



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Mecánica Eléctrica

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA
IMPRESORA FLEXO FOLDER GLUE EN UNA PLANTA DE ELABORACION DE CAJAS DE
CARTÓN CORRUGADO**

Ricardo Rafaél Aguilar Hernández

Asesorado por Mtro. Luis Daniel Jiménez Ramírez

Guatemala, enero de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA
IMPRESORA FLEXO FOLDER GLUE EN UNA PLANTA DE ELABORACION DE CAJAS DE
CARTÓN CORRUGADO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

RICARDO RAFAÉL AGUILAR HERNÁNDEZ
ASESORADO POR MTRO. LUIS DANIEL JIMENEZ RAMÍREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

GUATEMALA, ENERO 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Ing. Fernando Alfredo Moscoso Lira
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA IMPRESORA FLEXO FOLDER GLUE EN UNA PLANTA DE ELABORACION DE CAJAS DE CARTÓN CORRUGADO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha noviembre de 2022.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ricardo Rafael Aguilar Hernández', written over a horizontal line.

Ricardo Rafael Aguilar Hernández



EEPFI-PP-1526-2022

Guatemala, 6 de noviembre de 2022

Director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica
Presente.

Estimado Ing. Rivera

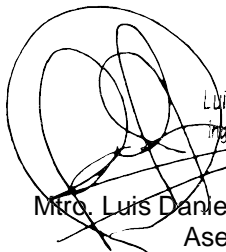
Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería.


El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el Diseño de Investigación titulado: **“DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA IMPRESORA FLEXO FOLDER GLUE EN UNA PLANTA DE ELABORACION DE CAJAS DE CARTÓN CORRUGADO”**., el cual se enmarca en la línea de investigación: **Gestión del Mantenimiento - Control de efectividad de mantenimiento basado en indicadores (disponibilidad, tiempo entre fallas, criticidad, tiempo medio entre fallas, entre otros)**, presentado por el estudiante **Ricardo Rafaél Aguilar Hernández** carné número **201213375**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en ARTES en Ingeniería De Mantenimiento.

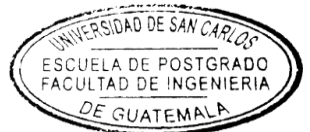
Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Luis Daniel Jimenez Ramirez
Ingeniero Mecánico Electricista
Colegiado No. 19,054
Mtro. Luis Daniel Jimenez Ramirez
Asesor(a)


Mtra. Rocío Carolina Medina Galindo
Coordinador(a) de Maestría




Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





EET-EIME-1299-2022

El Director de la Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica de la Facultad de Ingenieria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA IMPRESORA FLEXO FOLDER GLUE EN UNA PLANTA DE ELABORACION DE CAJAS DE CARTÓN CORRUGADO**, presentado por el estudiante universitario **Ricardo Rafael Aguilar Hernández**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingenieria en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

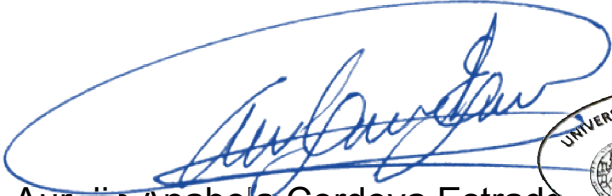
Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Director
Escuela De Ingenieria Mecanica Electrica


Guatemala, noviembre de 2022

LNG.DECANATO.OI.033.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA IMPRESORA FLEXO FOLDER GLUE EN UNA PLANTA DE ELABORACION DE CAJAS DE CARTÓN CORRUGADO**, presentado por: **Ricardo Rafael Aguilar Hernández**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, enero de 2023

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios Por permitirme realizar una más de mis metas y darme las fuerzas necesarias para no rendirme.

Mis padres Dora Hernández y Heriberto Aguilar por haberme educado con principios y guiado en la vida, mi eterno agradecimiento por estar apoyándome para hacer realidad este sueño.

Mis hermanas Doris y Evelyn Aguilar, por su apoyo y compañía durante mi vida.

Mis abuelos Rafael Aguilar, Argentina Martínez, Alberto Hernández (q. d. e. p.) e Isabel Hernández (q. d. e. p.), por sus sabias enseñanzas y consejos durante toda mi vida.

Familia y amigos

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la <i>alma mater</i> que me permitió nutrirme de conocimientos.
Facultad de Ingeniería	Por proporcionarme los conocimientos que me permitieron realizar este trabajo de graduación.
Mis amigos en general	Por todas esas experiencias y aprendizajes compartidos dentro y fuera de la universidad, muchas gracias por todo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
GLOSARIO	V
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3.1. Descripción del problema	9
3.2. Delimitación del problema	9
3.3. Formulación de preguntas orientadoras	10
3.3.1. Pregunta central	10
3.3.2. Preguntas auxiliares	10
4. JUSTIFICACIÓN	11
5. OBJETIVOS	13
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	15
7. MARCO TEÓRICO.....	17
7.1. Industria de cartón corrugado.....	17
7.2. Impresión flexográfica.....	19
7.2.1. Impresora flexográfica	20
7.2.2. Secciones de una impresora flexográfica	20

7.3.	Tipos de mantenimiento	22
7.3.1.	Mantenimiento correctivo	22
7.3.2.	Mantenimiento preventivo	24
7.3.3.	Planes de mantenimiento preventivo	24
7.4.	Mantenimiento centrado en confiabilidad	25
7.4.1.	Metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad	26
7.4.2.	Norma SAE JA1011 y SAE JA1012	27
7.4.3.	Siete pasos para la metodología RCM	27
7.5.	Gestión de activos.....	31
7.5.1.	Norma ISO 55000 Gestión de activos físicos.....	32
7.5.2.	Norma ISO 14224	33
7.6.	Análisis de criticidad de activos.....	34
7.6.1.	Matriz de criticidad	35
7.6.2.	Índice de criticidad.....	36
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS DEL INFORME FINAL....	37
9.	METODOLOGÍA	39
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	41
11.	CRONOGRAMA	43
12.	FACTIBILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	45
	REFERENCIAS	47
	APÉNDICES.....	51

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de solución	16
2.	Cara sencilla.....	17
3.	Perfil cartón corrugado	18
4.	Impresora flexográfica	20
5.	Curva típica de ciclo de vida de un activo	23
6.	Jerarquía	34
7.	Matriz de criticidad.....	35

TABLAS

I.	Variables e indicadores	39
II.	Cronograma de actividades	44
III.	Costos de investigación	45

GLOSARIO

Cliché	Plancha tipográfica donde se realiza el grabado para realizar la impresión.
Confiabilidad	Capacidad de un sistema o equipo de funcionar permanentemente sin fallos cuando se es requerido.
Corrugador	Rodillo encargado de hacer el ondulado del papel.
Disponibilidad	Manera de cuantificar cuánto tiempo está funcionando el equipo como se debe.
FFG	Flexo Folder Glue (Flexográfica foldeo pegado).
Flejado	Acordonar el producto con un cordón denominado fleje de diferente material según necesidades.
Flexografía	Sistema de impresión directo y principalmente rotativo.
Fotopolímero	Sustancia sintética que se trabaja generalmente con luz ultravioleta para la fabricación de formas de impresión.

ISO	International Organization for Standardization (Organización Internacional de normalización).
MTBF	Mean Time Between Failures (tiempo medio entre averías).
NPR	Número Prioritario de Riesgo
OREDA	Onshore Reliability Data (en sitio datos de confiabilidad).
Paletizado	Disponer la mercancía sobre un palé para su almacenaje y transporte.
RCM	Reliability Centered Maintenance (Mantenimiento centrado en confiabilidad).
SAE	Society of Automotive Engineers (Sociedad de ingenieros de automoción).
Slotter	Máquina herramienta para dar forma a superficies con una herramienta de corte.
Trim	Perfil retirado de la plancha de cartón que cuenta como desperdicio.

1. INTRODUCCIÓN

La manufactura de cartón es una industria que provee de empaques tanto de protección, transporte y publicidad para los clientes que se deciden por este tipo de embalaje amigable con el medio ambiente. En este tipo de industria se suele contar con máquinas de funciones electromecánicas que necesitan diferentes servicios como vapor, aire comprimido, pegamento, entre otras, por lo que el mantenimiento tiene una función fundamental.

Al saber que el mantenimiento busca que las máquinas estén óptimas para realizar el trabajo para el que fueron diseñadas, la presente investigación, busca mediante una sistematización, proponer un plan de mantenimiento preventivo el cual conlleva una serie de pasos apoyados en la norma JA1011 para mejorar el mantenimiento de una impresora flexográfica, la cual presenta a fecha del inicio de la investigación una baja fiabilidad que afecta al Departamento de Producción como también al Departamento de Planificación debido a que se tienen paros por emergencia que retrasan las ordenes programadas y se debe de planificar nuevamente para poder cumplir con la cantidad de producto solicitado por el cliente.

La importancia de la investigación es la de reducir la cantidad de correctivos de emergencia, mejorar la disponibilidad de la máquina y sentar las bases de la gestión de activos para comenzar a tener una trazabilidad de los equipos por medio de un árbol de activos. Por tanto, se espera que los mantenimientos sean más centrados en los elementos importantes o críticos de la máquina y que se tenga un mayor involucramiento del personal operativo de

la máquina en temas de avisos más efectivos, que ayuden a los técnicos de mantenimiento a ejecutar de forma más eficiente los trabajos.

Para elaborar el plan de mantenimiento preventivo se pretende enlistar, mediante un árbol de activos, las secciones de la máquina y equipos que forman dicha sección, posteriormente evaluar los equipos mediante una matriz de criticidad, teniendo como fuente los datos de manuales del equipo, datos históricos que por medio de los avisos documentados y entrevista al personal de mantenimiento y operativo.

Al tener los equipos evaluados en una matriz de criticidad, se analizarán los modos y efectos de falla apoyados de la norma SAE JA1011, para proceder a elaborar los planes de mantenimiento preventivo para los equipos buscando también involucrar al personal operativo de la máquina. Esto es factible debido a que se cuenta con la información teórica y la forma de obtener los datos, como también los recursos económicos que la empresa provee y el investigador cuenta.

En el primer capítulo tendrá como enfoque el proporcionar la información teórica básica y fundamental para abordar el tema propuesto y exponer los conceptos y formas de realizar el estudio propuesto.

En el segundo capítulo se describirán los procedimientos utilizados para la obtención de los resultados, comienza con la caracterización del estudio, continua con las variables analizadas, la etapa de desarrollo del estudio propuesto incluye las principales consideraciones para la creación del escenario investigado.

En el tercer capítulo los resultados de la investigación descrita se presentarán en función de la pregunta de investigación, los objetivos iniciales

y cualquier otra consideración que se haya incluido en las diferentes fases de la investigación.

En el cuarto capítulo se discutirán los resultados obtenidos, y finaliza con las conclusiones y recomendaciones que sean pertinentes a la investigación realizada.

2. ANTECEDENTES

Martínez (2020) desarrolló un modelo de servicio en el que utilizó herramientas metodológicas de RCM para una impresora flexográfica. Recopilan información de los históricos de los equipos, conocimientos del departamento de mantenimiento, proyectos de tesis, estándares y artículos científicos para identificar y categorizar los sistemas de impresión, desarrollar un análisis de nivel de gravedad, luego sugerir la forma y las consecuencias de las fallas del sistema y, por lo tanto, diseñar medidas de mantenimiento preventivo. El aporte metodológico de este estudio es una descripción de las secciones transversales que puede tener una impresora flexográfica, así como una lista de posibles causas de falla y consecuencias.

Campos-López *et al.*, (2019) desarrollaron el método RCM aplicado en el túnel de viento del Laboratorio de Ingeniería Térmica e Hidrológica del Instituto Politécnico Nacional de México. Toman como referencia el estándar JA1011 y consideran la clasificación de dispositivos con ISO 14224 y una base de datos como OREDA. Recolectaron información del túnel de viento y entrevistaron al personal de operación y mantenimiento para determinar su contexto y clasificación. Los resultados de este ejercicio sugieren que definir el contexto de trabajo y utilizar la clasificación soportada por la ISO 14224 como primer paso facilita la aplicación de la metodología RCM. La evaluación de fallas NPR (riesgo ponderado) proporciona una descripción general rápida y transparente de las consecuencias más importantes de la falla del hardware. El aporte metodológico es cómo se puede desarrollar la metodología RCM con el apoyo de las normas ISO 14224 y JA1011.

Diestra *et al.*, (2017). Diseñaron un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad que se ajusta a la necesidad operacional de la empresa. Mediante la recolección de una serie de información por medio de observación directa, encuesta, entrevista al personal, análisis de documentos, grupos de discusión, plan inicial basado en instrucciones del fabricante, plan basado en análisis de fallos, programa de auditoría interna, capacitación de personal y relación experto aprendiz. Realizaron un diagnóstico situacional de las máquinas con mayor uso, recolectaron información referente al tipo de mantenimiento aplicado a la máquina a la fecha del estudio realizado, características y funcionamiento de las máquinas que realizan una función del contexto operacional y una data histórica de 3 años, para posteriormente analizar las máquinas más importantes mediante matriz de criticidad. Esto dio como resultado que el equipo con mayor índice de fallas y por tanto el más crítico es el puente grúa horizontal. El aporte metodológico es el análisis de criticidad de equipos, mediante la obtención de información por medio de estadística descriptiva, análisis de documentos, grupos de discusión, plan inicial basado en instrucciones del fabricante, plan basado en análisis de fallos.

Cárcel (2016) describió el Mantenimiento basado en confiabilidad como un método que utiliza el conocimiento y la experiencia del personal tanto de producción como de mantenimiento para analizar las fallas potenciales que pueden ocurrir en la máquina del hogar, las consecuencias de estas fallas y cómo prevenirlas. Esta teoría está respaldada por documentos como el libro de Mubray de 1991 y la norma UNE-EN 200001-3-11, gestión de la fiabilidad. Lo anterior da una idea de una estrategia de mantenimiento orientada a la confiabilidad cuando un ejercicio requiere una gran cantidad de información y la gestión del conocimiento forma toda la información y las experiencias necesarias y aprendidas. El aporte metodológico

es apoyarnos en los estándares que nos orientan sobre cómo utilizar las siete etapas para realizar un buen ejercicio de RCM.

Sánchez (2010) redactó un artículo donde menciona que la buena “gestión de activos” es importante para el mantenimiento y así poder llevar una mejor “gestión de los activos físicos”. Para redactar esta teoría se basó en investigaciones y normas, las que ayudaron a elaborar las figuras que explican la gestión integral de los bienes tangibles, etapas de su vida útil, estrategia de la función de mantenimiento basada en procesos, entre otras.

De lo anterior mencionado se llegó a plantear un grupo de aspectos como lo son las estrategias que entrelazan la gestión de los bienes tangibles y la función de mantenimiento, gestión de procesos en función del mantenimiento, planificación integrada en función de productos y servicios que conforman una estrategia avanzada en la función de mantenimiento integrándola a la gestión de bienes tangibles, así como establecer indicadores que incluyan los aspectos de la corporación, técnicos y económicos. El aporte metodológico es entender y apoyarse del documento para la elaboración del árbol de activos.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema es la baja fiabilidad que presenta la impresora FFG ubicada en el área de conversión de una planta de elaboración de cajas de cartón corrugado. Esto afecta al Departamento de Producción como también al Departamento de Planificación debido a que se tienen paros por emergencia que retrasan las ordenes programadas y se debe de planificar nuevamente para poder cumplir con la cantidad de producto solicitado por el cliente.

3.1. Descripción del problema

Las causas principales son la inadecuada gestión de los activos físicos de la máquina, las malas prácticas de operación que se presentan en ocasiones y la antigüedad del equipo. La consecuencia de ello es que las tareas programadas de mantenimiento se tengan que posponer por reparaciones continuas de emergencia y se tenga acumulación de tareas no realizadas. Esto incrementa el costo por adquisición de repuestos, y en ocasiones por servicios contratados.

Para solucionar esta problemática se pretende diseñar un plan de mantenimiento preventivo que se apoye en la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad.

3.2. Delimitación del problema

La propuesta está enfocada en diseñar un plan de mantenimiento preventivo que tome en cuenta al personal operativo de la máquina, apoyado en

RCM para una impresora flexo folder glue de la línea de producción de cajas de cartón corrugado en una planta de industria de cartón en ciudad de Guatemala.

3.3. Formulación de preguntas orientadoras

Diseño de investigación del plan de mantenimiento preventivo para la impresora flexo folder glue en una planta de elaboración de cajas de cartón corrugado.

3.3.1. Pregunta central

¿Qué plan de mantenimiento preventivo se puede diseñar para que el operador realice las actividades programadas a la impresora FFG del área de conversión en planta de cartón corrugado?

3.3.2. Preguntas auxiliares

- ¿Cuáles son las secciones y equipos de la máquina impresora FFG que pueden listarse en un árbol de activos?
- ¿Cuáles son los modos y efectos de falla de la impresora FFG basado en la herramienta RCM apoyado en la norma SAE JA1011?
- ¿Qué procedimientos de mantenimiento se pueden elaborar y ser asignadas al personal operativo de la impresora FFG?

4. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo pertenece a la línea de investigación del área administrativa de la maestría. La propuesta es importante para el sistema de gestión de mantenimiento de la empresa de cajas de cartón corrugado porque a la fecha de inicio de esta investigación la cantidad de los mantenimientos en la impresora Flexo Folder Glue son más de carácter correctivo que preventivo. Ello provoca una reducción de la disponibilidad del equipo y un mayor costo en repuestos, cómo también el atraso de trabajos de mantenimiento preventivos asignados a otras máquinas, debido a la reasignación del personal de mantenimiento para solucionar el paro por emergencia.

El desarrollo de la investigación pretende elaborar un listado de tareas que el personal de mantenimiento y el personal operativo de la impresora pueda realizar para mantener los componentes en una condición óptima para su funcionamiento adecuado. Esto se debe a que se tendrá una base de gestión de activos las cual será el árbol de activos y se compartirá la misma con los operadores para que tengan un mayor entendimiento de cada sección de la impresora, lo cual mejorará la gestión de mantenimiento y hará que los trabajos por mantenimiento correctivo disminuyan, por lo que se espera mejorar la disponibilidad de la máquina.

Un adecuado plan de mantenimiento no solo mejora la disponibilidad de la máquina si no que este mismo, basado en una matriz de criticidad donde se prioriza el impacto medio ambiental y la seguridad de las personas da como resultado un mejor ambiente laboral.

5. OBJETIVOS

General

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo para la impresora FFG en una planta de cajas de cartón corrugado.

Específicos

1. Listar las secciones de la máquina impresora FFG y sus equipos mediante un árbol de activos.
2. Definir modos y efectos de falla de la impresora FFG ubicada en una planta de cajas de cartón corrugado basado en la herramienta RCM apoyado en la norma SAE JA1011.
3. Diseñar los procedimientos para operación de las tareas de mantenimiento asignadas al personal operativo de la impresora FFG

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Ante la falta de una gestión de mantenimiento más actualizada para la impresora flexográfica cuyo plan de mantenimiento se enfoca en la sustitución de piezas por tiempo y el de solucionar paros por emergencia, se presenta un índice de fallas alto de diferentes secciones de la máquina, esto se traduce en entregas tardías, cambio en el plan trazado por planificación. Además, se aumentan los retrabajos y se presenta atraso de los trabajos de mantenimiento en otras máquinas.

Se buscará cubrir con esta investigación una actualización de la gestión de mantenimiento mediante la elaboración de un plan de mantenimiento preventivo que abarque tareas enfocadas en los elementos que componen las diferentes secciones de la máquina que involucra al personal operativo de la máquina, para que se tenga una reducción de los mantenimientos correctivos y una mejora en la gestión del mantenimiento.

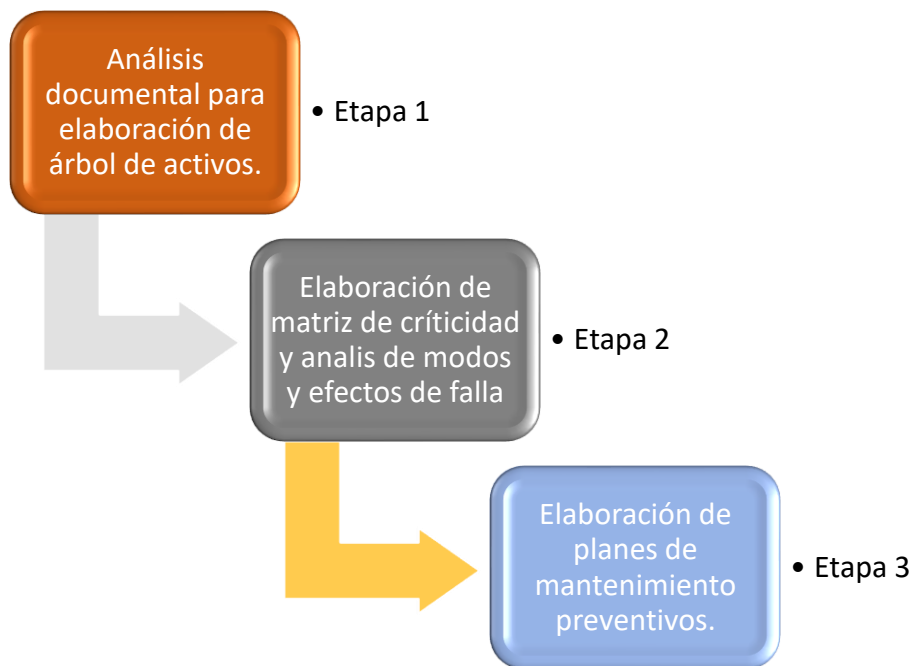
Para elaborar el plan de mantenimiento preventivo se pretende listar mediante un árbol de activos las secciones de la máquina y equipos que forman dicha sección, para posteriormente evaluar los equipos con una matriz de criticidad, obteniendo los datos por medio de manuales del equipo, datos históricos que se obtendrán por medio de los avisos documentados y entrevista al personal de mantenimiento y operativo.

Al tener los equipos evaluados en una matriz de criticidad, se analizarán los modos y efectos de falla apoyados de la norma SAE JA1011, para proceder

a elaborar los planes de mantenimiento preventivo para los equipos buscando también involucrar al personal operativo de la máquina.

La realización de la investigación se llevará a cabo en la planta de industria de cartón corrugado ubicada en ciudad de Guatemala, apoyados de normas cómo la ISO 14224, SAE JA1011 y artículos científicos para el desarrollo de esta.

Figura 1. **Esquema de solución**



Fuente: elaboración propia.

7. MARCO TEÓRICO

Para mantener una adecuada línea de conceptos y una guía de donde se pretende cubrir, es necesario entender algunos conceptos y temas clave relacionados con el equipo de estudio, dadas las metas que busca abordar este diseño de investigación.

7.1. Industria de cartón corrugado

El cartón corrugado es la combinación de diferentes tipos de papeles para la confección de un embalaje, los componentes básicos para la confección de cartón corrugado son:

- Papel liner
- Papel midium
- Almidón
- Goma
- Tinta

Figura 2. **Cara sencilla**



Fuente: Aldas y Gárate, (2017). *Preparación para la Certificación del Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001-2015 en Industria del Cartón Corrugado S.A. en el proceso de ventas.*

El procedimiento comienza cuando las bobinas ingresan al alimentador de corrugado donde se pre acondicionan entre 70 y 80 °C para normalizar la humedad a un cierto nivel de especificación, luego de lo cual pasan a través de un conjunto de rodillos corrugadores y prensas donde la capa intermedia corrugadora tiene su característica distintiva. El papel "medio" luego se une a los papeles "posterior" inferior y superior mediante un proceso de prensado con pegamento, dejando un patrón ondulado entre las dos capas de papel. (Aldas y Gárate, 2017)

Luego, las tablas son secadas por un piso de secado, también conocido como mesa de secado, luego, dependiendo del tamaño de caja deseado por el cliente, las tablas son cortadas vertical y horizontalmente. Durante este proceso, se realizan controles de calidad para determinar la eficacia del material adhesivo, las aberturas de las sisas y el estado general del cartón.

Figura 3. **Perfil cartón corrugado**



Fuente: Aldas y Gárate, (2017). *Preparación para la Certificación del Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001-2015 en Industria del Cartón Corrugado S.A. en el proceso de ventas.*

Al finalizar el control de calidad las láminas se apilan y transportan al área de impresión y troquelado donde se imprimen los diseños solicitados por los clientes y se da forma a la caja. Las cajas ya dobladas son transportadas para su embalaje y ya en tarimas llevadas a bodegas de producto terminado para su posterior logística. Las cajas que no cumplen los estándares de calidad son separadas y llevadas al proceso de embalaje donde son destruidas y compactadas en una embaladora formando pacas.

7.2. Impresión flexográfica

La impresión flexográfica utiliza un método de impresión directa (la placa de impresión transfiere la tinta directamente al medio), principalmente un método de impresión rotativa (utilizando varios materiales y tamaños de rodillos). La palabra latina "Flexus", que significa doblar, es el origen de la palabra "flexografía". Aplicar un diseño sencillo es simple y rápido con este método. También una variedad de colores para varios artículos como cartón corrugado, plástico, calcomanías, sobres, entre otros. La capacidad de la impresión flexográfica para imprimir en una variedad de sustratos es su mayor beneficio.

En este método se utiliza una tabla flexible. Está hecho de fotopolímero, un material fuerte que permite un acabado más detallado y también se conoce con el nombre de cliché. Por ejemplo, los tampones tradicionales se fabrican utilizando capas de caucho. Las tintas actuales a base de agua que se utilizan en la impresión flexográfica son seguras para todo tipo de recubrimientos que entran en contacto directo con el producto y se evaporan rápidamente.

7.2.1. Impresora flexográfica

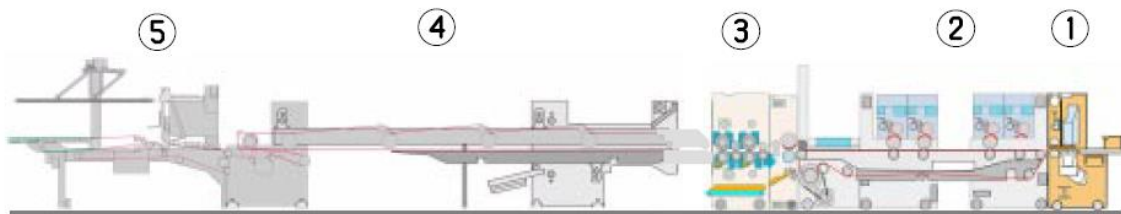
Un dispositivo conocido como impresora flexográfica utiliza una placa de estampado flexible para imprimir sobre cartón. Una imagen en relieve negativa de la impresión deseada se encuentra típicamente en las placas de impresión de fotopolímero, que son utilizadas por las impresoras.

7.2.2. Secciones de una impresora flexográfica

Una impresora flexográfica se compone de las siguientes secciones.

- Introdutor
- Impresora
- Slotter
- Plegadora-pegadora
- Contador eyector

Figura 4. Impresora flexográfica



Fuente: Color Label (2011). *Guía del operador*.

Introdutor: es la sección que apila y escuadra la plancha de cartón corrugado antes de introducirlo en la máquina a la velocidad requerida.

Impresora: esta sección se encarga de aplicar a la plancha el diseño solicitado por el cliente. Este proceso lo inicia el rodillo anilox, que se encarga de aplicar la tinta al cliché. Entre el rodillo de la placa y el rodillo de impresión, se pasa la plancha de cartón y el rodillo de impresión presiona la placa flexible. De esta manera, la hoja de cartón se imprime con el diseño de la placa de impresión y posteriormente se replica el proceso con un color diferente a medida que la hoja pasa al siguiente bloque de impresión.

Slotter: es el área donde se realizan los pliegues, ranuras y cortes necesarios para crear diferentes tipos de cajas. Cuando el material del cuerpo de impresión llega a él, sus discos de corte o despuntados producen el recorte, hendido o plegado del cartón, respectivamente. Por lo general, esta sección consta de:

- Soporte de la porta cuchillas.
- Porta cuchillas que sirven de soporte a los discos de corte y discos de hendido.
- Retirar trim o viruta de cartón sobrante.

Plegadora-pegadora:

El proceso de plegado y pegado transforma una pieza plana de material en un producto terminado como una caja, un sobre o artículos promocionales. Esto se logra doblando las partes a lo largo de líneas predeterminadas y aplicando pegamento que mantiene unido el producto.

A medida que las piezas perforadas y plegadas pasan por la plegadora encoladora, una serie de rieles, ganchos giratorios y otros equipos doblan los paneles en la posición deseada, mientras que el sistema de encolado aplica cola caliente o fría en el lugar correcto.

Contador eyector: apila las cajas en las cantidades necesarias en función del grosor del material. El contador-eyector suministra un paquete de cajas completadas, preparadas para el flejado y el paletizado manual o con un paletizador automático.

7.3. Tipos de mantenimiento

Se puede mencionar que el mantenimiento es aquel cuya función principal es el de sostener la funcionalidad de los equipos y el buen estado de las máquinas a través del tiempo. (Mora, 2009)

7.3.1. Mantenimiento correctivo

Es aquel que su finalidad es poner en operación o funcionamiento de forma inmediata una planta o equipo debido a una falla espontánea y se puede subdividir en dos tipos:

- Mantenimiento correctivo de emergencia

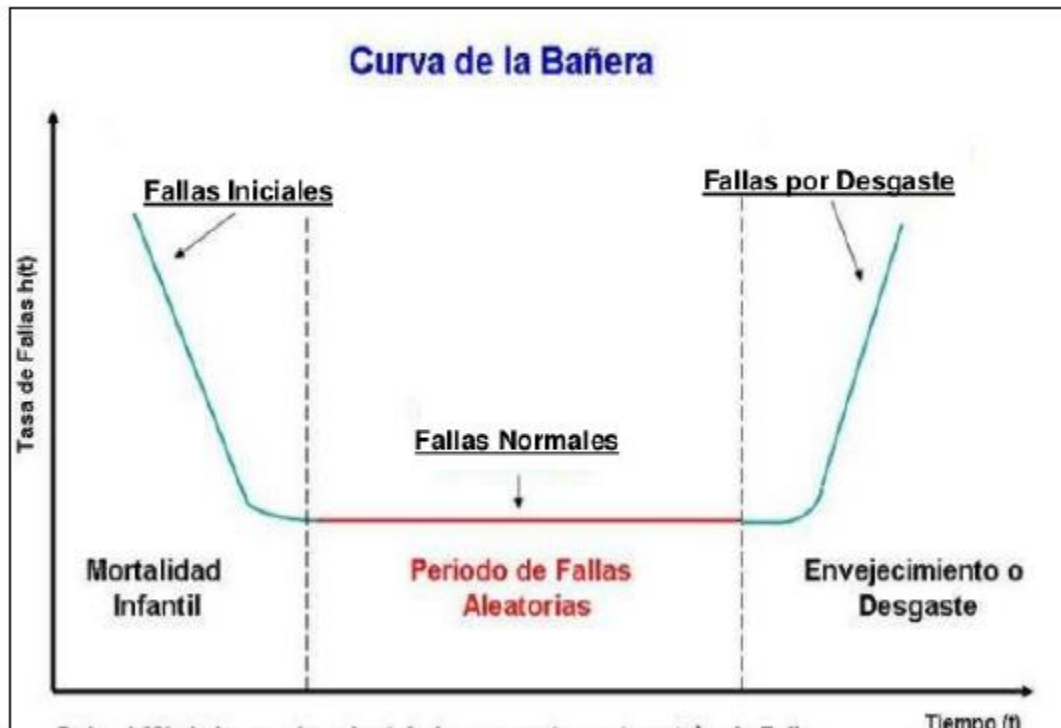
Tiene como objetivo realizar acciones de recuperación en el menor tiempo posible. (Martínez, 2020)

- Mantenimiento programado

Su finalidad es intervenir en el funcionamiento del equipo en cualquier momento para asegurar su normal funcionamiento. Estos mantenimientos se pueden programar cuando la máquina no está en funcionamiento.

Los períodos de mantenimiento son más intensivos al final de su vida útil en la fase de madurez de una planta o equipo, es decir, después de las fases iniciales y de envejecimiento.

Figura 5. **Curva típica de ciclo de vida de un activo**



Fuente: Palma (2017). *Operaciones de mantenimiento y fallas de equipo.*

La gráfica de la bañera da como pauta que, durante la fase de mantenimiento, se debe proporcionar períodos de mantenimiento más intensivos en medida que el activo se instala, cómo también en la fase de madurez del activo, es decir, en la fase inicial y posteriormente el periodo de envejecimiento, al final de su vida útil.

7.3.2. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento es el conjunto de tecnologías, acciones técnicas, administrativas y de gestión que permiten prevenir fallas, mediante revisiones y reparaciones para asegurar que los equipos realicen la función para lo cual están diseñados.

7.3.3. Planes de mantenimiento preventivo

Un plan de mantenimiento es un plan creado para mantener la salud de un activo, debe tener varios aspectos importantes que apoyen su fundamento que deben ser considerados:

Es necesario tener en cuenta el plan de mantenimiento que tiene la planta para que el nuevo programa se ajuste específicamente a las características de los equipos que necesitamos, la creación de operaciones y evite el alto coste de este mantenimiento. (Martínez, 2020)

Además, se requiere personal técnico capacitado y especializado, así como las herramientas necesarias y adecuadas.

El plan de mantenimiento, que forma parte de un programa de mantenimiento preventivo bien diseñado, define claramente los objetivos y la visión generales del programa. Los objetivos del plan de mantenimiento incluyen.

- Limpieza del equipo
- Inspección del equipo
- Ajuste de las conexiones
- Lubricación y ajuste de partes móviles
- Comprobación de partes importantes de circuitos relacionados

- Corregir las deficiencias identificadas
- Registro de los comentarios pertinentes
- Reemplazar equipos y repuestos de fábrica según se requiera

Como parte de un programa de mantenimiento bien ejecutado, es importante recopilar información precisa y organizarla adecuadamente para su uso futuro, por lo que cada equipo debe contener al menos la siguiente información:

- Número de dispositivo en la instalación: cada dispositivo, elemento o equipo debe tener un código o identificador.
- Ubicación del dispositivo: crear una ubicación física o en un mapa dentro de la instalación.
- Con base en las recomendaciones del manual de mantenimiento: identifique cada sistema y establezca su frecuencia de mantenimiento.
- Después de las funciones de mantenimiento enumeradas anteriormente: enumere todos los elementos necesarios para realizar las acciones recomendadas.

7.4. Mantenimiento centrado en confiabilidad

Desde la revolución industrial, cuando se utilizaban máquinas para realizar procesos de producción, se han desarrollado diversos métodos de mantenimiento.

La primera generación de mantenimiento se realizó en máquinas robustas, el tiempo de inactividad debido a fallas no era crítico y no se intervenía la máquina hasta que fallara.

La segunda generación de mantenimiento apareció después de la Segunda Guerra Mundial; una época en la que aumentó la demanda de diversas materias primas, se mecanizaron los procesos y disminuyó el personal. A medida que aumentaba la dependencia de la máquina, los tiempos de inactividad se hacían muy largos, por lo que se optaba por el mantenimiento preventivo y se remplazaban las piezas con cierta frecuencia.

A partir de la década de 1970 comienza la tercera generación del mantenimiento, donde la disponibilidad de los equipos, la calidad del producto, la seguridad y la integridad ambiental son los principales pilares de la producción industrial. De esta manera, se crea un enfoque de mantenimiento orientado a la confiabilidad para que el equipo continúe satisfaciendo las necesidades del usuario.

El mantenimiento orientado a la confiabilidad es un enfoque sistemático para desarrollar programas para mejorar la confiabilidad operativa de los equipos con un costo y un riesgo mínimos mediante la realización de acciones técnica y económicamente sólidas.

7.4.1. Metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad

Es un método analítico sistemático, objetivo y documentado aplicable a cualquier tipo de planta industrial y es útil para desarrollar u optimizar un plan de mantenimiento preventivo efectivo. Es un proceso estructurado para determinar la política de mantenimiento más adecuada a los recursos físicos de cada planta industrial, teniendo en cuenta las condiciones de operación de dicha planta. Se utiliza para determinar qué se debe hacer para garantizar que un activo fijo

continúe desempeñando las funciones deseadas en el contexto operativo, con base en garantizar la seguridad y minimizar el riesgo. (Díaz *et al.*, 2016)

7.4.2. Norma SAE JA1011 y SAE JA1012

La norma SAE JA1011 describe los criterios de evaluación del proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) y la norma SAE JA1012 es una guía para el mantenimiento centrado en confiabilidad.

La norma SAEJA1011 establece siete pasos o siete preguntas que deben ser elaboradas para que un proceso sea reconocido como RCM.

- ¿Qué funciones y parámetros de rendimiento están asociados con el activo en su contexto operativo actual?
- ¿Cómo puede un equipo fallar en su función?
- ¿Cuáles son los modos de falla?
- ¿Cuáles son las causas o efectos de cada fallo?
- ¿Cuáles son las consecuencias de cada falla?
- ¿Qué se puede hacer para predecir o prevenir cada falla?
- ¿Qué hacer si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

7.4.3. Siete pasos para la metodología RCM

Paso 1: el primer paso para desarrollar una estrategia de RCM es definir qué queremos que haga el activo. Para mantener una función específica de una máquina, necesitamos determinar su función y parámetros operativos. Sus funciones operativas se pueden dividir 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: explica las características básicas que debe tener un dispositivo para cumplir con las expectativas del usuario, como control, rendimiento, seguridad, simplicidad e incluso diseño.

Paso 2: el segundo paso analiza cómo un activo no está realizando sus funciones. Una falla funcional se puede expresar como una condición de un activo que no cumple con las expectativas de rendimiento de ese activo, donde es importante tener una buena comprensión de la función y el rendimiento del activo para identificar posibles oportunidades de falla asociadas con cada función. De esta manera podemos identificar todas las causas raíz.

Paso 3. El propósito del tercer paso es encontrar las posibles causas de mal funcionamiento (posibles modos de falla razonables), esto incluye fallas que ocurren en equipos similares o en entornos operativos funcionalmente similares, fallas que pueden ocurrir con el mantenimiento existente o errores potenciales que no han ocurrido. Pero hay alguna posibilidad de azar. También se deben incluir los errores del operador del equipo y los errores de diseño del equipo.

Paso 4. Este paso está diseñado para describir el impacto de no poder determinar cuánto daño le hará a la organización si falla el activo. El impacto del error ayuda a establecer la gravedad del error, tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- ¿hay alguna evidencia que la falla se ha presentado?
- ¿En que afecta la falla la seguridad y salud ocupacional de las personas?
- ¿Cómo incide la falla en la afectación al medio ambiente?

- ¿Cómo es la afectación de la planta respecto a producción y operación si se da la falla?
- ¿al presentarse la falla puede causar daños físicos?
- ¿Qué debe hacerse con la falla para poder solucionarla?

Paso 5: en esta etapa, el enfoque está en categorizar el impacto directo y el impacto de cada falla en el medio ambiente, las operaciones de la organización, la salud y la seguridad, la calidad del producto y la imagen corporativa. Si hay una falla que afecta en gran medida a alguno de los anteriores, todos los esfuerzos de mantenimiento se realizan para evitar la posibilidad de que se produzca dicha falla, pero, por el contrario, si la falla tiene un impacto o impacto menor, tendrá un significado diferente. Esfuerzo o más simple, el mantenimiento regular como se explica dependerá del resultado final como punto de partida. (Martínez, 2020)

Con la metodología RCM se puede clasificar las consecuencias en cuatro grupos:

- Consecuencias de las fallas ocultas: las fallas ocultas no tienen un impacto inmediato, pero dejan a la organización más propensa a fallar, a menudo con consecuencias catastróficas o muy graves.
- Consecuencias medioambientales o de seguridad: las fallas con estas consecuencias deben clasificarse si ocurren que afectarán la integridad del cuerpo o incluso matarán a alguien. Asimismo, si la falla viola algunas normas que conducen a la degradación ambiental.
- Consecuencias de la operación: estas fallas se mostrarán de importancia en producción, calidad o atención al cliente. Este tipo de errores a menudo resultan en costos excluyendo los costos de mantenimiento.

- Consecuencias no operativas: son errores que no afectan a los grupos anteriores, solo está relacionado con los costos de mantenimiento.

Paso 6: este paso busca que se puede hacer para predecir o prevenir la falla (tareas e intervalos de tareas).

En la evolución de la conservación a lo largo de la historia, uno de los logros trascendentes que exhibe es la relación entre la antigüedad de los equipos y la probabilidad de falla. Estos cambios determinan la confiabilidad de las máquinas y los equipos, aunque esto se logra simplemente aumentando los costos de mantenimiento de los equipos reemplazando proactivamente los componentes antes de que fallen. Hoy, a través de la investigación de confiabilidad de componentes, se debe tener en cuenta que los patrones de desgaste de ciertos activos siguen una probabilidad de falla relativamente constante a cualquier edad o con tendencia de alta mortalidad infantil que eventualmente decae a una probabilidad de falla constante o muy lenta.

Esto nos lleva a revisar la clasificación de las tareas activas de RCM en las siguientes 3 categorías:

- Tarea de reparación cíclica: la reparación cíclica generalmente implica restaurar una pieza o ensamblaje existente a su estado original. Esto incluye la reconstrucción de un elemento o la reparación de un conjunto o componentes completos.
- Tareas de cambios por ciclo: consta en cambiar un elemento de forma anticipada independientemente de su estado actual. El principio de esta labor es reemplazar una pieza en uso por una pieza nueva que reemplazará el estado original.

- Tareas a condición: la base para estas tareas, incluidas las actividades de mantenimiento predictivo, las condiciones de operación o el monitoreo y las inspecciones periódicas que determinan qué actividades deben realizarse.

Paso 7: este paso ocurre cuando las operaciones propuestas no son válidas, se recomienda detectar fallas o fallas periódicas, por otro lado, la parte física del componente también se modifica y queda libre de mantenimiento si el componente se puede ignorar o se supone puede correr hasta fallar.

7.5. Gestión de activos

Se considera “activo” todo bien tangible o intangible que posee una empresa o persona, física y por extensión se considera así mismo activo al conjunto de los activos de una empresa.

El concepto de gestión de activos físicos surgió en la década de 1990 a través de un enfoque interdisciplinario para la protección de grandes activos, tanto de inversiones públicas como privadas. Pone un fuerte énfasis en el estudio del valor económico de un activo a partir de su ciclo de vida, abre nuevas posibilidades al análisis tradicional de costos, el cual se separa por las etapas o periodos de tiempo que atraviesa el activo en la empresa (Sola y Crespo).

El mantenimiento es un requisito crítico para cualquier organización que gestione activos, y esta área tiene el mayor potencial para reducir el costo de operación de los equipos al mismo tiempo que minimiza el riesgo de daño debido a la falla de los activos. Riesgo de fracaso que puede afectar significativamente la actividad económica de la organización.

La capacidad y habilidad de atender el mantenimiento requerido puede tener un impacto significativo en los costes y en las operaciones con el consiguiente impacto en la cuenta de resultados, lo que hace que la minimización de los costes de mantenimiento sin dejar de ofrecer los servicios deseados por la organización se convierta en un objetivo prioritario del negocio, junto con el cumplimiento de las obligaciones legales para la gestión de los riesgos de la organización y su responsabilidad pública. En este sentido, será fundamental evaluar la criticidad de los activos, o el impacto que su pérdida funcional puede tener en el negocio. (Crespo, 2007)

Para que este plan de mantenimiento sea eficaz, las organizaciones necesitan recopilar datos sobre la condición de los activos a lo largo del tiempo; esto permitirá el desarrollo de metodologías más avanzadas de planificación. El enfoque basado en la condición de los activos proporciona mayores beneficios a la organización en eficiencia, eficacia, fiabilidad y seguridad de los activos, y en sus procesos de mantenimiento. Este enfoque requiere del seguimiento constante de las condiciones de los activos críticos, así como de una rigurosa revisión y análisis de los datos para garantizar la combinación adecuada de las actividades de mantenimiento necesarias para lograr un éxito empresarial sostenido.

7.5.1. Norma ISO 55000 Gestión de activos físicos

La Organización Internacional de Normalización (ISO) publicó en 2014 un conjunto de normas para sistemas de gestión de activos (normas equivalentes españolas publicadas en 2015) que pueden ayudar a las empresas a hacer un mejor uso de sus activos físicos, especialmente en industrias intensivas en capital o químicas, mediante: optimizar el valor de estos activos.

El grupo se compone de las siguientes normas:

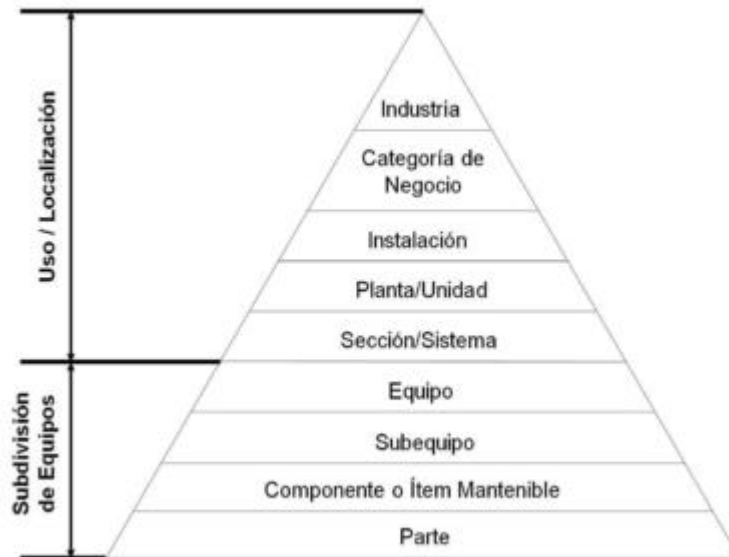
- UNE-ISO 55000: proporciona una visión amplia de lo que representa la gestión de activos, así como de los términos y definiciones que se utilizan en la familia.
- UNE-ISO 55001: especifica los requisitos para establecer un sistema de gestión de activos.
- UNE-ISO 55002: proporciona una guía para la aplicación de la Norma UNE-ISO 55001.

La norma UNE-ISO 55001 pretende proporcionar un modelo de referencia a seguir, en este caso para el establecimiento y funcionamiento de un sistema de gestión de activos.

7.5.2. Norma ISO 14224

La Organización Internacional de Normalización (ISO), emitió en 1999 la primera edición de la norma ISO – 14224:1999 *Colección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos para la industria petrolera, petroquímica y del gas*. Entre ellos, se menciona por primera vez el concepto de “taxonomía” como base de la confiabilidad y el mantenimiento, el cual se define así: La clasificación sistemática de bienes en un grupo general según factores que pueden ser comunes a varios de ellos y también establece las bases para crear una jerarquía de los activos físicos según el nivel de clasificación, se divide en dos grupos, el primer grupo permite clasificarlos según su uso y ubicación, y el segundo grupo se divide según equipos, lo que vincula a estos últimos con los puntos de definición de clasificación mencionados anteriormente. La figura a continuación muestra la clasificación propuesta por ISO con 2 conjuntos de niveles de clasificación.

Figura 6. Jerarquía



Fuente: ISO 14224 (2016). *Industria de petróleo y gas natural - Recolección de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos.*

7.6. Análisis de criticidad de activos

El análisis crítico es una metodología que permite establecer una jerarquía o priorización de procesos, sistemas y dispositivos, crea una estructura que facilita la toma de decisiones, la adecuada y eficaz determinación, dirección de actividades y recursos en las áreas donde es más importante y necesario para incrementar la confiabilidad operativa en base a la realidad actual. Surge la pregunta de cómo la configuración de una planta, proceso, sistema o dispositivo podría ser más importante que otros, qué criterios se utilizarían si todos los gerentes o tomadores de decisiones tuvieran la intención de utilizar los mismos criterios. El análisis de criticidad responde a estas preguntas porque crea una lista ponderada del elemento más importante al más importante de todo el

sistema, dispositivo o proceso que se analiza. Los valores de tiempo de falla y tiempo de reparación son de gran importancia en la industria moderna. Estos datos se utilizan para mejorar el diseño o el funcionamiento de la maquinaria industrial porque muestran lo que el fabricante necesita mejorar al representarlo con datos, lo cual es importante cuando se hace una propuesta a un departamento superior. (Mata, Noya, y Carrera, 2018)

7.6.1. Matriz de criticidad

La matriz de criticidad es una herramienta utilizada para determinar la gravedad de una unidad o dispositivo. Esta matriz calcula la tasa de fallas en un eje y el impacto o las consecuencias en el otro si una unidad o dispositivo falla.

Figura 7. Matriz de criticidad

CONSECUENCIA / IMPACTO	Grave				
	Sustancial				
	Marginal				
	Insignificante				
		Remoto	Bajo	Medio	Alto
		PROBABILIDAD / FRECUENCIA			

	Riesgo Inaceptable
	Se requiere evaluación, gerencia y monitoreo del riesgo
	Riesgo Aceptable

Fuente: Z-013, (2001). *Risk and emergency preparedness analysis*.

La matriz cuenta con un código de colores que permite identificar la menor o mayor intensidad de riesgo relacionado con el valor de criticidad de la instalación, sistema o equipo bajo análisis.

7.6.2. Índice de criticidad

Un índice de criticidad es una medida desarrollada para un equipo en particular, usualmente denotado por un número o letra, determinado por análisis crítico cuantificado multiplicando la probabilidad o frecuencia de falla por el total de sus efectos, estableciendo firmas de valor para estandarizar criterios de evaluación.

$$\textit{Criticidad} = \textit{Frecuencia} \times \textit{Consecuencia}$$

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS DEL INFORME FINAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

OBJETIVOS

ANTECEDENTES

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL
 - 1.1. Industria de cartón corrugado.
 - 1.2. Impresión flexográfica
 - 1.2.1. Impresora flexográfica.
 - 1.2.2. Secciones de una impresora flexográfica.
 - 1.3. Tipos de mantenimiento
 - 1.3.1 Mantenimiento correctivo.
 - 1.3.2 Mantenimiento preventivo.
 - 1.3.3 Planes de mantenimiento preventivo.
 - 1.4. Mantenimiento centrado en confiabilidad
 - 1.4.1. Metodología del mantenimiento centrado en la confiabilidad.
 - 1.4.2. Normas SAE JA1011 y SAE JA1012.
 - 1.4.3. Siete pasos para la metodología RCM.
 - 1.5. Gestión de activos
 - 1.5.1. Norma ISO 55000
 - 1.5.2. ISO 14224

1.6. Análisis de criticidad de activos

1.6.1 Matriz de criticidad

1.6.2. Índices de criticidad

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

La investigación que se presenta pretende diseñar un plan de mantenimiento preventivo que pueda involucrar al operador del equipo en tareas que este pueda realizar, bajo un tipo de estudio cuantitativo. Ya que se busca comparar el valor de no hacer mantenimiento contra el mantenimiento preventivo realizado, en un diseño no experimental, porque se pretende diseñar, pero no se tiene el alcance de implementar el plan. La obtención de datos es mediante base de datos transversal y recopilación de datos longitudinales, de alcance descriptivo debido a que no se pretende manipular variables. El diseño es no experimental de una sola medición, porque es el valor estimado de cero mantenimientos obtenidos inicialmente de base de datos y con un valor de tarifa, contra el valor teórico que resulta de ejecutar un mantenimiento preventivo

- Variables e indicadores

Las variables e indicadores se muestran en la tabla I:

Tabla I. **Variables e indicadores**

No.	Variabes	Indicadores
1	Criticidad de equipos	La criticidad es la frecuencia de falla por la consecuencia de la falla.
2	Estado de condición de equipo.	Se realizará mediante técnica VOSO
3	Tiempo	Se calculará mediante MTBF
4	Costo	Se estimará mediante análisis económico de tarifa.

Fuente de elaboración propia.

- Fases

- Revisión documental. Inicialmente se realizará la revisión de documentos escritos sobre la temática. Entre ellos se encuentran tesis, trabajos de graduación, artículos científicos, libros, normas, fichas técnicas, manuales de operación y mantenimiento.
- Trabajo de campo. Se recopilará información de la máquina para elaborar un árbol de activos que posteriormente ayude al proceso de crear una matriz de criticidad. En campo se realizará una inspección visual de la máquina para conocer sus funciones por secciones y para validar el árbol de activos después que este se encuentre terminado.
- Trabajo de gabinete. Por medio de la información recopilada y validada, se comenzará a llenar la matriz de criticidad la cual servirá de base para la elaboración de del ejercicio RCM, este ejercicio consiste en apoyarse de la norma ISO 14224 para listar los modos de falla de los equipos y evaluar los efectos que estos tienen para la máquina y el proceso de producción.
- Redacción de documento. Con la información recopilada, la matriz de criticidad completada y el ejercicio RCM realizado se procede a redactar los planes de mantenimiento que puede realizar el operador.

- Resultados esperados

Se pretende establecer un plan de mantenimiento preventivo que involucre al operador de la máquina y que permita reducir la cantidad de paros de emergencia, también al tener el árbol de activos, se pretende que los avisos por parte del operador sean más efectivos y que ayuden a los técnicos de mantenimiento a ejecutar de forma más eficiente los trabajos de mantenimiento.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Por la naturaleza del estudio se utilizará técnicas de estadística descriptiva, debido a que se realizará un análisis de impacto económico y de tiempos que se realizará cuando se tenga el árbol de activos obtenido mediante análisis documental por medio del manual del equipo y tabulación de los datos en una hoja de cálculo.

También se elaborará una matriz de criticidad en la que se evaluarán cinco categorías las cuales son: medio ambiente, seguridad ocupacional, producción, calidad y mantenimiento, donde para cada área se establecerán límites, la técnica que se utilizará es la de matriz. Los equipos utilizados en esta matriz son los listados en el árbol de activos.

Para analizar la variable de equipo donde se busca el modo y efecto de falla se usará la técnica de lista, la cual mencionará los modos de falla del equipo analizado sirviendo de referencia la norma ISO 14224, para evaluar los costos del efecto de falla del equipo se utilizará el valor de tarifa.

Todo lo anterior se registrará en la matriz de criticidad.

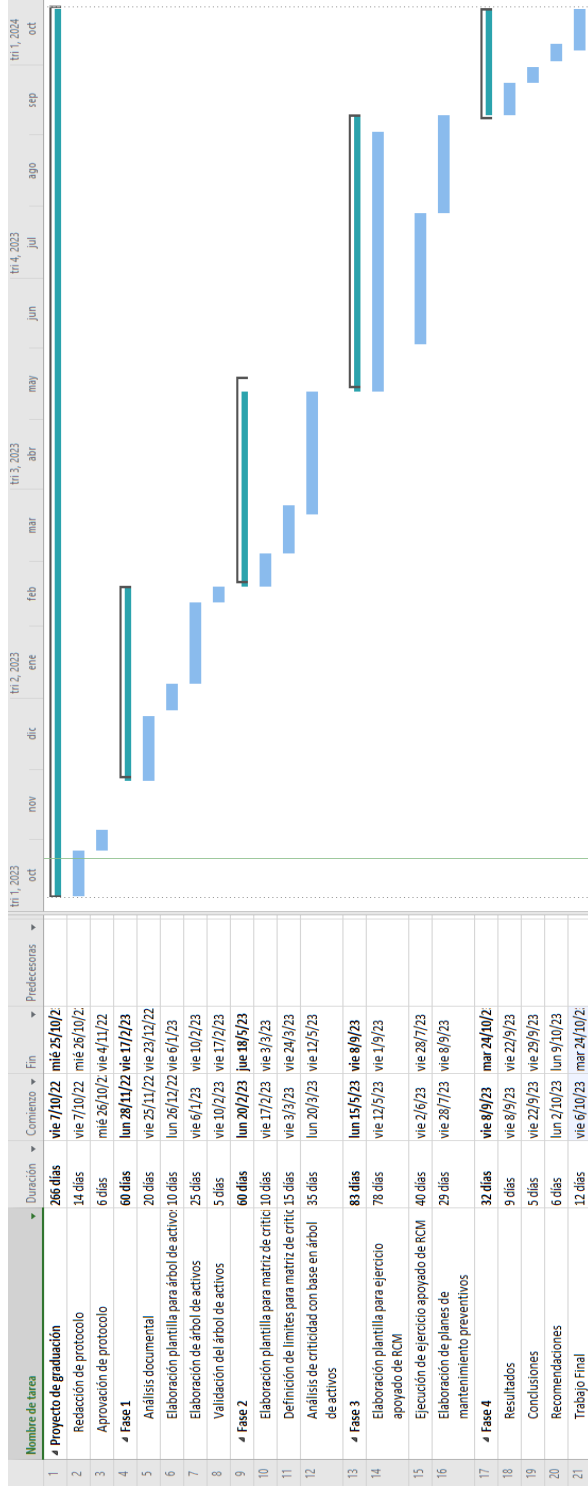
Al tener los modos y efectos de falla listados por equipo, se llevará a cabo un análisis documental de los avisos de falla que producción genera para buscar cuales son los modos de falla más comunes del listado de modo de falla que mantenimiento atiende, esto se utilizará para saber que modos de falla son los que se necesitan atender con planes de mantenimiento.

Los recursos que se utilizarán son: recursos humanos, información de la máquina documentada por producción, manual de máquina. Por tal motivo, debido al tipo de información es que se concluye que se hará uso de las técnicas de estadística descriptiva.

11. CRONOGRAMA

A continuación, se presenta una gráfica en función del tiempo. Esta sección da a conocer el tiempo establecido estimado del orden de actividades que se ejecutarán para realizar la investigación.

Tabla II. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

Para la elaboración de la investigación se necesita realizar entrevistas y encuesta a los operadores de la máquina, cómo también a los técnicos de mantenimiento, así como recopilar la información de las diversas fuentes, representaran el costo más elevado de la fase de investigación.

De tal forma que, la inversión y los recursos que se estiman para el desarrollo de investigación son los siguientes:

Tabla III. Costos de investigación

	Descripción	Cantidad	Costo	Observaciones
Inmueble	Sala de reunión	1	Q 0.00	Se cuenta con un espacio que se puede pedir a recursos humanos.
Materiales	Hojas	400	Q 25.00	
	Impresiones	500	Q 250.00	
	Computadora	1	Q 0.00	Se cuenta con el equipo.
	Proyector	1	Q 1070.00	
	Otros	1	Q 300.00	
Insumos	Energía Eléctrica	1	Q 600.00	
	Internet	1	Q 500.00	
	Otros	1	Q 750.00	
TOTAL			Q 3495.00	
Nota: Los fondos serán suplidos por el tesista.				

Fuente: elaboración propia.

Las cantidades mencionadas en la tabla son valores estimados, debido a que pueden presentarse más actividades o actividades diferentes que no se contemplan aún. El investigador cubrirá los costos ya descritos, pero pueden cambiar, pero el gasto no previsto no se estima mucho mayor al planteado, por lo que se concluye que es factible llevar a cabo el trabajo de investigación.

REFERENCIAS

1. Aldas Romero, G. K., y Gárate Vacacela, F. C. (2017). *Preparacion para la Certificación del Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001-2015 en Industria del Cartón Corrugado S.A. en el proceso de ventas*. Guayaquil, Ecuador: Universidad Espíritu Santo.
2. Cárcel, F. (marzo 2016). Características de los sistemas TPM y RCM en la ingeniería del mantenimiento. *3C Tecnología*, 5(3), 68-75.
3. Campos-López, O., Tolentino-Eslava, G., Toledo-Velázquez, M., y Tolentino-Eslava, R. (julio 2019). Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, bases de datos y criticidad de efectos. *Científica*, 23(1), 51-59. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/614/61458265006/61458265006.pdf>.
4. Crespo Marquez, A. (2007). *The maintenance management framework Models and methods for complex system maintenance*. Londres: Fairlight Books.
5. Diestra, J., Esquivel, L., y Guevara, R. (enero 2017). Programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), para optimizar la disponibilidad operacional de la máquina con mayor criticidad. *Ingeniería: ciencia, tecnología e innovación*, 4(1). Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/37239/A>

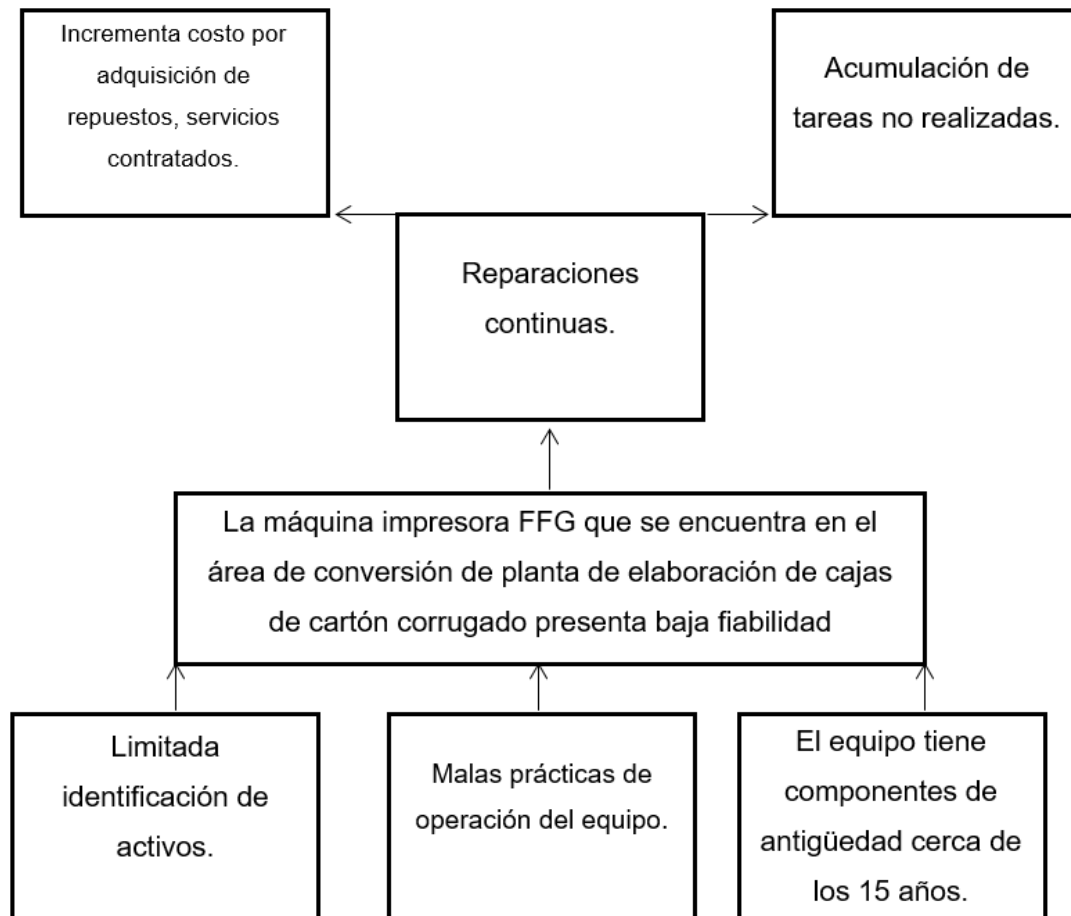
C_Diestra_QJP-Esquivel_PL-
Guevara_CR.pdf?sequence=1&isAllowed=y

6. ISO. (2014). Norma ISO 55000. *Gestión de activos - Aspectos generales, principios y terminología*. Guatemala: Autor.
7. ISO. (2016). Norma ISO 14224. *Industria de petróleo y gas natural - Recolección de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos*. Guatemala: Autor.
8. Martínez Rodríguez, O. A. (2020). *Propuesta de un modelo de mantenimiento mediante herramienta de la metodología RCM para impresora flexo folder gluer*. Bogotá: Carvajal ediciones.
9. Mata, T., Noya, A., y Carrera, M. (14 de noviembre de 2018). *Análisis de criticidad*. SCRIBD. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/393538778/Analisis-de-Criticidad>
10. Mora Gutiérrez, A. (2009). *Mantenimiento, planeación, ejecución y control*. México: Alfaomega.
11. Moubray, J. (2016). *RCM 2, mantenimiento centrado en confiabilidad (Edición en Español ed.)*. Buenos Aires, Argentina - Madrid, España: Aladon Ltd.

12. SAE. (1999). *Criterios de evaluación del proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad*. USA: Autor.
13. Sánchez Rodríguez, A. P. (febrero 2010). La gestión de los activos físicos en la función mantenimiento. *Ingeniería Mecánica*, 13(2), 72-78.
14. Sola Rosique, A., y Crespo Márquez, A. (2016). *Principios y marcos de referencia de la gestión de activos*. España: AENOR.

APÉNDICES

Apéndice 1. Árbol de problemas



Fuente: elaboración propia

Apéndice 2. **Matriz de coherencia**

No.	Objetivo	Pregunta	Variable
1	Listar las secciones de la máquina impresora FFG y sus equipos mediante un árbol de activos.	¿Cuáles son las secciones y equipos de la máquina impresora FFG que se pueden listar en un árbol de activos?	<ul style="list-style-type: none"> • Secciones de la máquina. • Equipos que componen las secciones.
2	Definir modos y efectos de falla de la impresora FFG ubicada en planta de fabricación de cajas de cartón corrugado en ciudad de Guatemala, basado en la herramienta RCM apoyado en la norma SAE JA1011.	¿Cuáles son los modos y efectos de falla de la impresora FFG basado en la herramienta RCM apoyado en la norma SAE JA1011?	<ul style="list-style-type: none"> • Modos de falla. • Efectos de falla.
3	Diseñar procedimientos de mantenimiento que puedan ser asignadas al personal operativo de la impresora FFG.	¿Cuáles son los planes de mantenimiento que pueden ser asignadas al personal operativo de la impresora FFG ?	<ul style="list-style-type: none"> • Tareas que puede ejecutar personal operativo. • Costos de hacer mantenimiento preventivo.

Continuación apéndice 2.

No.	Objetivo	Pregunta	Variable
G	Diseñar un plan de mantenimiento preventivo para la impresora FFG de planta de cajas de cartón corrugado.	¿Qué plan de mantenimiento preventivo se puede diseñar para que el operador realice actividades a la impresora FFG del área de conversión en empresa de cajas de cartón corrugado?	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Toma de datos en campo

Ubicación Técnica: _____

Sección: _____

Equipo: _____

Entrevista a personal de planta:

Ultima vez que recuerda que falló el equipo: _____

Tiempo estimado que tardó en repararse: _____

Fuente: elaboración propia.