPM proporcionando limpieza de alta calidad y bajas pérdidas
- Sistema hidráulico eficiente con bomba de pistones de desplazamiento variable y motor de pistones

Extractor Secundario

- El diseño único permite lanzar la materia extraña lejos del transporte más eficientemente
- Giro de 360° que permite colocarlo en cualquier posición
- La velocidad ideal del ventilador permite la mejor limpieza con bajo consumo de potencia
- Deflector con ajuste hidráulico

Fuente: <http://www.probicana.com.ar/>

Un acumulador de nitrógeno en el circuito hidráulico reduce el esfuerzo en el elevador durante la operación. El diseño exclusivo de los capuchones de los extractores primario y secundario aumenta la capacidad de limpieza para satisfacer las necesidades del cliente de manera consistente, entregando la caña más limpia de la industria.

El ventilador del extractor primario más grande de la industria limpia a bajas velocidades, reduciendo el consumo de potencia y los niveles de ruido. El nuevo diseño del capuchón dirige la materia extraña con mayor inclinación hacia abajo. Esto reduce la acumulación en el paquete de enfriamiento. Las extensiones atornilladas del elevador extienden el alcance para mayores espaciamientos entre surcos. Hay disponible de 61 cm (24") para la cosechadora de orugas y de 30.5 cm (12") para ambas máquinas.

5.2. ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD Y CRITICIDAD PARA EL EQUIPO

Para el análisis de confiabilidad y criticidad del equipo se debe primero que todo hacer el registro de fallas y causas de falla (modos) para los meses de abril, mayo y junio del año 2015; la decisión de tomar estos datos se dio debió a la poca información de meses anteriores y al control que se le realizo, para esto se recurre a los datos recolectados en campo y por medio del sistema de información SAP, también con el trabajo se pudo lograr identificar cada una de las fallas y sus causas, en la tabla se enlistan un resumen del número de fallas de cada equipo.

Tabla. 4 Numero de fallas para la flota de cosechadoras JOHN DEERE 3520 en el Segundo trimestre de 2015

EQUIPOS	No DE FALLAS
35001	16
35002	27
35003	15
35004	16
35005	17
35006	11
35007	14
35010	1
35011	18
35012	4
<i>Total general</i>	139

5.2.1. Análisis de Pareto del equipo. Para seguir con el registro de datos paso seguido se registran los modos de falla asociados a cada equipo y a cada falla funcional, este registro de modos de falla es muy importante ya que permite determinar por medio de un análisis de Pareto cuáles son las fallas más relevantes de cada equipo, para el registro de estos modos de falla se contó con la ayuda del equipo de trabajo conformado por los operarios de formación y los de mantenimiento del equipo. La tabla muestra cada falla, modo de falla y frecuencia.

Tabla 5. Análisis de fallas

FALLA FUNCIONAL / MODOS DE FALLA	TOTAL
CONJUNTO DE TRANSMISIÓN	1
RACORES	1
CONJUNTO DE MOTOR	3
FUGAS DE COMBUSTIBLE	1
TUBOS DE INYECCIÓN	2
SISTEMA DE EMBRAGUE	1
PRENSA Y/O DISCO EMBRAGUE	1
SISTEMA DE SUSPENSIÓN	1
CILINDRO HCO DE LEVANTE	1
CONJUNTO DE ACCESORIO DE CONTACTO	1
RADIADOR	1
CONJUNTO DE ACCESORIO DE TRABAJO	1
CILINDROS DE GIRO	1
CONJUNTO DE CAJA CORTADORA DE BASE	12
CUCHILLAS CAJA CORTADORA D BASE	10
DISCOS DE BASE	1
ENGANCHE	1
CONJUNTO DE GIRO Y ELEVADOR	13
ARANDELAS	1
CABLES RETRACTILES	2
CINTA GUIADORA	3
MESA APILADORA	1
MOTOR HIDRÁULICO GIRO	2
PASADORES P CILINDROS HCOS.	1
RADIADOR	1
SIN SELECCIÓN	1
TABLILLAS CONDUCTOR ELEVADOR	1
CONJUNTO DE TREN DE RODAJE	2
BASTIDOR	2
IMPLEMENTOS AGRÍCOLAS	1
CILINDROS HCO DE LEVANTE	1
MECANICO	1
CADENAS TRANSPORTADORAS	1
SIN SELECCIÓN	1

<i>SISTEMA PICADOR</i>	1
SISTEMA DE A/AC	4
<i>MANGUERAS DE A/C</i>	1
<i>SENSORES DE PRESIÓN A/C.</i>	1
<i>VENTILADOR A/C.</i>	2
SISTEMA DE ALIMENTACIÓN	17
<i>CADENA CONDUCTOR</i>	2
<i>CAJAS DE BASE</i>	5
<i>CHUMACERAS ROLOS</i>	1
<i>MOTORES HCO DE LOS ROLOS</i>	3
<i>PIÑONERÍA CONDUCTOR CAÑA</i>	2
<i>POLEAS CONDUCTOR CAÑA</i>	1
<i>POLEAS SOPORTE DEL CONDUCTOR</i>	1
<i>ROLOS ALIMENTAD BASCULANTES</i>	1
<i>SISTEMA PICADOR</i>	1
SISTEMA DE DIVISORES DE COSECHA	7
<i>BUJES DIVISOR</i>	1
<i>ESTRUCTURA DIVISOR</i>	2
<i>MANGUERAS SISTEMA HIDRAULICO</i>	1
<i>PASADORES DIVISOR</i>	1
<i>SINFÍN PRINCIPAL</i>	2
SISTEMA DE LIMPIEZA	11
<i>ASPAS</i>	1
<i>BOMBA EXTRAXTOR PRIMAR.</i>	1
<i>CINTA GUIADORA</i>	1
<i>CONECTORES</i>	1
<i>ESTRUCTURA EXTRACTOR</i>	2
<i>MOTOR HCO DE EXTRACTOR</i>	1
<i>SIN SELECCIÓN</i>	1
<i>TORNILLERÍA ELEVADOR</i>	3
SISTEMA DESCOGOLLADOR	5
<i>CILINDRO HCO DE DESCOGOLLAD</i>	1
<i>CUCHILLAS DESCOGOLLADOR</i>	1
<i>MOTOR HCO DESCOGOLLADOR</i>	1
<i>MOTORES HIDRÁULICOS</i>	1
<i>TAMBOR DESCOGOLLADOR</i>	1
SISTEMA ELÉCTRICO	12
<i>ACOPLES MACHO</i>	1
<i>ADAPTADOR SENSOR INDUCTIVO</i>	1

<i>ALTERNADOR</i>	2
<i>ARRANQUE</i>	1
<i>BANCO DE SELENOIDES</i>	1
<i>CABLEADO</i>	2
<i>CONECTORES</i>	1
<i>FUSIBLE</i>	1
<i>HARNES</i>	1
<i>MANGUERAS SISTEMA HIDRAULICO</i>	1
SISTEMA HIDRÁULICO	39
<i>ACOPLES DE MARCHA</i>	2
<i>AMORTIGUADORES TRASE</i>	1
<i>CILINDRO HCO DIVISOR.</i>	1
<i>CILINDROS DE GIRO</i>	2
<i>ENFRIADOR ACEITE /EMPAQUE</i>	1
<i>FLANCHES</i>	1
<i>FUGAS DE ACEITE</i>	1
<i>MANGUERAS SISTEMA HIDRAULICO</i>	22
<i>MOTOR HIDRÁULICO</i>	4
<i>PRESIÓN DE ACEITE HCO</i>	1
<i>SIN SELECCIÓN</i>	2
<i>VÁLVULA DE FLUJO</i>	1
SISTEMA PICADOR	4
<i>CONJUNTO EMBRAGUE TROZADOR</i>	1
<i>CUCHILLAS TROZADORAS</i>	1
<i>MOTOR HCO GIRO D CAPUCHÓN</i>	1
<i>SELLOS</i>	1
Total general	137

Fuente: Propia

La tabla muestra el análisis estadístico realizado a las causas de fallas, este se hace para realizar el análisis de Pareto el cual requiere calcular los valores estadísticos de la tabla.

Tabla 6. Frecuencias para análisis de Pareto.

<i>MODOS DE FALLAS</i>	<i>FRECUENCIA</i>	<i>FRECUENCIA ACUM</i>	<i>FRECUENCIA RELATIVA</i>	<i>FRECUENCIA RELATIVA ACUM</i>
<i>ACOPLES DE MARCHA</i>	2	2	1%	1%
<i>ACOPLES MACHO</i>	1	3	1%	2%
<i>ADAPTADOR SENSOR INDUCTIVO</i>	1	4	1%	3%
<i>ALTERNADOR</i>	2	6	1%	4%
<i>AMORTIGUADORES TRASE</i>	1	7	1%	5%
<i>ARANDELAS</i>	1	8	1%	6%
<i>ARRANQUE</i>	1	9	1%	7%
<i>ASPAS</i>	1	10	1%	7%
<i>BANCO DE SELENOIDES</i>	1	11	1%	8%
<i>BASTIDOR</i>	2	13	1%	9%
<i>BOMBA EXTRAXTOR PRIMAR.</i>	1	14	1%	10%
<i>BUJES DIVISOR</i>	1	15	1%	11%
<i>CABLEADO</i>	2	17	1%	12%
<i>CABLES RETRACTILES</i>	2	19	1%	14%
<i>CADENA CONDUCTOR</i>	2	21	1%	15%
<i>CADENAS TRANSPORTADORAS</i>	1	22	1%	16%
<i>CAJAS DE BASE</i>	5	27	4%	20%
<i>CHUMACERAS ROLOS</i>	1	28	1%	20%
<i>CILINDRO HCO DE DESCOGOLLAD</i>	1	29	1%	21%
<i>CILINDRO HCO DE LEVANTE</i>	1	30	1%	22%
<i>CILINDRO HCO DIVISOR.</i>	1	31	1%	23%
<i>CILINDROS DE GIRO</i>	3	34	2%	25%
<i>CILINDROS HCO DE LEVANTE</i>	1	35	1%	26%
<i>CINTA GUIADORA</i>	4	39	3%	28%
<i>CONECTORES</i>	2	41	1%	30%
<i>CONJUNTO EMBRAGUE</i>	1	42	1%	31%
<i>TROZADOR</i>				
<i>CUCHILLAS CAJA CORTADORA D BASE</i>	10	52	7%	38%
<i>CUCHILLAS DESCOGOLLADOR</i>	1	53	1%	39%
<i>CUCHILLAS TROZADORAS</i>	1	54	1%	39%
<i>DISCOS DE BASE</i>	1	55	1%	40%
<i>ENFRIADOR ACEITE /EMPAQUE</i>	1	56	1%	41%
<i>ENGANCHE</i>	1	57	1%	42%

<i>ESTRUCTURA DIVISOR</i>	2	59	1%	43%
<i>ESTRUCTURA EXTRACTOR</i>	2	61	1%	45%
<i>FLANCHES</i>	1	62	1%	45%
<i>FUGAS DE ACEITE</i>	1	63	1%	46%
<i>FUGAS DE COMBUSTIBLE</i>	1	64	1%	47%
<i>FUSIBLE</i>	1	65	1%	47%
<i>HARNES</i>	1	66	1%	48%
<i>MANGUERAS DE A/C</i>	1	67	1%	49%
<i>MANGUERAS SISTEMA</i>	24	91	18%	66%
<i>HIDRAULICO</i>				
<i>MESA APILADORA</i>	1	92	1%	67%
<i>MOTOR HCO DE EXTRACTOR</i>	1	93	1%	68%
<i>MOTOR HCO DESCOGOLLADOR</i>	1	94	1%	69%
<i>MOTOR HCO GIRO D CAPUCHÓN</i>	1	95	1%	69%
<i>MOTOR HIDRÁULICO</i>	4	99	3%	72%
<i>MOTOR HIDRÁULICO GIRO</i>	2	101	1%	74%
<i>MOTORES HCO DE LOS ROLOS</i>	3	104	2%	76%
<i>MOTORES HIDRÁULICOS</i>	1	105	1%	77%
<i>PASADORES DIVISOR</i>	1	106	1%	77%
<i>PASADORES P CILINDROS HCO.</i>	1	107	1%	78%
<i>PIÑONERÍA CONDUCTOR CAÑA</i>	2	109	1%	80%
<i>POLEAS CONDUCTOR CAÑA</i>	1	110	1%	80%
<i>POLEAS SOPORTE DEL CONDUCTOR</i>	1	111	1%	81%
<i>PRENSA Y/O DISCO EMBRAGUE</i>	1	112	1%	82%
<i>PRESIÓN DE ACEITE HCO</i>	1	113	1%	82%
<i>RACORES</i>	1	114	1%	83%
<i>RADIADOR</i>	2	116	1%	85%
<i>ROLOS ALIMENTAD BASCULANTES</i>	1	117	1%	85%
<i>SELLOS</i>	1	118	1%	86%
<i>SENSORES DE PRESIÓN A/C.</i>	1	119	1%	87%
<i>SIN SELECCIÓN</i>	4	123	3%	90%
<i>SINFÍN PRINCIPAL</i>	2	125	1%	91%
<i>SISTEMA PICADOR</i>	2	127	1%	93%
<i>TABLILLAS CONDUCTOR</i>	1	128	1%	93%
<i>ELEVADOR</i>				
<i>TAMBOR DESCOGOLLADOR</i>	1	129	1%	94%
<i>TORNILLERÍA ELEVADOR</i>	3	132	2%	96%
<i>TUBOS DE INYECCIÓN</i>	2	134	1%	98%

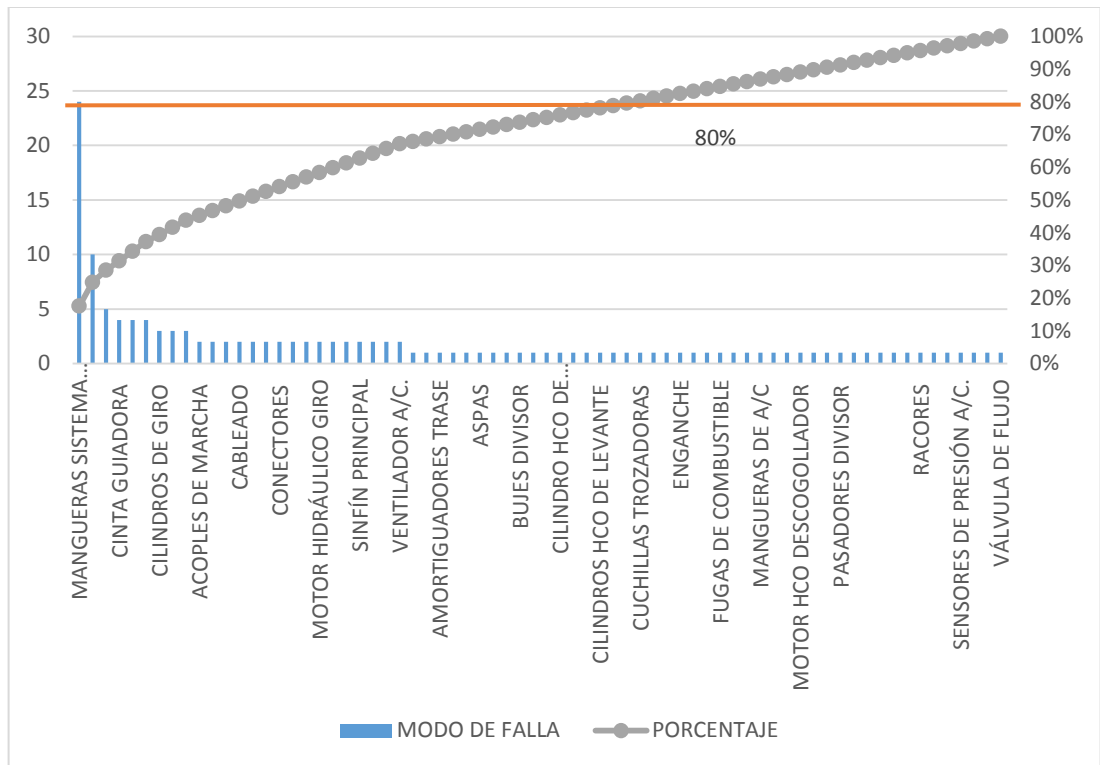
VÁLVULA DE FLUJO
 VENTILADOR A/C.
Total general

1	135	1%	99%
2	137	1%	100%
137			

Fuente: Propia.

La gráfica muestra el diagrama de Pareto en donde en el eje X muestra los modos de falla en el eje Y se cuantifican las frecuencias de cada modo de falla.

Gráfica 3. Frecuencia de modos de falla



Fuente: propia

La cuchilla trozadoras es el modo de falla asociado a las fallas funcionales que representan el 80 % de las fallas ocurridas en el periodo, estos modos de falla son los más representativos, es decir, esta falla es la que más paran el sistema productivo de la cosechadora.

5.2.2. Análisis de criticidad y severidad para el equipo. Para el análisis de criticidad se recurre a la teoría que se refiere al análisis de criticidad utilizado por la NASA en sus instalaciones y equipos, para el análisis de criticidad se utiliza la ecuación 1, que es el índice que mide la criticidad, donde F es la frecuencia de ocurrencia de las fallas que se encuentran tabulados a partir de las tablas, columna 2 respectivamente. La severidad se evalúa de la tabla 1 donde se encuentran tabulados las consecuencias de cada uno de los modos de falla que tiene un valor numérico asignado el cual asigna el peso a la severidad de la falla según sean sus consecuencias al proceso productivo. se mostrará la tabla en la cual se hace el escalamiento para el equipo

Tabla 7. Tabla de probabilidad

Tabla de probabilidad		
Rango	probabilidad	Comentario
1	1/137	Probabilidad remota, no se espera la falla
2	5/137	Probabilidad baja
3	10/137	Ocasional
4	15/137	Alta
5	20/137	Muy alta

Tabla 8. Tabla de severidad

Tabla de severidad		
Rango	efecto	comentario
1	Ninguno	La falla no tendrá efecto en el ambiente, la seguridad y la función del sistema
2	muy leve	Perturbación menor funcionamiento posible acción correctiva durante el funcionamiento
3	Leve	Igual a la anterior pero con una acción correctiva que dura un poco más
4	Entre Leve y moderado	Perturbación menor, probabilidad de recomodar la función del sistema o demora del proceso
5	Moderado	Demora del 100% del sistema o recomodación total
6	Entre moderado y alto	Se pierde una parte importante de la función del sistema, demora en la reparación
7	Alto	Alta perdida de la función del sistema, demoras mayores para restaurar el funcionamiento del sistema
8	Muy alto	Se pierde función, gran demora en la reparación
9	Riesgoso	Inconvenientes graves en cuanto a seguridad, salud y ambiente, la falla puede ocurrir sin advertencia previa.

Para cada modo de falla se asigna un valor el cual corresponde al valor que se encuentre en el límite superior de este rango donde se encuentre la falla. La criticidad es el resultado del producto de la frecuencia y la severidad.

A continuación se muestra el resumen del análisis de criticidad del equipo

Tabla 6. Resultados análisis de criticidad

MODOS DE FALLAS	FRECUENCIA	PROBABILIDAD	SEVERIDAD	CRITICIDAD	NPR
ACOPLES DE MARCHA	2	1	7	7	MEDIO
ACOPLES MACHO	1	1	4	4	BAJO
ADAPTADOR SENSOR INDUCTIVO	1	1	5	5	BAJO
ALTERNADOR	2	1	8	8	MEDIO
AMORTIGUADORES TRASE	1	1	8	8	MEDIO
ARANDELAS	1	1	4	4	BAJO
ARRANQUE	1	1	4	4	BAJO
ASPAS	1	1	8	8	MEDIO
BANCO DE SELENOIDES	1	1	6	6	MEDIO
BASTIDOR	2	1	5	5	BAJO
BOMBA EXTRAXTOR PRIMAR.	1	1	5	5	BAJO
BUJES DIVISOR	1	1	7	7	MEDIO
CABLEADO	2	1	6	6	MEDIO

CABLES RETRACTILES	2	1	6	6	MEDIO
CADENA CONDUCTOR	2	1	9	9	MEDIO
CADENAS TRANSPORTADORAS	1	1	8	8	MEDIO
CAJAS DE BASE	5	2	8	16	ALTO
CHUMACERAS ROLOS	1	1	5	5	BAJO
CILINDRO HCO DE DESCOGOLLAD	1	1	7	7	MEDIO
CILINDRO HCO DE LEVANTE	1	1	5	5	BAJO
CILINDRO HCO DIVISOR.	1	1	5	5	BAJO
CILINDROS DE GIRO	3	1	4	4	BAJO
CILINDROS HCO DE LEVANTE	1	1	4	4	BAJO
CINTA GUIADORA	4	1	6	6	MEDIO
CONECTORES	2	1	5	5	BAJO
CONJUNTO EMBRAGUE TROZADOR	1	1	4	4	BAJO
CUCHILLAS CAJA CORTADORA D BASE	10	3	8	24	MUY ALTO
CUCHILLAS DESCOGOLLADOR	1	1	8	8	MEDIO

CUCHILLAS TROZADORAS	1	1	8	8	MEDIO
DISCOS DE BASE	1	1	5	5	BAJO
ENFRIADOR ACEITE /EMPAQUE	1	1	5	5	BAJO
ENGANCHE	1	1	6	6	MEDIO
ESTRUCTURA DIVISOR	2	1	5	5	BAJO
ESTRUCTURA EXTRACTOR	2	1	7	7	MEDIO
FLANCHES	1	1	8	8	MEDIO
FUGAS DE ACEITE	1	1	7	7	MEDIO
FUGAS DE COMBUSTIBLE	1	1	6	6	MEDIO
FUSIBLE	1	1	9	9	MEDIO
HARNES	1	1	9	9	MEDIO
MANGUERAS DE A/C	1	1	7	7	MEDIO
MANGUERAS SISTEMA HIDRAULICO	24	5	9	45	MUY ALTO
MESA APILADORA	1	1	6	6	MEDIO
MOTOR HCO DE EXTRACTOR	1	1	4	4	BAJO
MOTOR HCO	1	1	8	8	MEDIO

DESCOGOLLADOR					
MOTOR HCO GIRO D CAPUCHÓN	1	1	6	6	MEDIO
MOTOR HIDRÁULICO	4	1	4	4	BAJO
MOTOR HIDRÁULICO GIRO	2	1	8	8	MEDIO
MOTORES HCO DE LOS ROLOS	3	1	4	4	BAJO
MOTORES HIDRÁULICOS	1	1	5	5	BAJO
PASADORES DIVISOR	1	1	7	7	MEDIO
PASADORES P CILINDROS HCOS.	1	1	4	4	BAJO
PIÑONERÍA CONDUCTOR CAÑA	2	1	8	8	MEDIO
POLEAS CONDUCTOR CAÑA	1	1	8	8	MEDIO
POLEAS SOPORTE DEL CONDUCTOR	1	1	9	9	MEDIO
PRENSA Y/O DISCO EMBRAGUE	1	1	5	5	BAJO
PRESIÓN DE ACEITE HCO	1	1	9	9	MEDIO

RACORES	1	1	6	6	MEDIO
RADIADOR	2	1	5	5	BAJO
ROLOS ALIMENTAD BASCULANTES	1	1	9	9	MEDIO
SELLOS	1	1	9	9	MEDIO
SENSORES DE PRESIÓN A/C.	1	1	7	7	MEDIO
SIN SELECCIÓN	4	1	9	9	MEDIO
SINFÍN PRINCIPAL	2	1	4	4	BAJO
SISTEMA PICADOR	2	1	4	4	BAJO
TABLILLAS CONDUCTOR ELEVADOR	1	1	4	4	BAJO
TAMBOR DESCOGOLLADOR	1	1	7	7	MEDIO
TORNILLERÍA ELEVADOR	3	1	8	8	MEDIO
TUBOS DE INYECCIÓN	2	1	9	9	MEDIO
VÁLVULA DE FLUJO	1	1	8	8	MEDIO
VENTILADOR A/C.	2	1	9	9	MEDIO

Fuente: propia

5.2.3. Calculo de la confiabilidad para el equipo. Se calculó la confiabilidad al equipo para una operación promedio de 10 horas.

Esta ecuación es la confiabilidad de un equipo o sistema. Es fruto de la distribución de Weillbul, los parámetros de esta ecuación beta β y eta η , estos parámetros son parámetros de forma o pendiente y característica de vida respectivamente, estos definirán de la siguiente manera para cada uno de los elementos del equipo de moldura.

El parámetro beta que es el parámetro de forma se definirá con un valor igual a 1, ya que las fallas para todos los elementos del equipo de moldura son fallas aleatorias. El parámetro eta η es la característica de vida es igual a el *tiempo promedio entre fallas (TPEF)*, cuando beta β es igual a 1.

A continuación se procede a calcular la confiabilidad para cada uno de los equipos. Debido a que las fallas durante el periodo a evaluar son muchas es muy tedioso enlistar cada una de ellas solo se listara las fallas que son menos numerosas.

Primero se calcula el *tiempo promedio entre fallas (TPEF)* y se hará el análisis estadístico de los datos. La tabla 21 muestra el análisis estadístico de las fallas en donde se calculan promedio, mediana, moda y desviación estándar muestral. El tiempo de muestra de fallas es del mes de abril a junio de 2015.

Tabla 7. Estadística de las fallas.

NUMERO DE DATOS	137
MEDIA	04:51:46
MEDIANA	6:10:00
DESVIACION	05:20:49
PROMEDIO	7:16:37
MODA	14:20:00

Fuente: Propia.

La desviación estándar enseña un valor de 5:20 minutos, el cual es un valor alto ya que el promedio es de 4:51 minutos pero es valor que concuerda con la operación de las máquinas, el valor promedio es un valor que es muy similar al tiempo promedio entre fallas TPEF que se calcula a continuación. De un total de 137 averías, recogidos de 12 cosechadoras, obtenemos los siguientes valores.

Tabla 8. Análisis de criticidad

<i>EQUIPO</i>	<i>CUENTA DE FALLAS</i>	<i>TIEMPO DE FALLA (HORAS X TRIMESTRE)</i>	<i>TIEMPO DE FALLA (HORAS MENSUAL)</i>	<i>TIEMPO MEDIO PARA REPARAR (HORAS) MTTR</i>	<i>TIEMPO MEDIO ENTRE FALLAS (HORAS) MTBF</i>
35001	16	99,33	33,11	0,725060827	135
35002	27	187,75	62,58	1,370437956	80
35003	15	132,32	44,11	0,965815085	144
35004	16	91,85	30,62	0,670437956	135
35005	17	135,73	45,24	0,990754258	127
35006	11	78,55	26,18	0,573357664	196
35007	12	67,37	22,46	0,491727494	180
35010	1	8	2,67	0,058394161	2160
35011	18	144,72	48,24	1,056326034	120
35012	4	48,83	16,28	0,356447689	540

Para el cálculo de la confiabilidad se utiliza la ecuación, la cual reemplazando los parámetros beta β y eta η por 1 y el *tiempo promedio entre fallas TPEF* respectivamente queda la ecuación:

$$F(t) = 1 - e^{-\{(t-t_0) / \eta\}^{\beta}}$$

donde:

- e = Base de los logaritmos naturales = 2.718281.....
- t = Parámetro de interés o valor en x
- to = valor en x inicial (tercer parámetro de Weibull)
- η = Vida característica
- β = Factor de forma

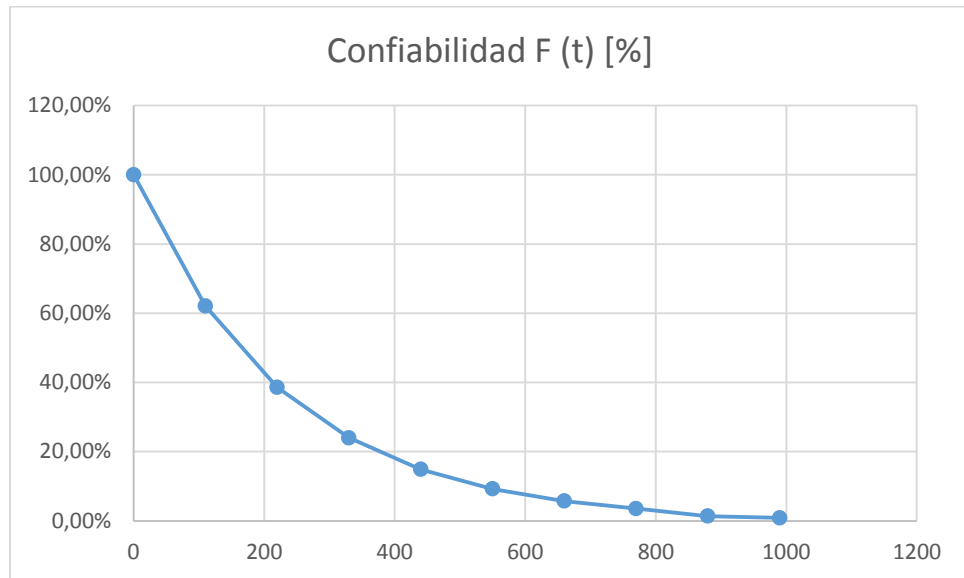
El tiempo se reemplaza por tiempos desde 0 hasta un valor arbitrario para construir la tabla 24 y posteriormente la gráfica 5.

Tabla 9. Datos para construir la gráfica de confiabilidad.

EQUIPOS	Confiabilidad $F(t)$ [%]	Tiempo [minutos]
35001	100,00%	0
35002	62,11%	110
35003	38,58%	220
35004	23,97%	330
35005	14,89%	440
35006	9,25%	550
35007	5,74%	660
35010	3,57%	770
35011	1,38%	880
35012	0,85%	990

Fuente: propia.

Gráfica 4. Confiabilidad



Fuente: propia

Como vemos la confiabilidad de los equipos muy baja, para 800 minutos de operación de las 12 máquinas se tiene un a confiabilidad 3,57 %, es decir hay una probabilidad de 3.57 % de que una cosechadora dure más de una 15 horas de trabajo.

5.3. ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de criticidad, cálculo de confiabilidad y análisis de Pareto se procede a realizar el análisis de modos de falla. La información se obtuvo del personal del área, que hacen parte del grupo de trabajo. La información se recolectada y se consigna en la hoja de información.

5.3.1. Hoja de información RCM. La hoja de información es el formato en el cual se consigna la información recopilada, como función, falla funcional, causa de falla y efectos de falla. A continuación se enlista cada uno de los diagramas de decisión para cada los equipos.

Tabla 10 Hoja de información RCM

FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CODIGO	EFECTOS DE FALLA	
SISTEMA HIDRAULICO	1	FUGA POR ADAPTADOR DE CILINDRO	DAÑO EN EL ORRING	1A1	FUGA DE ACEITE
	2	RUPTURA DE MANGUERAS	DAÑO EN EL ORRING	2A1	FUGA DE ACEITE
			ROSE DE MANGUERAS CON CHASIS	2A2	CIZALLAMIENTO DE MANGUERA
			DESGASTE-VIDA UTIL	2A3	CIZALLAMIENTO DE MANGUERA
	3	FUGA POR LA FOSA DEL ACOPLA	DESAJUSTE POR EL CONSTANTE CHOQUE CON LA CAÑA	3A1	RUPTURA DE MANGUERA
	4	FUGA DE ACEITE POR MANGUERA DE MARCHA LADO DERECHO	DESGRAFO MANGUERA	4A1	RUPTURA DE MANGUERA
	5	FUGA MOTOR EARLING	DESGASTE-VIDA UTIL	5A1	FUGA DE ACEITE
	6	DAÑO CLEVIS DEL CILINDRO HIDRAULICO DIVISOR DERECHO	FATIGA DEL MATERIAL	6A1	FUGA DE ACEITE
	7	FUGA MANGUERA DE MARCHA IZQUIERDA PRESENTA	EL ORING DE LA MANGUERA DE MARCHA IZQUIERDA SE REVENTO	7A1	FUGA DE ACEITE
			ROSE DE LA MANGUERA CON ESTRUCTURA DEL ELEVADOR	7A2	FUGA DE ACEITE
8	DAÑO MOTOR DE ROLES	DESAJUSTE DE TORNILLERIA	8A1	CIZALLAMIENTO DE MANGUERA	
9	FALLA EN EL SISTEMA DE MOTOR PICADOR	DESGASTE DE LAS PIEZAS	9A1	FUGA DE ACEITE	
10	MOTOR HIDRÁULICO MALO	DESGASTE DEL EJE DEL MOTOR	10A1	FUGA DE ACEITE	
SISTEMA DE ALIMENTACION	11	FUGA EN EL MOTOR ROLO PATEADOR	TAPON DE ALIVIO FLOJO	11A1	PARO EQUIPO
	12	DISCOS DE BASE FLOJO	DESAJUSTE EN LOS TORNILLOS DE AJUSTE DE LOS DISCOS DE BASE	12A1	AJUSTAR
	13	FALLA DE CUCHILLAS DE BASE	DESGASTE DE CUCHILLAS	13A1	AJUSTAR
	14	FUGA EN MANGUERA DE ROLO	DESAJUSTE	14A1	CAMBIAR
	15	FUGA EN EL MOTOR	DESGASTE - VIDA UTIL	15A1	CAMBIAR
	16	DESCARRILAMIENTO CADENA ELEVADOR	DESGASTE EN LOS ESLAVONES	16A1	AJUSTAR
	17	SE CAYO PASADOR DE CILINDRO DE LEVANTE DE AUTOVOLTEO	CLEVIS DE CILINDRO DE LEVANTE SIN PASADOR	17A1	CAMBIAR
	18	LOS TORNILLOS DE AJUSTE DEL MOTOR SE AFLOJARON.	SE PARTIO TORNILLO DE 1/2 Y 3/4	18A1	REPARAR
	19	POLEA REVENTADA	POLEA REVENTADA CON EL CABLE DE TRABAJO	19A2	SOLDAR
	20	FALLA EN LOS PIÑONES	FALLA EN LOS PIÑONES	20A1	CAMBIAR
	21	MUCHA VIBRACION EN EL CORTADOR DE BASE	LA TORNILLERIA QUE SUJETA EL CORTADOR DE BASE ESTA FLOJA	21A1	CAMBIAR
	22	CADENA CONDUCTORA Y TOBILLAS DSCARRILADAS	LA CADENA CONDUCTORA Y LAS TOBILLAS ESTAN EN MAL ESTADO	22A1	CAMBIAR
	23	DISCOS BASE FLOJOS	DESGASTE-VIDA UTIL	23A1	AJUSTAR
	24	NO ALIMENTA NORMALMENTE LA MAQUINA	DESGASTE EN LAS CANILLERAS DEL CORTADOR DE BASE	24A1	CAMBIAR
	25	SE SOLTO CHUMACERA DEL ROLO FLOTANTE	SE DAÑARON LAS ROSCAS DEL COLUMPIO	25A1	AJUSTAR
	26	SONIDO EN LOS ROLOS DE ALIMENTACION	RODAMIENTOS EN MAL ESTADO	26A1	CAMBIAR
	27	MANGUERA EN MAL ESTADO	DESGASTE	27A1	CAMBIAR

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 6. Continuación Análisis de fallas de la cosechadora

Tabla 10 Continuación hoja de información RCM

FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CODIGO	EFFECTOS DE FALLA	
CONJUNTO GIRO ELEVADOR	28	FALLA EN LA ESTERA	SE ENCARRILO ESTERA	28A1	REPARAR
	29	DAÑO MOTOR HIDRAULICO	FUGA DE ACEITE	29A1	CAMBIAR
	30	LA CADENA SE SALIO DEL PIÑON Y LAS TABLILLAS SE ATRAVESARON	SE ENCARRILO	30A1	REPARAR
	31	LOS CILINDROS DE GIRO SE ENCUENTRAN FLOJOS	SE AJUSTAN LOS TORNILLOS	31A1	AJUSTAR
	32	DESCARRILAMIENTO ESTERA	ENCARRILAMIENTO ESTERA	32A2	AJUSTAR
	33	SE REVENTO LOS TORNILLOS DE UNA TRAVIESA Y SE DESCARRILO	SE REPARA LA ESTERA Y S EMONTA DE NUEVO	33A3	REPARAR
	34	SE REVENTO CADENA ELEVADOR	SE CAMBIARON TRAMOS LARGOS DE CADENA	34A1	REPARAR
	35	SE REVENTO CABLE	SE CAMBIO CABLE DE TRABAJO	35A1	CAMBIAR
	36	GRAVE FISURA EN SOPORTE SUPERIOR DE LOS CLEVIS DE LOS CILINDROS DE GIRO	SE BARRENO Y SE APLICA SOLDADURA 7018	36A1	REPARAR
	37	PROBLEMA DE ACCIONAMIENTO DE LA ESTERA	SE INTERCAMBIARON BOBINAAS DEL MISMO BANCO DEL ELEVADOR	37A1	CAMBIAR
38	SE PIERDE PASADOR DE CILINDRO DE GIRO	SE INSTALA PASADOR	38A1	MONTAR	
CONJUNTO DE CAJA CORTADORA BASE	39	DAÑO DE CUCHILLAS POR PIEDRA GRANDE EN LA SUERTE	EL GOLPE PARTIO LAS CUCHILAS HACIENDO QUE SE PERDIERAN	39A1	CAMBIAR
	40	LOS DISCOS DEL CORTADOR DE BASE SE ESTAN GIRANDO	Desgaste -Vida Util	40A1	CAMBIAR
	41	LAS CUCHILLAS DE BASE ESTAN CORTANDO MAL	DESGASTE EN EL TRABAJO	41A1	CAMBIAR
	42	LAS CUCHILLAS DE BASE ESTAN CORTANDO MAL	SE ROTAN LAS CUCHILLAS DE BASE POR DESGASTE EN EL TRABAJO	42A1	CAMBIAR
	43	SE REVIENTA EL CORTE DE LA CAÑA	CUCHILLAS DE BASE DESGASTADAS	43A1	CAMBIAR
	44	LAS CUCHILLAS ESTAN CORTANDO MAL	DESGASTE EN EL TRABAJO	44A1	CAMBIAR
	45	LAS CUCHILLAS ESTAN CORTANDO MAL	DESGASTE	46A1	CAMBIAR
	46	CUCHILLAS DE BASE TORCIDAS Y PARTIDAS	TERRENO EN MAL ESTADO	47A1	CAMBIAR
	47	EL CORTE ESTA MALO	LAS CUCHILLAS DE BASE ESTAN DESGASTADAS	48A1	CAMBIAR
	48	CUCHILLAS DE BASE DESGASTADAS	DESGASTE POR TRABAJO	49A1	CAMBIAR

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 11. Continuación Análisis de fallas de la cosechadora

FUNCION	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	CODIGO	EFFECTOS DE FALLA	
SISTEMA DE LIMPIEZA	49	PRESENTA FUGA DE ACEITE POR SELLO DEL MOTOR EXTRACTOR PRIMARIO	sellos malos	50A1	CAMBIAR
	50	LA RASTRA DEL ELEVADOR SE DESCARRILO	LOS PIÑONES, CADENA, TABLILLAS ESTAN EN MAL ESTADO	51A1	REPARAR
	51	REVENTO CADENA DEL ELEVADOR	SE ROMPIO LA PEGA DE LA CADENA OJO ESTA MALO	52A1	REPARAR
	52	NO FUNCIONA EL EXTRACTOR PRIMARIO	EL MOTOR SE ATASCO POR EXCESO DE BASURA DE CORTE	53A1	REPARAR
	53	EXTRACTOR PRIMERO NO FUNCIONA	CONJUNTO DE ASPAS SE DESPRENDIO DEL MOTOR	54A1	MONTAR
	54	PRESENTA DESCARRILAMIENTO DE RASTRA ELEVADORA	CADENA DEFECTUOSA	55A1	CAMBIAR
	55	POCA EXTRACCIÓN DEL EXTRACTOR 1	DESGASTE EN LOS DEFLETORES	56A1	SOLDAR
	56	DAÑO EN ESTRUCTURA DE ARAÑA FISURADA	DESGASTE	57A1	SOLDAR
	57	VIBRACION EN EL EXTRACTOR 1	DESGASTE DEL ASPA	58A1	CAMBIAR
	58	SE DESCARRILO LA ESTERA	TABLILLAS DAÑADAS	59A1	CAMBIAR
SISTEMA ELECTRICO	59	NO FUNCIONABA PICADORAS	CORTO EN CABLES DE BOBINA	60A1	REPARAR
	60	CODIGO DE SENSOR DE MARCHA DERECHO SIN SEÑAL DE SALIDA	CONECTOR DESPINDO	61A1	REPARAR
	62	SE DAÑO MOTOR DE ARRANQUE	DESGASTE VIDA UTIL	63A1	REPARAR
	63	BIN FLAP NO TRABAJA	DESGASTE DE CABLEADO	64A1	REVISAR
	64	NO FUNCIONA EXTRACTOR PRIMARIO	LOS CABLES S EENCUESTRAN REVENTADOS	65A1	SOLDAR
	65	SE APAGA MOTOR CUANDO SE ACTIVA SISTEMA DE PARQUEO	CONECTORES FLOJOS	66A1	AJUSTAR
	66	PRESENTA CODIGOS DE FALLA EN LA PROPULSION	MALAS CONDICIONES DEL TERRENO	67A1	REVISAR
	67	ALTERNADOR NO CARGA	DESGASTE-VIDA UTIL	68A1	REVISAR
	68	LA MAQUINA PRESENTA BAJO VOLTAJE	DAÑO RODAMIENTOS DE ALTERNADOR	69A1	REPARAR
	69	EL ALTERNADOR NO ENTREGABA VOLTAJE CONSTANTE	ESCOBILLAS EN MAL ESTADO	70A1	CAMBIAR

Fuente: Autor del proyecto

5.4. ANALISIS DE RESULTADOS.

Para el análisis de Pareto los modos de falla a la izquierda de la línea roja son las fallas importantes, es decir, son las fallas que presentan la mayor frecuencia de fallas y son las que más detienen la máquina.

Para el análisis de criticidad se evidencio que la mayoría de los equipos presentan alta criticidad debido a que las fallas que se presentan en su mayoría afectan severamente la producción.

Para el cálculo de la confiabilidad se probó que el equipo más confiable para una operación de 100 horas con un valor de 62,11 %, es decir hay una probabilidad de 62,11 % de que dure 100 horas o más.

6. TAREAS DEMANTENIMIENTO

El siguiente paso en el desarrollo de la estrategia de mantenimiento RCM es la elaboración de tareas de mantenimiento que se deben realizar, su periodicidad y el responsable de su ejecución. Estas tareas de mantenimiento se diseñan a partir del análisis de las consecuencias que se pueden presentar por cada modo falla.

Para el análisis de las consecuencias se evalúan los siguientes tipos de consecuencias que pueden ocurrir:

- Consecuencias para la seguridad física.
- Consecuencias para el medioambiente.
- Consecuencias operacionales.
- Consecuencias no operacionales.
- Consecuencias en la pérdida de imagen de la empresa.

6.1 Escalas de valoración de consecuencias

Para la evaluación de cada una de estas consecuencias se plantea una escala de valoración para cada una.

6.1.2. Escala de valoración para la seguridad física. La valoración de las consecuencias en la seguridad física de los modos de falla, está relacionada con si la pérdida de la función por un modo de falla puede afectar la salud del personal tanto externo como interno, debido si se presentan lesiones o pérdidas humanas. En la Tabla 7 se muestran la escala de valoración para la seguridad física.

Tabla 12. Escala de valoración para la seguridad física

ESCALA	DEFINICIÓN	VALOR
No afecta	No hay tipo de lesión ni muerte	0
Insignificante	Afecta máximo una persona dejando lesiones insignificantes, que no producen incapacidad parcial pero no la muerte	1
Secundario	Afecta como máximo tres personas dejando lesiones insignificantes que pueden generar incapacidad parcial, pero no la muerte	2
Grave	Afecta hasta siete personas dejando lesiones insignificantes o graves que pueden generar incapacidad parcial o de por vida, pero no la muerte	3
Muy Grave	Afecta más de siete personas pudiendo dejar lesiones muy graves que pueden generar incapacidad temporal de por vida o la muerte	4

Fuente: Autor del Proyecto

6.1.3 Escala de valoración para consecuencias operacionales. Para valorar las consecuencias operacionales se tiene en cuenta si la pérdida de la función por un modo de falla puede afectar la producción, debido por las pérdidas por la indisponibilidad de la cosechadora, por tener que reacondicionar y pagar mantenimientos.

Tabla 13. Escala de valoración para consecuencias operacionales

ESCALA	DEFINICIÓN	VALOR
No afecta	No tiene incidencia sobre la producción de la planta y por ende de las consecuencias operacionales de los sistemas.	0
Insignificante	Tiene poca incidencia sobre los sistemas, pero sin afectar las condiciones de operación de equipos asociados	1
Secundario	Tiene más incidencia sobre el funcionamiento de la maquinaria, afectando condiciones operacionales de los sistemas de los equipos	2
Grave	Afecta las condiciones operaciones de los sistemas de la caldera, compresor o mezcladora	3
Muy Grave	Genera daños en los sistemas más importantes que están directamente relacionados con el funcionamiento de los equipos	4

Fuente: Autor del Proyecto

6.1.4 Escala de valoración para consecuencias para el medio ambiente. La valoración de las consecuencias para el medio ambiente está

relacionada con el análisis si la pérdida de la función por un modo de falla puede incurrir en una infracción a una regulación ambiental.

Tabla 14. Escala de valoración para consecuencias para el medio ambiente

ESCALA	DEFINICIÓN	VALOR
No afecta	No afecta al medio ambiente	0
Insignificante	Causa impacto ambiental no significativo, no genera sanciones	1
Secundario	Causa impacto ambiental, requiere control de la empresa, no genera sanciones económicas	2
Grave	Causa impacto ambiental, requiere control tanto de la empresa como agentes externos, genera sanciones económicas	3
Muy Grave	Causa impacto ambiental significativo, con grandes sanciones económicas por incumplimiento legal	4

Fuente: Autor del Proyecto

6.1.5 Escala de valoración para consecuencias no operacionales Las consecuencias no operacionales esta relacionados con el costo de reparación, consecución de repuestos y gastos de mano de obra originados por el modo de falla.

Tabla 15. Escala de valoración para consecuencias para no operacionales

ESCALA	DEFINICIÓN	VALOR
No afecta	No se requiere de repuestos ni mano de obra fuera de la empresa	0
Insignificante	Los repuestos son de bajo costos, fáciles de adquirir y se generan bajos costos en mano de obra	1
Secundario	Los repuestos son de mediano costo, difíciles de conseguir y el costo de la mano de la obra es significativo	2
Grave	Los repuestos son de alto costo, se demoran en conseguir y la de mano de obra es muy costosa.	3
Muy Grave	Los repuestos son de muy alto costo, se demoran en conseguir más de 3 meses y el costo de mano de obra es altísimo	4

Fuente: Autor del Proyecto

6.1.6 Escala de valoración para consecuencias en la imagen de la empresa.

Las consecuencias en la imagen de la empresa están relacionadas por la pérdida de imagen de la empresa por empleados, contratistas, comunidad, proveedores, clientes o entidades regulatorias.

Tabla 16. Escala de valoración para consecuencias en la imagen de la empresa

ESCALA	DEFINICIÓN	VALOR
No afecta	Perjudica la imagen de la empresa	0
Insignificante	Se conoce a nivel interno de la empresa	1
Secundario	Se conoce a nivel local, la empresa puede perder prestigio ante el cliente	2
Grave	Se conoce a nivel nacional afecta prestigio de la empresa	3
Muy Grave	Se conoce a nivel internacional y afecta el prestigio de la empresa a nivel internacional	4

Fuente: Autor del Proyecto

6.1.7 Peso de cada consecuencia. Para la valoración total de la consecuencia que genera la presencia de cada modo de falla, se le asigna un peso a cada tipo de consecuencia como se muestra en la Tabla 25, para luego multiplicar la valoración de cada consecuencia por el peso asignado a cada tipo de consecuencia y luego se realiza la sumatoria de estas multiplicaciones y se halla el valor total de las consecuencias por modo de falla.

Tabla 17. Peso de las Consecuencias

CONSECUENCIA	PESO
Consecuencia para la seguridad física	0,3
Consecuencia para el medio ambiente	0,25
Consecuencias operacionales	0,1
Consecuencias no operacionales	0,1
Consecuencia por pérdida de la imagen	0,25

6.1.8 Elección de las tareas de mantenimiento. Después de haber analizado las consecuencias de la presencia de cada modo de falla, se elige la tarea de

mantenimiento que tenga como objetivo prevenir la presencia del modo de falla o en dado caso corregirla.

Cuando se elige la tarea de mantenimiento, se debe precisar la frecuencia a la que se debe realizar, la unidad de tiempo que se maneja es de días. Además de la frecuencia se designa el cargo de la persona que lo debe ejecutar. También se debe precisar la clase de tarea de mantenimiento que es entre preventivo, correctivo, de operación e inspección modificación.

Tabla 17. Elección de tareas de mantenimiento

	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
MODO DE FALLA 1A1	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3	Diario	Mecanico	Preventido
	C. Medio Ambiente	3	0,25	0,75			
	C. Operacionales	4	0,1	0,4			
	C. No Operacionales	0	0,1	0			
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0			
	TOTAL	8	1	1,45			
MODO DE FALLA 1A2	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0	Diario	Mecanico	Preventido
	C. Medio Ambiente	2	0,25	0,5			
	C. Operacionales	4	0,1	0,4			
	C. No Operacionales	3	0,1	0,3			
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25			
	TOTAL	10	1	1,45			
MODO DE FALLA 2A2	C. Seguridad Fisica	2	0,3	0,6	Diario	Mecanico	Preventido
	C. Medio Ambiente	0	0,25	0			
	C. Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. No Operacionales	0	0,1	0			
	C. Perdida De Imagen	2	0,25	0,5			
	TOTAL	5	1	1,2			
MODO DE FALLA 2A3	C. Seguridad Fisica	2	0,3	0,6	Diario	Mecanico	Preventido
	C. Medio Ambiente	2	0,25	0,5			
	C. Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. No Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. Perdida De Imagen	2	0,25	0,5			
	TOTAL	10	1	2			

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 18. Elección de tareas de mantenimiento

MODO DE FALLA 3A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3			
	C. Medio Ambiente	1	0,25	0,25			
	C. Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. No Operacionales	0	0,1	0			
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25			
TOTAL	4	1	0,9				
MODO DE FALLA 4A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	2	0,3	0,6			
	C. Medio Ambiente	3	0,25	0,75			
	C. Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. No Operacionales	0	0,1	0			
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0			
TOTAL	7	1	1,55				
MODO DE FALLA 5A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3			
	C. Medio Ambiente	1	0,25	0,25			
	C. Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25			
TOTAL	5						
MODO DE FALLA 6A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0			
	C. Medio Ambiente	2	0,25	0,5			
	C. Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. No Operacionales	0	0,1	0			
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25			
TOTAL	4	1	0,85				
MODO DE FALLA 7A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0			
	C. Medio Ambiente	2	0,25	0,5			
	C. Operacionales	0	0,1	0			
	C. No Operacionales	3	0,1	0,3			
	C. Perdida De Imagen	2	0,25	0,5			
TOTAL	7	1	1,3				
MODO DE FALLA 7A2	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	3	0,3	0,9			
	C. Medio Ambiente	4	0,25	1			
	C. Operacionales	0	0,1	0			
	C. No Operacionales	4	0,1	0,4			
	C. Perdida De Imagen	2	0,25	0,5			
TOTAL	13	1	2,8				

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 19. Elección de tareas de mantenimiento

MODO DE FALLA 8A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	4	0,3	1,2			
	C. Medio Ambiente	3	0,25	0,75			
	C. Operacionales	3	0,1	0,3			
	C. No Operacionales	0	0,1	0			
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25			
TOTAL	11	1	2,5				
MODO DE FALLA 9A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	2	0,3	0,6			
	C. Medio Ambiente	4	0,25	1			
	C. Operacionales	3	0,1	0,3			
	C. No Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. Perdida De Imagen	3	0,25	0,75			
TOTAL	14	1	2,85				
MODO DE FALLA 10A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	4	0,3	1,2			
	C. Medio Ambiente	1	0,25	0,25			
	C. Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. No Operacionales	4	0,1	0,4			
	C. Perdida De Imagen	3	0,25	0,75			
TOTAL	14	1	2,8				
MODO DE FALLA 11A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	3	0,3	0,9			
	C. Medio Ambiente	1	0,25	0,25			
	C. Operacionales	3	0,1	0,3			
	C. No Operacionales	4	0,1	0,4			
	C. Perdida De Imagen	2	0,25	0,5			
TOTAL	13	1	2,35				
MODO DE FALLA 12A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0			
	C. Medio Ambiente	2	0,25	0,5			
	C. Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0			
TOTAL	4	1	0,7				
MODO DE FALLA 13A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3			
	C. Medio Ambiente	3	0,25	0,75			
	C. Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. No Operacionales	0	0,1	0			
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25			
TOTAL	6	1	1,4				

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 20. Elección de tareas de mantenimiento

MODO DE FALLA 14A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	3	0,3	0,9			
	C. Medio Ambiente	2	0,25	0,5			
	C. Operacionales	4	0,1	0,4			
	C. No Operacionales	0	0,1	0			
	C. Perdida De Imagen	2	0,25	0,5			
TOTAL	11	1	2,3				
MODO DE FALLA 15A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	2	0,3	0,6			
	C. Medio Ambiente	4	0,25	1			
	C. Operacionales	0	0,1	0			
	C. No Operacionales	0	0,1	0			
	C. Perdida De Imagen	3	0,25	0,75			
TOTAL	9	1	2,35				
MODO DE FALLA 16A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3			
	C. Medio Ambiente	3	0,25	0,75			
	C. Operacionales	3	0,1	0,3			
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25			
TOTAL	9	1	1,7				
MODO DE FALLA 17A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3			
	C. Medio Ambiente	1	0,25	0,25			
	C. Operacionales	4	0,1	0,4			
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. Perdida De Imagen	2	0,25	0,5			
TOTAL	9	1	1,55				
MODO DE FALLA 18A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	3	0,3	0,9			
	C. Medio Ambiente	0	0,25	0			
	C. Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. No Operacionales	0	0,1	0			
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0			
TOTAL	5	1	1,1				
MODO DE FALLA 19A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	2	0,3	0,6			
	C. Medio Ambiente	0	0,25	0			
	C. Operacionales	4	0,1	0,4			
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0			
TOTAL	7	1	1,1				

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 21. Elección de tareas de mantenimiento

MODO DE FALLA 20A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	2	0,3	0,6			
	C. Medio Ambiente	0	0,25	0			
	C. Operacionales	4	0,1	0,4			
	C. No Operacionales	3	0,1	0,3			
	C. Perdida De Imagen	4	0,25	1			
TOTAL	13	1	2,3	250 Hrs	Mecanico	Preventido	
MODO DE FALLA 21A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0			
	C. Medio Ambiente	2	0,25	0,5			
	C. Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. No Operacionales	3	0,1	0,3			
	C. Perdida De Imagen	4	0,25	1			
TOTAL	10	1	1,9	250 Hrs	Mecanico	Preventido	
MODO DE FALLA 22A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	2	0,3	0,6			
	C. Medio Ambiente	3	0,25	0,75			
	C. Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. No Operacionales	0	0,1	0			
	C. Perdida De Imagen	3	0,25	0,75			
TOTAL	10	1	2,3	250 Hrs	Mecanico	Preventido	
MODO DE FALLA 23A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	3	0,3	0,9			
	C. Medio Ambiente	3	0,25	0,75			
	C. Operacionales	0	0,1	0			
	C. No Operacionales	4	0,1	0,4			
	C. Perdida De Imagen	3	0,25	0,75			
TOTAL	13	1	2,8	250 Hrs	Mecanico	Preventido	
MODO DE FALLA 24A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	3	0,3	0,9			
	C. Medio Ambiente	1	0,25	0,25			
	C. Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. No Operacionales	3	0,1	0,3			
	C. Perdida De Imagen	3	0,25	0,75			
TOTAL	11	1	2,3	250 Hrs	Mecanico	Preventido	
MODO DE FALLA 25A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0			
	C. Medio Ambiente	2	0,25	0,5			
	C. Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. No Operacionales	0	0,1	0			
	C. Perdida De Imagen	2	0,25	0,5			
TOTAL	5	1	1,1	250 Hrs	Mecanico	Preventido	

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 22. Elección de tareas de mantenimiento

MODO DE FALLA 26A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	250 Hrs	Mecanico	Preventido
	C. Seguridad Fisica	2	0,3	0,6			
	C. Medio Ambiente	1	0,25	0,25			
	C. Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. No Operacionales	0	0,1	0			
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25			
TOTAL	6	1	1,3				
MODO DE FALLA 27A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	250 Hrs	Mecanico	Preventido
	C. Seguridad Fisica	4	0,3	1,2			
	C. Medio Ambiente	2	0,25	0,5			
	C. Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. No Operacionales	4	0,1	0,4			
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25			
TOTAL	13	1	2,55				
MODO DE FALLA 28A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	1000	Mecanico y soldador	Preventivo
	C. Seguridad Fisica	4	0,3	1,2			
	C. Medio Ambiente	4	0,25	1			
	C. Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. No Operacionales	0	0,1	0			
	C. Perdida De Imagen	4	0,25	1			
TOTAL	13	1	3,3				
MODO DE FALLA 29A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	1000	Mecanico y soldador	Preventivo
	C. Seguridad Fisica	2	0,3	0,6			
	C. Medio Ambiente	0	0,25	0			
	C. Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. No Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0			
TOTAL	6	1	1				
MODO DE FALLA 30A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	1000	Mecanico y soldador	Preventivo
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0			
	C. Medio Ambiente	4	0,25	1			
	C. Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. No Operacionales	0	0,1	0			
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0			
TOTAL	6	1	1,2				
MODO DE FALLA 31A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	1000	Mecanico y soldador	Preventivo
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0			
	C. Medio Ambiente	2	0,25	0,5			
	C. Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. No Operacionales	0	0,1	0			
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25			
TOTAL	5	1	0,95				

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 23. Elección de tareas de mantenimiento

MODO DE FALLA 32A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	1000	Mecanico y soldador	Preventivo
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0			
	C. Medio Ambiente	0	0,25	0			
	C. Operacionales	0	0,1	0			
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. Perdida De Imagen	3	0,25	0,75			
TOTAL	4	1	0,85				
MODO DE FALLA 33A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	1000	Mecanico y soldador	Preventivo
	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3			
	C. Medio Ambiente	2	0,25	0,5			
	C. Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25			
TOTAL	7	1	1,35				
MODO DE FALLA 34A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	1000	Mecanico y soldador	Preventivo
	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3			
	C. Medio Ambiente	3	0,25	0,75			
	C. Operacionales	0	0,1	0			
	C. No Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. Perdida De Imagen	3	0,25	0,75			
TOTAL	9	1	2				
MODO DE FALLA 34A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	1000	Mecanico y soldador	Preventivo
	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3			
	C. Medio Ambiente	2	0,25	0,5			
	C. Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. Perdida De Imagen	2	0,25	0,5			
TOTAL	7	1	1,5				
MODO DE FALLA 36A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	1000	Mecanico y soldador	Preventivo
	C. Seguridad Fisica	4	0,3	1,2			
	C. Medio Ambiente	1	0,25	0,25			
	C. Operacionales	4	0,1	0,4			
	C. No Operacionales	0	0,1	0			
	C. Perdida De Imagen	3	0,25	0,75			
TOTAL	12	1	2,6				
MODO DE FALLA 37A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	1000	Mecanico y soldador	Preventivo
	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3			
	C. Medio Ambiente	2	0,25	0,5			
	C. Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. No Operacionales	4	0,1	0,4			
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25			
TOTAL	10	1	1,65				

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 24. Elección de tareas de mantenimiento

MODO DE FALLA 38A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	2000	Mecanico	Preventivo
	C. Seguridad Fisica	3	0,3	0,9			
	C. Medio Ambiente	3	0,25	0,75			
	C. Operacionales	3	0,1	0,3			
	C. No Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. Perdida De Imagen	4	0,25	1			
TOTAL	15	1	3,15				
MODO DE FALLA 39A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	2000	Mecanico	Preventivo
	C. Seguridad Fisica	2	0,3	0,6			
	C. Medio Ambiente	0	0,25	0			
	C. Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. No Operacionales	4	0,1	0,4			
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25			
TOTAL	9	1	1,45				
MODO DE FALLA 40A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	2000	Mecanico	Preventivo
	C. Seguridad Fisica	4	0,3	1,2			
	C. Medio Ambiente	1	0,25	0,25			
	C. Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. No Operacionales	0	0,1	0			
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25			
TOTAL	7	1	1,8				
MODO DE FALLA 41A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	2000	Mecanico	Preventivo
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0			
	C. Medio Ambiente	2	0,25	0,5			
	C. Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. No Operacionales	4	0,1	0,4			
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0			
TOTAL	8	1	1,1				
MODO DE FALLA 42A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	2000	Mecanico	Preventivo
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0			
	C. Medio Ambiente	1	0,25	0,25			
	C. Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. No Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. Perdida De Imagen	3	0,25	0,75			
TOTAL	7	1	1,3				
MODO DE FALLA 43A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	2000	Mecanico	Preventivo
	C. Seguridad Fisica	4	0,3	1,2			
	C. Medio Ambiente	3	0,25	0,75			
	C. Operacionales	4	0,1	0,4			
	C. No Operacionales	3	0,1	0,3			
	C. Perdida De Imagen	4	0,25	1			
TOTAL	18	1	3,65				

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 25. Elección de tareas de mantenimiento

MODO DE FALLA 44A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	3	0,3	0,9			
	C. Medio Ambiente	3	0,25	0,75			
	C. Operacionales	3	0,1	0,3			
	C. No Operacionales	4	0,1	0,4			
	C. Perdida De Imagen	2	0,25	0,5			
	TOTAL	15	1	2,85			
MODO DE FALLA 45A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	4	0,3	1,2			
	C. Medio Ambiente	2	0,25	0,5			
	C. Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. No Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. Perdida De Imagen	3	0,25	0,75			
	TOTAL	13	1	2,85			
MODO DE FALLA 46A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	2	0,3	0,6			
	C. Medio Ambiente	3	0,25	0,75			
	C. Operacionales	0	0,1	0			
	C. No Operacionales	0	0,1	0			
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25			
	TOTAL	6	1	1,6			
MODO DE FALLA 47A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0			
	C. Medio Ambiente	2	0,25	0,5			
	C. Operacionales	4	0,1	0,4			
	C. No Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. Perdida De Imagen	3	0,25	0,75			
	TOTAL	11	1	1,85			
MODO DE FALLA 48A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0			
	C. Medio Ambiente	3	0,25	0,75			
	C. Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. No Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. Perdida De Imagen	4	0,25	1			
	TOTAL	10	1	2,05			
MODO DE FALLA 49A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	2	0,3	0,6			
	C. Medio Ambiente	1	0,25	0,25			
	C. Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0			
	TOTAL	5	1	1,05			

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 26. Elección de tareas de mantenimiento

MODO DE FALLA 50A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	1000	Mecanico	Preventivo
	C. Seguridad Fisica	4	0,3	1,2			
	C. Medio Ambiente	0	0,25	0			
	C. Operacionales	4	0,1	0,4			
	C. No Operacionales	0	0,1	0			
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0			
TOTAL	8	1	1,6				
MODO DE FALLA 51A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	1000	Mecanico	Preventivo
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0			
	C. Medio Ambiente	2	0,25	0,5			
	C. Operacionales	3	0,1	0,3			
	C. No Operacionales	4	0,1	0,4			
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0			
TOTAL	9	1	1,2				
MODO DE FALLA 52A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	1000	Mecanico	Preventivo
	C. Seguridad Fisica	4	0,3	1,2			
	C. Medio Ambiente	4	0,25	1			
	C. Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. Perdida De Imagen	3	0,25	0,75			
TOTAL	13	1	3,15				
MODO DE FALLA 53A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	1000	Mecanico	Preventivo
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0			
	C. Medio Ambiente	0	0,25	0			
	C. Operacionales	0	0,1	0			
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25			
TOTAL	2	1	0,35				
MODO DE FALLA 54A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	1000	Mecanico	Preventivo
	C. Seguridad Fisica	2	0,3	0,6			
	C. Medio Ambiente	1	0,25	0,25			
	C. Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0			
TOTAL	5	1	1,05				
MODO DE FALLA 55A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	1000	Mecanico	Preventivo
	C. Seguridad Fisica	3	0,3	0,9			
	C. Medio Ambiente	0	0,25	0			
	C. Operacionales	3	0,1	0,3			
	C. No Operacionales	4	0,1	0,4			
	C. Perdida De Imagen	3	0,25	0,75			
TOTAL	13	1	2,35				

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 27. Elección de tareas de mantenimiento

MODO DE FALLA 56A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3			
	C. Medio Ambiente	4	0,25	1			
	C. Operacionales	3	0,1	0,3			
	C. No Operacionales	0	0,1	0			
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0			
TOTAL	8	1	1,6				
MODO DE FALLA 57A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	4	0,3	1,2			
	C. Medio Ambiente	2	0,25	0,5			
	C. Operacionales	3	0,1	0,3			
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0			
TOTAL	10	1	2,1				
MODO DE FALLA 58A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	3	0,3	0,9			
	C. Medio Ambiente	0	0,25	0			
	C. Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. No Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. Perdida De Imagen	4	0,25	1			
TOTAL	11	1	2,3				
MODO DE FALLA 59A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0			
	C. Medio Ambiente	2	0,25	0,5			
	C. Operacionales	4	0,1	0,4			
	C. No Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. Perdida De Imagen	3	0,25	0,75			
TOTAL	11	1	1,85				
MODO DE FALLA 60A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3			
	C. Medio Ambiente	4	0,25	1			
	C. Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. No Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25			
TOTAL	9	1	1,85				
MODO DE FALLA 61A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0			
	C. Medio Ambiente	4	0,25	1			
	C. Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. No Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0			
TOTAL	7	1	1,3				

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 28. Elección de tareas de mantenimiento

MODO DE FALLA 62A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0			
	C. Medio Ambiente	2	0,25	0,5			
	C. Operacionales	4	0,1	0,4			
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25			
TOTAL	8	1	1,25				
MODO DE FALLA 63A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	0	0,3	0			
	C. Medio Ambiente	2	0,25	0,5			
	C. Operacionales	0	0,1	0			
	C. No Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. Perdida De Imagen	2	0,25	0,5			
TOTAL	5	1	1,1				
MODO DE FALLA 64A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	4	0,3	1,2			
	C. Medio Ambiente	1	0,25	0,25			
	C. Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. No Operacionales	4	0,1	0,4			
	C. Perdida De Imagen	4	0,25	1			
TOTAL	15	1	3,05				
MODO DE FALLA 65A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3			
	C. Medio Ambiente	0	0,25	0			
	C. Operacionales	3	0,1	0,3			
	C. No Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. Perdida De Imagen	2	0,25	0,5			
TOTAL	8	1	1,3				
MODO DE FALLA 66A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3			
	C. Medio Ambiente	4	0,25	1			
	C. Operacionales	4	0,1	0,4			
	C. No Operacionales	0	0,1	0			
	C. Perdida De Imagen	0	0,25	0			
TOTAL	9	1	1,7				
MODO DE FALLA 67A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	PERIODO	LO EJECUTA	CLASE
	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3			
	C. Medio Ambiente	0	0,25	0			
	C. Operacionales	3	0,1	0,3			
	C. No Operacionales	4	0,1	0,4			
	C. Perdida De Imagen	3	0,25	0,75			
TOTAL	11	1	1,75				

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 29. Elección de tareas de mantenimiento

MODO DE FALLA 68A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	500	Electrico	CLASE
	C. Seguridad Fisica	1	0,3	0,3			
	C. Medio Ambiente	4	0,25	1			
	C. Operacionales	0	0,1	0			
	C. No Operacionales	0	0,1	0			
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25			
TOTAL	6	1	1,55				
MODO DE FALLA 69A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	500	Electrico	CLASE
	C. Seguridad Fisica	2	0,3	0,6			
	C. Medio Ambiente	1	0,25	0,25			
	C. Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. No Operacionales	0	0,1	0			
	C. Perdida De Imagen	1	0,25	0,25			
TOTAL	5	1	1,2				
MODO DE FALLA 70A1	CONSECUENCIA	VALOR	PESO	TOTAL	500	Electrico	CLASE
	C. Seguridad Fisica	3	0,3	0,9			
	C. Medio Ambiente	1	0,25	0,25			
	C. Operacionales	1	0,1	0,1			
	C. No Operacionales	2	0,1	0,2			
	C. Perdida De Imagen	3	0,25	0,75			
TOTAL	10	1	2,2				

Fuente: Autor del proyecto

Las rutinas a implantar se ajustan al trabajo que realiza la maquina cosechadora, por lo tanto quedan establecidas de la siguiente manera:

- Diario (antes de iniciar labores)
- Cada 250 horas
- Cada 500 horas
- Cada 1000 horas
- Cada 2000 horas

A continuación se detallan las rutinas de mantenimiento propuestas según el estudio anterior:

Diariamente

- Revisar el nivel de aceite de motor
- Revisar el nivel del refrigerante
- Revisar la trampa de agua
- Revisar el filtro de aire

Cada 250 horas

- Cambiar el aceite del motor
- Cambiar el filtro de aceite
- Cambiar el filtro del refrigerante
- Cambio del filtro del aire
- Revisar el sistema de admisión

Cada 500 horas

- Cambiar aceite del motor
- Cambiar el filtro de aceite
- Cambiar el filtro del refrigerante
- Cambiar el filtro de combustible
- Cambio del filtro de aire
- Revisar el sistema de admisión
- Revisar el anticongelante

Cada 1000 horas

- Cambiar el filtro del aceite
- Cambiar el filtro del refrigerante
- Cambiar el filtro de combustible
- Cambio del filtro de aire
- Revisar sistema de admisión
- Revisar el anticongelante

Cada 2000 horas

- Ajustar luces
- Cambiar el aceite de motor
- Cambiar filtro de aceite
- Cambiar el filtro del refrigerante
- Revisar el cigüeñal
- Cambiar la mezcla del refrigerante

Luego de llegar a las 2000 horas de servicio, se comienza nuevamente con lo que es un mantenimiento de 250 horas y así sucesivamente debe seguirse cumpliendo las rutinas de mantenimiento.

Además de las rutinas de mantenimiento, existen rutinas de revisión, lubricación y engrase. Las cuales se realizan por el mecánico en cargo de la maquina cosechadora con la ayuda del operador de esta. Estas rutinas están especificadas para la siguiente cantidad de horas de trabajo:

- Después de las 10 primeras horas de trabajo, luego de la reparación
- Cada hora de trabajo, durante el día
- Cada 10 horas
- Cada 150 horas
- Cada 250 horas
- Cada 500 horas

A continuación se detallan las rutinas de revisión, lubricación y engrase:

Después de las primeras 10 horas, de haber iniciado las labores luego del tiempo de reparación o haber estado inactiva por más de dos meses.

- Cambiar el aceite de caja de engranajes de bombas

- Cambiar el aceite de la caja de engranajes de base cortadora
- Cambiar el aceite de la caja de engranajes del troceador
- cambiar los filtros hidráulicos de succión (repetir a las 50 horas)
- sacar la tapas de los reductores de la oruga y lavarlos con diésel
- lavar bien todas las zonas, poner la tapa nuevamente y llenar con aceite hasta el nivel

Cada hora

- Revisar las cuchillas de base
- Revisar las cuchillas del troceador
- Limpiar y sacar la basura
- Revisar las cuchillas del despuntados
- Revisar los filtros de aire

Cada 10 horas

- Revisar el nivel de aceite del motor
- Revisar el nivel de agua del radiador
- Revisar aceite hidráulico
- Revisar el nivel de combustibles en el tanque
- Revisar el filtro de aire
- Limpiar el condensador del aire acondicionado

Cada 50 horas

- Revisar el nivel de aceite de la cortadora de base
- Revisar el nivel de aceite de los troceadores
- Revisar el nivel de aceite de los reductores
- Revisar el nivel de aceite del extractor primario
- Revisar el nivel de electrolito de la batería
- Revisar el nivel de líquido de freno

- Limpiar condensador de aire acondicionado
- Engrasar el extractor primario
- Engrasar el extractor secundario
- Engrasar cilindro de giro del elevador
- Engrasar articulación del elevador
- Engrasar troceador
- Engrasar sellos de la caja cortadora de base
- Aceitar cilindro del despuntador
- Aceitar cilindro del divisor de surco

Cada 150 horas

- Cambiar el filtro de succión de aceite hidráulico
- Revisar mangueras del sistema hidráulico
- Revisar empaques del sistema hidráulico

Cada 250 horas

- Cambiar el aceite del motor
- Cambiar el filtro de aceite del motor

Cada 500 horas

- Engrasar tren de rolos
- Engrasar giro elevador

7.PLAN DE MANTENIMIENTO

ITEM	PERIODICIDAD EN HORAS	ACCION	RESPONSABLE
1	1	Revisar las cuchillas de base	EQUIPO DE LAS SECCIONES (MECANICO, ELECTRICO, SOLDADOR)
2	1	Revisar las cuchillas del troceador	EQUIPO DE LAS SECCIONES (MECANICO, ELECTRICO, SOLDADOR)
3	1	Limpiar y sacar la basura	EQUIPO DE LAS SECCIONES (MECANICO, ELECTRICO, SOLDADOR)
4	1	Revisar las cuchillas del despuntados	EQUIPO DE LAS SECCIONES (MECANICO, ELECTRICO, SOLDADOR)
5	1	Revisar los filtros de aire	EQUIPO DE LAS SECCIONES (MECANICO, ELECTRICO, SOLDADOR)
6	1	Revisar el nivel de aceite del motor	EQUIPO DE LAS SECCIONES (MECANICO, ELECTRICO, SOLDADOR)
7	1	Revisar el nivel de agua del radiador	EQUIPO DE LAS SECCIONES (MECANICO, ELECTRICO, SOLDADOR)
8	10	Revisar aceite hidráulico	EQUIPO DE LAS SECCIONES (MECANICO, ELECTRICO, SOLDADOR)
9	10	Revisar el nivel de combustibles en el tanque	EQUIPO DE LAS SECCIONES (MECANICO, ELECTRICO, SOLDADOR)
10	10	Revisar el filtro de aire	EQUIPO DE LAS SECCIONES (MECANICO, ELECTRICO, SOLDADOR)
11	10	Limpiar el condensador del aire acondicionado	EQUIPO DE LAS SECCIONES (MECANICO, ELECTRICO, SOLDADOR)
12	10	Revisar el nivel de aceite de la cortadora de base	EQUIPO DE LAS SECCIONES (MECANICO, ELECTRICO, SOLDADOR)
13	10	Revisar el nivel de aceite de los troceadores	EQUIPO DE LAS SECCIONES (MECANICO, ELECTRICO, SOLDADOR)

14	50	Revisar el nivel de aceite de los reductores	EQUIPO DE LAS SECCIONES (MECANICO, ELECTRICO, SOLDADOR)
15	50	Revisar el nivel de aceite del extractor primario	EQUIPO DE LAS SECCIONES (MECANICO, ELECTRICO, SOLDADOR)
16	50	Revisar el nivel de electrolito de la batería	EQUIPO DE LAS SECCIONES (MECANICO, ELECTRICO, SOLDADOR)
17	50	Revisar el nivel de líquido de freno	EQUIPO DE LAS SECCIONES (MECANICO, ELECTRICO, SOLDADOR)
18	50	Limpiar condensador de aire acondicionado	EQUIPO DE LAS SECCIONES (MECANICO, ELECTRICO, SOLDADOR)
19	50	Engrasar el extractor primario	EQUIPO DE LAS SECCIONES (MECANICO, ELECTRICO, SOLDADOR)
20	50	Engrasar el extractor secundario	EQUIPO DE LAS SECCIONES (MECANICO, ELECTRICO, SOLDADOR)
21	100	Engrasar cilindro de giro del elevador	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA
22	100	Engrasar articulación del elevador	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA
23	100	Engrasar troceador	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA
24	100	Engrasar sellos de la caja cortadora de base	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA
25	100	Aceitar cilindro del despuntador	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA
26	100	Aceitar cilindro del divisor de surco	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA
27	100	Cambiar el filtro de succión de aceite hidráulico	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA
28	100	Revisar mangueras del sistema hidráulico	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA
29	100	Revisar empaques del sistema hidráulico	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA
30	250	Cambiar el aceite del motor	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA
31	250	Cambiar el filtro de aceite	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA

32	250	Cambiar el filtro del refrigerante	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA
33	250	Cambio del filtro del aire	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA
34	250	Revisar el sistema de admisión	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA
35	1000	Cambiar aceite del motor	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA
36	1000	Cambiar el filtro de aceite	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA
37	1000	Cambiar el filtro del refrigerante	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA
38	1000	Cambiar el filtro de combustible	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA
39	1000	Cambio del filtro de aire	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA
40	1000	Revisar el sistema de admisión	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA
41	1000	Revisar el anticongelante	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA
42	2000	Ajustar luces	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA
43	2000	Cambiar el aceite de motor	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA
44	2000	Cambiar filtro de aceite	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA
45	2000	Cambiar el filtro del refrigerante	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA
46	2000	Revisar el cigüeñal	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA
47	2000	Cambiar la mezcla del refrigerante	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA
48	DESPUES DE REPARACION	Cambiar el aceite de caja de engranajes de bombas	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA
49	DESPUES DE REPARACION	Cambiar el aceite de la caja de engranajes de base cortadora	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA
50	DESPUES DE REPARACION	Cambiar el aceite de la caja de engranajes del troceador	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA

51	DESPUES DE REPARACION	Cambiar los filtros hidráulicos de succión (repetir a las 50 horas)	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA
52	DESPUES DE REPARACION	Sacar la tapas de los reductores de la oruga y lavarlos con diésel	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA
53	DESPUES DE REPARACION	Lavar bien todas las zonas, poner la tapa nuevamente y llenar con aceite hasta el nivel	EQUIPO DE MANTENIMIENTO EN TALLER AGRICOLA
54	INICIO	Revisar el nivel de aceite de motor	EQUIPO DE LAS SECCIONES (MECANICO, ELECTRICO, SOLDADOR)
55	INICIO	Revisar el nivel del refrigerante	EQUIPO DE LAS SECCIONES (MECANICO, ELECTRICO, SOLDADOR)
56	INICIO	Revisar la trampa de agua	EQUIPO DE LAS SECCIONES (MECANICO, ELECTRICO, SOLDADOR)
57	INICIO	Revisar el filtro de aire	EQUIPO DE LAS SECCIONES (MECANICO, ELECTRICO, SOLDADOR)

8.STANDARJOBS

Con el objetivo de contar con procedimientos estandarizados para la realización de las tareas de mantenimiento, de tal forma que se asegure que los operarios o contratistas que los realicen lo hagan de manera uniforme y adecuada, se realizaron Stándar Jobs para las tareas.

Estos procedimientos se realizaron bajo las directrices de control de documentos de la ISO 9001:2008, cada uno de los procedimientos contiene identificación, objetivo, alcance, seguridad industrial requerida, herramientas necesarias, repuestos requeridos, actividades a realizar y control de cambios.

Estos son algunos ejemplos de los Standar Jobs que se usarían para la implementación del proyecto.

8.1 Cambio de Aceite

PROCEDIMIENTO				
<i>Título:</i> Cambio de aceite				
<i>Sección:</i>		Mantenimiento		
<i>Responsable:</i>		Mecánico		
<i>Elaborado:</i>		<i>Equip</i>	Cosechadora 3520	
OBJETIVO				
Cambiar el aceite lubricante del sistema de la mejor forma sin desperdiciar aceite y dejando el nivel óptimo en el menor tiempo posible				
ALCANCE				
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas				
SEGURIDAD				
<p>Para el desarrollo de este procedimiento requiere :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Guantes • Gafas • Casco <p>Verifique que cada elemento se encuentre en buen estado y utilícelos siempre de manera adecuada.</p>				
HERRAMIENTAS				
<ul style="list-style-type: none"> • Llave expansiva • Medida de Aceite 				
REPUESTOS				
<ul style="list-style-type: none"> • Tapón de 1" • 2 galones de aceite neumático 				
ACTIVIDADES				
<ol style="list-style-type: none"> 1. Poner el recipiente debajo del tapón de alivio 2. Retirar el tapón con la llave expansiva, cuando se desocupe poner el otro tapón con teflón. 3. Retirar la tapa y depositar el aceite nuevo, volver atapar. 4. Encender la máquina para que el aceite se reparta por todos los lados. 				
CONTROL DE CAMBIOS				
	<i>Versión del Documento</i>	<i>Fecha de Publicación</i>	<i>Detalle de los cambios</i>	<i>Lugar del Documento</i>
	1.0			

8.2 CAMBIO DE SELLOS Y RODAMIENTOS DEL MOTOR

PROCEDIMIENTO			
<i>Título:</i> Cambio de Sellos y rodamientos del motor			
<i>Sección:</i>	Mantenimiento		
<i>Responsable:</i>	Mecánico y Electromecánico		
<i>Elaborado:</i>		<i>Equip</i>	Cosechadora
OBJETIVO			
Cambiar los sellos y rodamientos del motor de manera correcta y en el menor tiempo posible			
ALCANCE			
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas			
SEGURIDA			
Para el desarrollo de este procedimiento requiere:			
<ul style="list-style-type: none"> • Gafas • Guantes • Casco 			
Verifique que cada elemento se encuentre en buen estado y utilícelos siempre de manera adecuada.			
HERRAMIE			
NTAS			
<ul style="list-style-type: none"> • Llaves de 9/16. • Extractor. • Pinza Amperimetrica. • Alicate. • Porra de Caucho 	<ul style="list-style-type: none"> • Llave Expansiva • Llave de 1" • Destornillador mediano. • Cincel. 		
REPUEST			
OS			
<ul style="list-style-type: none"> • Rod ami ent 			
ANTES DE REALIZAR UNTRABAJO			
<ul style="list-style-type: none"> • Informar al supervisor de turno del trabajo a realizar • Disparar el contactar de arranque del motor • Poner letrero de NO Operación en el tablero de control 			

ACTIVIDADES

1. Desconectar los cables de la bornera del motor.
2. Con la llave de 1" desajustar los tornillos y Retirar el motor de su base al mismo que desacoplar su eje con el eje del tornillo
3. Con el destornillador de pala retirar la tapa del ventilador, luego retirar la chaveta del ventilador y sacarlo.
4. Con la llave de 9/16" desajustar las tuercas de la tapa del motor.
5. Con la porra y el cincel retirar los sellos y luego los rodamientos.
6. Aplicar grasa a los nuevos rodamientos e instalarlos en su lugar, luego se montan los sellos.
7. Volver a instalar las tapas, el ventilador y volver el motor a su posición original.

CONTROL DECAMBIOS

<i>Versión del Documen to</i>	<i>Fecha de Publicaci ón</i>	<i>Detalle de los cambios</i>	<i>Lugar del Docume nto</i>
1.0			

8.3 CAMBIO DE FILTRO DE AIRE

PROCEDIMIENTO DEMANTENIMIENTO				
<i>Título:</i> Cambio de filtro de aire				
<i>Sección:</i>		Mantenimiento		
<i>Responsable:</i>		Mecánico		
<i>Elaborado:</i>		Equip	Cosechadora	
OBJETIVO				
Realizar el cambio del filtro de aire de la manera correcta en el menor tiempo				
ALCANCE				
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas de mantenimiento				
SEGURIDAD				
<p>Para el desarrollo de este procedimiento requiere:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gafas • Guantes • Tapabocas <p>Verifique que cada elemento se encuentre en buen estado y utilícelos siempre de manera adecuada.</p>				
HERRAMIENTAS				
<ul style="list-style-type: none"> • Alicates. • Paño de Limpieza 				
REPUESTOS				
<ul style="list-style-type: none"> • Kit de Reparación 				
ANTES DE REALIZAR UNTRABAJO				
<ul style="list-style-type: none"> • Notifique al supervisor de turno del trabajo a realizar. • Instalar letrero de precaución en el tablero de control del equipo 				
ACTIVIDADES				
<ol style="list-style-type: none"> 1. Limpiar el exterior de la caja del filtro. 2. Con el alicate aflojar la tuerca de mariposa y retirar la tapa del filtro. 3. Retirar el filtro y limpiar el interior de la caja con el paño humedecido. 4. Limpiar o reemplazar el filtro y ponerlo sobre el zócalo. 5. Volver a poner la tapa en su lugar ajustándola con la tuerca mariposa. 				
CONTROL DECAMBIOS				
	<i>Versión del</i>	<i>Fecha de</i>	<i>Detalle de los cambios</i>	<i>Lugar del</i>
	1.0			

8.4 CAMBIO DE RODAMIENTOS DEL TORNILLO

PROCEDIMIENTO			
<i>Título:</i> Cambio de rodamientos del tornillo			
<i>Sección:</i>	Mantenimiento		
<i>Responsable:</i>	Mecánico		
<i>Elaborado:</i>		Equip	Cosechadora 3520
OBJETIVO			
Cambiar los rodamientos del tornillo compresor de la forma adecuada en el menor			
ALCANCE			
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas de mantenimiento			
SEGURIDADIN			
Para el desarrollo de este procedimiento requiere:			
<ul style="list-style-type: none"> • Guantes • Casco • Gafas 			
HERRAMIENTA			
<ul style="list-style-type: none"> • Llave de 9/16" • Pinzas Para Chaveta 		<ul style="list-style-type: none"> • Alicates • Destornillador de Estrella 	
REPUESTOS			
<ul style="list-style-type: none"> • Rodamientos • Chavetas 			
ACTIVIDADES			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Retirar los tornillos de la tapas del bloque del tornillo compresor con la llave de 9/16" 2. Sacar los rodamientos e insertar los nuevos con una delgada película de grasa. 3. Verificar el movimiento de tornillo induciéndolo manualmente, si se mueve fácilmente seguir al siguiente paso, si no bajar de nuevo los rodamientos y aplicar más grasa. 4. Volver a instalar las tapas con sus respectivos tornillos. 			
CONTROL DECAMBIOS			

	<i>Versión del Documento</i>	<i>Fecha de Publicación</i>	<i>Detalle de los cambios</i>	<i>Lugar del Documento</i>	
	1.0				

8.5 CAMBIO O LIMPIEZA DE MANGUERAS

PROCEDIMIENTO DEMANTENIMIENTO			
Título: Cambio o limpieza de mangueras			
<i>Sección:</i>		Mantenimiento	
<i>Responsable:</i>		Electromecánico	
<i>Elaborado:</i>		Equipo:	Cosechadora
OBJETIVO			
Realizar la limpieza o cambio de las mangueras de la forma correcta y en el tiempo justo.			
ALCANCE			
Sincronización en todos los trabajos de mantenimiento para reducir los tiempos perdidos en producción por las paradas de mantenimiento			
SEGURIDADINDUSTR			
Para el desarrollo de este procedimiento requiere: Guantes, casco y gafas y tapa oídos			
HERRAMIENTAS			
Llaves de ½" alicate, paño, aceite neumático y destornillador de estrella mediano			
REPUESTOS			
<ul style="list-style-type: none"> • Racores de ½" • 4 m de Manguera neumática. • Orring 			
ACTIVIDADES			
<ol style="list-style-type: none"> 1. Manualmente retirar todas las mangueras y luego con la llave de 1" desajustar todos los racores que llegan y salen de la electroválvula. 2. Soltar las bobina. 3. Con el destornillador soltar todos los tornillos que sostienen el cuerpo de la manguera. 4. Sacar y limpiar el cuerpo de la manguera así como su respectivo resorte. 5. Remojar el cuerpo de la manguera en ACPM. 6. Realizar todo el procedimiento a revés y dejar la manguera funcionando. 			
CONTROL DECAMBIO			
<i>Versión del Documento</i>	<i>Fecha de Publicación</i>	<i>Detalle de los cambios</i>	<i>Lugar del Documento</i>
1.0			

9.VALIDACIÓN DEL PROYECTO

9.1 PROYECCION DE INDICADORES

La proyección del indicador de averías se realizó a través de una regresión la cual nos brindó un pronóstico de fallas para el primer trimestre de implementación. A continuación se muestra los resultado obtenidos a través de Excel.

Tabla 30 Estadísticas de regresión

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,122296675
Coeficiente de determinación R²	0,014956477
R² ajustado	-
Error típico	6,908354269
Observaciones	10

Fuente: Autor

Tabla 31 Análisis de varianza

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	5,797130381	5,797130381	0,121468555	0,736441461
Residuos	8	381,8028696	47,7253587		
Total	9	387,6			

Fuente: Autor

Tabla 32 Análisis de varianza

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Intercepción	7,273	4,893	1,486	0,175	-4,010	18,558	-4,010	18,558
Variable X 1	0,109	0,315	0,348	0,736	-0,616	0,836	-0,616	0,836

Fuente: Autor

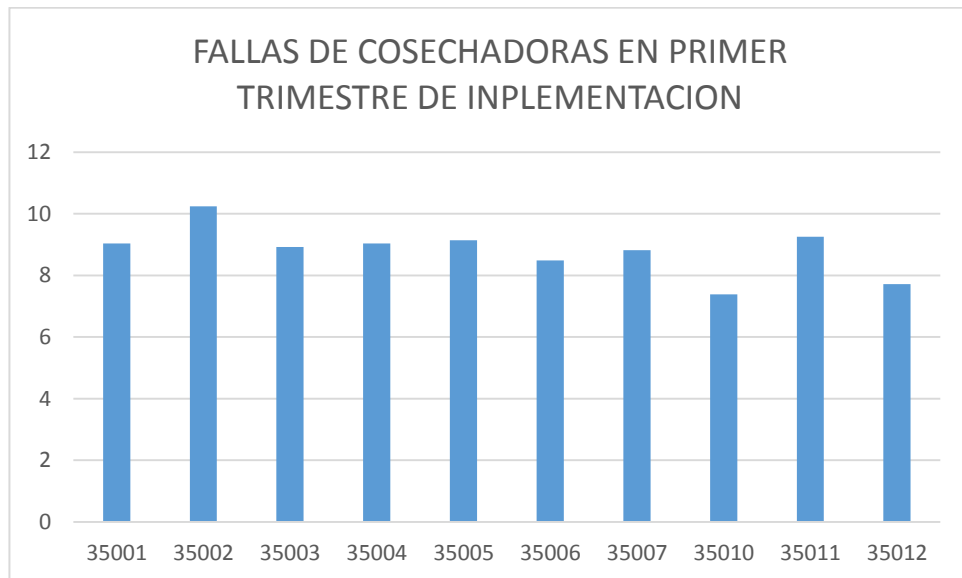
Tabla 33. Pronóstico para trimestre de implementación

<i>Observación</i>	<i>Pronóstico para Y</i>
1	9,030567686
2	10,23830318
3	8,92077355
4	9,030567686
5	9,140361822
6	8,481597006
7	8,810979414
8	7,383655646
9	9,250155958
10	7,713038054

Fuente: Autor

El grafico muestra el comportamiento de los equipos según la proyección realizada del indicador de anomalías, se puede observar una disminución poca, pero teniendo en cuenta que los resultados de la óptimos del plan de mantenimiento se esperan a partir del 1 primer año es un leve avance a la situación actual

Grafico 5 Anomalías de Maquinaria proyectada



Fuente: Autor

A continuación se muestra los costos del mantenimiento actual, los esperados por el proyecto y la diferencia o ganancia que obtendría la empresa

DESCRIPCION	MONTO ACTUAL	MONTO ESPERADO	DIFERENCIA
Costo de mantenimiento a la Cosechadora	\$ 92.117.800	\$ 71.903.982	\$ 20.213.818
Costo de inspecciones	\$ 25.866.000	\$ 18.366.000	\$ 7.500.000
Costo por paradas no programadas de la maquinaria	\$ 336.139.520	\$ 250.400.080	\$ 85.739.440
Costo y gastos	\$ 10.000.000	\$ 10.000.000	\$ -
TOTAL	\$ 464.123.320	\$ 350.670.062	\$ 113.453.258

10. CONCLUSIONES

- Al realizar un diagnóstico inicial de la maquinaria en la se encontró gran deterioro en los sistemas y por la cual se debe realizar la implementación de un plan de mantenimiento para la línea y así minimizar el deterioro de los equipos.
- El proceso de analizar las fallas de las cosechadoras mediante la metodología RCM, se desarrollo de actividades y/o tareas de mantenimiento mediante la metodología RCM. De esta manera se realizan sólo actividades necesarias para que el activo siga cumpliendo con sus funciones.
- Se diseñó el plan de mantenimiento para las cosechadoras a través de un formato el cual explica que, como y quien debe realizar cada actividad.
- Al implementar la estrategia de mantenimiento diseñada, se logra una reducción del 20% del costo de la estrategia actual correctiva, debido a que se espera reducir en un 35% del costo de las paradas no programadas en el primer trimestre, porcentajes obtenido a través de la validación del proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- LONDOÑO RENGIFO, Cristhian Pabel; Diseño e implementación de un programa TPM en los pilares de mejoras enfocadas y mantenimiento autónomo en el área de taller industrial del ingenio pichichi s.a.; Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Industrial; Tuluá, Valle del Cauca; Unidad Central del Valle del Cauca; Facultad de Ingenierías; 2012.
- Revista Virtual Pro; online; Mantenimiento Industrial; Edición No 73; Marzo 2008; Disponible en internet <http://www.revistavirtualpro.com/revista/mantenimiento-industrial/1>
- MOJICAR CABALLERO, Segismundo; Fundamentos para la introducción del RCM a la industria azucarera Revista virtual pro; online, Edición No 73; Marzo 2008; pág. 19.
- MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Traducido por Ellmann, Suerio y Asociados. Español Ed. Aladon LLC. 2004.ISBN 09539603-2-3
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Documentación: presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Sexta actualización. Bogotá D.C.: El instituto, 2008. 41 p.
- -----. Referencias bibliográficas: contenido, forma y estructura. NTC 5613. Bogotá D.C.: El instituto, 2008. 38 p.

- -----. Referencias documentales para fuentes de información electrónicas. NTC 4499. Bogotá D.C.: El instituto, 1998. 27 p.
- BUITRAGO CASTILLO, Andrés Felipe y RÍOS ARIAS, Erika Johanna. Diseño de un programa de mantenimiento productivo total para prodecaña san diego de San Pedro (Valle del Cauca). Trabajo de grado para optar el título de ingenieros industriales. Tuluá.: Unidad Central del Valle del Cauca. Facultad de ingenierías. Programa de ingeniería industrial.2010