

**Propuesta De Un Modelo De Mantenimiento Mediante Herramientas De La Metodología  
RCM Para Impresora Flexo Folder Gluer**

Oscar Alejandro Martínez Rodríguez

Msc. Miguel Ángel Urián Tinoco

Universidad ECCI

Dirección de Posgrados

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bogotá – 2.020

**Propuesta De Un Modelo De Mantenimiento Mediante Herramientas De La Metodología  
RCM Para Impresora Flexo Folder Gluer**

Trabajo presentado como opción de grado para optar a título Especialista en Gerencia de  
Mantenimiento

Oscar Alejandro Martínez Rodríguez

Msc. Miguel Ángel Urián Tinoco

Universidad ECCI

Dirección de Posgrados

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bogotá – 2.020

Nota de aceptación:

---

---

---

Presidente del jurado

---

Jurado 1

---

Jurado 2

Bogotá D.C. febrero, 2.021

## **Agradecimientos**

En primera instancia quiero agradecer a Dios por permitirme cumplir con éxito los diferentes logros propuestos y necesarios para optar el título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento.

En segunda instancia, gracias a mis padres por siempre estar ahí para darme la mano en los momentos más importantes y difíciles, por todos los valores inculcados y por enseñarme a ser trabajador y responsable, todo esto ha contribuido a que sea mejor ser humano cada día y a desarrollar un perfil profesional ético.

En tercera instancia agradezco a los docentes y orientadores por su enorme contribución a nuestro conocimiento como estudiantes y profesionales.

## Contenido

1	Título de la investigación .....	12
2	Problema de investigación .....	12
2.1	Descripción del problema.....	12
2.2	Planteamiento del problema .....	13
2.3	Sistematización del problema.....	13
3	Objetivos de la investigación .....	14
3.1	Objetivo general .....	14
3.2	Objetivos específicos.....	14
4	Justificación y delimitación.....	15
4.1	Justificación .....	15
4.2	Delimitación .....	15
4.3	Limitaciones .....	16
5	Marco conceptual.....	17
5.1	Estado del arte .....	17
5.1.1	Estado del arte local. ....	17
5.1.2	Estado del arte nacional. ....	19
5.1.3	Estado del arte internacional. ....	22
5.2	Marco teórico.....	24
5.2.1	Mantenimiento y confiabilidad. ....	25
5.2.2	Tipos de mantenimiento. ....	26
5.2.3	Requisitos para realizar mantenimiento. ....	33

5.2.4	Metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.....	40
5.3	Marco normativo y legal.....	44
5.3.1	SAE JA 1011-1012 evaluation criteria for reliability- centered maintenance (rcm) process. 45	
5.3.2	MIL-STD-3034, Reliability Centered Maintenance (rcm); Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para los procesos. ....	45
5.3.3	ISO 14224, Industria de petróleo y gas natural- recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos. ....	45
5.3.4	ISO 31000:2009, Sistema para la gestión del riesgo.....	46
5.3.5	Resolución número 000675 del 24 de abril de 2020.....	46
5.3.6	Decreto 15947 del 1984. ....	46
5.3.7	Decreto 1299 de 2008. ....	47
5.3.8	Resolución 1310 de 2009. ....	47
5.3.9	Resolución 4367 de 2009.....	47
5.3.10	Ley 1333 del 21 de julio de 2009.....	47
5.3.11	Ley 1672 de 2013.....	47
5.3.12	Decreto 2981 del 2013. ....	47
5.3.13	Ley 1252 de 2008.....	47
5.3.14	Resolución 1511 de 2010.....	48
5.3.15	Resolución 1512 DE 2010. ....	48
5.3.16	Resolución 1297 de 2010. ....	48
5.3.17	Resolución 1362 de 2007.....	48
5.3.18	Resolución 2400 de 1979.....	48

5.3.19	Acuerdo 79 de 2003. ....	48
5.3.20	Resolución 1208 de 2003. ....	49
5.3.21	Resolución 909 de 2008. ....	49
5.3.22	Decreto 948 de 1995. ....	49
5.3.23	Resolución 910 de 2008. ....	49
5.3.24	Decreto 0019 de 10 de 2012. ....	49
5.3.25	Ley 23 de 1973. ....	50
5.3.26	Ley 769 de 2002. ....	50
5.3.27	Ley 1383 de 2010. ....	50
5.3.28	Decreto 0019 de 10 de 2012. ....	50
5.3.29	Decreto 3102 de 1997. ....	50
5.3.30	Resolución 1457 de 210. ....	50
6	Marco metodológico .....	51
6.1	Recolección de la información .....	51
6.1.1	Tipo de investigación. ....	51
6.1.2	Fuentes de Obtención de la Información. ....	52
6.1.3	Herramientas. ....	53
6.1.4	Metodología. ....	53
6.1.5	Recopilación de información. ....	54
6.2	Análisis de la información.....	58
6.2.1	Taxonomía del equipo. ....	58
6.2.2	Sistema de estudio y desglose de subsistemas. ....	59
6.2.3	Jerarquización de equipos. ....	66

6.2.4	Características técnicas del equipo.....	69
6.2.5	Análisis de los modos y efectos de fallos (AMEF)..... <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
6.2.6	Efectos de los modos de falla y criticidad.....	77
6.3	Propuesta de solución .....	85
6.3.1	Identificación tareas de mantenimiento. ....	85
6.3.2	Agrupación plan de Mantenimiento.....	88
6.3.3	Formato de orden de trabajo. ....	91
7	Resultados esperados/generados .....	93
8	ANÁLISIS FINANCIERO .....	94
9	Conclusiones y recomendaciones.....	97
9.1	Conclusiones.....	97
9.2	Recomendaciones .....	98
10	Bibliografía .....	99

## Lista de figuras

Figura 1. Impresora tipo folder gluer para cartón corrugado.....	13
Figura 2. Curva típica expectativa de vida de un equipo.....	27
Figura 3. Calidad total del mantenimiento.....	30
Figura 4. Interface entre distintos aspectos de los procesos que intervienen en los sistemas.....	31
Figura 5. Diagrama de flujo metodología RCM.....	41
Figura 6. Diagrama de decisión metodología RCM.....	42
Figura 7. Tipos de investigación.....	51
Figura 8. Impresora tipo flexo folder gluer.....	55
Figura 9. Diagrama de flujo del proceso línea de terminado.....	57
Figura 10. Taxonomía de equipo.....	58
Figura 11. Correas de alimentación flexo folder gluer.....	60
Figura 12. Sistema de impresión flexográfica.....	62
Figura 13. Kit scores (Macho/Hembra) Flexo Folder Gluer.....	63
Figura 14. Kit Cuchillas (Superior/Inferior) Flexo Folder Gluer.....	63
Figura 15 Cortes y Scores de una caja regular.....	64
Figura 16. Unidad dobladora o Foldeadora.....	64
Figura 17. Counter Ejector.....	65
Figura 18. Impresora FFG 12000.....	72
Figura 19. Diagrama de decisión para Impacto/Ocurrencia.....	80

## Lista de tablas

Tabla 1. Jerarquización Cuerpo Alimentador .....	67
Tabla 2. Jerarquización Cuerpo Impresor .....	67
Tabla 3. Jerarquización Cuerpo Ranurador .....	68
Tabla 4. Jerarquización Cuerpo Foldeador .....	68
Tabla 5. Jerarquización Counter Ejector.....	69
Tabla 6. Ficha técnica del equipo .....	70
Tabla 7. Condiciones de operación.....	71
Tabla 8. Hoja de registro AMEF Cuerpo Alimentador.....	73
Tabla 9. Hoja de registro AMEF Cuerpo Impresor .....	74
Tabla 10. Hoja de registro AMEF Cuerpo Ranurador .....	75
Tabla 11. Hoja de registro AMEF Cuerpo Foldeador.....	76
Tabla 12. Hoja de registro AMEF Counter Ejector .....	77
Tabla 13. Valores Impacto/Ocurrencia .....	78
Tabla 14. Hoja de registro FMECA Cuerpo Alimentador .....	81
Tabla 15. Hoja de registro FMECA Cuerpo Impresor.....	82
Tabla 16. Hoja de registro FMECA Cuerpo Ranurador .....	83
Tabla 17. Hoja de registro FMECA Cuerpo Foldeador .....	84
Tabla 18. Hoja de registro FMECA Counter Ejector .....	85
Tabla 19. Hoja de registro del FMECA Análisis de consecuencias .....	87
Tabla 20. Actividades de Mantenimiento RCM .....	89
Tabla 21. Actividades LILA del plan de mantenimiento.....	90

Tabla 22. Formato Orden de Trabajo.....	92
Tabla 23. Tarifas Recurso Humano .....	95
Tabla 24. Análisis financiero Recurso Humano .....	95
Tabla 25. Análisis financiero gastos .....	96

## **1 Título de la investigación**

Propuesta de un modelo de mantenimiento preventivo mediante la metodología RCM para impresora Flexo Folder Gluer.

## **2 Problema de investigación**

### **2.1 Descripción del problema**

La producción de cartón corrugado tiene alta demanda en diferentes sectores de la industria como una solución de empaque con amplia versatilidad en el diseño. El producto final para el cliente es la caja de cartón diseñada y dimensionada según sus necesidades teniendo en cuenta todos los estándares de calidad. El proceso productivo empieza con unas bobinas de papel como materia prima que pueden ser de papel virgen, reciclado o la mezcla entre ambos, en la actualidad es mayor el porcentaje de papel reciclado que se utiliza para la fabricación de la lámina por fines económicos y ambientales.

La línea corrugadora es el primer eslabón en el proceso de fabricación, es allí donde las bobinas son convertidas en láminas de cartón corrugado a través de procesos húmedos y secos a lo largo de toda la línea. Las láminas son conducidas a la línea de conversión o terminado que consta de una impresora industrial cuya función es plasmar el diseño de la caja (darle forma) en la lámina. La línea de conversión (terminado) en la fabricación de cajas corrugadas es el eslabón final de su proceso, se realiza a través de la operación de una impresora que para motivos de esta investigación será del tipo dobladora, más exactamente una impresora tipo flexo folder gluer (garantiza impresión flexográfica, plegado y pegado de la caja). Las actividades de mantenimiento realizadas en la actualidad únicamente contemplan limpieza, lubricación y ajuste correctivo de variables de operación en cada uno de los subsistemas.

Las fallas que se puedan presentar en esta máquina están directamente relacionadas con la productividad de la línea, la calidad del producto y la disponibilidad de la línea en general. La distribución de cada uno de los sistemas (cuerpos) de la máquina dan para generar traumatismo en toda la línea si se presenta una falla en cualquiera de ellos lo que desencadena pérdidas económicas y afectación directa a los indicadores de mantenimiento.

Figura 1. Impresora tipo folder gluer para cartón corrugado



Fuente: <https://www.corrugatedboxequipment.com/flexo-folder-gluer.html>

## 2.2 Planteamiento del problema

De acuerdo con la descripción del problema citada en el numeral anterior se formula la pregunta de investigación:

¿Un plan de mantenimiento preventivo para la impresora flexo folder gluer mejorará los indicadores de la organización?

## 2.3 Sistematización del problema

¿Qué tipo de mantenimiento se realiza al equipo y cuál es su estado actual?

¿Cuáles son los módulos o subsistemas a intervenir dentro del mantenimiento preventivo a la impresora flexo folder gluer?

¿Como determinar las inspecciones visuales y listas de chequeo a los modos y efectos de falla para la propuesta RCM?

### **3 Objetivos de la investigación**

#### **3.1 Objetivo general**

Desarrollar una propuesta de modelo de mantenimiento preventivo mediante herramientas de la metodología RCM para una impresora Flexo Folder Gluer.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Identificar y categorizar los sistemas de la impresora flexo folder gluer a tener en cuenta para la solución a aplicar.
- Definir los parámetros de modos y efectos de falla de los sistemas para el diseño del modelo de mantenimiento preventivo basado en herramientas del RCM categorizando su afectación en la máquina mediante un análisis de criticidad.
- Plantear las actividades a desarrollar en el plan de mantenimiento preventivo de acuerdo a las herramientas aplicadas del RCM a través del diagrama de decisión para corregir las fallas identificadas.

## **4 Justificación y delimitación**

### **4.1 Justificación**

El mantenimiento de la maquinaria en una empresa es indispensable para generar y sostener resultados productivos y económicos. La estructuración de planes de mantenimiento para máquinas de producción e instalaciones en general trae consigo beneficios alrededor de la gestión de activos e indicadores de la compañía. Con este proyecto se pretende establecer actividades de mantenimiento basadas en RCM teniendo en cuenta la necesidad de generar y mantener altos índices de confiabilidad en la máquina/línea para la optimización en la gestión de indicadores de producción (productividad, calidad, tiempos de entrega). Los tiempos de inactividad en la operación de la máquina significan impacto negativo en la economía, por lo tanto, es una de las principales razones para estructurar planes de mantenimiento efectivos y confiables que logren disminuir cantidad de paradas, tiempos de parada, mantenimientos correctivos y además edificar excelencia y cumplimiento de indicadores de producción como base del crecimiento organizacional en el mercado.

Se justifica la investigación teniendo en cuenta la necesidad latente de diseñar un modelo de mantenimiento basado en el análisis del estado actual de la máquina que cubra las necesidades de la misma y cuya estructura de actividades logre atacar de manera preventiva las fallas posibles al igual que extender la vida útil y la mejora en las condiciones de operación buscando dar una respuesta consistente a los objetivos organizacionales.

### **4.2 Delimitación**

El proyecto se desarrolló en la ciudad de Bogotá en una planta productora de cartón corrugado. La propuesta se llevó a cabo entre los meses de Octubre 2020 y Enero 2021.

### **4.3 Limitaciones**

Información por parte del fabricante: El acceso a la información es muy limitado porque el fabricante produce modelos nuevos con sistemas mucho más avanzados. Esto impide realizar una comparación con manuales de mantenimiento de los nuevos modelos.

Información por parte de la empresa: La empresa se reservará de brindar cualquier tipo de información propia de la actividad económica o de cualquier otra índole que ponga en riesgo su estabilidad en el mercado y el manejo de datos.

Tiempo: La recolección de información para el desarrollo de la propuesta comprende un tiempo estimado desde el mes de abril hasta el mes de noviembre de 2020.

Económica: En el marco del aspecto económico es importante mencionar que todos los fondos necesarios y utilizados para el desarrollo de la propuesta serán asumidos por el/los autor/es del proyecto.

Talento humano: Por parte del personal es necesario un conocimiento previo de las diferentes metodologías de mantenimiento más exactamente del mantenimiento preventivo, además, es necesario desarrollar habilidades especiales y evaluar las diferentes competencias que tiene el personal teniendo como referencia el equipo en cuestión.

## 5 Marco conceptual

### 5.1 Estado del arte

#### 5.1.1 Estado del arte local.

##### 5.1.1.1 *“Propuesta para la creación de un plan de mantenimiento basado en el análisis modal de falla y efecto (amef- amfe), aplicable a empresas de impresión y artes gráficas”.*

En el año 2015 el ingeniero Mario Andrés García para optar al título de especialista en gerencia de mantenimiento presentó el proyecto titulado “Propuesta para la creación de un plan de mantenimiento basado en el análisis modal de falla y efecto (amef-amfe), aplicable a empresas de impresión y artes gráficas” cuyo objetivo principal es determinar el plan de mantenimiento más eficiente para una empresa de producción en artes gráficas. De este documento se logran consolidar bases importantes en la determinación de los modos de falla para el proyecto en desarrollo, así como también el perfilamiento y la discriminación de los mismos según la disciplina correspondiente (mecánica, eléctrica, electrónica) (García, 2015).

##### 5.1.1.2 *“Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para la extrusora de plástico jhs 45 de la empresa arneses y gomas s.a”.*

En el año 2017 el ingeniero Hugo Alberto Fajardo para optar al título de especialista en gerencia de mantenimiento presentó el proyecto titulado “Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para la extrusora de plástico JHS 45 de la empresa arneses y gomas S.A” cuyo objetivo principal es el diseño de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad. De esta investigación se toma guía para realizar la jerarquización de equipos y estructuración inicial del modelo RCM (Fajardo, 2017).

### ***5.1.1.3 “Propuesta para la aplicación del RCM en una motobomba centrífuga IHM 15 h -7.5 tw”.***

En el año 2016 los ingenieros Pedro Luis Abril, Cristian Alexander Ardila y Juan Sebastián Cubillos presentaron el proyecto de grado titulado “Propuesta para la aplicación del RCM en una motobomba centrífuga IHM 15 h -7.5 Kw”. El documento tiene como objetivo el diseño de un modelo de mantenimiento preventivo basado en RCM. De esta investigación se toman ideas para fundamentar los objetivos de este proyecto, así como la estructuración del análisis y diagnóstico de modos y efectos de falla (Abril, Ardila , & Cubillos, 2016).

### ***5.1.1.4 “Propuesta de un programa de mantenimiento preventivo para eventos menores de aeronaves en línea para una compañía de aviación comercial”.***

Para el año 2013 se presentó la tesis “Propuesta de un programa de mantenimiento preventivo para eventos menores de aeronaves en línea para una compañía de aviación comercial” en la Universidad ECCI por los ingenieros Juan Pablo Barriga y Héctor Rodríguez. El documento hace referencia a las demoras por eventos menores de mantenimiento durante la operación de una aeronave, generando tiempos excesivos que afectan drásticamente la disponibilidad de la misma. De esta investigación se toman ideas para fundamentar la estructura del proyecto y como guía metodológica de trabajo teniendo en cuenta la importancia que tienen el número de paradas y los tiempos de parada, así como la afectación que tienen ambos aspectos en la disponibilidad de las máquinas y en la productividad para las empresas (Rodriguez & Barriga, 2013).

### **5.1.1.5 “Desarrollo de un proceso de consultoría en gestión de mantenimiento caso de estudio “Gate Gourmet Colombia Ltda.”.**

Para el año 2016 el proyecto realizado por los ingenieros Sebastián Galindo, María Paula Larrota y William Romero titulado “Desarrollo de un proceso de consultoría en gestión de mantenimiento caso de estudio Gate Gourmet Colombia Ltda.” fundamenta los principios a tener en cuenta a la hora de pensar y hablar de mantenimiento en una compañía. El título ayuda a consolidar factores importantes a tener en cuenta en el análisis de cada uno de los equipos de una línea productiva o en general de los activos de la empresa para poder estructurar un plan de trabajo que realmente ataque de forma acertada y eficiente los modos de falla de los equipos en mención (Galindo, Larrota, & Romero, 2016).

### **5.1.2 Estado del arte nacional.**

#### **5.1.2.1 “Propuesta de modelo de mantenimiento RCM para excavadora de orugas y retrocargador de llantas en la empresa SERTRAC ingeniería SAS en el departamento del Casanare”.**

En el año 2016 los ingenieros Juan Manuel Rivera y Alejandro Tangarife Duran en la Universidad Industrial de Santander presentaron la tesis titulada “Propuesta de modelo de mantenimiento RCM para excavadora de orugas y retrocargador de llantas en la empresa SERTRAC ingeniería SAS en el departamento del Casanare”. La propuesta busca el diseño de un modelo de mantenimiento basado en confiabilidad que logre disminuir la pérdida en alquiler de equipos por paradas no programadas de los equipos propios. De esta investigación se toma guía para elaborar el modelo de decisión basado en RCM teniendo en cuenta que son sectores diferentes y maquinaria de otro tipo (Ochica & Tangarife, 2016).

### ***5.1.2.2 “Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa Agroangel”.***

En el año 2014 en la Universidad Tecnológica e Pereira los estudiantes Héctor Olaya y Rafael Ángel para optar al título de ingenieros presentaron un proyecto de grado titulado “Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa Agroangel”. La propuesta básicamente busca prevenir al máximo las fallas en la maquinaria y preservar el estado óptimo de los equipos, su funcionamiento y el mayor índice de productividad posible. A la investigación en curso aporta de forma que se pueden identificar los diferentes impactos generados en los diferentes indicadores de productividad y mantenimiento la presencia de fallas en los equipos, así como también busca mostrar la importancia de prevenirlas y controlarlas (Angel & Olaya, 2014).

### ***5.1.2.3 “Puesta en marcha de un de mantenimiento para las instalaciones de Gecolsa Sabaneta”.***

En el año 2010 en la Universidad Nacional de Colombia de la ciudad de Medellín se presentó la tesis titulada “Puesta en marcha de un plan de mantenimiento para las instalaciones de Gecolsa Sabaneta”. El ingeniero David Restrepo quien presentó el proyecto con este documento buscaba aplicar el mantenimiento preventivo existente en la compañía a la nueva maquinaria, estas máquinas debían estar bajo parámetros de mantenimiento y políticas de calidad que maneja la compañía Caterpillar en su programa medio ambiental. Aporta a la investigación en el marco de las normativas de las empresas para con los diferentes planes de mantenimiento y el manejo político de los indicadores de clase mundial (Restrepo, 2010).

#### ***5.1.2.4 “Elaboración de un plan de mantenimiento para los equipos del área de trituración de la empresa Constriturar S.A.S”.***

En el año 2018 los ingenieros Julián Vargas y Otto Villanueva presentan el proyecto de grado titulado “Elaboración de un plan de mantenimiento para los equipos del área de trituración de la empresa Constriturar S.A.S.” en la Universidad de América. El objetivo principal de este documento investigativo es precisamente plasmar un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad que se pudiese implementar en los diferentes equipos de la empresa. De esta investigación se toman fundamentos para la elaboración de la matriz de criticidad, así como conceptos referentes a la distribución del cronograma de actividades que concluye el marco investigativo en objeto (Vargas & Villanueva, 2018).

#### ***5.1.2.5 “Propuesta de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), para la planta de tratamiento de aguas en Termosuria-Meta.”.***

En el año 2018 en la universidad Libre el ingeniero Andrés Felipe Trujillo con tesis “Propuesta de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), para la planta de tratamiento de aguas Termosuria-Meta” desarrolla un trabajo investigativo con el objetivo principal de consolidar un plan de mantenimiento que garantice la productividad de los activos. Para esta investigación este documento resulta ser de gran aporte ya que brinda información necesaria para estructurar las estrategias requeridas para el desarrollo de un plan de mantenimiento óptimo y eficiente (Trujillo, 2018).

### **5.1.3 Estado del arte internacional.**

#### ***5.1.3.1 “Elaboración de un plan de mantenimiento predictivo y preventivo en función de la criticidad de los equipos del proceso productivo de una empresa empacadora de camarón”.***

En el año 2007 los ingenieros Álvaro Pesántez y Rodrigo Sarzosa desarrollaron su proyecto investigativo para la Escuela Superior Politécnica del Litoral Ecuador titulado “Elaboración de un plan de mantenimiento predictivo y preventivo en función de la criticidad de los equipos del proceso productivo de una empresa empacadora de camarón. La estructura evidenciada en la investigación contribuye de forma muy positiva en el desarrollo del proyecto actual pues inicia con un análisis de la situación actual de los equipos, su condición y el impacto del mantenimiento en ellos, se determina la etapa más crítica del proceso y se desarrolla un plan de mantenimiento que logre atacar esos puntos importantes. El objetivo principal de la investigación va ligado al del documento actual desde el punto de vista de disminuir el número de reparaciones y fallas, así como también alargar la vida útil de los equipos en búsqueda de la productividad de las líneas de proceso (Pesantez & Sarzosa, 2007).

#### ***5.1.3.2 “Propuesta de gestión de mantenimiento rcm en plantas de energía a gas natural”.***

En el año 2018 el ingeniero Orlando Belli Hesse presentó el proyecto titulado “Propuesta de gestión de mantenimiento rcm en plantas de energía a gas natural” para la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. En este documento el autor realiza un análisis teórico del mantenimiento basado en confiabilidad y diseña un modelo a implementar en las plantas de generación de energía a gas natural. El aporte que este documento realiza al desarrollo del proyecto actual va ligado directamente a aspectos importantes en la estructuración de un modelo

RCM como lo son la jerarquización del riesgo, el árbol lógico de decisiones, los pasos de aplicación del modelo RCM y el diseño de las tareas de mantenimiento (Belli, 2018).

#### ***5.1.3.3 “La gestión de los activos físicos en la función mantenimiento”.***

En el año 2010 el ingeniero Ángel Sánchez Rodríguez realizó un documento investigativo para el Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría de La Habana, Cuba titulado “La gestión de los activos físicos en la función mantenimiento”. Este documento hace ver el papel tan relevante que tiene el área de mantenimiento de una empresa en la gestión de los activos físicos de la misma, así como también los pilares fundamentales de la óptima operación de esa actividad (Sanchez, 2010).

#### ***5.1.3.4 “Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM en la EDAR de Nules-Vilavella”.***

En el año 2015 el ingeniero Salvador Barreda Beltrán de la Universidad Jaime I de España desarrolla un proyecto titulado “Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM en la EDAR de Nules-Vilavella” que tiene como objetivo principal el diseño y la estructuración de un plan de mantenimiento bajo metodología RCM para la EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales) de Nules-Vilavella. En el documento se evidencia un análisis a fondo de las diferentes etapas del mantenimiento a lo largo del tiempo profundizando aún más en el RCM. De este documento se logran tomar muchas ideas para el desarrollo del proyecto actual basado en los fundamentos importantes, teóricos y estructurales de un modelo RCM, funciones de los equipos, fallas, modos de avería entre otros (Barreda, 2015).

### **5.1.3.5 “Rcm para optimizar la disponibilidad de los tractores d8t en la empresa Aruntani sac – unidad tukari”.**

En el año 2016 el ingeniero Christian Manolo Núñez presentó el proyecto titulado “RCM para optimizar la disponibilidad de los tractores d8t en la empresa Aruntani sac-unidad tukari” para la Universidad Nacional del Centro de Perú en el cual desarrolla una completa investigación, diseño y desarrollo de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad para aumentar la disponibilidad de los equipos de la empresa, reducir las averías imprevistas y mejorar la gestión de mantenimiento general de los activos. Su aporte al proyecto en desarrollo va ligado al énfasis y la demostración de lo importancia que es la gestión del mantenimiento como herramienta de crecimiento, productividad y mejora de los indicadores organizacionales (Núñez, 2016).

## **5.2 Marco teórico**

En el marco de los objetivos trazados para el proyecto de investigación se hace necesario identificar y analizar algunos conceptos importantes y temas relacionados directamente con el equipo objeto de estudio, su funcionamiento y condiciones de operatividad, condición de máquina y también un adentramiento teórico a todo lo relacionado con el mantenimiento de los equipos del mismo tipo. Esto con el fin de mantener un lineamiento adecuado de los conceptos y una guía mucho más clara de la propuesta del documento y hacia dónde debe ir ligada.

### **5.2.1 Mantenimiento y confiabilidad.**

El mantenimiento es una actividad que se realiza a través de procesos directos o indirectos a los equipos e instalaciones con el objetivo de asegurar su operación en las condiciones óptimas.

El mantenimiento es una necesidad latente en cada una de las empresas o instalaciones en las que se genere cualquier tipo de actividad, desde la reparación de una máquina industrial hasta el cambio de tubería de agua en una casa el mantenimiento está presente en muchas de las actividades diarias y en el ámbito industrial tiene muchísima más presencia. Es por ello que las empresas con el pasar de los años se han preocupado por formar un área de mantenimiento muy equilibrada con especialistas en diferentes funciones y área del conocimiento industrial. Como se mencionó anteriormente existen dos categorías que se desglosan del mantenimiento:

#### ***5.2.1.1 Mantenimiento de tipo general.***

Refiere a todas aquellas actividades de reparación u operación que se desarrollen en sistemas y equipos domiciliarios como hoteles, escuelas, oficinas o más exactamente a sistemas de no producción.

#### ***5.2.1.2 Mantenimiento industrial.***

Va ligado a operar o reparar todos aquellos sistemas que intervienen en la producción o fabricación de algún bien o servicio, ya se puede incluir el concepto de criticidad como eslabón de la cadena productiva y podemos hablar no sólo de maquinaria industrial sino también de flotilla de buses, camiones o cualquier otro vehículo que preste un servicio.

## **5.2.2 Tipos de mantenimiento.**

De manera general se presentan los diferentes tipos de mantenimiento teniendo en cuenta que estos se relacionan con la forma en que se plantean las actividades que buscan dar continuidad a la función de los activos.

### **5.2.2.1 *Mantenimiento preventivo.***

Comprende las actividades de control, conservación y restauración de los equipos e instalaciones que los mantengan en óptimas condiciones de funcionamiento. Que ayuden a prevenir posibles fallas que lleven a su disminución en la disponibilidad. (González, 2005) aclara que este tipo de mantenimiento consiste en realizar ciertas reparaciones o cambios de componentes de pieza, según intervalos de tiempo o según determinados criterios.

### **5.2.2.2 *Mantenimiento correctivo.***

Comprende las actividades que tengan como objetivo corregir las fallas en condiciones normalmente no programadas y se subdivide en tres tipos:

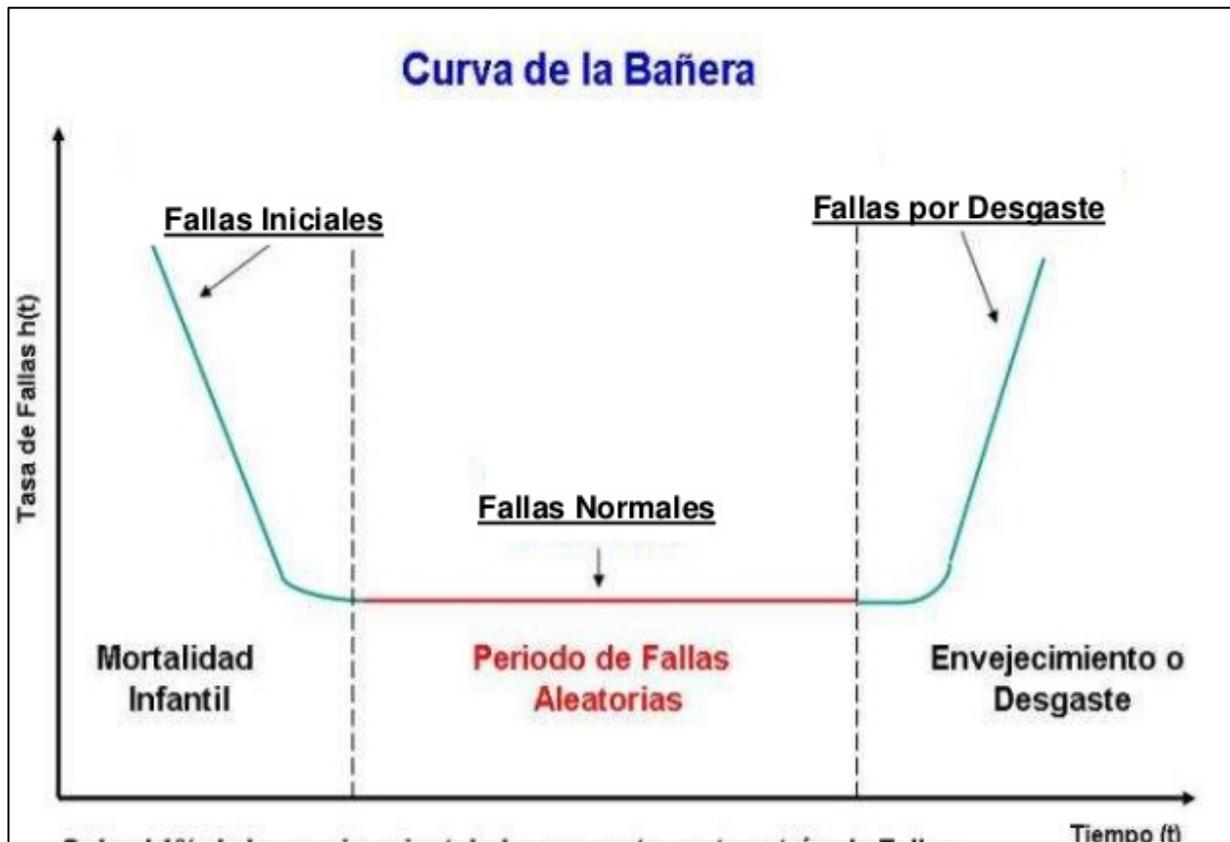
Mantenimiento correctivo de emergencia: Su finalidad es proceder de inmediato al restablecimiento de las actividades u operación del o los equipos.

Mantenimiento correctivo de urgencia: Su finalidad es proceder en el menor tiempo posible al restablecimiento de las actividades.

Mantenimiento programado: Su finalidad es intervenir en cualquier momento el equipo para establecer su operación normal. Estos mantenimientos se pueden programar durante los tiempos de inoperación del equipo.

Los planes de mantenimiento son establecidos directamente por el fabricante, pero pueden variar de acuerdo a la operación de la planta.

Figura 2. Curva típica expectativa de vida de un equipo



Fuente: <https://www.slideshare.net/JesusPedrique/operaciones-de-mantenimiento-y-fallas-en-equipos>

Los periodos de mantenimiento se dan de una forma más intensiva durante la etapa de maduración de un equipo o en una instalación, es decir en el periodo inicial y después del periodo de envejecimiento, al final de su vida útil.

### **5.2.2.3 Establecimiento del programa de mantenimiento preventivo.**

Los planes de mantenimiento deben contar con una serie de aspectos importantes que fundamenten sus bases, dentro de los cuales se encuentran:

Se deben tener en cuenta los planes de mantenimiento existentes en la planta, de tal manera se puede crear uno que se acomode específicamente a las características del equipo que necesitamos, estableciendo las actividades y evitando el alto costo de dicho mantenimiento. Además, es necesario contar con el personal técnico especializado, así como con la herramienta necesaria y apropiada.

- **Objetivos del mantenimiento**

En el marco del establecimiento correcto de un plan de mantenimiento preventivo, también es de vital importancia tener bien identificados los objetivos del plan en cuestión y del concepto en general. Dentro de los objetivos de un plan de mantenimiento tenemos los siguientes:

- Garantizar el funcionamiento del equipo y todos los subsistemas por un periodo estipulado sin que éste presente fallas que afecten su disponibilidad.
- Mantener el equipo en su más alta eficiencia y al menor costo práctico.

- **Procedimientos generales**

El diseño, desarrollo e implementación de un plan de mantenimiento de igual manera contempla unos procedimientos generales que fundamentan la eficacia del plan, a continuación, se mencionan algunos de estos procedimientos:

- Inspección del equipo
- Limpieza del equipo
- Ajuste de todas las conexiones
- Ajuste y lubricación de todas las partes móviles

- Prueba de las porciones críticas de los circuitos involucrados
- Corrección de cualquier deficiencia descubierta
- Registro de comentarios pertinentes.
- En caso de ser requerido reponer equipo y refacciones de la planta.

En el marco de la realización de un buen plan de mantenimiento es importa realizar una correcta recolección de la información y ordenarla de manera adecuada para facilitar la consulta en momentos posteriores.

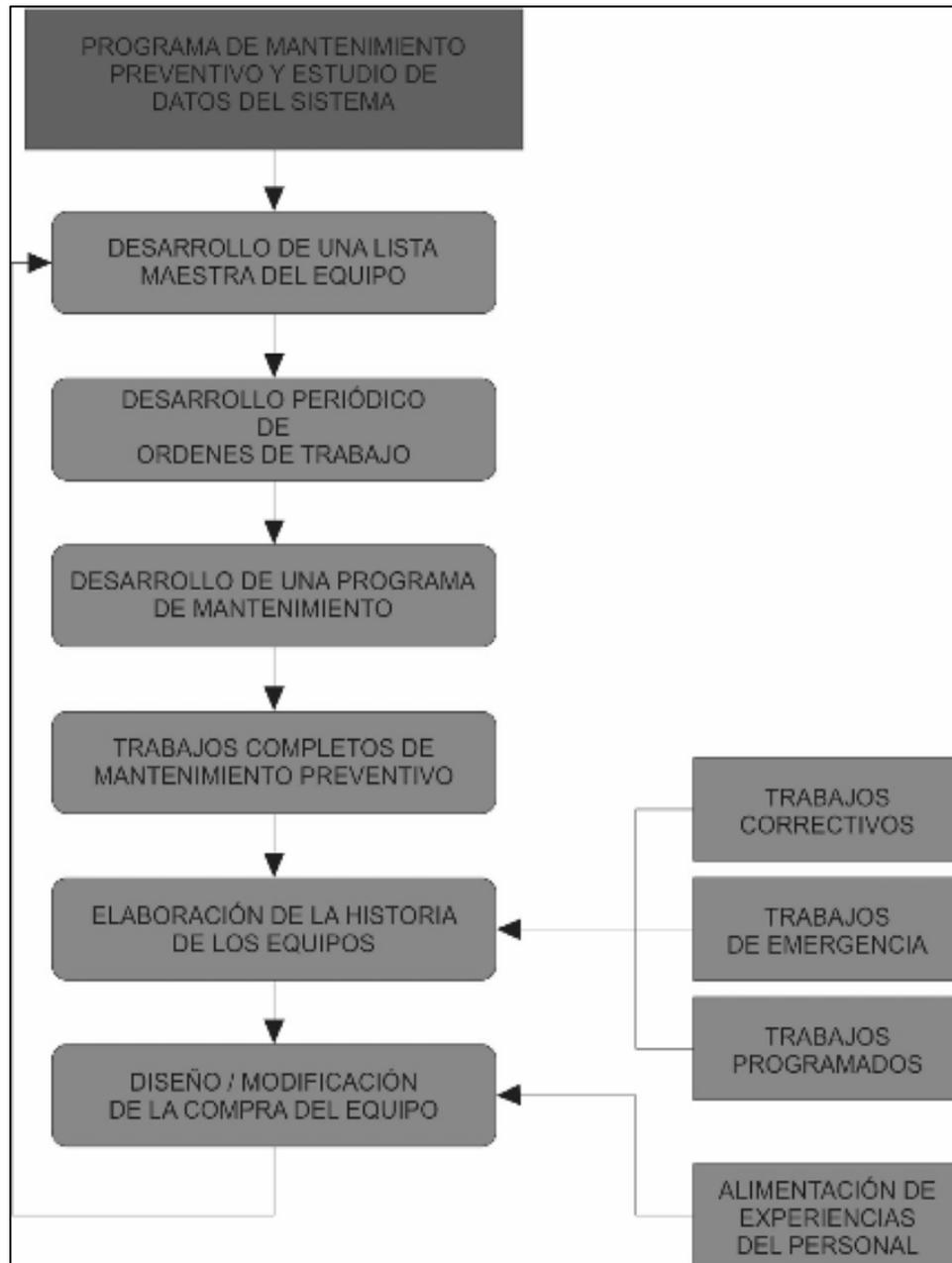
De esta forma, cada equipo debe contener por lo menos los siguientes datos:

- A. Número de equipo en la planta: Cada equipo debe tener un número de identificación.
- B. Localización del equipo: Crear una ubicación geográfica dentro de la planta.
- C. A partir de las recomendaciones de los manuales de mantenimiento: identificar cada uno de los sistemas y establecer su periodicidad de mantenimiento.
- D. Después de las funciones de mantenimiento listadas anteriormente: enlistar cada uno de los ítems necesarios para realizar las actividades planteadas.

- **Calidad del mantenimiento**

La correcta y completa recolección de información del mantenimiento, así como las ordenes de trabajo que se programen se usarán para elaborar un plan de mantenimiento bien organizado.

Figura 3. Calidad total del mantenimiento

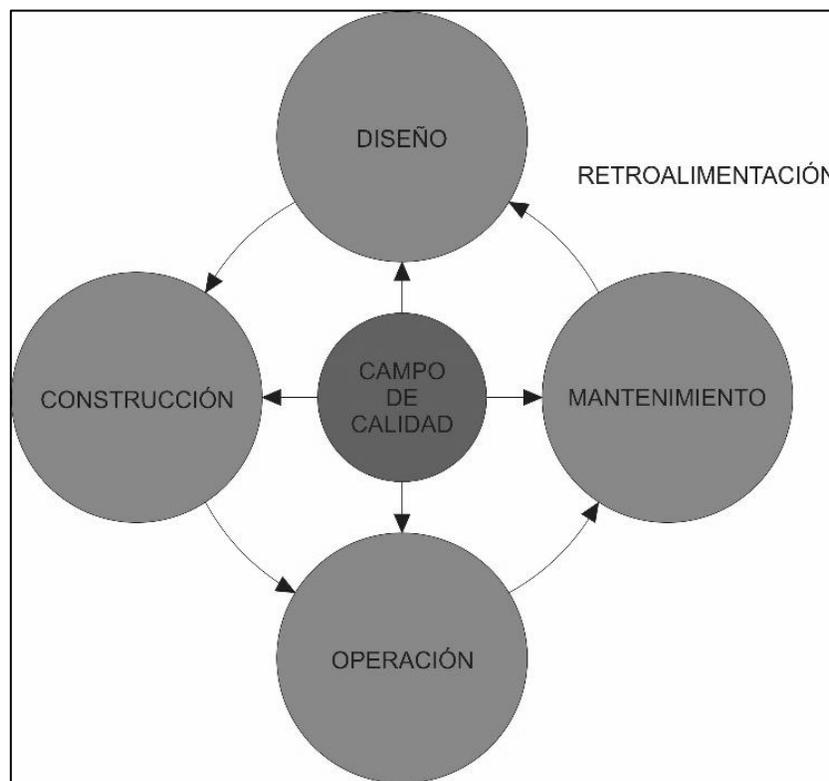


Fuente: Enríquez (2009)

Según (Enríquez, 2009) el trabajo del mantenimiento preventivo se completa y documenta. La hoja de vida del equipo se desarrolla del trabajo de mantenimiento preventivo de

emergencia y del trabajo programado completo, las modificaciones y las compras están basadas en la historia de equipo y de las opiniones del personal directamente afectado, cualquier cambio de datos del equipo se agrega a la lista y al equipo maestro.

Figura 4. Interface entre distintos aspectos de los procesos que intervienen en los sistemas



Fuente: Enríquez (2009)

- **La investigación de problemas**

Previo a la ejecución de alguna actividad de reparación se hace necesario realizar una investigación de los problemas, un diagnósticas de la falla o inconveniente que se esté

presentando en el subsistema que se esté viendo afectado; estas acciones ayudan a mejorar la eficiencia de los trabajos de mantenimiento y evita errores.

Existen algunas acciones que ayudan al mejoramiento continuo del diagnóstico de fallas:

- Revisión de órdenes de trabajo previstas, edad del equipo y su historia.
- Verificación de los procesos de planta y los procedimientos del fabricante de información relevante.
- Determinación de los equipos en el proceso general de producción y operación de la planta.
- Consultar con otros técnicos de mantenimiento que tengan experiencia en el equipo.
- Recolección de las herramientas requeridas, equipos de prueba y equipos de seguridad.

Es importante hacer un seguimiento a la operación de la máquina para poder realizar un diagnóstico adecuado. La persona encarga de la operación de la máquina es un ente de información muy importante para los técnicos de mantenimiento puesto que conocen muy bien los parámetros de funcionamiento de las máquinas y les es mucho más fácil identificar cuando opera de manera defectuosa o incorrecta; se debe verificar qué procedimientos en la planta son necesarios para la operación del equipo y qué cambios no autorizados se hicieron a los parámetros de funcionamiento, seguido de ello se deberá realizar una inspección de condiciones.

- **Aislando problemas**

Las posibles causas de falla deben ser enumeradas en una lista y clasificadas desde la más simple a la más compleja con base en la dificultad de su reparación, es importante no descartar

ninguna y hacer trazabilidad con la hoja de vida del equipo para revisar posibles históricos similares que nos guíen un poco más en el diagnóstico.

- **Resolución de problema**

Luego de realizar el diagnóstico de la falla se deben contemplar las posibles soluciones o reparaciones a la misma con el fin de determinar cuál es la más viable o mejor solución teniendo en cuenta factores como, producción de la planta, costos, presupuesto del departamento, seguridad, políticas de la planta, requerimientos normativos y aspectos legales. Hay oportunidades en que la solución a la falla o problema es una reparación temporal que nos permita poner en marcha la máquina lo más pronto posibles, cuando esto sucede se prevé de una vez la programación de paro de máquina para mantenimiento correctivo y de esa forma reparar del todo el problema para resolver de manera definitiva.

### **5.2.3 Requisitos para realizar mantenimiento.**

Implementos adecuados: Con este aspecto se hace referencia a herramientas y sitios adecuados para realizar cualquier tipo de reparación o intervención a la maquinaria. Es importante tener a disposición la herramienta adecuada y un taller o instalaciones adecuadas para realizar los diferentes trabajos de forma segura y sin algún tipo de restricción con el fin de poder realizar un mantenimiento de calidad.

Personal calificado: Es de vital importancia que el personal de mantenimiento, quienes van a intervenir las máquinas sea personal bien calificado y tenga muy clara sus competencias,

esto con el fin de poder administrar y delegar funciones que puedan optimizar el empleo de conocimientos y así conseguir la excelencia.

Programación del mantenimiento: En las empresas de producción existe una pelea constante entre los departamentos de mantenimiento y de planeamiento de producción ya que en muchas ocasiones son los de producción quienes no dan las máquinas para mantenimiento y cuando se presenta una falla entonces si se hace crítico intervenir de manera pronta. Es por ellos que es importante que desde el departamento de mantenimiento se realice una correcta programación de las diferentes tareas a realizar y que se respeten los tiempos solicitados para realizarlas, también es importante de cierta manera crear un buen clima de trabajo y comunicación entre departamentos con el fin de llegar a acuerdos que satisfagan la necesidad de la empresa de mantener un buen índice de productividad y también sus máquinas puestas a punto.

#### ***5.2.3.1 Mantenimiento centrado en confiabilidad.***

El mantenimiento centrado en confiabilidad tiene sus inicios en la industria aeronáutica en la cual se empieza a analizar que las actividades de mantenimiento se estén realizando correctamente como el que se sean las actividades correctas para la preservación de activos (RCM).

Se aclara que mantenimiento es asegurar que los activos puedan seguir cumpliendo con sus funciones; dentro del mantenimiento centrado en confiabilidad esto dependerá de exactamente de donde esté el equipo prestando su función, a esto le llamamos contexto

operativo, definido esto (Reliability Centered Maintenance) es una metodología para determinar los requisitos mínimos de mantenimiento de cualquier activo físico en su actual contexto operativo.

### ***5.2.3.2 Siete pasos para que un proceso sea reconocido como RCM.***

La norma SAE JA1011, de AGO 2009, establece que para que un proceso sea reconocido como RCM debe seguir los siete pasos en el orden que se muestra a continuación: (SAE, Criterios de evaluación del proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad (Reliability Center Maintenance, RCM), 1999).

- Delimitar el contexto operativo, las funciones y los estándares de desempeño deseados asociados al activo (contexto operacional y funciones).

El primer paso para diseñar una estrategia RCM es determinar qué es lo que queremos que el activo haga, para mantener las funciones específicas del equipo debemos establecer sus funciones y parámetros operacionales. Sus funciones operacionales podemos definirlas en dos categorías:

- Funciones Primarias: Esta categoría sintetiza el porqué de la adquisición del equipo, se justifica la compra del activo porque es veloz, por su productividad, por su capacidad o calidad que ofrece.

- Funciones Secundarias: Esclarece las funciones inherentes que el equipo debe tener para cumplir las expectativas del usuario tales como control, eficiencia, seguridad, sencillez incluso hasta apariencia.

Adicionalmente se definen los estándares de desempeño en el contexto operacional que el usuario requiera para el equipo objetivo del RCM.

- Determinar cómo un activo puede fallar en el cumplimiento de sus funciones (fallas funcionales).

Una falla funcional la podemos expresar como un estado del activo para no cumplir con las expectativas de rendimiento del activo considerado, para esto es importante la comprensión total de las funciones y rendimiento del activo para así determinar cuáles podrían ser sus posibles fallas asociados con cada función para que podamos identificar todas las causas relevantes.

- Definir las causas de cada falla funcional (modos de falla).

En este paso aclaramos las causas que pudieron provocar la falla funcional (razonablemente probables), esto incluye fallos que han ocurrido en equipos similares u operando en contextos operacionales parecidos, fallas que con el mantenimiento existente pueden suceder o fallas que, aunque no han ocurrido tienen alguna probabilidad de ocurrencia. Se deben incluir también fallas generadas por el personal operativo del equipo, y fallas de diseño del equipo.

- Describir qué sucede cuando ocurre cada falla (efectos de falla).

En RCM los efectos de falla miden la consecuencia de cada falla, en el caso de ocurrir cuanto puede perjudicar a la organización. Los efectos de falla ayudan a determinar la criticidad de la falla ocurrida teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- ¿Existe evidencia de que la falla ha sucedido?
  - ¿Cómo afecta la falla en la seguridad al personal?(si tiene relevancia en la seguridad)
  - ¿Cómo afecta la falla al medio ambiente?
  - ¿Cómo afecta la producción y operaciones de la planta?
  - ¿Se generan daños físicos generados por la falla?
  - ¿Qué debe hacerse para restaurar la falla.
- Clasificar los efectos de las fallas (consecuencias de la falla).

En esta clasificación se determina la afectación directa e impacto que tiene cada falla sobre el medio ambiente, la operación de la organización, la seguridad del personal, la calidad del producto generado, la imagen de la empresa. Si existe alguna falla que genere gran impacto sobre alguna de las anteriores, todo el esfuerzo de mantenimiento se direcciona a evitar la posibilidad de que tal daño suceda, pero por el contrario si la falla tiene bajo impacto u afectación tendrá un esfuerzo diferente o una rutina más simple de mantenimiento, tal como se explica esto dependerá de la consecuencia final como punto de partida.

Con la metodología de RCM podemos clasificar estas consecuencias en 4 grupos:

- Consecuencias de fallas Ocultas: Una falla oculta no causa un impacto directo, pero expone a la organización a fallas múltiples fallas con resultados a menudo catastróficos o bastante serios.
- Consecuencias al medio ambiente o seguridad: Las fallas que generan estas consecuencias se catalogan si al suceder puede afectar la integridad física o incluso hasta provocar la muerte de cualquier persona. De la misma manera si la falla viola cualquier norma que cause cualquier degradación al medio ambiente.
- Consecuencias operativas: Estas fallas tendrán gran relevancia o determinación en la producción, calidad, o servicio al cliente. Por lo general este tipo de fallas generan costos adicionales al costo de reparación.
- Consecuencias no operativas: Son fallas que no tienen ninguna afectación en los grupos anteriores, por lo que solo implica el costo de reparación.
- Determinar qué se debe realizar para predecir o prevenir cada falla (tareas e intervalos de tareas).

En la evolución del mantenimiento a lo largo de la historia uno de los avances que represento en su tiempo fue la relación de la edad del equipo con la probabilidad de falla, estos cambios determinaban la confiabilidad del equipo y la planta, aunque lo que hizo de manera directa fue inflar los costos de mantenimiento de los equipos debido al cambio de componentes de manera proactivo antes de que fallaran.

Hoy gracias a estudios de confiabilidad de componentes sabemos que los patrones de deterioro de algunos activos siguen una constante condicional probabilidad de fallo en todas las

edades o que sigue una alta tendencia de mortalidad infantil que eventualmente cae a una probabilidad constante o muy lenta de fallo.

Esto nos lleva a un replanteamiento en las tareas proactivas que RCM divide en las siguientes 3 categorías:

- Tareas de Reacondicionamiento Cíclico: El reacondicionamiento cíclico consiste en actuar habitualmente para reacondicionar a su condición original una pieza o componente existente. Consiste en reconstruir un componente o realizar una reparación a un conjunto o ensamble completo.
- Tareas de Sustitución Cíclica: Consisten en descartar un elemento antes de, independiente de su condición en el momento. La filosofía de estas tareas es remplazar la parte usada por una nueva, la que sustituirá a su condición original.
- Tareas a Condición: La base para estas tareas con actividades de mantenimiento predictivo, condición operacional o monitoreo y revisión periódica que deciden las acciones a tomar.
- Decidir si otras estrategias de gestión de fallas pueden ser más efectivas (cambios de una sola vez).

Cuando las actividades propuestas no son efectivas se propone detección de errores o fallas periódica, por otro lado, también existe el rediseño a partes físicas del componente y libre de mantenimiento cuando existe el caso que se puede despreciar o asumir la falla del componente.

#### **5.2.4 Metodología del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.**

El mantenimiento centrado en fiabilidad se basa en el análisis de fallos, tanto aquellos que ya han ocurrido, como los que se están tratando de evitar con determinadas acciones preventivas como por último aquellos que tienen cierta probabilidad de ocurrir y pueden tener consecuencias graves.

La metodología en la que se basa RCM supone ir completando una serie de fases para cada uno de los sistemas que componen la planta, a saber:

Fase 0: Codificación y listado de todos los subsistemas, equipos y elementos que componen el sistema que se está estudiando. Recopilación de esquemas, diagramas funcionales, diagramas lógicos, etc.

Fase 1: Análisis detallado del funcionamiento del sistema. Listado de funciones del sistema en su conjunto. Listado de funciones de cada subsistema y de cada equipo significativo integrado en cada subsistema.

Fase 2: Establecer los fallos funcionales y fallos técnicos. La norma SAE JA1011 define una falla como a la incapacidad de un activo para realizar la función para la cual fue diseñado.

Fase 3: Determinar los modos de fallo o causas de cada uno de los fallos encontrados en la fase anterior.

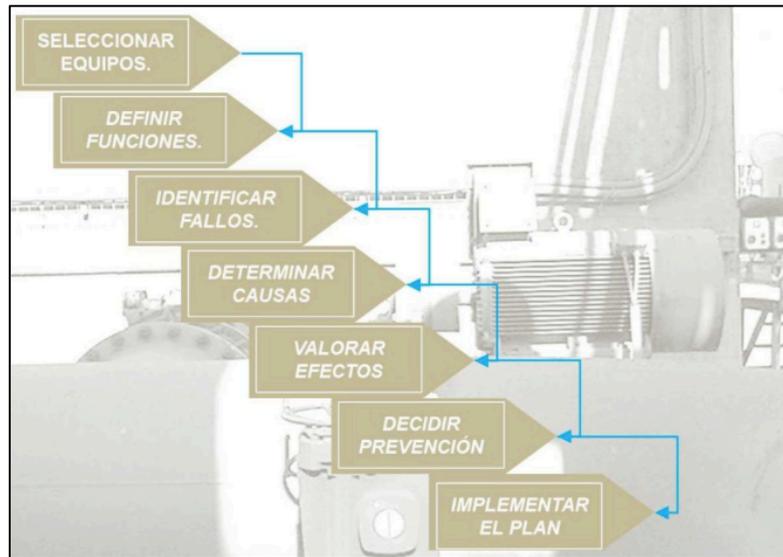
Fase 4: Análisis de las consecuencias de cada modo de fallo. Clasificación de los fallos en críticos, importantes o tolerables en función de esas consecuencias.

Fase 5: Establecer las medidas preventivas que eviten o atenúen los efectos de los fallos.

Fase 6: Concentrar las medidas preventivas en sus diferentes categorías. Elaboración del Plan de Mantenimiento, lista de mejoras, planes de formación y procedimientos de operación y de mantenimiento.

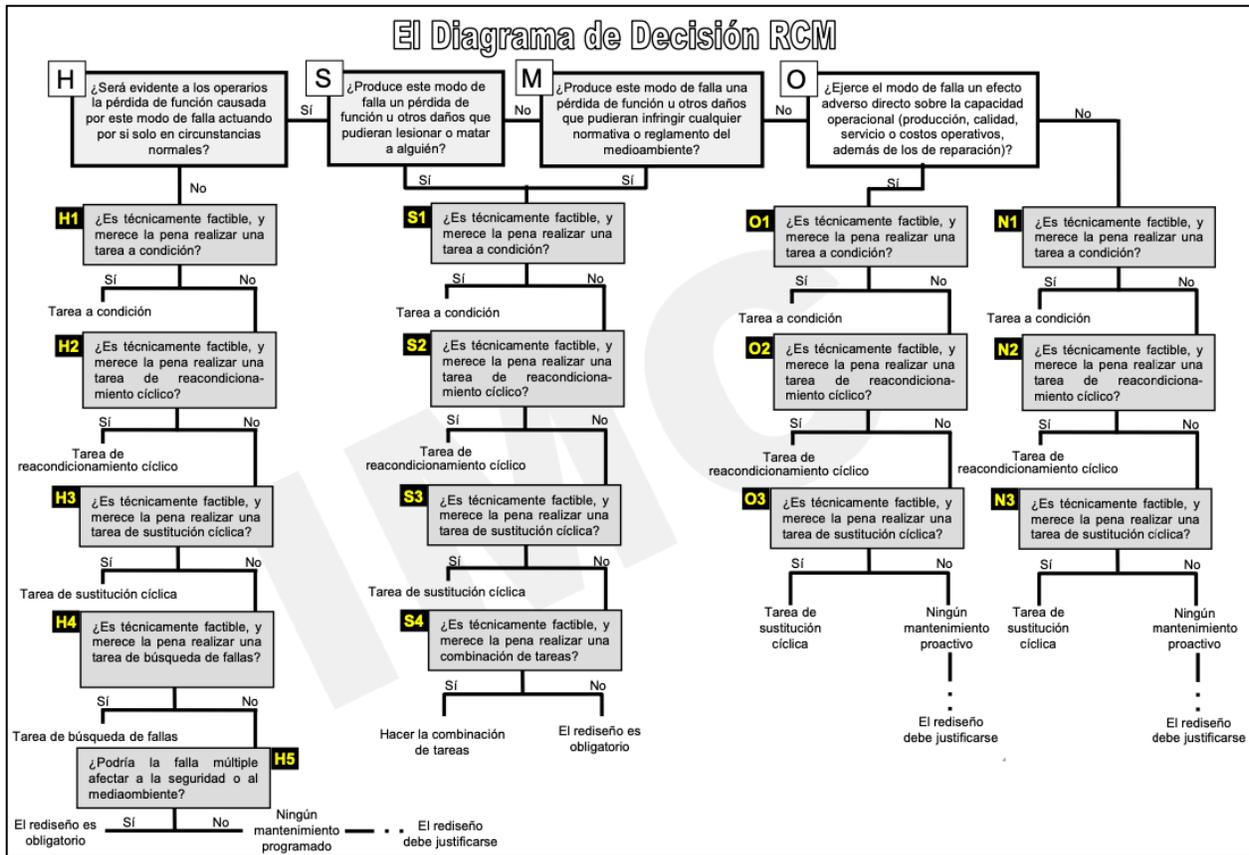
Fase 7: Planeación y ejecución de las medidas preventiva.

Figura 5. Diagrama de flujo metodología RCM



Fuente: <http://www.ingenieriamantenimiento.org/analisis-de-fallos/rcm-mantenimiento/>

Figura 6. Diagrama de decisión metodología RCM



Fuente: [https://carec.com.pe/biblioteca/biblio/4/81/Lectura. MCC Selección de tareas.pdf](https://carec.com.pe/biblioteca/biblio/4/81/Lectura.MCC%20Selecci3n%20de%20tareas.pdf)

La metodología RCM para la gestión de activos, ha sido aplicada actualmente a infinidad de equipos con el fin de mostrar los innumerables beneficios de un mantenimiento planeado y estructurado en acciones que agregan valor en la preservación y condición productiva de los activos de una organización. De esta manera la prevención y anticipación a fallas no programadas son determinantes en la competitividad de las empresas, en su objetivo por mantenerse exitosas en el mercado. El trabajo realizado por Fajardo Gutiérrez, aplicado a una extrusora de plástico es un claro ejemplo de la aplicación de esta metodología en la búsqueda por

desarrollar técnicas de mantenimiento más eficientes y productivas, ofreciendo una confiabilidad mayor del equipo y una reducción en los tiempos muertos. Como resultado se obtiene un plan de mantenimiento de 45 actividades, de las cuales, 20 son responsabilidad de contratistas de mantenimiento, en las que se encuentran; monitoreo basado en condición, tareas de restauración, mantenimiento predictivo e incluso algunas que determina correr a falla. Las otras 25 son responsabilidad del personal de producción.

En la historia y evolución del mantenimiento cuya profundización se tratará en el siguiente capítulo, se observa como a través del tiempo se han creado diferentes patrones y modelos de falla relacionado según el tipo de activo. Donde en un principio, el cambio prematuro de algunos componentes se hacía en búsqueda de conservar la función de los activos, hecho que elevó los gastos de mantenimiento.

Cubides Garzón, desarrolla un plan de mantenimiento basado en confiabilidad para una montaña rusa en el parque de atracciones Salitre Mágico, ubicado en Bogotá. Él, parte del histórico de falencias en las actividades de mantenimiento que generaban reprocesos y costos altos para la organización. Este plan se basa en un análisis de modal de fallas y efectos, con el fin de determinar que componentes son más críticos, seguido de la determinación de actividades para conformar un plan cuyo objetivo es ofrecer un alto grado de confiabilidad y seguridad para disminuir los costos del área.

Como resultado genera un plan de mantenimiento cuyo punto crítico fue la definición de las funciones del equipo de trabajo, concluyendo que la gestión del área de mantenimiento debe ir ligada al área operacional para lograr una correcta manipulación de las máquinas. Donde ellos mismos realizan seguimiento a las actividades preventivas y correctivas, con el valor agregado de inspeccionar y mitigar los inicios de una falla antes que se conviertan en críticas.

Montenegro Siefken genera un diseño de un programa de mantenimiento preventivo para una impresora flexográfica iniciando con la taxonomía de la máquina impresora, al igual que definiendo las funciones de los elementos que componen el equipo. Siefken divide la maquina en 8 sistemas, que a su vez lo componen 54 subsistemas y componentes para lograr gran minuciosidad en el análisis de falla de cada sistema, con el fin de ser muy objetivo con cada actividad generada para conformar el plan de mantenimiento. Lo mejor de conocer a fondo las funciones del equipo, es que genera facilidad para la asignación de responsables a cada tarea e incluso relaciona el personal de producción lo cual ayuda en la gestión de costos, al solo tercerizar actividades que requieren alguna especialidad. Con la propuesta de este plan de mantenimiento también alcanza mayor eficiencia del tiempo utilizado al ejecutar algunas actividades estando la máquina en producción, lo cual es idóneo para reducir tiempos y recurso operacional que se puede destinar a otras labores cuando el equipo pare totalmente para mantenimiento.

### **5.3 Marco normativo y legal**

En el marco del desarrollo del proyecto es importante tener en cuenta todo el tema legal y normativo que involucra la actividad económica y productiva de los equipos y la empresa en cuestión, es por ello que a continuación se relacionan los diferentes artículos, leyes, decretos y demás conceptos a tener en cuenta para el proyecto en desarrollo:

### **5.3.1 SAE JA 1011-1012 evaluation criteria for reliability- centered maintenance (rcm) process.**

Esta norma tiene la intención de determinar el contexto operacional del activo bajo las circunstancias exactas por la cual será utilizada. Teniendo en cuenta las funciones de modos de falla, políticas de manejo y las consecuencias de falla. De igual manera sintetiza los factores de vital importancia que se deben tener en cuenta para desarrollar exitosamente el RCM.

### **5.3.2 MIL-STD-3034, Reliability Centered Maintenance (rcm); Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para los procesos.**

Esta norma establecida el 21 de enero de 2011, tiene como propósito describir la metodología necesaria para desarrollar el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), de tal manera que se pueda emplear con el objetivo de resolver los requisitos de mantenimiento (enfocada a la detección de fallas, servicio, tiempo y lubricación), aplicada para todos los niveles de sistema o grupos de equipos.

### **5.3.3 ISO 14224, Industria de petróleo y gas natural- recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos.**

Esta norma internacional proporciona los principios necesarios para la recopilación de datos enfocados en el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), presentado en un documento estándar para los sectores de la producción, refinación, perforación, traslado del petróleo, gas natural en gaseoductos u oleoductos. En ella se debe examinar los datos y

parámetros referentes a la confiabilidad de tal manera que se pueda definir los pasos de operación, diseño y mantenimiento. Cabe resaltar que esta norma no se aplica al método de análisis de los datos RCM.

#### **5.3.4 ISO 31000:2009, Sistema para la gestión del riesgo.**

Esta norma tiene como objetivo suministrar a los usuarios una guía de vocabulario para la gestión del riesgo, con el propósito de suministrar la información necesaria que se tiene a nivel normativo en Colombia. Cabe resaltar que la norma ISO 31000, fue remplazada de la norma NTC 5254. Esta norma se divide en 3 partes: los principios, el marco de referencia y el proceso de gestión de riesgo.

#### **5.3.5 Resolución número 000675 del 24 de abril de 2020.**

Esta resolución tiene como objetivo adoptar el protocolo de bioseguridad para el manejo y control del riesgo del Coronavirus COVID-19 en la Industria Manufacturera.

#### **5.3.6 Decreto 15947 del 1984.**

Usos del agua y residuos líquidos, redes separadas doméstica, industrial y agua lluvia. Se hace un ajuste en el año del decreto ya que había quedado mal del 85 era del 84.

**5.3.7 Decreto 1299 de 2008.**

Gestión ambiental en las empresas de garantizar el cumplimiento de los requisitos legales.

**5.3.8 Resolución 1310 de 2009.**

Decisión de la conformación del Departamento de Gestión Ambiental.

**5.3.9 Resolución 4367 de 2009.**

Prorrogação y conformación del sistema del Departamento de Gestión Ambiental.

**5.3.10 Ley 1333 del 21 de julio de 2009.**

Se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones.

**5.3.11 Ley 1672 de 2013.**

Clasificación, Obligaciones del generador, Prohibiciones relacionadas con los RAEEs.

**5.3.12 Decreto 2981 del 2013.**

Obligaciones de presentación y almacenamiento de los residuos sólidos, separación en la fuente, aprovechamiento.

**5.3.13 Ley 1252 de 2008.**

Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes a los residuos y desechos peligrosos.

#### **5.3.14 Resolución 1511 de 2010.**

Por el cual se establecen los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de residuos de bombillas.

#### **5.3.15 Resolución 1512 DE 2010.**

Por la cual se establecen los Sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de pilas y/o aduladores.

#### **5.3.16 Resolución 1297 de 2010.**

Por la cual se establecen los Sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de pilas y/o aduladores.

#### **5.3.17 Resolución 1362 de 2007.**

Por la cual se establecen los requisitos y el procedimiento para el Registro de Generadores de Residuos o Desechos Peligrosos, a que hacen referencia los artículos 27 y 28 del Decreto 4741 del 30 de diciembre de 2005.

#### **5.3.18 Resolución 2400 de 1979.**

Por el cual se establecen algunas disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos s de trabajo. Evacuación de residuos y desechos.

#### **5.3.19 Acuerdo 79 de 2003.**

Código de la policía nacional por la cual se establecen los deberes de convivencia ciudadana.

### **5.3.20 Resolución 1208 de 2003.**

Por la cual se dictan normas sobre prevención y control de la contaminación atmosférica por fuentes fijas y protección de la calidad del aire".

### **5.3.21 Resolución 909 de 2008.**

Por la cual se establecen las normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas y se dictan otras disposiciones.

### **5.3.22 Decreto 948 de 1995.**

Por el cual se reglamentan, parcialmente la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 75 del Decreto-Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.

### **5.3.23 Resolución 910 de 2008.**

Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones.

### **5.3.24 Decreto 0019 de 10 de 2012.**

Por la cual se reglamenta a todos los vehículos automotores incluyendo las motocicletas, deberán realizar la revisión técnico- mecánica y de emisiones contaminantes anualmente.

#### **5.3.25 Ley 23 de 1973.**

Código de Recursos Naturales y protección al medio ambiente y se dictan otras disposiciones.

#### **5.3.26 Ley 769 de 2002.**

Por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre y se dictan otras disposiciones.

#### **5.3.27 Ley 1383 de 2010.**

Por la cual se reforma la Ley 769 de 2002 - Código Nacional de Tránsito, y se dictan otras disposiciones.

#### **5.3.28 Decreto 0019 de 10 de 2012.**

Por el cual se dictan normas para suprimir o reformar regulaciones, procedimientos y trámites innecesarios existentes en la Administración Pública.

#### **5.3.29 Decreto 3102 de 1997.**

Por el cual se reglamenta el artículo 15 de la Ley 373 de 1997 en relación con la instalación de equipos, sistemas e implementos de bajo consumo de agua.

#### **5.3.30 Resolución 1457 de 210.**

Por el cual se establecen los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental de llantas y se adoptan otras disposiciones.

## 6 Marco metodológico

### 6.1 Recolección de la información

#### 6.1.1 Tipo de investigación.

La investigación desarrollada fue de tipo Estudio de Caso de acuerdo con la tabla de tipos de investigación desarrollada en la universidad ECCI, en esta se define el estudio de caso como el tipo de investigación que analiza una unidad específica en un universo poblacional.

Figura 7. Tipos de investigación

TIPO DE INVESTIGACIÓN	CARACTERÍSTICAS
• Histórica	Analiza eventos del pasado y busca relacionarlos con otros del presente.
• Documental	Analiza la información escrita sobre el tema objeto de estudio.
• Descriptiva	Reseña rasgos, cualidades o atributos de la población objeto de estudio.
• Correlacional	Mide grado de relación entre variables de la población estudiada.
• Explicativa	Da razones del porqué de los fenómenos.
• Estudios de caso	Analiza una unidad específica de un universo poblacional.
• Seccional	Recoge información del objeto de estudio en oportunidad única.
• Longitudinal	Compara datos obtenidos en diferentes oportunidades o momentos de una misma población con el propósito de evaluar cambios.
• Experimental	Analiza el efecto producido por la acción o manipulación de una o más variables independientes sobre una o varias dependientes.

Fuente: Vicerrectoría Universidad ECCI

## **6.1.2 Fuentes de Obtención de la Información.**

### **6.1.2.1 Fuentes primarias.**

Las fuentes primarias a tener en cuenta para la presente investigación hacen parte del conocimiento propio de las funciones del equipo en la línea de la cadena de producción, la hoja de vida del mismo, su capacidad y restricciones. Adicional, el conocimiento técnico del autor por pertenecer al departamento de mantenimiento que interviene en el equipo. El análisis modal de falla y efecto en un ambiente natural de funcionamiento del equipo y las características de los modos de falla que se identifiquen, de tal manera que se pueda validar la incidencia que tienen las fallas en el personal requerido para las actividades de mantenimiento.

### **6.1.2.2 Fuentes secundarias.**

Las fuentes secundarias tenidas en cuenta para el desarrollo del presente proyecto son de igual importancia que las principales por el aporte que brinda a la estructura del conocimiento. El aprendizaje obtenido a lo largo de las clases tomadas en la Especialización Gerencia de Mantenimiento, pues forjó bases fuertes de análisis y una teoría aplicada a la realización y confrontación de cada uno de los aspectos presentes en este documento. Otros proyectos de grado, investigaciones, artículos científicos y documentos académicos fueron un gran soporte para la guía y realización de este proyecto. Identificar conceptos y afianzar conocimientos son siempre un refuerzo importante a la estructuración de todos los aspectos que fundamentan un trabajo de investigación y por ello fueron una fuente muy importante. Por último y no menos importante, al contrario, el apoyo y lineamiento del asesor durante todo este proceso de investigación, su experticia, profesionalismo y gran capacidad de análisis fueron un cimiento preponderante para que este proyecto tanto en estructura como en contenido fuera todo un éxito.

### **6.1.3 Herramientas.**

Diagramas de flujo.

Hoja de vida del equipo.

Análisis de la información.

### **6.1.4 Metodología.**

El desarrollo de la investigación está fundamentado en el cumplimiento de los objetivos planteados, para ello se tendrán en cuenta los siguientes aspectos metodológicos:

Para el desarrollo del objetivo 1 “Identificar y categorizar los sistemas de la impresora flexo folder gluer a tener en cuenta para la solución a aplicar” se realizarán inspecciones al equipo, consulta en manuales de operación, mantenimiento, seguridad y la validación en fuentes digitales (internet).

Para el desarrollo del objetivo 2 “Definir los parámetros de modos y efectos de falla de los sistemas para para el diseño del modelo de mantenimiento preventivo basado en herramientas del RCM categorizando su afectación en la máquina mediante un análisis de criticidad” se analizará la información recolectada referente a los sistemas del equipo y se identificarán todos los aspectos relevantes a tener en cuenta, adicional, se discriminará la información según la importancia que juegue respecto a la afectación del equipo a través de una herramienta que analiza la criticidad de los aspectos en mención.

Para el desarrollo del objetivo 3 “Plantear las actividades a desarrollar en el plan de mantenimiento preventivo de acuerdo a las herramientas aplicadas del RCM a través del diagrama de decisión para corregir las fallas identificadas” se recurre a la teoría aprendida en

cada una de las clases a lo largo de este proceso de especialización y basado en una matriz se identificar las actividades de operación en el mantenimiento.

### **6.1.5 Recopilación de información.**

Activo bajo estudio: Impresora tipo Flexo Folder Gluer.

#### ***6.1.5.1 Impresora Flexográfica.***

Se caracterizan por ser máquinas que basan su sistema de impresión en la Flexografía, la cual consiste en un sistema de dosificación de tinta de forma rotativa a clisés flexibles (generalmente fotopolímero o hule) de alto relieve, que a su vez transmiten la imagen a la plancha de cualquier tipo de material (plástico, papel, cartón etc...), es un método de impresión semejante al de un sello de imprenta.

El proceso de impresión flexográfica en la industria del cartón es uno de los más usados en el mundo, dado que permite un mayor número de reproducciones a un bajo costo. Una impresora tipo folder esta normalmente conformada por:

- Cuerpo Alimentador
- Cuerpo Impresor (estos pueden ser tantos como colores requiera la impresión).
- Cuerpo Ranurador.
- Unidad Engomadora.
- Sección folder o dobladora.
- Counter Ejector (contador expulsor.)

Estos cuerpos o unidades se abren y cierran entre sí, dando espacio entre cuerpos para cambio de la plancha de impresión, ajustes de cambio de pedido, limpieza, entre otros.

Figura 8. Impresora tipo flexo folder gluer



Nota: En la ilustración se muestra una impresora flexográfica de tipo foldeadora cuya función es realizar la conversión de la lámina de cartón corrugado, impresión, foldeado (doblado) y pegado de la misma. Fuente: <https://www.bwpapersystems.com/es/grupos-de-productos/maquina/equipo-de-acabado/impresora-flexografica-plegadora-encoladora/impresora-flexografica-plegadora-encoladora-g-grafix>

#### **6.1.5.2 Proceso de fabricación de una caja mediante Impresora Flexográfica.**

El proceso de fabricación de una caja mediante impresora flexográfica se divide en varias fases:

#### *6.1.5.2.1 Recepción de materia prima.*

Por materia prima entendemos que se trata de las láminas de cartón corrugado que llegan bien sea directamente del corrugador de la empresa o de cualquier otro centro externo. Las láminas utilizadas para el proceso productivo de la línea de conversión deben cumplir con unos aspectos de calidad que garanticen el correcto desempeño del producto final como lo son material sin avisado o embombado, material sin encocado, material con calibre mínimo óptimo y que corresponda con la tarjeta de producción.

#### *6.1.5.2.2 Proceso de alimentación.*

Una vez recepcionada, la materia prima se dispone de manera manual en el cuerpo alimentador, primer cuerpo y sistema de la máquina flexográfica que se encarga de transportar las láminas a los demás cuerpos del proceso de conversión a través de su sistema de rodillos.

#### *6.1.5.2.3 Proceso de impresión.*

Se realiza la impresión del diseño en la lámina de cartón corrugado a través de su sistema de rodillos y dosificación de tinta, el diseño va a cambiar según la tarjeta de producción (dependiendo el cliente).

#### *6.1.5.2.4 Proceso de ranurado.*

Las cajas que conocemos como cliente final corresponden a una lámina de cartón corrugado con dobleces y cortes que permiten el correcto armado para su disposición final. Este proceso genera precisamente esos cortes y scores (guías de doblado) que permiten la

conformación de la caja como solución de empaque a través de sus ejes y disposiciones mecánicas que realizan la modificación de la materia prima ya impresa.

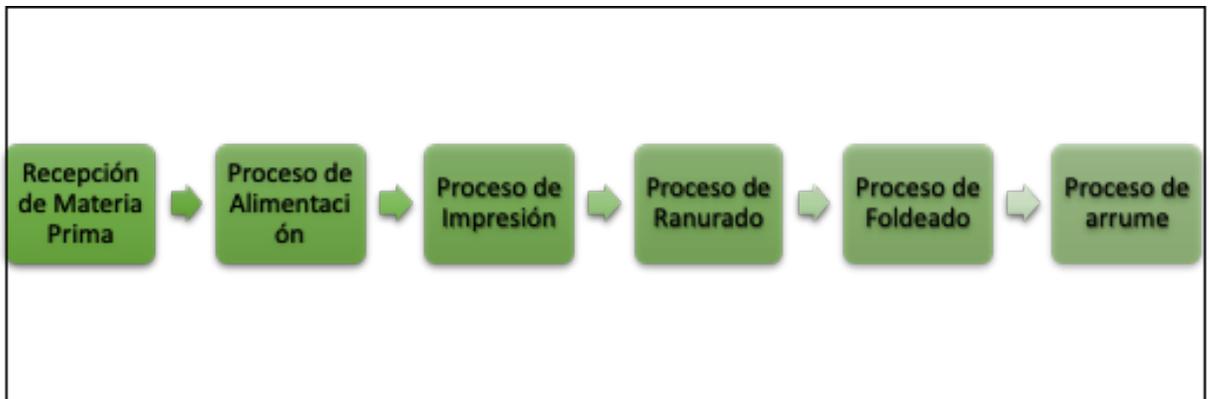
#### 6.1.5.2.5 *Proceso de foldeado.*

Este proceso lo realiza el sistema folder de la impresora flexográfica y corresponde en plegar/doblar las guías creadas en el proceso anterior, esto con el fin de entregar al cliente una presentación óptima del producto para su fácil armado.

#### 6.1.5.2.6 *Proceso de arrume.*

Por último, este proceso describe el arrume y disposición final de los paquetes de cajas terminadas. Corresponde precisamente al sistema que realiza un conteo de cajas y el arrume según disposición (cantidad) del cliente o de la tarjeta de proceso.

Figura 9. Diagrama de flujo del proceso línea de terminado



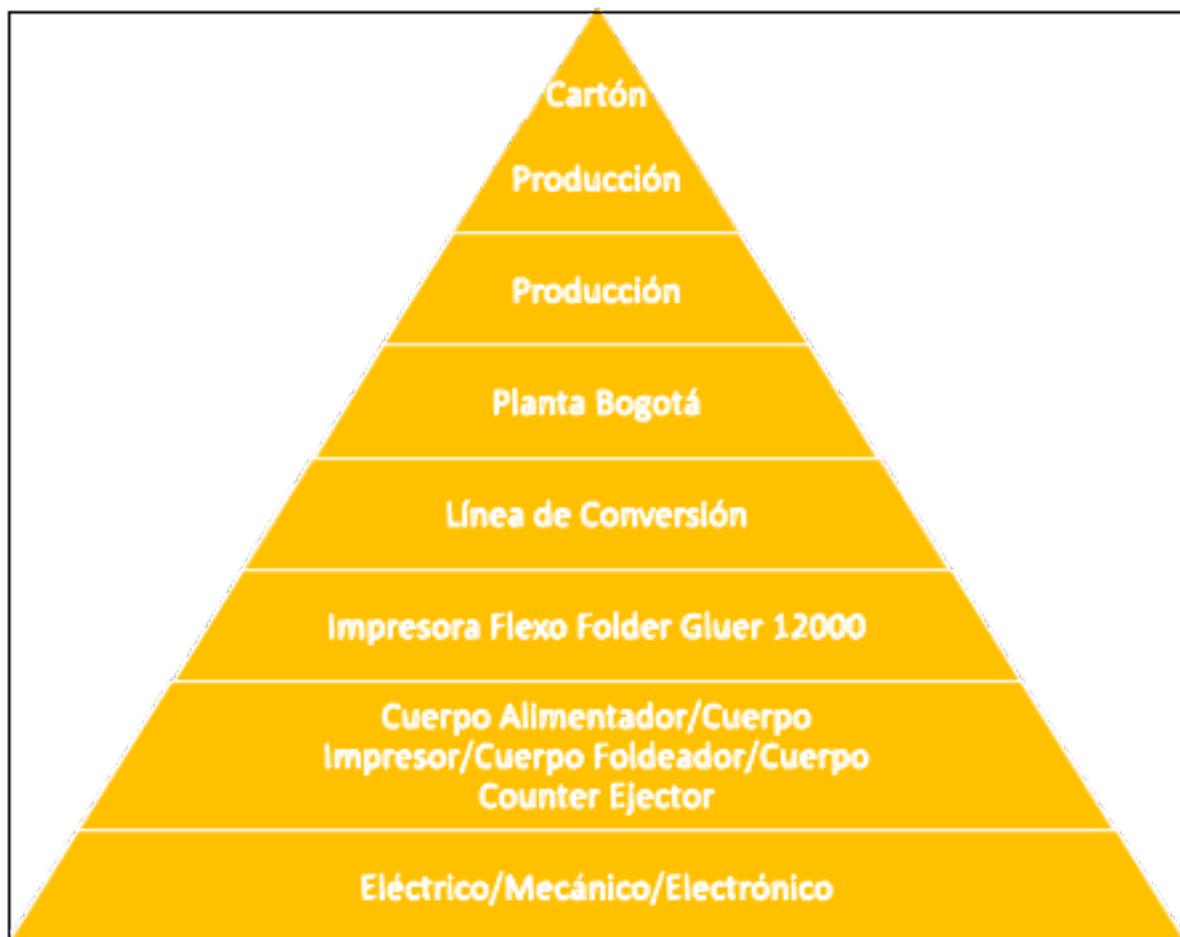
Fuente: Autor

## 6.2 Análisis de la información

### 6.2.1 Taxonomía del equipo.

Basado en la norma ISO 14224 se realiza el esquema taxonómico del equipo o sistema teniendo en cuenta sus características, esto como insumo para la realización del modelo RCM y adicional para representar la ubicación del equipo dentro de la organización.

Figura 10. Taxonomía de equipo



Fuente: Adaptación de la norma ISO 14224 para el caso en estudio.

## **6.2.2 Sistema de estudio y desglose de subsistemas.**

En el marco del desarrollo de la investigación y como parte fundamental del proyecto se deben mencionar los diferentes sistemas y subsistemas que se tendrán en cuenta para el diseño e implementación del modelo, información que será objeto de análisis.

Lo documentado es información mucho más técnica que explica el esquema de funcionamiento de cada uno de los sistemas (procesos) mencionados anteriormente y que fundamentan la operabilidad y productividad de la línea de conversión que estamos manejando.

A continuación, se relacionan los sistemas y subsistemas que conforman la línea de impresión flexo folder gluer y que se tendrán como objeto de estudio y análisis para el proyecto.

### **6.2.2.1 *Cuerpo alimentador.***

Como se mencionaba anteriormente, es el primer cuerpo de la máquina, en este se realiza el ingreso de las láminas de cartón que serán impresas, cortadas, dobladas y engomadas y así fabricar la caja.

El cuerpo alimentador lo componen los siguientes sistemas:

Sistema de vacío: Este sistema está conformado por rotores que generan una presión negativa en la lámina que se alista para ingresar a la máquina, haciendo que el sistema de tracción o correas quede siempre en contacto con la lámina y no se derrape en el ingreso.

Sistema de correas de alimentación: Este sistema no es igual en todas las máquinas las cuales varían en su diseño y marca de fabricante, para este caso de estudio trataremos el sistema de correas que es quien se encarga de arrastrar la lámina hasta los rodillos de alimentación.

Figura 11. Correas de alimentación flexo folder gluer



Fuente: Autor.

Rodillo de alimentación Metálico y Rodillo de alimentación de Caucho: Estos rodillos son quienes reciben la lámina de las correas de tracción y la introducen en el cuerpo de impresión. Esta dispuesto un rodillo en caucho para facilitar el agarre de la lámina, estos rodillos mantienen un espacio entre los dos con el fin de que pase la lámina sin llegar a aplastarla.

#### **6.2.2.2 *Cuerpo impresor.***

Es el encargado de darle la impresión a la lámina de cartón y entregarla al cuerpo siguiente. Estos pueden ser tantos como se requiera, para el caso de estudio se contemplan dos cuerpos impresores.

El cuerpo Impresor está conformado por los siguientes componentes:

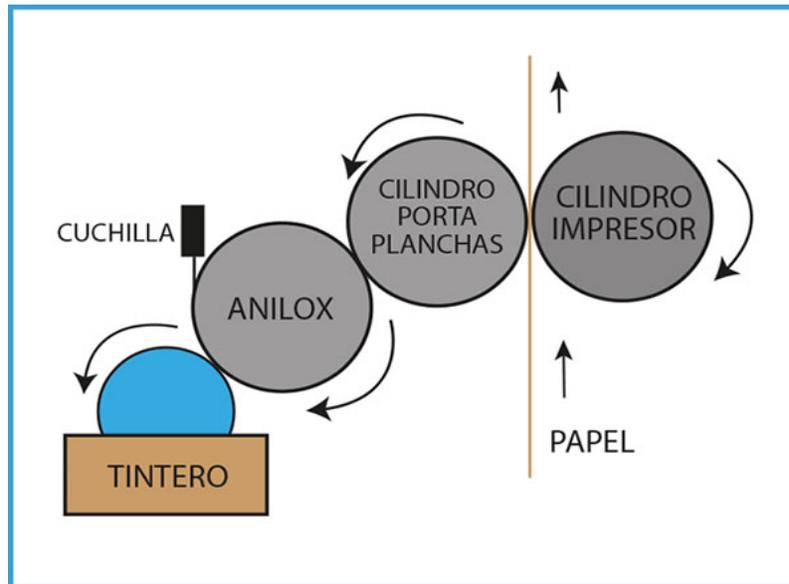
**Rodillo Portaclisé:** A este rodillo se adhiere el clisé o plancha que deseamos imprimir en la lámina.

**Rodillo Contra impresor:** Este rodillo soporta la lámina en el momento de impresión, de forma más específica es quien sirve de soporte a la lámina mientras el rodillo Portaclisé imprime sobre ella.

**Rodillo Anilox:** Este rodillo lleva gravadas celdas microscópicas las cuales están inmersas en la recámara de tinta, estas se llenan y dosifican la tinta al clisé para que se pueda imprimir en la lámina de cartón.

**Cámara de Tinta:** Es el recipiente al cual se bombea la tinta desde la cubeta de tinta hasta el interior de la máquina, aquí está parcialmente inmerso el rodillo Anilox, algunas recamaras tienen un rodillo de caucho que limita la película en el rodillo Anilox o un sistema raspador conocido como rasqueta.

Figura 12. Sistema de impresión flexográfica



Fuente: Autor.

### 6.2.2.3 *Cuerpo Ranurador.*

En este cuerpo se marcan los dobleces en la lámina de cartón, y se realizan las ranuras para las tapas que conforman y cierran la caja, este cuerpo soporta cuchillas que realizan los cortes y deja lista la pestaña para poder pegar y armar la caja.

El cuerpo Ranurador está conformado por:

Juego de Scores Macho y Scores Hembra: Son piezas de metal con relieve positivo y negativo para poder marcar la lámina de acuerdo al ancho de la misma, estos se posicionan de teniendo en cuenta las dimensiones de la caja para poder facilitar el armado.

Figura 13. Kit scores (Macho/Hembra) Flexo Folder Gluer



Fuente: Autor

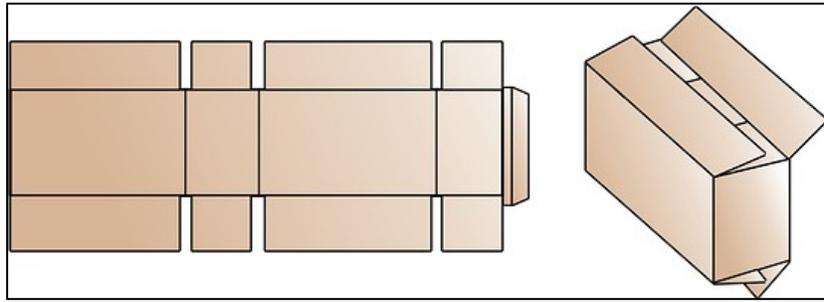
Juego de cuchillas superiores y masas inferiores: En este cuerpo cuchillas son dispuestas en la parte superior para poder realizar cortes en la lámina que faciliten el cierre de las tapas tanto inferior como superior, por lo que la cuchilla realiza el corte sobre la lámina soportándose sobre la masa inferior y así poder cerrar el corte sin que se rasgue o se destruya la lámina.

Figura 14. Kit Cuchillas (Superior/Inferior) Flexo Folder Gluer



Fuente: Autor

Figura 15 Cortes y Scores de una caja regular



Fuente: Autor

#### 6.2.2.4 Unidad dobladora o Folder.

En esta unidad se doblan las caras de la caja hechos previamente por los scores y se fija el peque de la caja. A través de este se lleva también la caja hasta el Counter Ejector.

Figura 16. Unidad dobladora o Foldeadora



Fuente: Autor.

La unidad dobladora está conformada por:

Sistema de vacío: Este sistema está conformado por rotores que generan una succión sobre la lámina adhiriéndola a las correas de transmisión.

Correas de transmisión: Estas correas cumplen con la función de transportar la lámina saliente del cuerpo Ranurador a través del sistema de doblez los cuales fueron marcados previamente por los scores en el cuerpo Ranurador.

Sistema de doblez: En este sistema es forzada la lámina a doblar y armar, por medio de guías que al desplazar la lámina por acción de las correas “dobla” las caras de la caja plegándola y juntando el pegue.

#### **6.2.2.5 Counter Ejector.**

Figura 17. Counter Ejector



Fuente: Autor.

El Counter Ejector está conformado por:

Rodillos de entrada: Son los rodillos que reciben la lámina del cuerpo folder y la acomodan sobre el sistema de trinchos que van arrumando las cajas a medida que van entrando al Counter.

Sistema de trinchos y relevos: Este sistema recibe las cajas previamente ingresadas por los rodillos de entrada, y la entrega al sistema de relevo que las recibe antes de entregarlas al sistema de expulsión de la máquina.

Sistema de Expulsión: Este sistema viene acoplado con un cilindro neumático que una vez recibe el arrume de cajas del sistema de relevo, efectúa el desplazamiento de un empujador, entregando el arrume de cajas unas bandas que lo sacan de la máquina para poder ser amarrado y estibado.

### **6.2.3 Jerarquización de equipos.**

Para desarrollar un correcto diseño e implementación de modelo de mantenimiento preventivo mediante herramientas de la metodología RCM es importante definir los límites y fronteras de los equipos, sistemas y subsistemas para poder hacer un mejor análisis y tener una perspectiva más clara de la función de cada sistema, sus fallas y modos de falla. Adicional, al igual que la taxonomía, la jerarquización de equipos será insumo de vital importancia para la realización del modelo RCM del equipo.

El límite o frontera para este equipo abarca desde el cuerpo alimentador de la máquina hasta el Counter Ejector que representa el 100% de la línea de conversión de la materia prima.

Tabla 1. Taxonomía del equipo Cuerpo Alimentador

CUERPO ALIMENTADOR	NIVEL	DESCRIPCIÓN	CASO APLICABLE
<b>Datos de uso/localización</b>	1	Industria	Cartón
	2	Categoría del negocio	Producción
	3	Categoría Instalación	Planta de Producción
	4	Planta/Unidad	Planta Bogotá
	5	Sección/Sistema	Impresora Flexo Folder Fluer 12000
<b>Subdivisión de equipos</b>	6	Clase de equipo/Unidad	Cuerpo Alimentador
	7	Sub sistema	Vacío/Transmisión/Cierre/Alimentación/Eléctrico

Tabla 2. Taxonomía del equipo Cuerpo Impresor

CUERPO IMPRESOR	NIVEL	DESCRIPCIÓN	CASO APLICABLE
<b>Datos de uso/localización</b>	1	Industria	Cartón
	2	Categoría del negocio	Producción
	3	Categoría Instalación	Planta de Producción
	4	Planta/Unidad	Planta Bogotá
	5	Sección/Sistema	Impresora Flexo Folder Fluer 12000
<b>Subdivisión de equipos</b>	6	Clase de equipo/Unidad	Cuerpo Impresor
	7	Sub sistema	Impresión/Pull Rolls/Cierre/Eléctrico/Transmisión

Tabla 3. Taxonomía del equipo Cuerpo Ranurador

CUERPO RANURADOR	NIVEL	DESCRIPCIÓN	CASO APLICABLE
<b>Datos de uso/localización</b>	1	Industria	Cartón
	2	Categoría del negocio	Producción
	3	Categoría Instalación	Planta de Producción
	4	Planta/Unidad	Planta Bogotá
	5	Sección/Sistema	Impresora Flexo Folder Fluer 12000
<b>Subdivisión de equipos</b>	6	Clase de equipo/Unidad	Cuerpo Ranurador
	7	Sub sistema	Corte/Scoreador/Eléctrico/Transmisión

Tabla 4. Taxonomía del equipo Cuerpo Foldeador

CUERPO FOLDEADOR	NIVEL	DESCRIPCIÓN	CASO APLICABLE
<b>Datos de uso/localización</b>	1	Industria	Cartón
	2	Categoría del negocio	Producción
	3	Categoría Instalación	Planta de Producción
	4	Planta/Unidad	Planta Bogotá
	5	Sección/Sistema	Impresora Flexo Folder Fluer 12000
<b>Subdivisión de equipos</b>	6	Clase de equipo/Unidad	Cuerpo Foldeador
	7	Sub sistema	Transmisión/Vacío/Doblador/Arrastre/Axial/Eléctrico

Tabla 5. Taxonomía del equipo Cuerpo Counter Ejector

COUNTER EJECTOR	NIVEL	DESCRIPCIÓN	CASO APLICABLE
<b>Datos de uso/localización</b>	1	Industria	Cartón
	2	Categoría del negocio	Producción
	3	Categoría Instalación	Planta de Producción
	4	Planta/Unidad	Planta Bogotá
	5	Sección/Sistema	Impresora Flexo Folder Fluor 12000
<b>Subdivisión de equipos</b>	6	Clase de equipo/Unidad	Counter Ejector
	7	Sub sistema	Eléctrico/Expulsión/Apilador/Transmisión

La representación gráfica o taxonomía del equipo evidencia como objeto principal de análisis la impresora Flexo Folder Gluer 12000 serie 12128 con año de fabricación 1998. Se desglosan los sistemas que le componen como equipo funcional y a su vez los subsistemas que serán objeto de análisis de manera independiente para determinar modos y efectos de falla correspondientes.

#### **6.2.4 Características técnicas del equipo.**

##### **6.2.4.1 Elemento de estudio.**

Impresora Ward tipo Flexo Folder Gluer 12000 serie 12128. Modelo 1995 Marca Americana.

Tabla 6. Ficha técnica del equipo

<b>Características Técnicas del Equipo</b>	
Motor	60HP
Presión de Aire	110 PSI
Consumo CFM's	150 CFM's
Colores	2
Velocidad Diseño	13600 Cajas/Hora
Diámetro Portaclaris	50"
Longitud Portaclaris	113"

#### **6.2.4.2 Contexto operacional.**

La impresora Flexo Folder Gluer Ward 12.000 es un equipo que hace parte de la línea de conversión (terminado) de una planta corrugadora cuya actividad económica es la fabricación y distribución de láminas y cajas de cartón en la ciudad de Bogotá sector de Fontibón HB que lleva más de 25 años en la industria del Cartón Corrugado como solución de empaque y embalaje. Desempeña su operación en un proceso por lotes o intermitente debido a que en su tiempo de operación puede producir diferentes referencias, atender distintas necesidades para distintos clientes y por tal motivo su operación no es continua pues genera tiempos de prelistamiento o reacondicionamiento según necesidad. La Flexo Folder Gluer Ward 12.000 es la impresora más productiva de la planta corrugadora, su objetivo de productividad actualmente es de 3500m<sup>2</sup> por turno de 8 horas, trabaja las 24 horas durante 6 días a la semana y trabaja bajo un parámetro de 13.600 cajas por hora. En el marco de estándares de calidad debe garantizar un máximo de 500ppm (cajas) defectuosas, de igual forma debe cumplir con excelente calidad de impresión y calibre dependiendo la clave a la que corresponda con el fin de garantizar la correspondiente

resistencia a la compresión vertical. La operación de la impresora genera unos lodos residuales de las tintas utilizadas para la impresión del diseño en las cajas, tales residuos son conducidos por bombas neumáticas y tubería hacia la planta de tratamiento de aguas residuales de la compañía. En términos de seguridad la impresora cuenta con guardas perimetrales que impiden el acceso del personal a áreas críticas de contacto con componentes en movimiento, de igual manera cuenta con guardamotores, sensores réflex y adecuaciones realizadas a riesgos identificados. En la compañía hay otra impresora flexográfica del mismo tipo, pero en un formato más pequeño, por tal motivo, aunque ella puede suplir cierta demanda, no se puede denominar como un equipo de standby para la Ward 12.000. La materia prima es suministrada por el corrugador de la misma compañía, por ello, puede verse afectada tras una falla de ese equipo.

Tabla 7. Condiciones de operación

<b>Condiciones Operacionales</b>	
Prespectivas de Producción	Fabricación de cajas de Cartón Corrugado
Ambiente de Operación	Máquina operativa en la ciudad de BogotáD.C
Sistema de Control	Control Lógico PLC
Tiempo de Operación	19 Turnos de 8 Horas c/u (152 Horas Semanales)
Tiempo asignado a mantenimiento	1 Turno (8 Horas) Semanal
Estándares de Calidad	NTC 452, estándar de producción
Personal de Operación	Tripulación de 4 operarios para operación de máquina
Velocidad de Operación	Depende de condiciones de operación

Figura 18. Impresora FFG 12000



Fuente: Autor

#### **6.2.5 Adaptación y planteamiento 4 primeras preguntas del RCM2**

En el marco del diseño y desarrollo del proyecto se realiza un análisis de las 4 primeras preguntas del RCM2 para los diferentes sistemas/subsistemas del equipo proyecto como herramienta de solución del objetivo.

A continuación, se relaciona la hoja de registro desarrollado:

Tabla 8. Hoja de registro Cuerpo Alimentador

RCM: Hoja de registro del AMEF Línea de conversión Impresora Flexo Folder Gluer 12.000			Sistemas: Cuerpo Alimentador Cuerpo Impresor Cuerpo Ranurador Cuerpo Foldeador Counter Ejector			
#	Función	#	Fallo funcional	#	Modo de fallo	Efecto de fallo
A Cuerpo Alimentador						
1	Transportar láminas de carton corrugado a los demás cuerpos del equipo.	1	No alimenta (transporta) el material	1	Sin fuente de alimentación	No circulan las láminas hacia los demás cuerpos
				2	Rotura correa de transmisión	No circulan las láminas hacia los demás cuerpos
				3	Rodamientos gripados	No circulan las láminas hacia los demás cuerpos
				4	Quemado de motor	No circulan las láminas hacia los demás cuerpos
				5	Rotura motor	No circulan las láminas hacia los demás cuerpos
				6	Rotura polea	No circulan las láminas hacia los demás cuerpos
				7	Rotura espigo rodillo metálico	No circulan las láminas hacia los demás cuerpos
				8	Rotura piñones en caja de repartición	No circulan las láminas hacia los demás cuerpos
2	Entregar lámina completamente alineada a los demás cuerpos	1	Alimenta (transporta) en forma diagonal	1	Quemado motor sistema de vacío	Cajas torcidas al momento de armarlas
				2	Variación por desgaste de correas de sincronismo	Cajas torcidas al momento de armarlas
				3	Variación por desgaste de rodillo de caucho	Cajas torcidas al momento de armarlas
				4	Taponamiento en sistema filtro de vacío	Cajas torcidas al momento de armarlas
				5	Variación por juego entre piñones de transmisión	Cajas torcidas al momento de armarlas
3	Mantener el calibre $\geq$ a las especificaciones de la clave	1	Material aplastado	1	Rotura piñón de calibración	Pérdida de calibre del material
				2	Descalibración en el paralelismo de rodillos de alimentación	Pérdida de calibre del material
				3	Quemado motor sistema de apertura y cierre de rodillo	Pérdida de calibre del material
				4	Rotura rodamientos rodillo de caucho	Pérdida de calibre del material
4	Entregar lámina de manera sincrónica a los demás cuerpos	1	Alimenta (transporta) a destiempo	1	Intermitencia en señal del sensor contador	Variación en el producto final
				2	Variación por juego entre piñones de transmisión	Variación en el producto final
				3	Desgaste en correas de sincronismo	Variación en el producto final
				4	Rotura seguidor de leva caja central	Variación en el producto final

Tabla 9. Hoja de registro Cuerpo Impresor

#	Función	#	Fallo funcional	#	Modo de fallo	Efecto de fallo
B	Cuerpo Impresor					
1	Imprimir de forma homogénea la lámina de cartón corrugado	1	No llega tinta al rodillo anilox	1	Daño en bomba neumática de cargue	No se dosifica la tinta correctamente
				2	Rotura manómetro de bomba neumática de cargue	No se dosifica la tinta correctamente
		2	Cajas chispeadas de tinta	1	Daño en bomba neumática de retorno	No se dosifica la tinta correctamente
				2	Rotura manómetro de bomba neumática de retorno	No se dosifica la tinta correctamente
		3	Blanquea en cualquiera de los lados	1	Rotura diafragma levantamiento de anilox	Cajas sin impresión
				2	Tornillo de calibración doblado	Cajas sin impresión
2	Mantener el calibre $\geq$ a las especificaciones de la clave	1	Material aplastado	1	Descalibración en el paralelismo de los rodillos contraimpresor y portaclisé	Pérdida de calibre del material
				2	Descalibración en el paralelismo de los ejes transportadores	Pérdida de calibre del material
3	Entregar lámina completamente alineada a los demás cuerpos	1	Entrega el material torcido al cuerpo ranurador	1	Descalibración en el paralelismo de los ejes transportadores	Cajas torcidas al armarlas
				2	Rotura rodamiento eje lado operario eje transportadores	Cajas torcidas al armarlas
				3	Rotura rodamiento eje lado motor eje transportadores	Cajas torcidas al armarlas
				4	Pérdida de diámetro por desgaste en collarines transportadores	Cajas torcidas al armarlas
4	Imprimir con case perfecto según tarjeta (medidas)	1	Imprime con desfase y no da registro (corrección)	1	Rotura espigo sistema axial del registro	No da corrección de impresión (Case)
				2	Daño tarjeta electrónica que comanda el motor del registro	No da corrección de impresión (Case)
				3	Quemado motor del registro	No da corrección de impresión (Case)
				4	Rodillo portaclisé salido del acople con espigo sistema axial	No da corrección de impresión (Case)
5	Entregar lámina de manera sincrónica a los demás cuerpos	1	Transporta a destiempo	Variación por juego entre piñones de transmisión	Variación en el producto final	
		2	Atascamiento entre los cuerpos		Atascamiento en la máquina	

Tabla 10. Hoja de registro Cuerpo Ranurador

#	Función	#	Fallo funcional	#	Modo de fallo	Efecto de fallo
C	Cuerpo Ranurador					
1	Entregar lámina completamente alineada a los demás cuerpos	1	Entrega el material torcido al cuerpo foldeador	1	Rotura rodamiento eje superior lado motor	Cajas torcidas al armarlas / Atrancones en cuerpo foldeador
				2	Rotura rodamiento eje superior lado operario	Cajas torcidas al armarlas / Atrancones en cuerpo foldeador
				3	Rotura rodamiento eje inferior lado motor	Cajas torcidas al armarlas / Atrancones en cuerpo foldeador
				4	Rotura rodamiento eje inferior lado operario	Cajas torcidas al armarlas / Atrancones en cuerpo foldeador
				5	Pérdida de diámetro por desgaste en collarines transportadores	Cajas torcidas al armarlas / Atrancones en cuerpo foldeador
2	Marcar y ranurar la lámina de forma sincrónica con la máquina	1	Corte torcido	1	Juego axial en cuchillas eje superior	Cajas torcidas al armarlas
				2	Juego axial en cuchillas eje inferior	Cajas torcidas al armarlas
		2	No corta	1	Daño en el sistema excéntrico de apertura y cierre entre ejes	No corta el material
		3	No marca scores	1	Desgaste en el diámetro del score macho	No marca los scores en el material
				2	Daño en el sistema excéntrico de apertura y cierre entre ejes	No marca los scores en el material
		4	Desfase en los cortes	1	Juego radial en las masas portacuchillas del eje superior	Cajas torcidas al armarlas
				2	Juego radial en las masas portacuchillas del eje inferior	Cajas torcidas al armarlas
		5	Desfase en la marcación de los scores	1	Juego radial en las masas portascors del eje superior	Cajas torcidas al armarlas / Atrancones en cuerpo foldeador
				2	Juego radial en las masas portascors del eje inferior	Cajas torcidas al armarlas / Atrancones en cuerpo foldeador
		6	No se mueven las masas de las cuchillas portacuchillas	1	Quemado motor de transmisión tornillo sinfin posición de masas	No se posicionan las masas portacuchillas
				2	Rotura piñones caja de transmisión bidireccional tornillo sinfin posición de masas	No se posicionan las masas portacuchillas
		7	No se mueven las masas de los scores	1	Quemado motor de transmisión tornillo sinfin posición de masas	No se posicionan las masas portascors
				2	Rotura piñones caja de transmisión bidireccional tornillo sinfin posición de masas	No se posicionan las masas portascors
3	Entregar lámina de manera sincrónica a los demás cuerpos	1	Transporta a destiempo	1	Variación por juego entre piñones de transmisión	Atrancones en cuerpo foldeador

Tabla 11. Hoja de registro Cuerpo Foldeador

#	Función	#	Fallo funcional	#	Modo de fallo	Efecto de fallo
D	Cuerpo Foldeador					
1	Transportar la caja al counter ejector	1	No se mueven las bandas	1	Rotura en el cardan de transmisión	No circula la caja
				2	Rotura en el acople tipo cadena del sistema de transmisión	No circula la caja
				3	Rotura caja bidireccional #1 del sistema de transmisión	No circula la caja
				4	Falta de tensión de las bandas	No circula la caja
				5	Rotura del eje principal	No circula la caja
				6	Rotura cuña sujeción poleas	No circula la caja
				7	Rotura buje QD de las poleas	No circula la caja
2	Entregar lámina completamente alineada a los demás cuerpos	1	Entrega la caja torcida al counter ejector	1	Desgaste en banda lado motor	Atrancones en counter ejector
				2	Desgaste en banda lado operario	Atrancones en counter ejector
				3	Juego cuña/cuñero buje QD polea lado motor	Atrancones en counter ejector
				4	Juego cuña/cuñero buje QD polea lado operario	Atrancones en counter ejector
				5	Quemado motor de vacío lado motor	Atrancones en counter ejector
				6	Quemado motor de vacío lado operario	Atrancones en counter ejector
3	Entregar lámina de manera sincrónica al counter ejector	1	Transporta a destiempo	1	Variación por avería en caja bidireccional #1	Atrancones en counter ejector
				2	Variación por avería en caja bidireccional #2	Atrancones en counter ejector
				3	Desajuste en limitador de torque	Atrancones en counter ejector
				4	Rodillos de transporte pegados	Atrancones en counter ejector
4	Doblar las cajas	1	Dobla mal la caja	1	Desalineación entre el foldeador y el ranurador	Cajas torcidas al armarlas

Tabla 12. Hoja de registro Counter Ejector

#	Función	#	Fallo funcional	#	Modo de fallo	Efecto de fallo
E	Counter Ejector					
1	Apilar las cajas	1	Atascamiento de las cajas al apilar	1	Pérdida de referencia del eje de los látigos	Atrancos en counter ejector / Parada de máquina por atascamiento
				2	Rotura banda de transmisión eje de látigos	Atrancos en counter ejector / Parada de máquina por atascamiento
				3	Desgaste en dientes de polea transmisión eje de látigos	Atrancos en counter ejector / Parada de máquina por atascamiento
				4	Rotura de látigos	Atrancos en counter ejector / Parada de máquina por atascamiento
				5	Rotura rodamiento lado motor eje de látigos	Atrancos en counter ejector / Parada de máquina por atascamiento
				6	Rotura rodamiento lado operario eje de látigos	Atrancos en counter ejector / Parada de máquina por atascamiento
				7	Rotura eje de látigos	Fuera de operación
2	Expulsar el arrume de cajas	1	No expulsa el arrume	1	Fuga en cilindro neumático expulsor	No completa el ciclo de operación
				2	Desnivelación en conjunto expulsor	No completa el ciclo de operación
				3	Pérdida de referencia del equipo	No completa el ciclo de operación
				4	Rotura rodamiento lineales sistema expulsor	No completa el ciclo de operación
				5	Desgaste en guía del tiburón	No completa el ciclo de operación
				6	Quemado bobina electroválvula	No completa el ciclo de operación
3	Generar un arrume de cajas organizadas	1	No ajusta el estabilizador	1	Rotura tuerca esférica lado motor	Arrume de cajas desordenado
				2	Rotura tuerca esférica lado operario	Arrume de cajas desordenado
				3	Rotura tornillo sinfin lado motor	Arrume de cajas desordenado
				4	Rotura tornillo sinfin lado operario	Arrume de cajas desordenado
4	Entregar el arrume de cajas de manera sincrónica	1	Los trinchos bajan/suben a destiempo	1	Fuga en cilindro neumático de los trinchos	Atrancos en counter ejector / Parada de máquina por atascamiento
				2	Quemado bobina electroválvula de los trinchos	Atrancos en counter ejector / Parada de máquina por atascamiento
				3	Variación por juego entre piñón y cremallera del sistema	Atrancos en counter ejector / Parada de máquina por atascamiento

### 6.2.6 Efectos de los modos de falla y criticidad.

Llegado a este punto y conocidos los efectos de los modos de fallo, se procede a evaluar la criticidad de los mismos, es decir, el impacto que su aparición conlleva sobre áreas como la seguridad, calidad, medio ambiente y producción.

La selección de las actividades de mantenimiento a ejecutar debe ser gobernadas por la naturaleza y la severidad de los resultados de los modos de fallos. Para el caso de modos de fallo

altamente críticos, deben ponerse a consideración actividades que puedan prevenir la aparición de los mismos o que permitan anticipar su aparición.

Para este proyecto el criterio de evaluación de criticidad es el siguiente:

Criticidad = Impacto operacional + Frecuencia + Mantenibilidad + Detección

Impacto Operacional = Seguridad + Medio Ambiente + Calidad + Producción

Para realizar la evaluación, a continuación, se mencionan las valoraciones a tener en cuenta:

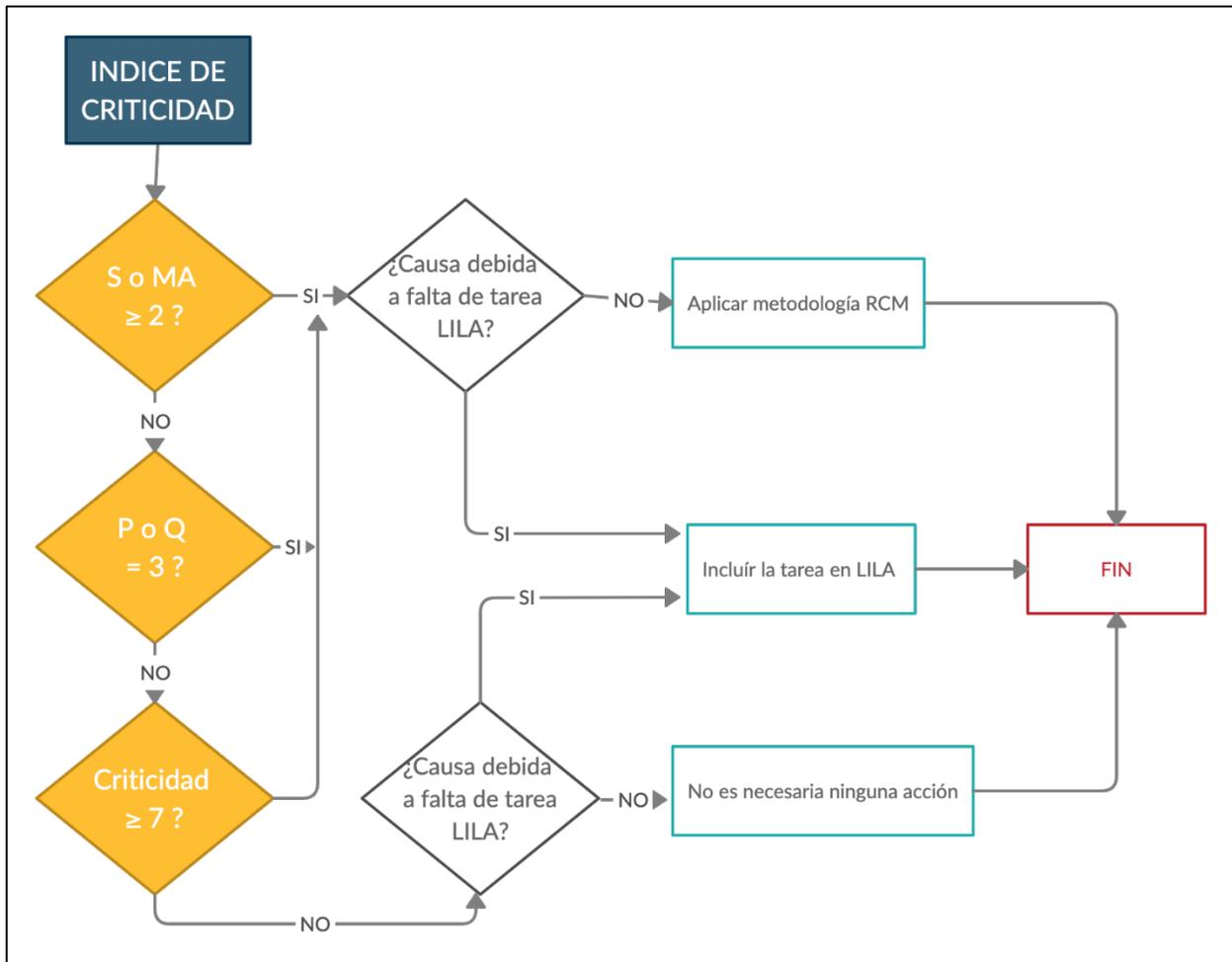
Tabla 13. Valores Impacto/Ocurrencia

Tabla de valores impacto-ocurrencia		
<b>Seguridad</b>	Analiza el impacto del modo de fallo en la seguridad de los trabajadores (riesgo de accidentes debido a fallo)	
<b>Efecto</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
Ninguno	La ocurrencia del fallo no tiene ningún efecto	0
Bajo	La ocurrencia del fallo puede crear riesgos sin baja o accidente	1
Medio	La ocurrencia del fallo puede crear baja o indisponibilidad temporal	2
Alto	La ocurrencia del fallo puede provocar muerte o indisponibilidad permanente	3
<b>Medio Ambiente</b>	Analiza el impacto del modo de fallo en el medio ambiente (riesgo de accidentes	
<b>Efecto</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
Ninguno	Sin efectos	0
Bajo	No tiene ningún efecto medioambiental	1
Medio	Puede causar impacto interno de parámetros o especificaciones legales	2
Alto	Puede causar impacto externo de parámetro o especificaciones legales	3

Calidad		
	Analiza el impacto del modo de fallo en la calidad final del producto	
Efecto	Descripción	Valor
Ninguno	No causa ningún efecto	0
Bajo	Puede causar un reproceso de la producción	1
Medio	Puede causar disconformidades con posibilidad de rechazo de un lote	2
Alto	Puede causar rechazo directamente por parte del consumidor final	3
Producción		
	Analizar el impacto del modo de fallo en la producción	
Efecto	Descripción	Valor
Ninguno	No causa ningún efecto	0
Bajo	Puede crear paradas de <30min	1
Medio	Puede crear paradas entre 30 y 120min	2
Alto	Puede crear parada >120min o rechazo >2%	3
Frecuencia		
	Analiza con qué frecuencia el modo de fallo ocurre en el equipo	
Efecto	Descripción	Valor
Ninguno	0 - 1 Fallos/Año	0
Bajo	1 < Fallos/Año	1
Medio	5 < Fallos/Año < 10	2
Alto	Fallos/Año > 10	3
Mantenibilidad		
	Analiza la dificultad para reparar, el tiempo necesario para la reparación	
Efecto	Descripción	Valor
Ninguno	Tiempo de restauración < 30min	0
Bajo	30min ≤ Tiempo de restauración < 2 horas	1
Medio	2 horas ≤ Tiempo de restauración < 4 horas	2
Alto	Tiempo de restauración ≥ 4 horas	3
Detección		
	Analiza la dificultad de detectar diferentes tipos de fallo antes de que ocurran	
Efecto	Descripción	Valor
Ninguno	El fallo es fácilmente detectable por el operador con una inspección visual y no es necesario un plan de mantenimiento	0
Bajo	El fallo puede ser detectado por el operador durante la revisión de las tareas de LILA	1
Medio	El fallo solo puede ser detectado a través de una intervención técnica de inspección o mantenimiento predictivo	2
Alto	El fallo no puede ser detectado a través de las técnicas conocidas	3

Una vez tengamos ese valor de criticidad para cada modo de fallo, nos basaremos en el siguiente diagrama de decisión para el análisis de los resultados, es importante tener en cuenta que una vez hayamos obtenido ese valor para cada modo de fallo, será una aproximación cuantitativa del impacto de cada uno de los modos de fallo sobre el sistema en análisis.

Figura 19. Diagrama de decisión para Impacto/Ocurrencia



Fuente: SAE JA 1011

El estudio realizado intenta profundizar mucho más en el origen de los diferentes modos de fallo con el objetivo adicional de consolidar la mayor cantidad de información relacionada a fin de que el resultado final sea lo más efectivo posible.

Tabla 14. Hoja de registro FMECA Cuerpo Alimentador

Información de Referencia			Impacto				Ocurrencia			Críticidad	Acción a aplicar		
#F	FF	MF	S	MA	Q	P	F	M	D		RCM	LILA	NA
RCM: Hoja de registro del FMECA			Sistemas: Cuerpo Alimentador										
Línea de conversión			Cuerpo Impresor										
Impresora Flexo			Cuerpo Ranurador										
Folder Gluer 12.000			Cuerpo Foldeador										
			Counter Ejector										
<b>A. Cuerpo Alimentador</b>													
1	1	1	0	0	0	2	1	1	0	4	NA		
		2	0	0	0	2	1	1	1	5	LILA		
		3	0	0	0	3	0	3	1	7	RCM		
		4	1	0	0	3	1	3	2	10	RCM		
		5	0	0	0	3	0	3	2	8	RCM		
		6	0	0	0	3	0	2	1	6	LILA		
		7	0	0	0	3	1	3	1	8	RCM		
		8	0	0	0	3	0	3	1	7	RCM		
2	1	1	1	0	0	2	0	1	2	6	LILA		
		2	0	0	2	2	1	1	1	7	RCM		
		3	0	0	2	1	0	0	1	4	LILA		
		4	0	0	2	1	2	2	1	8	RCM		
		5	0	0	2	0	0	0	1	3	LILA		
3	1	1	0	0	2	2	0	1	1	6	LILA		
		2	0	0	2	2	2	1	1	8	RCM		
		3	1	0	2	2	0	0	2	7	RCM		
		4	0	0	2	3	0	3	2	10	RCM		
4	1	1	0	0	2	1	1	0	1	5	NA		
		2	0	0	2	0	0	3	1	6	LILA		
		3	0	0	2	2	1	1	1	7	RCM		
		4	0	0	2	3	0	3	1	9	RCM		

Tabla 15. Hoja de registro FMECA Cuerpo Impresor

Información de Referencia			Impacto				Ocurrencia			Críticidad	Acción a aplicar		
#F	FF	MF	S	MA	Q	P	F	M	D		RCM	LILA	NA
<b>B. Cuerpo Impresor</b>													
1	1	1	0	1	2	1	1	1	1	7	RCM		
		2	0	0	2	1	0	0	3	6	LILA		
	2	1	0	1	3	1	1	1	1	8	RCM		
		2	0	0	3	1	0	0	3	7	RCM		
	3	1	0	0	2	2	1	1	0	6	LILA		
		2	0	0	2	2	1	1	0	6	LILA		
2	1	1	0	0	3	2	0	0	0	5	LILA		
		2	0	0	3	1	0	0	0	4	LILA		
3	1	1	0	0	3	1	0	0	1	5	NA		
		2	0	0	2	2	0	2	1	7	RCM		
		3	0	0	2	2	0	2	1	7	RCM		
		4	0	0	3	1	0	0	0	4	NA		
4	1	1	0	0	2	2	0	2	1	7	RCM		
		2	0	0	2	1	1	0	0	4	NA		
		3	1	0	2	1	0	0	0	4	NA		
		4	0	0	2	2	0	1	1	6	NA		
5	1	1	0	0	2	0	0	3	1	6	LILA		
	2	1	0	0	2	0	0	3	1	6	LILA		

Tabla 16. Hoja de registro FMECA Cuerpo Ranurador

Información de Referencia			Impacto				Ocurrencia			Críticidad	Acción a aplicar		
#F	FF	MF	S	MA	Q	P	F	M	D		RCM	LILA	NA
<b>C. Cuerpo Ranurador</b>													
1	1	1	0	0	2	3	0	3	1	9	RCM		
		2	0	0	2	3	0	3	1	9	RCM		
		3	0	0	2	3	0	3	1	9	RCM		
		4	0	0	2	3	0	3	1	9	RCM		
		5	0	0	1	1	1	0	0	3	NA		
2	1	1	0	0	1	1	2	1	0	5	LILA		
		2	0	0	1	1	2	1	0	5	LILA		
	2	1	0	0	0	2	0	2	1	5	LILA		
		3	0	0	0	1	1	0	0	2	NA		
	3	1	0	0	0	2	1	1	1	5	LILA		
		2	0	0	0	2	1	1	0	6	LILA		
	4	1	0	0	2	2	1	1	0	6	LILA		
		2	0	0	2	2	1	1	0	6	LILA		
	5	1	0	0	2	2	1	1	0	6	LILA		
		2	0	0	2	2	1	1	0	6	LILA		
	6	1	0	0	0	2	1	2	1	6	LILA		
		2	0	0	0	2	0	2	1	5	LILA		
	7	1	0	0	0	2	1	2	1	6	LILA		
		2	0	0	0	2	0	2	1	5	LILA		
3	1	1	0	0	1	0	0	2	1	4	LILA		

Tabla 17. Hoja de registro FMECA Cuerpo Foldeador

Información de Referencia			Impacto				Ocurrencia			Críticidad	Acción a aplicar		
#F	FF	MF	S	MA	Q	P	F	M	D		RCM	LILA	NA
<b>D. Cuerpo Foldeador</b>													
1	1	1	0	0	0	3	0	2	0	5	LILA		
		2	0	0	0	2	0	1	1	4	LILA		
		3	0	0	0	2	0	1	1	4	LILA		
		4	0	0	2	0	2	0	0	4	NA		
		5	0	0	0	3	0	3	0	6	LILA		
		6	0	0	0	2	0	3	1	6	LILA		
		7	0	0	0	2	0	3	1	6	LILA		
2	1	1	0	0	2	1	2	0	1	6	LILA		
		2	0	0	2	1	0	0	1	4	NA		
		3	0	0	2	1	0	3	0	6	LILA		
		4	0	0	2	1	0	3	0	6	LILA		
		5	0	0	0	2	0	1	0	3	NA		
		6	0	0	0	2	0	1	0	3	NA		
3	1	1	0	0	2	1	1	2	1	7	RCM		
		2	0	0	2	1	1	2	1	7	RCM		
		3	0	0	2	1	2	1	2	8	RCM		
		4	0	0	2	0	2	0	1	5	NA		
4	1	1	0	0	2	0	0	1	2	5	NA		

Tabla 18. Hoja de registro FMECA Counter Ejector

Información de Referencia			Impacto				Ocurrencia			Críticidad	Acción a aplicar		
#F	FF	MF	S	MA	Q	P	F	M	D		RCM	LILA	NA
<b>E. Counter Ejector</b>													
1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	3	NA		
		2	0	0	0	1	0	0	0	1	NA		
		3	0	0	0	1	0	1	1	3	LILA		
		4	0	0	0	1	2	0	0	3	NA		
		5	0	0	0	2	0	2	1	5	LILA		
		6	0	0	0	2	0	2	1	5	LILA		
		7	0	0	0	2	1	2	0	5	LILA		
2	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	NA		
		2	0	0	0	0	0	0	0	0	NA		
		3	0	0	0	2	1	1	0	4	NA		
		4	0	0	0	3	0	3	0	6	LILA		
		5	0	0	0	0	0	1	1	2	LILA		
		6	0	0	0	2	0	0	0	2	NA		
3	1	1	0	0	0	2	1	1	1	5	LILA		
		2	0	0	0	2	1	1	1	5	LILA		
		3	0	0	0	3	0	3	0	6	LILA		
		4	0	0	0	3	0	3	0	6	LILA		
4	1	1	0	0	0	0	1	1	1	3	LILA		
		2	0	0	0	1	0	1	0	2	NA		
		3	0	0	0	0	0	3	1	4	LILA		

### 6.3 Propuesta de solución

#### 6.3.1 Identificación tareas de mantenimiento.

A partir del análisis de la taxonomía, los modos de fallo y su efecto, se procede a seleccionar el tipo de mantenimiento y las actividades correspondientes que mayor efectividad

generen y ayuden a prevenir la aparición de cada uno de los modos de fallo identificados según el árbol lógico de decisión RCM.

Seleccionar las actividades de mantenimiento requiere como primera medida el identificar las consecuencias que generan los diferentes modos de fallo las cuáles se encuentran categorizadas de la siguiente manera:

- Consecuencias del fallo oculto
- Consecuencias para la seguridad o el medio ambiente
- Consecuencias operacionales
- Consecuencias no operacionales

Para identificar las consecuencias en nuestro modelo RCM debemos tener en cuenta también los aspectos ya mencionados en el Diagrama de decisión RCM (Figura 6):

- Columnas H, S, N, O se clasifican según las consecuencias de cada modo de fallo.
- Columnas H1, H2, H3, S1, S2, S3, M1, M2, M3, O1, O2, O3 se evidencian las tareas proactivas a realizar dado que son numerales 1,2 y 3.
- Columnas H4, H5, S4 se identifican como “tareas a falta de”.

A continuación, se evidencia la información obtenida luego de realizar todo el análisis de los diferentes modos de fallo y sus consecuencias, así como también las diferentes actividades a realizar en cada uno de los mantenimientos.

Tabla 19. Hoja de registro del FMECA Análisis de consecuencias

RCM: Hoja de registro del FMECA							Sistemas: Cuerpo Alimentador Cuerpo Impresor Cuerpo Ranurador Cuerpo Foldeador Counter Ejector										
Información de referencia			Evaluación de las consecuencias				Proceso de selección			Tareas "a falta de"			Actividad de mantenimiento basado en árbol lógico de decisión del RCM	Tareas propuestas	Frecuencia	Estado de la máquina	
#F	FF	MF	H	S	N	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4					
							S1	S2	S3								
							O1	O2	O3								
							N1	N2	N3								
<b>A. Cuerpo Alimentador</b>																	
1	1	3			X		N1						Tarea a condición	Análisis de vibraciones a rodillos	Anual	Operación	
		4			X		N1						Tarea a condición	Meggea a motor	Semestral	Operación	
		5			X		N1							Tarea a condición	Análisis de vibraciones a motor	Anual	Operación
		7			X								S4	Combinación de tareas	Inspeccionar el estado de los espigos del rodillo	Mensual	Detenida
		8			X						H4			Tarea de búsqueda de fallas	Inspeccionar todos los piñones de la caja	Mensual	Detenida
2	1	2			X				N3				Tarea de sustitución cíclica	Cambiar correas de alimentación	Anual	Detenida	
		4			X			N2					Tarea de reacondicionamiento cíclico	Limpiar filtros del sistema de vacío	Mensual	Detenida	
3	1	2			X			N2					Tarea de reacondicionamiento cíclico	Calibrar paralelismo de rodillos	Mensual	Detenida	
		3			X							S4	Combinación de tareas	Verificar estado del motor	Semanal	Operación	
		4			X		N1						Tarea a condición	Análisis de vibraciones a rodamientos	Anual	Detenida	
4	1	3			X				N3				Tarea de sustitución cíclica	Cambiar correas de alimentación	Anual	Detenida	
		4			X							S4	Tarea a condición	Verificar el estado del seguidor de leva	Semestral	Detenida	
<b>B. Cuerpo Impresor</b>																	
1	1	1			X				N3				Tarea de sustitución cíclica	Cambiar bomba neumática	Semestral	Detenida	
		2			X				N3				Tarea de sustitución cíclica	Cambiar bomba neumática	Semestral	Detenida	
	2			X								S4	Combinación de tareas	Verificar el estado de la línea neumática	Semanal	Operación	
3	1	2			X			N1					Tarea a condición	Análisis de vibraciones a rodamientos	Anual	Operación	
		3			X							S4	Combinación de tareas	Verificar el estado de los rodamientos	Mensual	Detenida	
4	1	1			X			N2					Tarea de reacondicionamiento cíclico	Inspeccionar componentes sistema axial	Semestral	Detenida	
<b>C. Cuerpo Ranurador</b>																	
1	1	1			X		N1						Tarea a condición	Análisis de vibraciones a rodamientos	Anual	Operación	
		2			X		N1						Tarea a condición	Análisis de vibraciones a rodamientos	Anual	Operación	
		3			X		N1							Tarea a condición	Análisis de vibraciones a rodamientos	Anual	Operación
		4			X		N1							Tarea a condición	Análisis de vibraciones a rodamientos	Anual	Operación
<b>D. Cuerpo Foldeador</b>																	
3	1	1			X			N2					Tarea de reacondicionamiento cíclico	Cambiar caja bidireccional	Anual	Detenida	
		2			X			N2					Tarea de reacondicionamiento cíclico	Cambiar caja bidireccional	Anual	Detenida	
		3			X							S4	Combinación de tareas	Verificar el estado del limitador de torque	Semestral	Operación	

### **6.3.2 Agrupación plan de Mantenimiento.**

El resultado del proyecto es un plan de mantenimiento con acciones predictivas, preventivas y/o correctivas para aplicación en el sistema de estudio con el fin de mejorar las condiciones operacionales y organizacionales.

En este apartado, se presenta de forma detallada el esquema de tareas para cada subsistema junto con la frecuencia y el personal a cargo de su realización.

Además de las actividades de la tabla, es importante mencionar que se añaden todas las actividades LILA (Limpieza, Inspección, Lubricación y Ajuste). Las actividades de limpieza general de la máquina serán ejecutadas por los operarios de la misma y el responsable de su supervisión será el coordinador de área, a su vez, las actividades de inspección, lubricación y ajuste serán realizadas por el lubricador y el auxiliar mecánico según los procedimientos y la supervisión estará a cargo del Ingeniero de Mantenimiento.

Tales actividades se encuentran igualmente organizadas por frecuencia, es importante mencionar también que se cuenta con 8 horas semanales para la ejecución de las tareas de mantenimiento.

Tabla 20. Actividades de Mantenimiento basado en el plan de mantenimiento

				Frecuencia de ejecución					
Codificación FMEA			Actividad de mantenimiento basado en árbol lógico de decisión del RCM	Acción de mantenimiento a ejecutar	Ejecutor	Semanal	Mensual	Semestral	Anual
<b>A. Cuerpo Alimentador</b>									
1	1	3	Tarea a condición	Análisis de vibraciones a rodillos	Contratista				X
1	1	4	Tarea a condición	Meggeo a motor	Técnico Eléctrico			X	
1	1	5	Tarea a condición	Análisis de vibraciones a motor	Contratista				X
1	1	7	Combinación de tareas	Inspeccionar el estado de los espigos del rodillo	Lubricador		X		
1	1	8	Tarea de búsqueda de fallas	Inspeccionar todos los piñones de la caja	Técnico Mecánico		X		
2	1	2	Tarea de sustitución cíclica	Cambiar correas de alimentación	Técnico Mecánico				X
2	1	4	Tarea de reacondicionamiento cíclico	Limpiar filtros del sistema de vacío	Auxiliar Mecánico		X		
3	1	2	Tarea de reacondicionamiento cíclico	Calibrar paralelismo de rodillos	Técnico Mecánico		X		
3	1	3	Combinación de tareas	Verificar estado del motor	Técnico Eléctrico	X			
3	1	4	Tarea a condición	Análisis de vibraciones a rodamientos	Contratista				X
4	1	3	Tarea de sustitución cíclica	Cambiar correas de alimentación	Técnico Mecánico				X
4	1	4	Tarea a condición	Verificar el estado del seguidor de leva	Técnico Mecánico			X	
<b>B. Cuerpo Impresor</b>									
1	1	1	Tarea de sustitución cíclica	Cambiar bomba neumática	Auxiliar Mecánico			X	
1	2	1	Tarea de sustitución cíclica	Cambiar bomba neumática	Auxiliar Mecánico			X	
1	2	2	Combinación de tareas	Verificar el estado de la línea neumática	Auxiliar Mecánico	X			
3	1	2	Tarea a condición	Análisis de vibraciones a rodamientos	Contratista				X
3	1	3	Combinación de tareas	Verificar el estado de los rodamientos	Lubricador		X		
4	1	1	Tarea de reacondicionamiento cíclico	Inspeccionar componentes sistema axial	Técnico Mecánico			X	
<b>C. Cuerpo Ranurador</b>									
1	1	1	Tarea a condición	Análisis de vibraciones a rodamientos	Contratista				X
1	1	2	Tarea a condición	Análisis de vibraciones a rodamientos	Contratista				X
1	1	3	Tarea a condición	Análisis de vibraciones a rodamientos	Contratista				X
1	1	4	Tarea a condición	Análisis de vibraciones a rodamientos	Contratista				X
<b>C. Cuerpo Foldeador</b>									
3	1	1	Tarea de reacondicionamiento cíclico	Cambiar caja bidireccional	Técnico Mecánico				X
3	1	2	Tarea de reacondicionamiento cíclico	Cambiar caja bidireccional	Técnico Mecánico				X
3	1	3	Combinación de tareas	Verificar el estado del limitador de torque	Técnico Mecánico			X	

Tabla 21. Actividades LILA del plan de mantenimiento

ACTIVIDADES LILA	Semana de ejecución			
	S1	S2	S3	S4
<b>A. Cuerpo Alimentador</b>				
Limpieza general de cuerpo alimentador	X	X	X	X
Lubricación componentes cuerpo alimentador	X			
Inspección visual del estado de la correa de transmisión principal	X			
Inspección visual del estado de las poleas de transmisión principal	X			
Meggeo de motor sistema de vacío		X		
Inspección visual del estado del motor sistema de vacío		X		
Medición diámetro de rodillo de caucho (Validar desgaste)	X			
Inspección visual estado de piñones de transmisión	X			
Inspección visual estado piñón de calibración apertura rodillos	X			
<b>B. Cuerpo Impresor</b>				
Limpieza general de cuerpo impresor	X	X	X	X
Lubricación componentes cuerpo impresor		X		
Inspección visual componentes sistema de tinta		X		
Inspección visual y accionamiento sistema diafragma anilox		X		
Verificar estado de tornillo de calibración sistema diafragma anilox		X		
Verificación y calibración paralelismo de rodillos impresores		X		
Verificación y calibración paralelismo ejes transportadores		X		
Inspección visual estado de piñones de transmisión		X		
<b>C. Cuerpo Ranurador</b>				
Limpieza general de cuerpo ranurador	X	X	X	X
Lubricación componentes cuerpo ranurador			X	
Inspección visual y verificación de juego axial en portacuchillas			X	
Verificación funcionamiento sistema excéntrico de cuchillas			X	
Inspección visual y verificación de juego radial en portascotes			X	
Inspección visual estado del motor de transmisión bidireccional	X			
Inspección estado caja bidireccional de transmisión			X	
Inspección visual estado de piñones de transmisión			X	
<b>D. Cuerpo Foldeador</b>				
Limpieza general de cuerpo foldeador	X	X	X	X
Lubricación componentes cuerpo foldeador			X	
Inspección visual estado cardan de transmisión principal			X	
Inspección visual estado acople tipo cadena			X	
Inspección visual estado caja bidireccional de transmisión			X	
Inspección visual en funcionamiento de sistema de transmisión			X	
Verificación de juegos en cuñas/cuñeros de poleas transmisión			X	
<b>E. Counter Ejector</b>				
Limpieza general de counter ejector	X	X	X	X
Lubricación componentes counter ejector				X
Inspección visual estado conjunto correa/polea látigos				X
Inspección visual estado rodamientos eje látigos				X
Inspección visual estado general eje látigos				X
Verificación estado rodamientos lineales sistema expulsor				X
Medición altura guía sistema tiburón expulsor (Validar desgaste)				X
Inspección visual tuercas esféricas sistema estabilizador				X
Verificar estado funcional de tornillos sinfin sistema estabilizador				X
Inspección visual estado dientes cremalleras				X
Inspección visual estado componnetes línea neumática				X

### **6.3.3 Formato de orden de trabajo.**

Cada una de las actividades incluidas en el plan de mantenimiento, sin importar su naturaleza sólo se pueden realizar si se cuenta con la Orden de Trabajo/Servicio que garantiza la programación y aprobación de la tarea por parte del supervisor de mantenimiento, ingeniero o jefe de mantenimiento, así como también el cumplimiento de las normas de seguridad por parte del personal.

Las diferentes tareas están discriminadas según la naturaleza del mantenimiento a realizar, siendo PREVENTIVO, PREDICTIVO o CORRECTIVO, todas las actividades LILA entran en la categoría de Preventivo.

Mantenimiento Preventivo = PREV

Mantenimiento Predictivo = PRED

Mantenimiento Correctivo = CORR

Tal designación permite a quienes manejan la información poder cuantificar el número de tareas por naturaleza realizadas durante la semana, mes, año y así poder gestionar una trazabilidad de la gestión del mantenimiento de los equipos.

Seguido del texto de designación para el mantenimiento, se enlista la actividad a realizar, así como también el responsable de la misma, además, se especifica un espacio para cualquier observación pertinente antes, durante y después de realizar la actividad de mantenimiento, su hora de inicio y de finalización.

Tabla 22. Formato Orden de Trabajo

	01.01.2020	<b>Orden de Servicio</b>	
	Original	Página 1	
<i>Orden</i>	#####	<i>Clase de Orden</i>	PM03      Orden de Mtto. Preventivo-Predictivo
<i>Aviso</i>	#####	<i>Revisión_número</i>	
<i>Descripción</i>	PREV LUBRICACIÓN GENERAL DE MÁQUINA		
<i>Fecha de inicio</i>	01.01.2020	<i>Fecha de fin</i>	01.01.2020
<i>Prioridad</i>	3	<i>Servicio planeado</i>	
<i>Ubica. Técnica</i>	FFGW	FLEXO FOLDER GLUER WARD	
<i>Equipo</i>			
<i>Conjunto</i>			
<i>Grupo-planif.MT</i>	#####	MTTO. ELECTRICO	<i>Responsable</i> SUPMTTO

Durante la ejecución del servicio prestado es su obligación cumplir todos los procedimientos de seguridad, estos garantizan su protección.  
Al finalizar su labor debe dejar el área limpia, ordenada y cada residuo ubicado en los sitios destinados para ello.

---

PREV LUBRICACIÓN GENERAL DE MÁQUINA

---

<b>Operación</b>	0010		<b>LUBRICACIÓN CUERPO ALIMENTADOR</b>
Responsable	SUPMTTO	P210	SUPERVISOR MANTENIMIENTO
Ejecutante	LUBRICADOR		
Nº-notificación	#####		
Servicio	0,0	HRS	
Duración	0,0	HRS	<i>Cantidad</i> 0
Inicio Operación	00:00:00		
Fin Operación	00:00:00		

**NOVEDADES**

---



---



---



---

**Observaciones:**

---



---



---

*Fin del informe*

## 7 Resultados esperados/generados

El desarrollo y la implementación de este plan de mantenimiento basado en confiabilidad logrará disminuir las fallas de los equipos de la línea de producción, así como también brindará una mayor disponibilidad de los mismos, es decir aumentará la confiabilidad de toda la línea.

En el marco del diseño del plan de mantenimiento se identificaron diferentes resultados que serán importantes para la completa y correcta implementación del mismo en búsqueda de los objetivos propuestos para cada uno de los indicadores de disponibilidad, confiabilidad y productividad de las máquinas ante la alta gerencia.

A continuación, se relacionan los resultados esperados/generados tras el diseño y la implementación del plan de mantenimiento:

- Evitar las paradas correctivas de la línea y/o equipos a causa de fallas de emergencia que generan tiempos perdidos de producción y pérdidas para la empresa.
- Garantizar estándares de calidad en el producto final de la línea por el correcto funcionamiento de los equipos que la componen.
- Disminuir las intervenciones de emergencia y por lo tanto el sobre costo económico de estas reparaciones.
- Garantizar la disponibilidad de todos los equipos de la línea.
- Implementar una programación de actividades de mantenimiento basada en los requerimientos funcionales de los equipos.

- Identificar los repuestos que entran en el backlog de tareas de mantenimiento para así manejar un stock de inventario apropiado.
- Identificación de herramientas necesarias para las actividades de mantenimiento programadas.
- Estructuración de un equipo de mantenimiento bien definido.

## **8      Análisis financiero**

Para el análisis financiero se tuvieron en cuenta las actividades de diseño, desarrollo e implementación del plan de mantenimiento al equipo, así como también el personal y los recursos utilizados para tales efectos.

Tabla 23. Tarifas Recurso Humano

<b>Cargo</b>	<b>Valor hora</b>
Ingeniero	\$ 30.000
Técnico Mecánico	\$ 10.000
Técnico Eléctrico	\$ 10.000
Auxiliar Mecánico	\$ 8.000

Tabla 24. Análisis financiero Recurso Humano

<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Personal</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor Unitario</b>	<b>Valor Total</b>
<b>1</b>	<b>RECURSO HUMANO</b>					
1.1	Evaluación estado actual del equipo	1 Ingeniero + 1 Técnico Mecánico + 1 Técnico Eléctrico	80	Horas	\$ 50.000	\$ 4.000.000
1.2	Recopilación de información y análisis de información	1 Ingeniero	80	Horas	\$ 30.000	\$ 2.400.000
1.3	Realización análisis de criticidad del equipo	1 Ingeniero	40	Horas	\$ 30.000	\$ 1.200.000
1.4	Análisis de datos de criticidad del equipo	1 Ingeniero	16	Horas	\$ 30.000	\$ 480.000
1.5	Análisis funciones y modos de fallo del equipo	1 Ingeniero	80	Horas	\$ 30.000	\$ 2.400.000
1.6	Evaluación consecuencias de fallo del equipo	1 Ingeniero	48	Horas	\$ 30.000	\$ 1.440.000
1.7	Diseño de tareas para plan de mantenimiento con frecuencias y responsable	1 Ingeniero	120	Horas	\$ 30.000	\$ 3.600.000
<b>Total Recurso Humano</b>					<b>\$</b>	<b>15.520.000</b>

Tabla 25. Análisis financiero gastos

ITEM	Descripción	Cantidad	Unidad	Valor Unitario	Valor Total
<b>2</b>	<b>MISCELANEOS</b>				
2.1	Papeleria	1	Caja	\$ 90.000	\$ 90.000
2.2	USB 64GB	1	Unidad	\$ 70.000	\$ 70.000
2.3	Computador portátil	1	Unidad	\$ 2.500.000	\$ 2.500.000
2.4	Impresora	1	Unidad	\$ 250.000	\$ 250.000
<b>3</b>	<b>SERVICIOS</b>				
3.1	Libros de consulta	2	Unidad	\$ 60.000	\$ 120.000
3.2	Internet	1	Unidad	\$ 134.000	\$ 134.000
3.3	Transportes	1	-	\$ 1.250.000	\$ 1.250.000
3.4	Imprevistos	1	-	\$ 500.000	\$ 500.000
<b>Total Miscelaneos + Total Servicios</b>				<b>\$</b>	<b>4.914.000</b>
<b>TOTAL</b>				<b>\$</b>	<b>20.434.000</b>

El presupuesto es sinónimo de inversión para el departamento de mantenimiento y la compañía en general pues los frutos económicos se verán con el pasar del tiempo y a medida que se afiance de manera satisfactoria la implementación y ejecución del plan de mantenimiento.

Con la implementación del plan y la inversión de este dinero se podrán ver las siguientes consecuencias:

- Excelente imagen de la administración principal y del departamento de mantenimiento.
- Correcta gestión de los activos de la compañía.
- Disminución en los reclamos de calidad (pérdidas).
- Aumento en la capacidad de respuesta ante averías repentinas.

## **9 Conclusiones y recomendaciones**

### **9.1 Conclusiones**

El desarrollo de un plan de mantenimiento mediante herramientas de la metodología RCM al interior de una compañía requiere de un buen equipo de trabajo y de la buena disposición de cada uno de los miembros para construir conocimiento basado en las lecciones aprendidas y el análisis de los diferentes escenarios y las especialidades involucradas.

En el marco del diseño y desarrollo del presente trabajo de grado se halló un resultado cuantitativo para la evaluación de criticidad partiendo de preguntas cualitativas que se enfocan en la importancia de los activos evaluados, esto con el fin de enfocar las actividades a equipos específicos. Adicional, el análisis de criticidad permitió obtener el punto de vista de diferentes

especialistas, quienes unieron conocimientos no sólo técnicos sino también financieros aportando al desarrollo de habilidades de la gerencia del mantenimiento.

La implementación de actividades de mantenimiento y el diseño del plan basado en confiabilidad se obtuvo gracias al importante aporte de la hoja de decisión RCM, el cual permitió de manera satisfactoria establecer frecuencias y responsables de la ejecución de las diferentes tareas basadas en modos de fallo funcionales del equipo y sus posibles soluciones; de igual manera permitió clasificar las actividades propuestas en: predictivas, preventivas, reacondicionamientos cíclicos, sustituciones cíclicas y otras tareas.

El completo y correcto desarrollo de la hoja de decisión permitió identificar que una sola actividad puede cubrir diferentes modos de fallo, permitiendo así la planeación de las tareas de manera más eficaz, además de una optimización de recurso humano y económico.

Se evidencia que un buen mapa de gestión de mantenimiento permite tener una mejor visión de la interacción de los diferentes procesos complementarios propios de mantenimiento como son, gestión de almacén y procesos operativos como calidad y producción.

## **9.2 Recomendaciones**

Es posible realizar un análisis de repuestos, materias primas, herramientas y servicios requeridos en las diferentes actividades propuestas en el plan de mantenimiento para aumentar el alcance del esquema.

El análisis financiero puede ser mucho más fructífero si se complementa involucrando a los proveedores que se hacen partícipes de las tareas propuestas en el plan de mantenimiento, así como también a quienes suministran cualquier repuesto, insumo o prestan un servicio para así poder tener un consolidado general de costos en la ejecución del mantenimiento.

Mantener actualizadas las hojas de vida de los equipos es muy importante y agrega mucho valor a los planes de mantenimiento, este espacio de retroalimentación es vital para estudios posteriores o cambios en los diferentes planes desarrollados.

## 10 Bibliografía

- García, M. (11 de Abril de 2015). Propuesta para la creación de un plan de mantenimiento basado en el análisis de falla y efecto (AMEF-AMFE), aplicable para empresas de impresión y artes gráficas. *(Monografía de especialización gerencia de mantenimiento)*. Universidad ECCI. Bogotá D.C, Colombia.
- Fajardo, H. (2017). Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para la extrusora de plástico jhs 45 de la empresa arneses y gomas s.a. *(Trabajo de grado especialización gerencia de mantenimiento)*. Universidad UIS. Bucaramanga, Santander, Colombia.
- Rodriguez, H., & Barriga, J. (2013). Propuesta de un programa de mantenimiento preventivo para eventos menores de aeronaves en línea para una compañía de aviación comercial. *(Trabajo de grado especialización en gerencia de mantenimiento)*. Universidad ECCI. Bogotá D.C, Colombia.

- Abril, P., Ardila , C., & Cubillos, J. (2016). Propuesta para la aplicación del RCM en una motobomba centrífuga IHM 15 H-7.5 TW. (*Trabajo de grado especialización gerencia de mantenimiento*). Universidad ECCI. Bogotá D.C, Colombia.
- Galindo, J., Larrotta, M., & Romero, W. (1 de Diciembre de 2016). Desarrollo de un proceso de consultoría en gestión de mantenimiento caso de estudio "Gate Gourmet Colombia Ltda". (*Trabajo de grado especialización en gerencia de mantenimiento*). Universidad ECCI. Bogotá D.C, Colombia.
- Ochica, J., & Tangarife, A. (2016). Propuesta de modelo de mantenimiento RCM para excavadora de orugas y retrocargador de llantas en la empresa SERTRAC ingeniería SAS en el departamento del Casanare. (*Monografía de especialización en gerencia de mantenimiento*). Universidad UIS. Bucaramanga, Santander, Colombia.
- Angel, R., & Olaya, H. (2014). Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa Agroangel. (*Trabajo de grado ingeniero mecánico*). Universidad tecnológica de Pereira. Pereira, Risaralda, Colombia.
- Restrepo, D. (2010). Puesta en marcha de un plan de mantenimiento para las instalaciones de Gecolsa Sabaneta. (*Trabajo de grado*). Universidad nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- Vargas, J., & Villanueva, O. (6 de Febrero de 2018). Elaboración de un plan de mantenimiento para los equipos del área de trituración de la empresa Constriturar sas. (*Trabajo de grado de ingeniero mecánico*). Universidad de América. Bogotá D.C, Colombia.
- Trujillo, A. (2018). Propuesta de un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), para la planta de tratamiento de aguas en Termosuria-Meta. (*Trabajo de grado de ingeniero mecánico*). Universidad Libre. Bogotá D.C, Colombia.

- Pesantez, A., & Sarzosa, R. (2007). Elaboración de un plan de mantenimiento predictivo y preventivo en función de la criticidad de los equipos del proceso productivo de una empresa empacadora de camarón. *(Trabajo de grado de ingeniero industrial)*. Escuela superior politécnica del litoral. Guayaquil, Ecuador.
- Belli, O. (Junio de 2018). Propuesta de gestión de mantenimiento rcm en plantas de energía a gas natural. *(Trabajo de grado de ingeniero industrial)*. Universidad peruana de ciencias aplicadas. Lima, Perú.
- Sanchez, A. (2010). *Scielo*. Obtenido de Scielo Cuba:  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59442010000200008](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442010000200008)
- Barreda, S. (Julio de 2015). Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad RCM en la EDAR de Nules-Vilavella. *(Trabajo de grado de Ingeniero mecánico)*. Universidad Jaume I. Castellón de la plana, España.
- Núñez, C. (2016). Rcm para optimizar la disponibilidad de los tractores d8t en la empresa Aruntani sac – unidad tukari. *(Trabajo de grado de ingeniero mecánico)*. Universidad nacional del centro del Perú. Huancayo, Perú.
- RCM, E. c. (s.f.). *Reliabilityweb camino hacia el RCM*. Obtenido de Reabilityweb.com:  
<https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/el-camino-hacia-el-rcm/>
- SAE, I. (1999). Criterios de evaluación del proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad (Reliability Center Maintenance, RCM). *Normas SAE JA1011*. USA.
- SAE, I. (1999). Criterios de evaluación del proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad (Realibity Center Maintenance, RCM). *Normas SAE JAE1011*. USA.
- Mil, S. (21 de Enero de 2011). Mantenimiento centrado en la confiabilidad para los procesos. USA.

ISO. (2016). Norma ISO 14224. *Industrias de petróleo y gas natural - Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos.*