



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

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD
COMO MÉTODO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS EN UNA LÍNEA
DE LAMINACIÓN DE EMPAQUE FLEXIBLE**

Ing. Julio Enrique Román Gamboa

Asesorado por la Mtra. Inga. Sandra Ninett Ramírez Flores

Guatemala, julio de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD
COMO MÉTODO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS EN UNA LÍNEA
DE LAMINACIÓN DE EMPAQUE FLEXIBLE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. JULIO ENRIQUE ROMÁN GAMBOA

ASESORADO POR LA MTRA. INGA. SANDRA NINETT RAMÍREZ FLORES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ARTES EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

GUATEMALA, JULIO DE 2021

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	Inga. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
DIRECTOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Javier Fidelino García Tetzaguic
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
SECRETARIO	Mtro. Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD COMO MÉTODO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS EN UNA LÍNEA DE LAMINACIÓN DE EMPAQUE FLEXIBLE

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 18 de octubre de 2020.

Ing. Julio Enrique Román Gamboa

DTG. 289.2021.

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 Estudios de Postgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD COMO MÉTODO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS EN UNA LÍNEA DE LAMINACIÓN DE EMPAQUE FLEXIBLE**, presentado por el Ingeniero: **Julio Enrique Román Gamboa**, estudiante de la **Maestría en Artes en Ingeniería y Mantenimiento** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, julio de 2021.

AACE/asga



Guatemala, Junio 2021

EEPMI-0673-2021

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y verificar la aprobación del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística al Trabajo de Graduación titulado: **"DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD COMO MÉTODO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS EN UNA LÍNEA DE LAMINACIÓN DE EMPAQUE FLEXIBLE"** presentado por el Ingeniero **Julio Enrique Román Gamboa** identifica con carné **201212900** correspondiente al programa de **Maestría en Ingeniería de Mantenimiento** apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director





Guatemala, Junio 2021

EEPFI-0674-2021

Como Coordinador del programa de Maestría en Ingeniería de Mantenimiento doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **“DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD COMO MÉTODO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS EN UNA LÍNEA DE LAMINACIÓN DE EMPAQUE FLEXIBLE”** presentado por el Ingeniero **Julio Enrique Román Gamboa** quien se identifica con el número de carné **201212900**.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”



Mtra. Rocío Carolina Medina Galindo
Coordinadora de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, Junio 2021

EEPFI-0675-2021

En mi calidad como Asesor del Ingeniero **Julio Enrique Román Gamboa** quien se identifica con número de carné **201212900** procedo a dar el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **"DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD COMO MÉTODO PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS EN UNA LÍNEA DE LAMINACIÓN DE EMPAQUE FLEXIBLE"** quien se encuentra en el programa de **Maestría en Mantenimiento** en la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

MSc. Sandra Ninett Ramirez Flores

Asesora

Sandra Ninett Ramirez Flores
INGENIERA QUÍMICA, COL. No. 437
Msc. INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por las bendiciones recibidas.

Mis padres

Julio Román y Mabel Gamboa. Su amor será siempre mi inspiración.

Mi hermana

Mabel Román. Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.

Mis abuelos

Por su amor y apoyo incondicional.

Mis tíos

Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.

Mi novia

Lidice Alvarez, por tu amor y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por abrirme las puertas al conocimiento y permitirme alcanzar esta meta.

Facultad de Ingeniería

Por formarme profesionalmente y permitirme ser parte de ella.

**Mis amigos de la
Facultad**

Por su amistad y apoyo.

ÍNDICE GENERAL

LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS.....	XIII
OBJETIVOS.....	XVII
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Laminación de empaques flexibles.....	1
1.2. Historia de la industria de empaques flexibles.....	1
1.3. Empaques flexibles laminados.....	3
1.4. Proceso de laminación	4
1.4.1. Variables críticas del proceso	6
1.4.2. Componentes principales de la maquina laminadora.....	10
1.4.3. Esquema de la máquina laminadora	11
1.5. Mantenimiento.....	20
1.5.1. Mantenimiento correctivo	22
1.5.2. Mantenimiento de avería.....	23
1.5.3. Mantenimiento preventivo	24
1.5.4. Mantenimiento predictivo.....	24
1.6. Mantenimiento basado en la confiabilidad	24
1.6.1. Confiabilidad.....	25
1.6.2. Mantenimiento y confiabilidad.....	26

1.6.3.	Fases para el desarrollo del mantenimiento basado en la confiabilidad.....	27
1.6.4.	Beneficios del mantenimiento basado en confiabilidad en la planta de empaque flexible.....	37
1.7.	Disponibilidad	37
1.7.1.	Variables que influyen en la disponibilidad.....	39
1.7.2.	Mantenimiento basado en la confiabilidad como herramienta de mejora de la disponibilidad.....	40
1.7.3.	Beneficios de la mejora disponibilidad en la planta de empaque flexible	40
2.	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	43
2.1.	Información general de la empresa.....	43
2.1.1.	Ubicación	44
2.1.2.	Misión	44
2.1.3.	Visión	44
2.1.4.	Organización.....	44
2.1.5.	Productos.....	46
2.1.6.	Departamento de mantenimiento.....	46
2.2.	Línea de laminación	48
2.3.	Descripción del proceso de laminación	50
2.4.	Laminadoras Simplex SL.....	53
2.4.1.	Especificaciones del equipo	54
2.4.2.	Situación de los equipos.....	54
2.5.	Disponibilidad de la línea.....	57
2.6.	Mantenimiento correctivo en la planta	60
2.7.	Mantenimiento preventivo de la línea	62
2.8.	Análisis FODA del mantenimiento	63

3.	PROPUESTA DE SOLUCIÓN.....	67
3.1.	Historial de fallas de los equipos	67
3.2.	Factores críticos del mantenimiento preventivo.....	68
3.3.	Fallas recurrentes	68
3.4.	Plan de mantenimiento basado en la confiabilidad	72
3.4.1.	Listado de componentes	72
3.4.2.	Funciones del sistema.....	73
3.4.3.	Fallas funcionales	78
3.4.4.	Modos y efectos de fallo.....	81
3.4.5.	Clasificación de modos de falla	86
3.4.6.	Tareas preventivas	87
3.4.7.	Cambio de especificaciones.....	93
3.4.8.	Seguimiento y control del plan.....	93
4.	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	95
4.1.	Beneficios del mantenimiento basado en la confiabilidad.....	95
4.1.1.	Eliminación de fallas recurrentes.....	96
4.1.2.	Disponibilidad de la línea de producción.....	97
4.2.	Discusión de resultados	101
4.2.1.	Análisis interno.....	101
4.2.2.	Análisis externo.....	103
	CONCLUSIONES.....	107
	RECOMENDACIONES.....	109
	REFERENCIAS	111
	APÉNDICES	115

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema del proceso de laminación	5
2.	Verificación del <i>curling</i>	9
3.	Unidad de aplicación	13
4.	Unidad de laminación.....	14
5.	Desbobinador a y b	15
6.	Rodillo presor de compactación	17
7.	Componentes de la columna de aplicación	18
8.	Componentes de columna de laminación.....	19
9.	Estrategias de mantenimiento-industrial.....	22
10.	Curva característica de fallas	34
11.	Organigrama.....	45
12.	Organigrama del Departamento de Mantenimiento	48
13.	Esquema de la línea de laminación	50
14.	Diagrama de flujo del proceso de laminación.....	52
15.	Laminadora simplex sl 1300	53
16.	Diagrama de flujo para mantenimiento correctivo.....	61
17.	Componentes de simplex 1 recurrentes en fallar.....	70
18.	Componentes de simplex 2 recurrentes en fallar.....	71
19.	Sistema de aplicación de adhesivo	74
20.	Sistema de laminación	74
21.	Sistema eléctrico	75
22.	Sistema de mezclado de adhesivo.....	75
23.	Sistema de embobinado y desbobinado.....	76

24.	Sistema de alineación de banda.....	76
25.	Sistema de regulación de temperatura	77
26.	Sistema de neumático	77

TABLAS

I.	Ejemplos de estructuras para empaques.....	6
II.	Aplicación de adhesivo según la estructura.....	7
III.	Cálculo de RPN	32
IV.	Resumen de aspectos a mejorar en equipos laminadores.....	56
V.	Resumen de tiempos de paro en la línea de laminación	57
VI.	Rutina de mantenimiento preventivo semanal simplex 1	63
VII.	Análisis FODA del mantenimiento	64
VIII.	Listado de componentes de laminadoras	73
IX.	Fallas funcionales en simplex 1	79
X.	Fallas funcionales en simplex 2.....	80
XI.	FMEA aplicado a unidad de aplicación simplex 1	82
XII.	FMEA aplicado a unidad de aplicación simplex 2	83
XIII.	FMEA aplicado a unidad de laminación simplex 1	84
XIV.	FMEA aplicado a unidad de laminación simplex 2.....	85
XV.	Clasificación de consecuencias de modos de fallo	87
XVI.	Tareas preventivas modos de fallo simplex 1	89
XVII.	Tareas preventivas modos de fallo simplex 2.....	91
XVIII.	Resumen de tiempos de paro después de la propuesta.....	97

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperios
Hz	Hertz
RPN	Número de riesgo prioritario
PMCA	Peso de muestra con adhesivo
SPMSA	Peso de muestra sin adhesivo
MTTR	Tiempo medio de reparación
MTBF	Tiempo medio entre fallas
Lt/min	Unidad de medida de caudal, litros por minuto
gr/m²	Unidad de medida de gramaje, gramos por metro cuadrado
Bar	Unidad de medida de presión, aproximadamente a 1 atmosfera
V	Voltios

GLOSARIO

<i>Bond</i>	Término para definir unión de películas flexibles.
Confiabilidad	Probabilidad que un equipo funcione correctamente.
<i>Curling</i>	Término usado para describir la distancia del piso a la punta del sustrato cortado en cruz ya laminado.
Disponibilidad	Indicador que describe la relación entre el tiempo de paro y el tiempo disponible.
<i>FMEA</i>	Siglas en inglés, <i>Failure Mode Effect Analysis</i> .
<i>PLC</i>	Siglas en inglés, <i>Programmable Logic Controller</i> .
Polietileno	Polímero simple.
Polipropileno	Polímero termoplástico cristalino.
<i>Snacks</i>	Palabra en inglés que se traduce a bocadillo.

Solventless

Palabra en inglés que se traduce a sin solvente.

Stand pouch

Palabra en inglés que se traduce a bolsa parada.

Sustrato

Término que describe al material para fabricar un empaque flexible.

RESUMEN

La falta de análisis de las fallas recurrentes, la falta de identificación de modos y los efectos de fallo en los equipos laminadores ocasionaban elevados tiempos de paro en la línea de laminación de empaque flexible y el indicador de disponibilidad se veía afectado. Se buscó diseñar un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad que permitiera determinar las acciones preventivas que eliminaran los modos y efectos de las fallas recurrentes, con el fin de aumentar la disponibilidad de la línea.

Se analizaron diagramas de Pareto de las fallas recurrentes y se enfocó el plan a los componentes que presentaron mayor frecuencia en el periodo analizado. Se determinaron las fallas funcionales de estos componentes, los modos de fallos y los efectos de fallos para que, con base en esto, se determinaron las medidas preventivas para eliminar estas fallas para mejorar la disponibilidad de la línea.

Se determinó que la propuesta aumenta la disponibilidad de la línea de laminación de empaque flexible que aumenta los tiempos efectivos de producción, que disminuya los tiempos de paro elevados de ambas máquinas, y que mejora los tiempos de entrega de los pedidos a los clientes inter como exter. También, se divulgó al personal de mantenimiento las técnicas de análisis de modos y efectos de falla para crear medidas preventivas a fallas recurrentes y se mejoró la infraestructura y condición de los equipos laminadores.

Se debe tomar en cuenta que, para el éxito del plan de mantenimiento basado en la confiabilidad, es necesario el seguimiento y control estricto al cumplimiento de las medidas preventivas para atacar los modos y efectos de falla determinados; también, se necesita para establecer medidas que promuevan la mejora continua del plan.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS

El problema que se presentó en el área de laminación de una planta de empaque flexible son las deficiencias en el mantenimiento de los equipos a la fecha de junio de 2019. Esto generó fallas recurrentes, problemas en el proceso y paros de producción debido a la falta de un análisis que determine la causa raíz y se encuentre una acción preventiva. Esto provocó que la disponibilidad de la línea se vea afectada, que afecta el ritmo de producción y los tiempos de entrega de los pedidos.

- Descripción del problema

La empresa en donde se realizó el estudio se dedica a la producción de empaques flexibles orientados a la industria alimenticia y agrícola. Dentro de la gama de empaques, los laminados son los que ocupan el 60 % de la cartera de productos de la empresa, por lo que son los más representativos y utilizados en la industria. Por lo que es importante mantener la disponibilidad de la línea de producción de laminación para evitar atrasos en los pedidos de los clientes.

Se evidenció la necesidad de contar con un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad, de tal manera para reducir las fallas recurrentes en la línea de producción para reducir los tiempos de reparación, los tiempos entre fallas para mejorar la disponibilidad de los equipos.

El Departamento de Mantenimiento debió tener las competencias claves para conocer a profundidad el funcionamiento de la máquina, atacar los problemas de raíz y evitar así el tiempo de paro en la producción; aspectos observados en la empresa y que no se han considerado al momento de ejecutar los planes de mantenimiento preventivo.

- Delimitación del problema

El estudio se llevó a cabo en una empresa dedicada a la producción de empaques flexibles para la industria alimenticia y agrícola, la cual se encuentra en la ciudad de Guatemala. La recolección de datos y el análisis se realizó específicamente en la línea de laminación de la planta durante los meses de junio a agosto de 2019.

La investigación se enfocó específicamente en dos máquinas laminadoras de empaques flexibles tipo *solventless*.

- Formulación del problema

Debido al problema a investigar en el presente trabajo se establecieron las siguientes preguntas:

- Pregunta central

¿Cómo el mantenimiento basado en la confiabilidad puede mejorar la disponibilidad de los equipos de una línea de laminación de empaque flexible?

- Preguntas orientadoras
 - ¿Cuál es la situación del mantenimiento en el área de laminación durante el estudio del problema?
 - ¿Qué factores están ocasionando las fallas recurrentes en el proceso de laminación?
 - ¿Qué beneficios tiene el diseño de un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad en la línea de laminación de empaque flexible?

OBJETIVOS

General

Diseñar un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad como método para mejorar la disponibilidad de los equipos en una línea de laminación de empaque flexible.

Específicos

- Identificar cual es la situación del mantenimiento en el área de laminación de la planta de empaque flexible.
- Analizar los factores críticos del mantenimiento preventivo que ocasionen las fallas recurrentes en el proceso de laminación.
- Evaluar los beneficios de la utilización del mantenimiento basado en la confiabilidad en la línea de laminación de empaque flexible.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

La investigación se enmarcó en un estudio con enfoque mixto cualitativo-cuantitativo. El enfoque cualitativo se vio reflejado en el estudio de atributos con la utilización de la observación directa, revisión de manuales, procedimientos y entrevistas a personal involucrado en la planta. Por otro lado, el enfoque cuantitativo se ve reflejado en el análisis e interpretación de datos numéricos recolectados y la medición de indicadores que fueron formulados para tal fin.

La investigación fue un diseño no experimental, debido a que no se realizaron pruebas de laboratorio o experimentos, se midieron y analizaron los equipos en operación, se revisó documentación, se hicieron observaciones con el respaldo de uso de *check list* y el manual del fabricante de los equipos.

El tipo de estudio tuvo un alcance descriptivo debido a que consistió en evaluar las características del objeto en estudio y fenómeno en la obtención de datos, se discutieron resultados y luego se planteó una solución al problema con el diseño del plan de mantenimiento basado en la confiabilidad en la línea de laminación de empaque flexible. Las variables por medir fueron: la situación del mantenimiento de la planta, factores críticos del mantenimiento que ocasionaron las fallas recurrentes y los beneficios del diseño del plan de mantenimiento.

Se utilizaron como referencia los conceptos y procedimientos establecidos para la aplicación de la técnica del mantenimiento basado en la confiabilidad y se utilizaron herramientas como entrevistas para el personal técnico y operativo para recopilar información acerca de los equipos a investigar.

- Fase uno: revisión documental.

La fase uno consistió en la recolección y clasificación de los datos necesarios para realizar la siguiente investigación. Una vez se obtuvo la siguiente información se procedió a organizarla, analizarla y tabularla con el fin de elaborar el marco teórico y antecedentes para lograr una investigación sólida y bien fundamentada para proceder con la fase investigativa.

- Fase dos: estudio de la situación del mantenimiento en la línea de laminación.

La fase dos se basó en analizar la gestión de mantenimiento en la línea de laminación. Se realizó la recolección de los datos de las fallas históricas en los equipos para evaluar la efectividad del mantenimiento. También, se recolectó información sobre los equipos laminadores, componentes y todo lo relacionado al funcionamiento de los equipos.

- Fase tres: análisis de los factores críticos de mantenimiento que ocasionen las fallas recurrentes.

La fase tres determinó los factores críticos del mantenimiento en la línea de laminación mediante el análisis de fallas en los equipos mediante herramientas como el FMEA, diagrama de Ishikawa y Pareto.

Estas herramientas están ligadas a las fases para el desarrollo del plan de mantenimiento basado en la confiabilidad. También, se recolectaron los valores de tiempos de paro por reparación, tiempo entre fallas y se calculó la disponibilidad de la línea de laminación.

- Fase cuatro: diseño del plan de mantenimiento basado en la confiabilidad.

La cuarta fase consistió en el diseño del plan de mantenimiento basado en la confiabilidad para equipos laminadores. Se definieron cada una de las fases necesarias para elaborar el plan de mantenimiento, se describieron y analizaron los beneficios de la implementación del plan y el impacto en el indicador de disponibilidad de la línea productiva.

- Fase cinco: beneficios del diseño del plan de mantenimiento basado en la confiabilidad.

La quinta y última fase consistió en evaluar los beneficios del diseño del plan de mantenimiento basado en la confiabilidad para la línea de laminación de empaque flexible. Se evalúan desde el impacto que tuvo el plan en la disponibilidad de las máquinas, hasta los beneficios adicionales a un nivel más general, tales como aumento de la productividad, mejora en tiempos entrega, mejoras en infraestructura y condición de los equipos.

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento basado en la confiabilidad para una línea de laminación de empaque flexible consistió en la realización del análisis de las fallas en los equipos, determinando sus modos de falla, efectos para la creación de medidas preventivas, incrementando el tiempo efectivo de operación de la maquinaria y mejorando la disponibilidad de la línea de producción. Lo que se buscó fue la innovación en los procedimientos de mantenimiento, proporcionando técnicas que eliminaran las fallas en los equipos mediante acciones preventivas.

El problema que afectó a los equipos laminadores en la planta de empaque flexible fue que, a pesar de tener un programa de mantenimiento preventivo definido, presentaban fallas recurrentes, a las cuales no se les realizaba ningún análisis para determinar la causa y establecer las medidas correctivas y preventivas. El Departamento de Mantenimiento no se dedicaba a encontrar una solución definitiva a estas fallas recurrentes, ocasionando elevados tiempos de paro, afectando la disponibilidad de la línea.

La importancia de eliminar las fallas recurrentes mediante el mantenimiento basado en la confiabilidad fue la importancia del proceso de laminación en la creación de un empaque flexible. Los equipos laminadores debían funcionar correctamente y estar en buenas condiciones para que las películas flexibles logaran su adhesión correctamente y formaran una estructura con la resistencia mecánica adecuada que cumpliera las necesidades del cliente.

Con el plan de mantenimiento basado en la confiabilidad se esperaba solucionar las fallas recurrentes de los equipos, mediante la mejora de los procedimientos involucrados de mantenimiento de las laminadoras, reducir los tiempos de paro y aumentando la disponibilidad de la línea de producción.

Se vieron beneficiados, con el siguiente trabajo de investigación, el departamento de mantenimiento, ya que tuvieron las herramientas necesarias para determinar la causa de la falla y darle una solución definitiva. Se mejoraron los procedimientos que involucran el mantenimiento de los equipos laminadores. El departamento de producción se benefició en la reducción de los tiempos de paro, la disponibilidad de sus equipos y el mejoramiento de los tiempos de entrega de las órdenes de producción.

El mantenimiento basado en la confiabilidad para una línea de laminación de empaque flexible fue una propuesta para mejorar la disponibilidad de los equipos y se compuso de cuatro fases.

Los capítulos desarrollados fueron distribuidos de manera que se pudiera comprender de forma sencilla y sustancial, el diseño de la solución. Se inició con el capítulo I: marco teórico, en donde se describió la teoría existente para fundamentar los capítulos siguientes. Se describe el proceso de laminación y sus variables críticas, tipos de empaques flexibles laminados y el esquema de los equipos laminadores. También se describen los conceptos de mantenimiento, tipos, indicadores y las fases para el desarrollo del plan de mantenimiento basado en la confiabilidad.

En el capítulo II, desarrollo de la investigación, se llevó a cabo el diagnóstico situacional de la empresa y se centró en la descripción del proceso de laminación, los equipos y la situación del mantenimiento.

Se describe la información general de la empresa, su organización, se describe la línea de laminación, se presenta un diagrama del proceso de laminación, las especificaciones de los equipos y la situación actual de los mismos. Por otra parte, se calcula el indicador de disponibilidad de la línea para determinar su situación actual. Se finaliza el capítulo con un análisis FODA del mantenimiento de la línea.

Posteriormente, en el capítulo III, propuesta de solución, se determinan los factores críticos del mantenimiento que ocasionan las fallas en los equipos, mediante el análisis de FMEA y el Pareto de las fallas recurrentes. Con base en esto, se procede a diseñar el plan de mantenimiento basado en la confiabilidad, utilizando las fases descritas en el marco teórico.

Se finalizó con el capítulo IV, presentación y discusión de resultados, en donde se describieron los beneficios de la propuesta, se evaluó la efectividad de la propuesta de solución, haciendo énfasis en las mejoras obtenidas y su relación con otras investigaciones.

1. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se presenta el fundamento teórico que respaldará el trabajo de investigación, los cuales describirán los conceptos teóricos del proceso de laminación de empaques flexibles, el mantenimiento basado en la confiabilidad y el indicador de la disponibilidad.

1.1. Laminación de empaques flexibles

La laminación de empaques flexibles es uno de los procesos fundamentales para la elaboración de un empaque de calidad y que se adapte a las necesidades del cliente. Consiste básicamente en la unión de dos o más sustratos o películas flexibles (normalmente derivadas de polímeros) mediante el empleo de un adhesivo y presión. Esto con el fin de crear una película nueva con propiedades mejoradas en su resistencia mecánica, protección a rayos ultravioleta y humedad que benefician al producto que el empaque transportará.

A continuación, en los siguientes subtítulos, se describirá sobre la industria de empaques flexibles, la planeación estratégica de la planta en donde se enfocará la investigación, la gama de productos fabricados mediante la laminación de empaques flexibles y la descripción del proceso de laminación.

1.2. Historia de la industria de empaques flexibles

La industria de empaques flexibles surge de la necesidad de proveer soluciones novedosas de empaque y embalaje diversos sectores industriales del territorio guatemalteco.

La mayoría de las empresas dedicadas a la producción de empaque flexible, en sus inicios solamente contaba con extrusoras monocapa, impresoras y convertidoras. Sin embargo, con el aumento de la demanda, las empresas se vieron en la necesidad de reestructurarse y modificar sus líneas de producción.

Con base en el *Instructivo de procesos* de la planta de empaque flexible (2015), se necesitan los siguientes procesos para fabricar empaques flexibles confiables y que satisfagan las necesidades de los clientes:

- Extrusoras de 3 capas para producir película flexible de polietileno
- Impresoras flexográficas de tambor central de 6 a 8 colores
- Laminadoras *solventless* de película flexible
- Cortadoras
- Convertidoras

Con la ampliación de las diversas empresas guatemaltecas dedicadas a la producción de empaques flexibles, se han generado más beneficios y se han alcanzado niveles de exportación a países en Centroamérica, México, el Caribe y Estados Unidos de América.

1.3. Empaques flexibles laminados

Antes de mencionar los empaques flexibles laminados es necesario aclarar que no toda la amplia gama de productos son fabricados mediante laminación. Aproximadamente, el 60 % de los empaques flexibles es laminado, el resto no lo es debido a que por su aplicación y necesidad del cliente no es necesario este proceso. La planta de empaque flexible analizada se dedica específicamente a producir empaques y material de embalaje para la industria de alimentos, bebidas y fertilizantes.

Estos productos cuentan con características específicas para proteger el producto final y así mantener la calidad.

Acorde al *Catálogo de productos* de la planta de empaque flexibles (2016), se describen los siguientes:

- Etiquetas: se presenta en rollo cuyo diámetro o peso es especificado por el cliente. Este producto es formado por la laminación o unión de dos películas de polipropileno.
- Empaque para snacks: es un empaque laminado que se forma por la unión de una película de polipropileno transparente impreso y otra de polipropileno metalizado. Las medidas del empaque varían según las necesidades del cliente. Su presentación es en rollo.
- Bolsas tipo *stand pouch*: se presenta en forma de unidad. Este tipo de bolsa tiene la particularidad que por su diseño puede permanecer en posición vertical. Es utilizada específicamente en la industria alimenticia y agrícola.

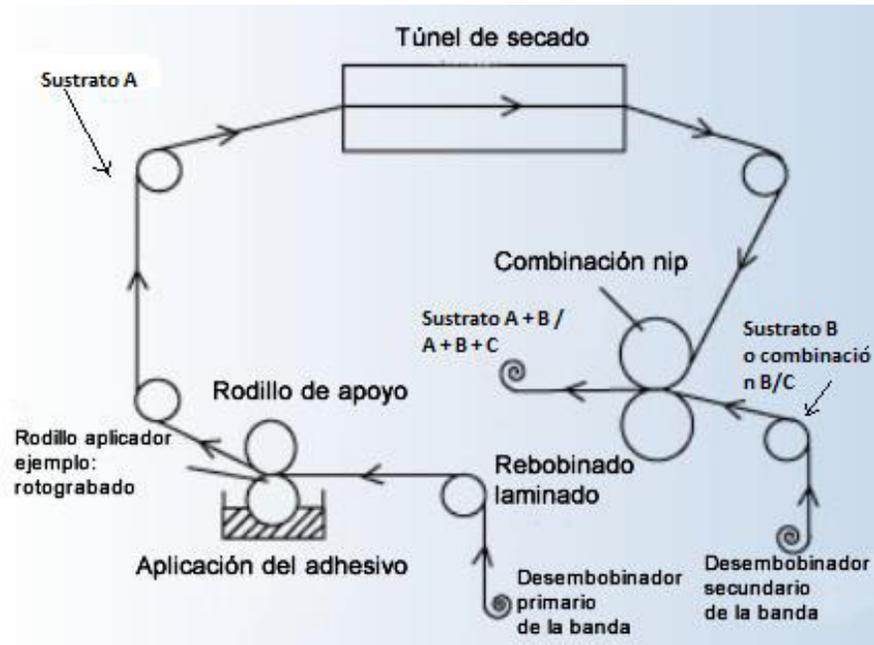
1.4. Proceso de laminación

Según el instructivo de laminación de la planta de empaque flexible (2014), menciona que el uso de un solo material no puede satisfacer todas las propiedades exigidas por el cliente para contener su producto. La estructura que combine las propiedades mecánicas y físicas de dos o más películas individuales puede suministrar el desempeño deseado.

La laminación consiste en la unión de dos o más películas mediante un adhesivo. El adhesivo es aplicado en una película y mediante presión por un rodillo es único a otra película formando así la nueva estructura.

La laminación más común en la industria de empaques de Guatemala es la laminación en seco o *solventless*. La laminación en seco es aquel proceso en el cual el adhesivo es secado antes de laminar. El adhesivo es aplicado en uno de los sustratos y el secado al unirse al otro. La fuerza de laminación es alcanzada en un rodillo laminador con temperatura y presión. Este proceso se aprecia en la figura 1.

Figura 1. Esquema del proceso de laminación



Fuente: Planta de Empaque Flexible (2014). *Instructivo de laminación*.

Las películas o sustratos pueden ser derivadas de polímeros como lo son el polietileno de baja densidad, polipropileno bio-orientado transparente, polipropileno cast, poliéster transparente y metalizado. La aplicación más común de estas estructuras en empaques es en la industria alimenticia, agrícola y farmacéutica.

Algunas de las estructuras más comunes en la industria del empaque flexible son descritas en la tabla I:

Tabla I. **Ejemplos de estructuras para empaques**

Sustrato A (impreso)	Sustrato B	Sustrato C	Ejemplo de empaques
Polipropileno Biorientado Transparente	Polipropileno Biorientado Metalizado	N/A	Frituras
Polipropileno Biorientado Transparente	Polietileno de baja densidad	N/A	Cereales
Poliéster transparente	Polietileno de baja densidad	N/A	Quesos, fertilizantes
Poliéster metalizado	Polietileno de baja densidad	N/A	Consomés
Polipropileno Biorientado Transparente	Polipropileno cast	N/A	Cereales
Polipropileno Biorientado Transparente	Polipropileno Biorientado Metalizado	Polietileno de baja densidad	Leche, incaparina, algunos cereales

Fuente: elaboración propia.

Los adhesivos empleados en la laminación pueden ser a base de solventes, sin solvente (100 % sólidos) o a base de agua. Actividad que dependerá de la aplicación y propiedades de los empaques. El adhesivo más común es elaborado por resina y endurente. La mezcla de ambas partes (resina y endurente) debe tener la relación o proporción adecuada de manera de lograr una laminación óptima.

La mezcla se verifica tomando una muestra de cada compuesto en un intervalo de tiempo, luego se pesan y se hace la relación. Para asegurar la relación de los componentes, este proceso debe hacerse como mínimo tres veces.

1.4.1. Variables críticas del proceso

Con base en el *Instructivo de laminación* de la planta de empaque flexible (2014), se describen las siguientes variables críticas en el proceso de laminación.

- Separación de rodillos aplicadores: es la separación de los rodillos aplicadores de adhesivo. Esta separación debe ser de 0.08 a 0.1 mm en todo lo ancho. Esta medida se verifica mediante galgas haciendo mediciones a lo ancho de los rodillos.
- Aplicación de adhesivo o gramaje: el gramaje puede definirse como los gramos de material sobre un área determinada. El gramaje dependerá del tipo de estructura a laminar.

La tabla II describe la aplicación de adhesivo según la estructura a laminar.

Tabla II. **Aplicación de adhesivo según la estructura**

Sustrato A	Sustrato B	Aplicación (gr/m²)
BOPP transparente	BOPP metalizado	2.2
BOPP transparente	HDPE	2
BOPP/PVOH	BOPP metalizado	3
BOPP metalizado	HDPE	2.2
PET metalizado	HDPE	2.2
PET transparente impreso	Polietileno	2.5
PET transparente s/i	Polietileno	2.2
PET transparente impreso	Aluminio	2.8
PET transparente s/i	Aluminio	2.5
PP cast	BOPP transparente o metalizado	2.2
LDPE	LDPE	1.8
PET transparente	Aluminio o foil	2.8 hacia arriba

Fuente: Planta de Empaque Flexible (2014). *Instructivo de laminación.*

La verificación de la aplicación del adhesivo se realiza cortando 100 centímetros cuadrado del material laminado (se usa un cuadro de acero

inoxidable de 10X10 cm como referencia) y de los dos sustratos sin laminar; luego, se resta el peso del material laminado me el de los dos sin laminar.

Se utiliza la siguiente expresión para el cálculo del gramaje:

$$\text{Gramaje} \left(\frac{gr}{cm^2} \right) = (PMCA - SPMSA) * 100 \% [1]$$

Donde:

PMCA: peso de muestra con adhesivo

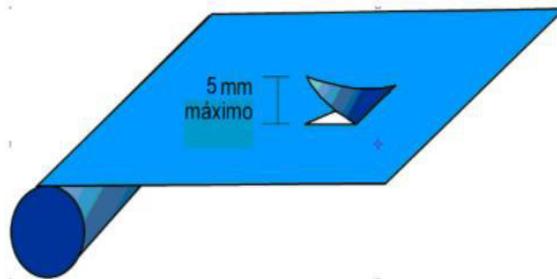
SPMSA: suma de peso de muestras sin adhesivo

- Tratado corona: el tratado corona es la aplicación de corriente eléctrica a la película a laminar. El contacto con los electrones ocasiona que a la película se le generen pequeñas cavidades las cuales permiten que el adhesivo permanezca en la película.
- *Curling*: es un término que adoptó el Departamento de Aseguramiento de la Calidad de la Planta de Empaque Flexible al fenómeno que poseen las películas flexibles debido a tensiones residuales en este, lo cual ocasionan que el material se enrolle. Este fenómeno debe controlarse en el material laminado ya que puede generar problemas al momento de colocar el producto en la botella.

Según Saavedra (2016), el *curling* no debe ser mayor de 5 mm y es crítico cuando es hacia afuera de la impresión. La actividad se verifica haciendo un corte en cruz sobre la muestra laminada y medir la altura a la que se eleva el material.

La figura 2 demuestra el proceso de verificación del *curling*.

Figura 2. **Verificación del *curling***



Fuente: Planta de Empaque Flexible (2014). *Instructivo de laminación*.

- Fuerza de bond: (o fuerza de pegado) es aquella que mantiene unidas ambas películas laminadas. Para verificar esta variable, se corta una tira de una pulgada de ancho del material laminado y se separan ambos sustratos para colocarlos en una máquina universal.

Las puntas de cada sustrato son colocadas en cada una de las mordazas, en donde se aplicará una fuerza para separar ambas películas. Según el Departamento de Aseguramiento de la Calidad de la Planta de Empaque Flexible, la fuerza debe ser mayor o igual a 2 N (newton), para garantizar una buena laminación.

- Fenómeno de piel naranja y burbujas de aire: según Madrid (2000), este fenómeno ocurre especialmente en área de la impresión con tinta blanca en donde puntos grises son visibles en el fondo. Este problema debe controlarse aumentando la aplicación de adhesivo (gramaje), disminuir la

velocidad de laminación, aumentar la presión, aumentar la temperatura de la unidad aplicadora.

- Tiempo de curado: el tiempo de curado no es más que el tiempo en que el adhesivo llega a secarse permitiendo la adherencia permanente entre ambas películas laminada. El tiempo de curado dependerá de la estructura que se ha laminado.

1.4.2. Componentes principales de la maquina laminadora

Nordmeccanica, S.p.A (2002) indica que los componentes principales de la laminadora Simplex SL modelo 1300 son los siguientes:

- Sección de aplicación: sección en donde se lleva a cabo la transferencia de adhesivo desde el *mixer* a los rodillos de transferencia. Posteriormente los rodillos de transferencia conducen el adhesivo a la manga o rodillo aplicador.
- Sección de laminación: formado por rodillos presores y laminadores los cuales unen las películas a laminar.
- Desbobinadores: encargados de desembobinar los materiales a laminar que provienen de rollos.
- Bobinador: encargado de embobinar el material laminado.
- *Mixer* o mezclador de adhesivo: sistema encargado de almacenar y dosificar la relación correcta de resina y endurente.

- Unidad de tratado corona: sistema eléctrico que proporciona una corriente eléctrica a través de electrodos los cuales, al entrar en contacto con la película, forman cavidades microscópicas en el material, permitiendo el correcto laminado.
- Catalizador: unidad encargada de reducir los niveles de ozono generados por el proceso de tratamiento corona.

Adicional, el equipo necesita de los siguientes sistemas auxiliares para su correcto funcionamiento.

- Sistema eléctrico: trifásico, 480 V, 60 Hz, 50 A, 75 kW.
- Sistema neumático: aire deshumidificado no lubricado, 6-10 bar, 80 lts/min de consumo.
- Sistema hidráulico: formado por centrales de calentamiento y enfriamiento.
- Sistema de extracción de gases.

1.4.3. Esquema de la máquina laminadora

Es importante conocer los elementos o componentes de un equipo para realizar una correcta gestión del mantenimiento de este.

A continuación, se presentan varias figuras que representan los componentes principales de los equipos laminadores. Es importante recalcar que ambos equipos son iguales respecto a sus componentes.

Los componentes principales que componen el esquema de la máquina laminadora son los siguientes:

- Columna o unidad de aplicación

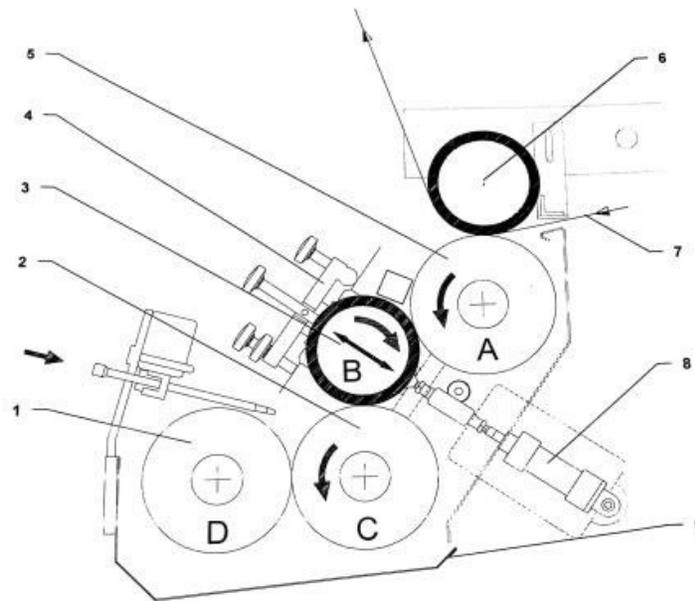
Unidad en donde es transferido el adhesivo al sustrato a laminar. El adhesivo es vertido entre dos rodillos dosificadores, que están montados paralelos y a una distancia calibrada.

Dos paredes de teflón, montadas sobre una barra distanciadora, contienen el adhesivo y un sensor controla su nivel. El rodillo dosificador D normalmente está parado, mientras el rodillo dosificador C se mantiene en rotación por un motor eléctrico.

Toda la superficie del rodillo dosificador C se moja con adhesivo; el espesor de adhesivo que se deposita en su superficie depende de la distancia entre los dos rodillos dosificadores. El rodillo transportador engomador B tiene la función de transferir la cantidad justa de adhesivo desde el rodillo dosificador al rodillo aplicador. El adhesivo es transferido al rodillo aplicador A, el cual le transfiere el adhesivo a la película a laminar, mientras que un rodillo engomado de aplicación hace que la película este contacto con el rodillo aplicador. Tomar en cuenta que el rodillo aplicador es calentado por un termorregulador para mantener la viscosidad idónea del adhesivo.

En la siguiente figura se muestran el esquema de la unidad de aplicación.

Figura 3. **Unidad de aplicación**



Fuente: Nordmeccanica (2002). *Manual de operación laminadora Simplex SL*.

Donde:

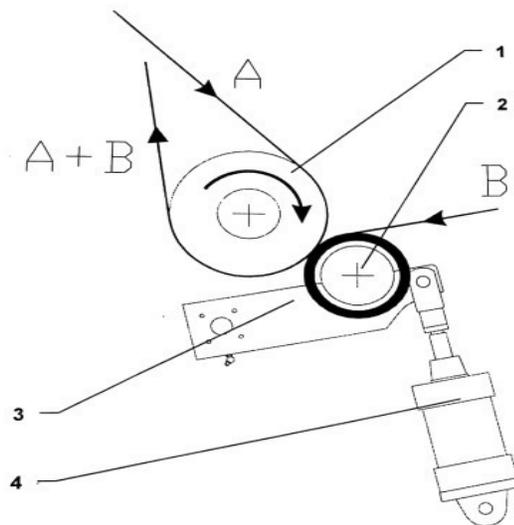
- Rodillo dosificador fijo. (1)
- Rodillo dosificador móvil. (2)
- Rodillo transportador engomador. (3)
- Brida de regulación y bloqueo rodillo transportador. (4)
- Rodillo aplicador cromado. (5)
- Presor engomado de aplicación. (6)
- Película en fase de aplicación. (7)
- Cilindro neumático de desplazamiento de rodillo transportador. (8)
- Bandeja de recolección de adhesivo. (9)

- Columna o unidad de laminación

La unidad de laminación se muestra en la figura 4. Está compuesta por un rodillo laminador de acero cromado, y por un presor engomado saliente desde dos brazos accionados por un par de cilindros neumáticos. Las dos películas por laminar se hacen pasar por este rodillo laminador, oprimidas por el presor engomado de laminación.

Por medio del adhesivo depositado en unas de las películas en la unidad de aplicación, se hace la unión. Esto se describe en la figura 4.

Figura 4. **Unidad de laminación**



Fuente: Nordmeccanica (2002). *Manual de operación laminadora Simplex SL.*

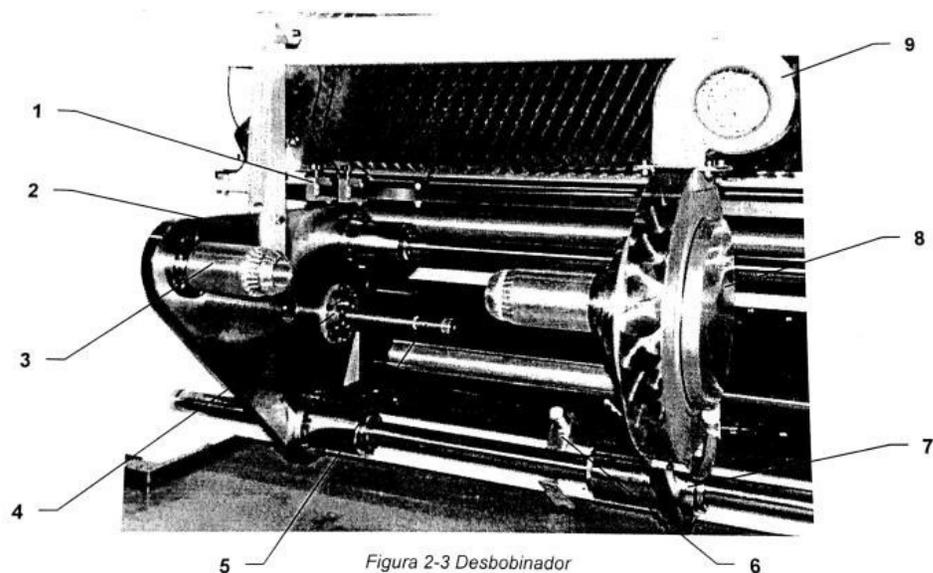
Donde:

- Rodillo laminador cromado. (1)
- Presor engomado de laminación. (2)
- Brazos de accionamiento del presor. (3)
- Cilindros de accionamiento. (4)

Desbobinador A y B

Es una unidad de desenrollado no motorizada, con rotación amortiguada por un freno electromagnético instalado en un eje. Formado por dos placas que portan la bobina, paralelas, montadas por u mangos que se deslizan por dos barras redondas de guía. En la siguiente figura se muestra el desbobinador.

Figura 5. **Desbobinador A y B**



Fuente: Nordmeccanica (2002). *Manual de operación laminadora Simplex SL.*

Donde:

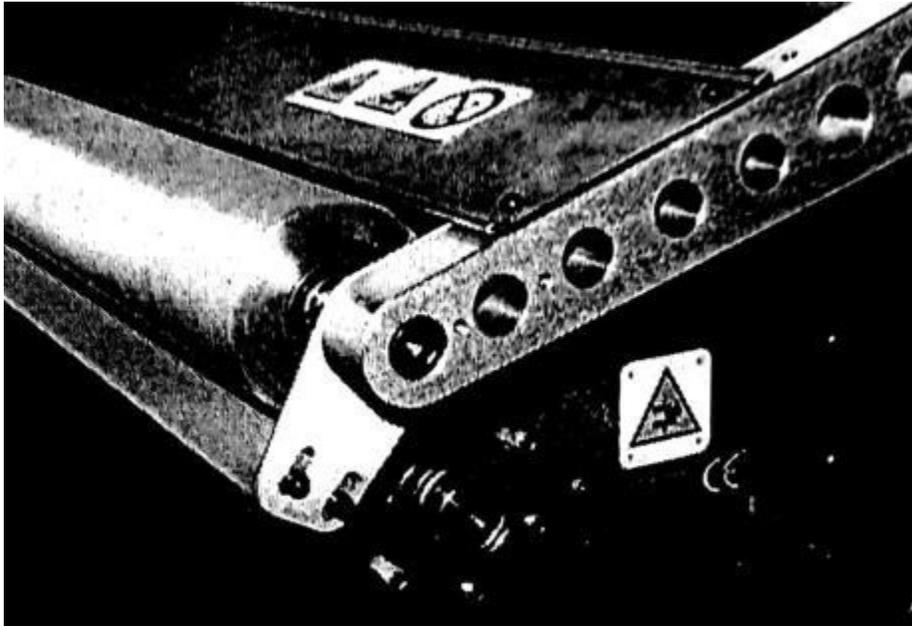
- Interruptor de proximidad del recorrido de desacople. (1)
- Placa principal. (2)
- Cono de agarre de bobina. (3)
- Tuerca de recirculación de esferas. (4)
- Tornillo de traslación. (5)
- Sensor ultrasónico. (6)
- Placa secundaria. (7)
- Freno electromagnético. (8)
- Ventilador de enfriamiento de freno. (9)

Embobinado

La función de la unidad es la de enrollar en forma controlada el producto resultado de la laminación entre la película del desbobinador A y desbobinador B. Su construcción es idéntica a los desbobinadores antes mencionados, pero está equipado con un rodillo presor de compactación; es decir, un rodillo que hace presión sobre la bobina en envolvimiento gracias a dos cilindros neumáticos de doble efecto.

En la siguiente figura se puede ver el rodillo presor de compactación.

Figura 6. **Rodillo presor de compactación**



Fuente: Nordmeccanica (2002). *Manual de operación laminadora Simplex SL.*

Celda de carga

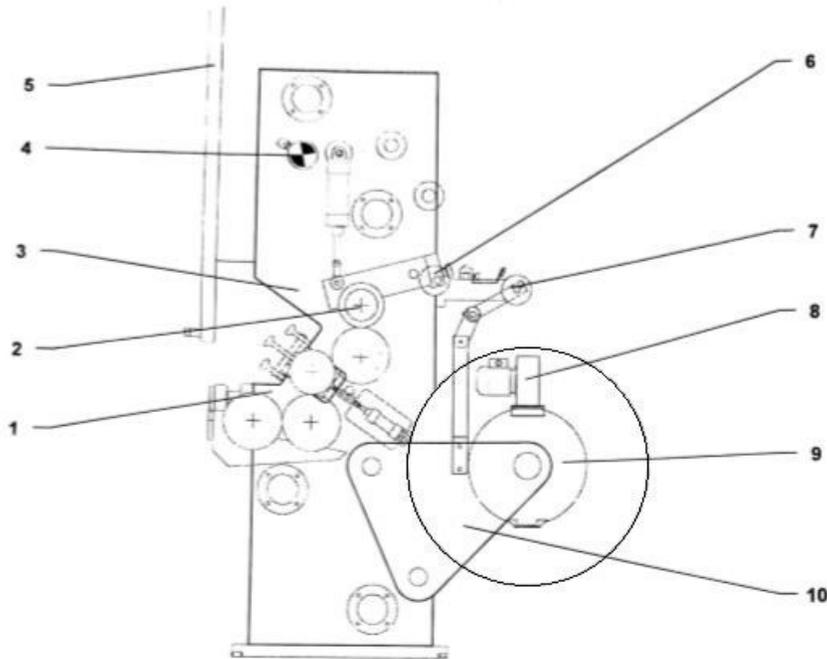
Son transductores electrónicos que tienen como función enviar una señal proporcional a una fuerza, los cuales regulan la tensión de la película que desenrolla. Son introducidas en los soportes de un rodillo libre, sobre el cual se hace pasar la película y se mide la tensión. La tensión de la banda se traduce en una fuerza, es decir, una carga aplicada sobre los soportes de los rodillos. La señal resultante es enviada al PLC de la máquina de forma que se mantenga la tensión de trabajo.

Tratador corona

Este equipo está formado por un generador, conectado a tierra y por una estación de descarga montada cerca de desbobinador. La película es sometida a descargas eléctricas provenientes de este equipo, con la finalidad de aumentar la aspereza de la superficie y mejorar la fijación del adhesivo.

En las figuras 7 y 8 se presenta un esquema de los componentes principales y auxiliares del equipo laminador de forma más general.

Figura 7. **Componentes de la columna de aplicación**

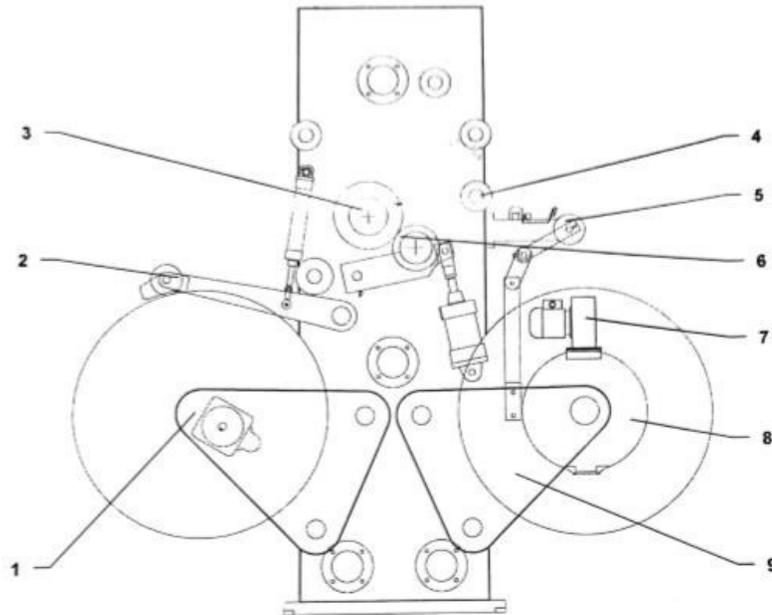


Fuente: Nordmeccanica (2002). *Manual de operación laminadora Simplex SL.*

Donde:

- Unidad de aplicación de adhesivo. (1)
- Rodillo presor engomado de aplicación. (2)
- Campana de aspiración. (3)
- Celda de carga LC1. (4)
- Puerta corrediza. (5)
- Rodillo descentralizable. (6)
- Unidad de alineación de banda. (7)
- Ventilador de enfriamiento del freno. (8)
- Freno electromagnético. (9)
- Desbobinador A. (10)

Figura 8. **Componentes de columna de laminación**



Fuente: Nordmeccanica (2002). *Manual de operación laminadora Simplex SL.*

Donde:

- Rebobinador. (1)
- Rodillo presor de compactador de bobina. (2)
- Calandra de enfriamiento. (3)
- Rodillo descentralizable. (4)
- Unidad de alineación de banda. (5)
- Unidad de laminación. (6)
- Ventilador de enfriamiento del freno. (7)
- Freno electromagnético. (8)
- Desbobinador B. (9)

1.5. Mantenimiento

El mantenimiento es una serie de tareas las cuales son programas para promover la conservación del servicio que suministran los equipos o instalaciones en una empresa. Dentro del amplio tema del mantenimiento, se encuentra los siguientes tipos aplicables dependiendo de las circunstancias. Dounce (2007) define al mantenimiento como los trabajos que son necesarios hacer a un equipo con el propósito de conservar el servicio que proporcionan al proceso industrial.

El objetivo del mantenimiento industrial es asegurar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos con respecto a la función deseada, dando el cumplimiento además de todos los requisitos del sistema. Comúnmente el mantenimiento es asociado a otro concepto totalmente diferente que es reparación, considerándose en la industria como un mal necesario, incapaz de agregar valor a los procesos.

Sin embargo, el mantenimiento ha evolucionado y se han desarrollado técnicas preventivas y predictivas, con el fin de asegurar la competitividad a través del aseguramiento de la confiabilidad de los equipos.

El mantenimiento nace con el desarrollo industrial, y en un principio consistía exclusivamente de reparaciones. Con la implementación de la producción en serie de Ford, se establecieron grupos especiales dedicados al mantenimiento. Con el tiempo, llegando la revolución tecnológica en la industria, se desarrolló un concepto de gestión de la confiabilidad, haciendo uso de herramientas de mantenimiento asistidas por computadora, que facilita la coordinación de la producción y la selección de la estrategia de mantenimiento que se adecue a las necesidades de la organización.

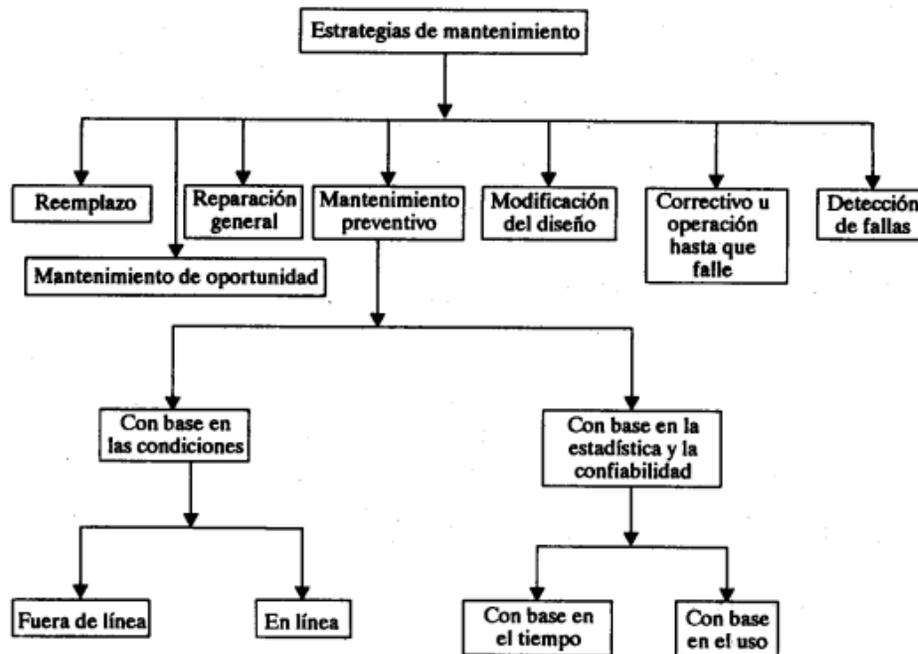
Duffua (2000) define al mantenimiento como una filosofía de una planta la cual se encarga de optimizar la producción y disponibilidad de los equipos sin que se comprometa la seguridad del personal técnico. Para lograr esta filosofía, se deben seguir las siguientes estrategias, con el fin de desempeñar un papel eficaz si se aplican en combinación y forma correctas.

Las estrategias para la filosofía de mantenimiento son las siguientes:

- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento de oportunidades
- Detección de fallas
- Modificación del diseño
- Reparación general
- Reemplazo

La figura 9 muestra de forma gráfica las estrategias de mantenimiento en una planta de producción.

Figura 9. **Estrategias de mantenimiento-industrial**



Fuente: Duffua (2000). *Sistemas de mantenimiento: planeación y control*.

1.5.1. **Mantenimiento correctivo**

Tiene como función corregir aquellas averías o anomalías sistemáticas que se presentan en máquinas o instalaciones, que llega incluso al cambio de material o de diseño con el objeto de suprimirlas.

También, puede definirse como la actividad humana realizada con los recursos de la empresa cuando a consecuencia de una falla imprevista el equipo ha dejado de proporcionar la calidad en el servicio esperada. Según Dounce (2007) el mantenimiento correctivo se divide en:

- Correctivo contingente
- Correctivo programable

El mantenimiento correctivo contingente se refiere a las tareas realizadas de forma inmediata, debido a que el equipo dañado es crítico dentro del proceso productivo. En este caso es necesario dar prioridad al equipo y lograr la recuperación inmediata.

Por otra parte, el mantenimiento correctivo programable son las actividades que se desarrollan en los equipos o máquinas que proporcionan un servicio de criticidad inferior y no es indispensable en el proceso de producción.

1.5.2. Mantenimiento de avería

García (2003) describe al mantenimiento de avería como el tipo de mantenimiento también llamado curativo. Corresponde a la reacción que se produce cuando la máquina o instalación ha dejado de funcionar, con el consiguiente paro en la producción, pero dicha avería se ha previsto ya sea por medios estadísticos o por instrucciones del fabricante; aunque no se ha determinado en el tiempo. En este tipo de mantenimiento, la falla se puede evitar mediante técnicas de ensayos no destructivos, tales como la inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, entre otros.

1.5.3. Mantenimiento preventivo

Se define como aquellas tareas de mantenimiento planificadas, teniendo como función conocer el estado de los equipos e instalaciones para programar las tareas en momentos que no afecten la operación de la línea. Según Tavares (2000), el mantenimiento preventivo puede definirse también como las tareas o rutinas programables con el fin de garantizar la calidad del servicio de los equipos. Las actividades principales dentro del mantenimiento preventivo se pueden mencionar la inspección, reemplazo de partes, limpieza y lubricación.

1.5.4. Mantenimiento predictivo

González (2008) define al mantenimiento predictivo como las tareas y técnicas que se aplican con la finalidad de detectar fallas y discontinuidades en los elementos mecánicos y eléctricos de la maquinaria para evitar que estas ocasionen repentinos, causando un impacto financiero negativo para la empresa. El mantenimiento predictivo permite detectar con anticipación la posible aparición de fallas en los equipos.

En este tipo de mantenimiento, los trabajos a efectuar proceden de un diagnóstico derivado de inspecciones continuas mediante técnicas tales como análisis de vibraciones, termografía y ultrasonido.

1.6. Mantenimiento basado en la confiabilidad

Según Moubray (2007), el mantenimiento basado en la confiabilidad puede definirse como una técnica más dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento en una planta industrial y que presenta ventajas significativas

sobre otras técnicas. Se basa en el análisis profundo para desarrollar un programa eficiente mediante el mantenimiento preventivo.

El objetivo principal del plan de mantenimiento es aumentar la disponibilidad de los equipos y la disminución de costos. Para elaborar un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad, primero es necesario definir los siguientes conceptos que permitan comprender mejor esta técnica.

1.6.1. Confiabilidad

La confiabilidad puede definirse como la probabilidad de que un equipo o sistema productivo funcione correctamente sin fallar, en un determinado lapso. En otras palabras, es la probabilidad de que un equipo funcione. Para el desarrollo de un programa de mantenimiento efectivo es necesario comprender los fenómenos de falla de los equipos a analizar. Las fallas de los equipos son aleatorias por lo que es necesario la aplicación de conceptos y modelos estadísticos que permitan controlar y mejorar la confiabilidad.

Para establecer los intervalos de búsqueda de la falla, se debe tomar en cuenta los siguientes conceptos relacionados con la confiabilidad.

- Tiempo medio entre fallas (MTBF)

Mendoza (2016) define al tiempo medio entre fallas como un indicador el cual permite medir la frecuencia entre las fallas promedio, lo cual lo transforma en una medida de la confiabilidad de las máquinas o equipos. Se calcula con la siguiente expresión:

$$MTBF = \frac{\textit{Tiempo programado} - \textit{Tiempo de paro por averías}}{\textit{Cantidad de fallas}} [2]$$

- Tiempo medio de reparación (MTTR)

Este indicador se calcula con la relación entre el tiempo total en donde el equipo estuvo parado por una falla o el tiempo de inactividad y el número total de fallas. Garrido (2009) define a este indicador como el tiempo promedio restablecer la operación del equipo. Se calcula con la siguiente expresión:

$$MTTR = \frac{\textit{Tiempo de paro por averías}}{\textit{Cantidad de fallas}} [3]$$

1.6.2. Mantenimiento y confiabilidad

Los equipos dentro de una organización deben ser mantenidos o modificados, esto con base en las necesidades de producción de la planta donde operan. Moubray (2001) afirma: “El mantenimiento basado en la confiabilidad puede definirse como “el procedimiento utilizado para determinar qué acción tomar para que un equipo continúe funcionando” (p.34).

El proceso de análisis del sistema a revisar mediante la aplicación del mantenimiento basado en la confiabilidad debe responder a determinadas preguntas. Según Villacrés (2016), las preguntas son:

- ¿Cuáles son las funciones y estándares de desempeño del equipo?
- ¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?
- ¿Qué ocasiona cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre una falla en particular?

- ¿De qué modo es detectada la falla?
- ¿Qué acciones se puede tomar para predecir o prevenir la falla?
- ¿Qué hacer si no puede prevenirse o predecir la falla?

Desde el concepto operacional del mantenimiento basado en la confiabilidad de deben tomar los siguientes factores:

- Factores climáticos
- Normas y reglamentaciones especiales
- Tipo de proceso (continúo o por lotes)
- Redundancia o formas alternativas de producción
- Estándares de calidad
- Estándares medioambientales
- Riesgos a la seguridad
- Límites de uso (elementos mecánicos, eléctricos, entre otros)

1.6.3. Fases para el desarrollo del mantenimiento basado en la confiabilidad

Para implementar el mantenimiento basado en la confiabilidad es necesario definir las fases que ayudarán a recopilar datos y lograr el diseño de plan de mantenimiento. Para realizar el desarrollo del plan de mantenimiento, es necesario seguir una serie de fases de manera de establecer los criterios mínimos para cumplir lo indicado en el mantenimiento basado en la confiabilidad.

Según Villacrés (2016), las fases para lograr desarrollar el mantenimiento basado en la confiabilidad son las siguientes:

- Fase uno: listado de componentes

En esta fase se realiza un estudio de las máquinas o equipos que se analizarán para conocer más a fondo su funcionamiento y componentes. Básicamente lo que se realiza es un inventario físico de los equipos y sus respectivos componentes (mecánicos, eléctricos, neumáticos, instrumentación, entre otros) que interviene en la planta de producción o de la línea en la que se pretende aplicar el mantenimiento basado en la confiabilidad.

- Fase dos: funciones

En esta fase se deben de identificar las funciones de los equipos. Se deben asegurar cual es la función que los usuarios quieren que el equipo cumpla y asegurar que este es capaz de realizar estas funciones.

Los operadores de los equipos son generalmente están en la mejor posición para determinar exactamente que atribuciones operativas hace el equipo. Moubray (2001) sugiere realizar entrevistas al personal operativo de manera de definir y conocer estas atribuciones.

Estas funciones pueden dividirse en dos categorías:

- Funciones primarias: son las funciones por las cuales el equipo fue adquirido. Esta categoría abarca la velocidad, productividad, rendimiento, especificaciones y calidad.
- Funciones secundarias: son las funciones extras que puede realizar el equipo.

- Fase tres: fallas funcionales

Según Villacrés (2016), las funciones del equipo definen los objetivos del mantenimiento y para lograr cumplirlos es necesario la aplicación de un correcto manejo de fallas. Para esto es necesario definir que es una falla y los tipos de falla que pueden ocurrir.

Una falla es aquella que se presenta cuando el equipo no es capaz de realizar la tarea cuando el operador desea que la realice.

La falla puede determinarse, primero, identificándose que circunstancias la generaron y después investigando que situaciones son las que causan que el equipo presente la falla.

Los estados de falla en los equipos son conocidos dentro del concepto del mantenimiento con base en la confiabilidad como fallas funcionales, porque ocurren cuando el equipo es incapaz de cumplir con la función a un nivel de desempeño que es aceptable por el operador.

- Fase cuatro: modos de falla

Es el análisis entre el estado de fallo del equipo (falla funcional) y los eventos o circunstancias que causan los estados del fallo (modos de fallo). Es necesario entender a profundidad que es la falla, antes de definir su causa.

El modo de falla es la posible causa por la cual el equipo entra en un estado de falla. Las fallas funcionales pueden tener uno o más modos de falla.

Al momento de identificar los modos de falla de una máquina, es importante determinar el origen de esta. Esto ayuda a entender el origen de falla, por ejemplo:

- Falta de lubricación
- Desgaste
- Mal montaje

Esto da una idea de por qué ocurre la falla, y definir las acciones para prevenirla. Una herramienta eficaz para esta fase es conocida como FMEA.

El FMEA (por sus siglas en inglés *failure mode effect analysis*) o análisis de modo y efecto de falla es una herramienta simple, versátil y osca que ayuda a identificar las posibles fallas del proceso (Aguilar, Torres y Magaña, 2010).

En el FMEA se le otorga un nivel de prioridad a las fallas dependiendo de los efectos, la frecuencia con la que ocurren y la dificultad con la que pueden localizarse en los equipos. También, documenta los procedimientos existentes y las acciones tomadas en las fallas, esto para lograr una mejora continua en el plan de mantenimiento

Su propósito es eliminar o reducir las fallas, comenzando con aquellos de prioridad alta, utilizando la ponderación RPN (por sus siglas en inglés *risk priority number*).

Esta herramienta busca resolver estas preguntas:

- ¿Qué puede salir mal?
 - ¿Qué pasa si algo sale mal?
 - ¿Cuál es la probabilidad de que suceda?
 - ¿Cuáles serían las consecuencias?
- FMEA por ponderación para el cálculo de RPN

El RPN o número de prioridad de riesgo indica el nivel de severidad, ocurrencia y detección de una falla. Este es calculado como el producto de las tres calificaciones cuantitativas, relacionadas cada una con los efectos, causa y controles. El valor máximo del RPN es de 1000, ya que cada elemento se mide en una escala de 1 a 10, siendo 10 el más alto.

El RPN puede calcularse con la siguiente expresión:

$$RPN = \textit{severidad} * \textit{ocurrencia} * \textit{detección} [4]$$

La tabla III muestra la forma de ponderación de cada nivel, mediante el uso de preguntas correspondientes a cada falla.

Tabla III. **Cálculo de RPN**

Calculo de RPN	Definición	Calificación	
		1 (min)	10 (max)
Severidad	¿Que tan significativo es el impacto de el <i>efecto</i> en el cliente?	Menos significativo	Mas significativo
Ocurrencia	¿Es probable que la causa del modo de falla ocurra?	Probablemente no ocurra	Probablemente ocurra
Detección	¿Es probable que el sistema pueda detectar la causa o el efecto si este ocurre?	Probablemente se detecte	Probablemente no se detecte

Fuente: Moubray (2001). *Mantenimiento centrado en la confiabilidad*.

- Fase cinco: efectos de falla

En esta fase se analizan las consecuencias de los modos de falla que se hayan sido detectados en la fase cuatro. Estos efectos de falla describen lo que sucede cuando se presenta cada modo de falla en el equipo. La descripción debe incluir toda la información necesaria para respaldar la evaluación de las consecuencias de falla.

Esto puede hacerse mediante:

- Evidencias de que la falla ocurrió.
- En qué manera la falla representa una amenaza para el medio ambiente.
- De qué modo afecta la producción y las operaciones de la planta.
- Que debe hacerse para reparar la falla.

- Fase seis: clasificación de las consecuencias de falla

Las consecuencias de las fallas deben categorizarse después de haber sido identificado cada modo de fallo y sus efectos. Las categorías pueden ser:

- Consecuencias de fallas ocultas: Las fallas ocultas son aquellas que no causan un impacto directo, pero son propensas a generar problemas serios y frecuentemente catastróficos.
- Consecuencias de medio ambiente y seguridad: una falla puede generar consecuencias para la seguridad si esta puede causar algún daño o causar la muerte al momento de ocurrir. En el caso de generar consecuencias medioambientales, si al ocurrir la falla ocasiona efectos nocivos para el ambiente de trabajo, alrededores, entre otros.
- Consecuencias operacionales: son las fallas que afectan directamente la operación de la planta (productividad, calidad, servicio al cliente y costos).
- Consecuencias no operacionales: fallas que no tienen consecuencia en las anteriores clasificaciones.

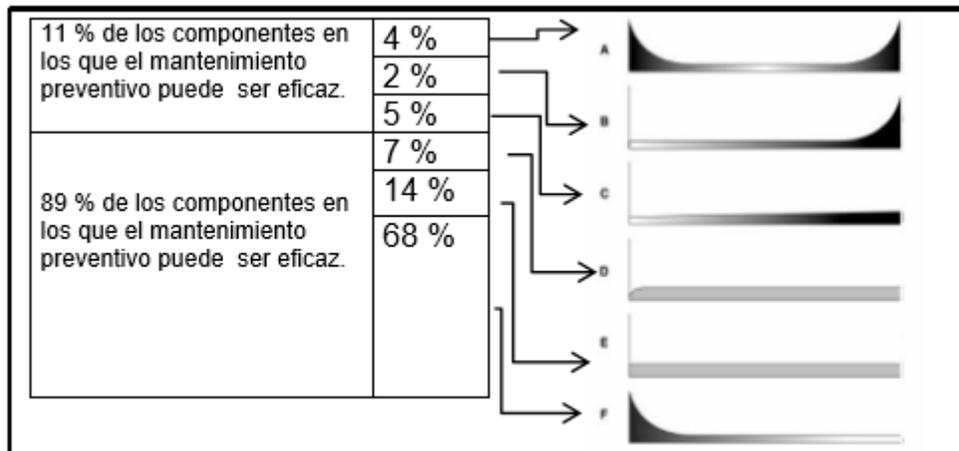
También, estas consecuencias pueden clasificarse en criticidad y nivel de probabilidad de ocurrencia.

- Fase siete: política de manejo de fallas

En esta fase debe tomarse en cuenta que la probabilidad de los modos de falla aumentará con el tiempo y que la probabilidad condicional de otras no cambiará con el paso de tiempo.

La figura 10 representa una curva característica de las fallas.

Figura 10. **Curva característica de fallas**



Fuente: Moubray (2001). *Mantenimiento centrado en la confiabilidad*.

Cada patrón representa la probabilidad de falla en el tiempo. Las fallas con los patrones A, B y C, representan el 11 % de los componentes de máquina en los cuales el mantenimiento preventivo puede o ha sido eficaz. Los patrones D, E y F representan el 89 % de los componentes en los cuales el mantenimiento preventivo puede o ha sido eficaz.

Moubray (2001) define cada uno de los patrones como:

- Patrón A: falla que puede ocurrir al poco tiempo de ser puesta en marcha la máquina y al superar la vida útil de la misma.

- Patrón B: es la representación gráfica del desgaste. Muestra un incremento pronunciado de la falla a través del tiempo.
 - Patrón C: muestra un incremento proporcional de la falla a través del tiempo.
 - Patrón D: muestra un comportamiento constante al ser al ser superada la etapa inicial de aumento de probabilidad de falla.
 - Patrón E: muestra un patrón de falla aleatorio.
 - Patrón F: muestra un patrón de falla con alta probabilidad al poner en marcha el equipo seguido de un comportamiento constante a través del tiempo.
- Fase ocho: tareas programadas

Son las tareas que se toman bajo la condición del equipo que debe cumplir con identificar la falla funcional. Debe existir un periodo de desarrollo de la falla, el periodo de la tarea debe ser menor al del periodo de la falla y debe ser físicamente posible realizar las tareas en el menor tiempo.

Existen tres categorías principales acerca de técnicas basadas en condición:

- Variación de calidad del producto: el defecto de un producto producido por determinada máquina está relacionado al modo de falla de esta.

- Monitoreo de efectos primarios: los efectos primarios o variables tales como la velocidad, temperatura, presión, flujo, potencia y corriente, son otras fuentes que se puede tomar como indicadores de la condición del equipo. Estos efectos pueden ser monitoreados por una persona mediante un indicador, computadora o instrumento como parte de sistema de control de procesos.
 - Monitoreo de condición: son técnicas para detectar o predecir fallas potenciales mediante los sentidos huma (técnica VOSO) y equipo especializado (termografía, análisis de vibración, ultrasonido, entre otros).
- Fase nueve: cambio de especificaciones

Las tareas especificadas en esta fase pueden ser de diversas categorías y debe tomar en cuenta los factores económicos y operacionales. Algunas de estas tareas pueden ser: modificar la instalación, planes de mantenimiento preventivo elaborados, medidas para minimizar fallos y correcta supervisión.

- Fase diez: un programa de por vida

En esta fase se debe tomar en cuenta que muchos datos usados en el análisis inicial son imprecisos y los más precisos son disponibles en el tiempo. También, la forma en que la máquina es operada junto a las expectativas del desempeño cambiara con el tiempo.

- Fase once: puesta en marcha de las medidas

El plan de mantenimiento debe ponerse en marcha para que los resultados sean observables y lograr una mejora continua al mantener una supervisión constante. También, es recomendable realizar auditorías periódicas del plan de mantenimiento basado en la confiabilidad para su correcto seguimiento y control.

1.6.4. Beneficios del mantenimiento basado en confiabilidad en la planta de empaque flexible

Según Moubray (2001), lograr la implementación del mantenimiento basado en la confiabilidad ayudará a la organización a tener máquinas más confiables, reducir costos, mejorar la calidad del producto y cumplir con las normas de seguridad industrial. También, genera un mejor entendimiento entre las áreas de mantenimiento y operaciones.

En el caso de la planta de empaque flexible, donde se enfoca este trabajo de graduación, se espera que los beneficios sean principalmente la disponibilidad de la línea de laminación; con esto se espera que mejore el ritmo de producción de la línea, la capacidad de la planta en entregar producto terminado, mejorar en entregas a clientes y también en la condición de infraestructura y funcionamiento de los equipos laminadores.

1.7. Disponibilidad

La disponibilidad es uno de los objetivos principales del mantenimiento basado en la confiabilidad. Garrido (2009) lo define como la confianza de que un equipo o sistema productivo que se le realizó un mantenimiento ejerza su función satisfactoriamente durante un tiempo determinado.

La disponibilidad es representada por un porcentaje del tiempo en el que el equipo o sistema está listo para operar o producir.

El diseño de una máquina debe buscar el equilibrio entre la disponibilidad y el costo. El fabricante puede alterar los niveles de disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad para reducir el costo total del ciclo de vida del equipo.

El cálculo de la disponibilidad de un equipo puede expresarse matemáticamente con la siguiente expresión:

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} [5]$$

Garrido (2009) indica que existen plantas las cuales están configuradas en líneas de producción, en las que la falla en una máquina corresponde a la paralización de la línea, por lo que se puede calcular la disponibilidad por máquina y después calcular la media aritmética.

En plantas donde los equipos no están configurados por líneas de producción, deben clasificarse en equipos significativos y no significativos. Esto se debe a que calcular la disponibilidad de todos los equipos es laborioso y no aportará información valiosa.

Por lo que, del total de los equipos de la planta, debemos escoger aquellos que representan importancia dentro del sistema productivo.

Una vez obtenida la disponibilidad de cada uno de los equipos significativos, debe calcularse la media aritmética para obtener la disponibilidad total de la planta.

$$\text{Disponibilidad de la línea} = \frac{\sum \text{Disponibilidad de equipos de la línea}}{\text{Cantidad de equipos en la línea}} \quad [6]$$

1.7.1. Variables que influyen en la disponibilidad

El indicador de disponibilidad es uno de los más manejables que existe, debido a la facilidad de cálculo y su interpretación. Las variables que influyen en el indicador de disponibilidad y las cuales debemos atacar para mejorar este indicador son:

- Tiempo total de operación
- Tiempo total de paro
- Frecuencia de fallas
- Tiempo en reanudar el servicio

Esto quiere decir, que es necesario reducir el tiempo que el equipo pasa parado por fallas que necesiten ser atendidas por el personal de mantenimiento, en otras palabras, se debe aumentar el tiempo que el equipo pasa produciendo. Esto logrará mejorar este indicador significativamente. También, es importante atacar las fallas frecuentes y agilizar los tiempos de reparación del equipo.

Para reducir el tiempo de reparación o mantenimiento, es necesario el mantenimiento basado en la confiabilidad, de manera de eliminar de una vez por todas las fallas recurrentes, mediante el planteamiento de acciones correctivas y preventivas, al realizar su respectivo análisis.

1.7.2. Mantenimiento basado en la confiabilidad como herramienta de mejora de la disponibilidad

En el mantenimiento basado en la confiabilidad se busca aumentar el tiempo y la forma en que los equipos prestan el servicio para el cual fueron creados.

Es decir, busca aumentar el tiempo en el cual la maquina operar funcionando correctamente. Esto lo logra mediante la identificación de los diferentes sistemas de los equipos, y con base en las fallas que se han presentado en dichos sistemas, se realiza el análisis de los modos de fallo o en otras palabras, las causas que generaron la falla.

Después se analiza los efectos de dichos modos de falla, para comprender cuál es el impacto dentro de la línea de producción y por último, se crean tareas o medidas preventivas para eliminar o disminuir estos modos de fallos. Los modos de fallo al ser disminuidos por el mantenimiento basado en la confiabilidad aumentarán el tiempo efectivo del equipo a analizar y por lo tanto el indicador de disponibilidad de la línea se ve afectado positivamente. Esto logra beneficios adicionales como aumento de la producción y mejorar en tiempos de entrega de los productos.

1.7.3. Beneficios de la mejora disponibilidad en la planta de empaque flexible

Los beneficios que se obtiene al medir y mejorar el indicador de disponibilidad en una línea o planta de producción son principalmente el monitoreo del proceso para lograr el mejoramiento continuo, al implementar un seguimiento estricto en cada variable o situación en el proceso productivo.

También, se aumenta el tiempo efectivo dentro de la línea de producción, mejorando productividad y agilizar los tiempos de entrega de los pedidos.

La medición de este indicador ayudará no solo a detectar oportunidades de mejora, sino además para la implementación de acciones correctivas y preventivas.

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente capítulo, se da a conocer el desarrollo de la investigación. Se da a conocer la situación del mantenimiento previa a la aplicación del mantenimiento basado en la confiabilidad.

2.1. Información general de la empresa

La investigación se centra en una planta de fabricación de empaques flexibles, la cual centraliza sus operaciones en la fabricación de empaques para la industria farmacéutica y agrícola. Dentro del proceso de producción de empaques flexibles, existe el área de laminación, la cual consiste en dos máquinas laminadoras, que comparten las mismas características operativas, funcionales y componentes entre sí, tales como la columna de aplicación, columna de laminación y el mezclador de adhesivo.

Se pretende que con el estudio se obtengan la implementación del mantenimiento basado en la confiabilidad, aumento del tiempo efectivo de los equipos y aumentar la disponibilidad de la línea de producción.

A continuación, se presentan los aspectos referentes a la planta en estudio: ubicación, misión, visión, organización, productos y el Departamento de Mantenimiento de la planta.

2.1.1. Ubicación

La planta de empaque flexible se encuentra en la ciudad de Guatemala. Inició sus operaciones en 1975, produciendo empaques litográficos para la industria alimenticia y farmacéutica. Poco tiempo después, amplió su mercado incursionando en el mercado de empaques flexibles, enfocándose en el sector alimenticio y desde el año 2017, en el mercado agrícola.

2.1.2. Misión

Proveer soluciones de empaque mediante tecnología de punta y la colaboración de un equipo humano competente y comprometido, generando beneficios para los clientes, inversionistas y colaboradores manteniendo un compromiso con el medio ambiente.

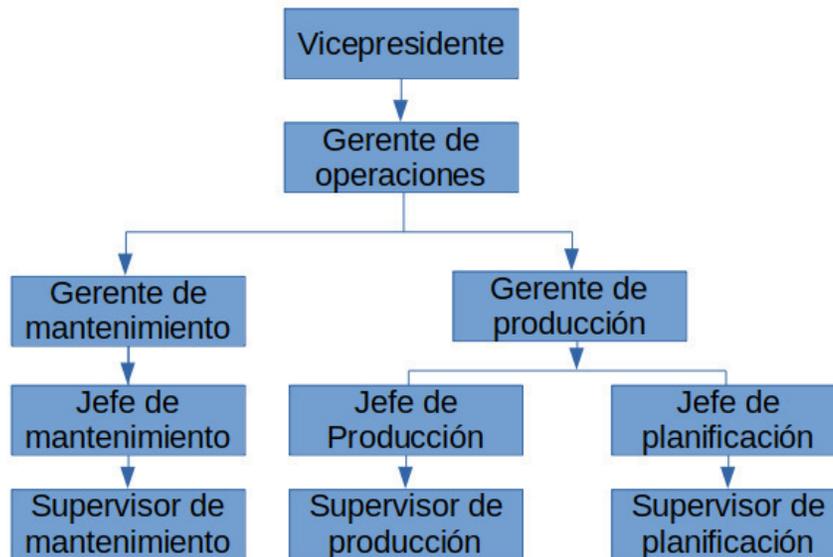
2.1.3. Visión

Ser el proveedor de empaques más confiable e innovador teniendo en cuenta una participación dominante en el mercado nacional e internacional.

2.1.4. Organización

A continuación, se muestra el esquema organizacional de la planta de empaque flexible de forma gráfica.

Figura 11. Organigrama



Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la figura anterior, la estructura organizacional de la planta de empaque flexible está liderada por el vicepresidente de empaques, quien es el encargado de liderar la manufactura de empaques en la corporación. El gerente de operaciones lidera a los departamentos de producción y mantenimiento, con el fin de lograr los objetivos organizacionales. Ambos gerentes lideran el departamento que les corresponde, el cual es administrado por un jefe y apoyado por supervisores.

El organigrama del Departamento de Mantenimiento será descrito a más detalle en la sección 2.1.6.

2.1.5. Productos

La planta de empaque flexible se dedica a la fabricación de empaques para las industrias alimenticias, bebidas y agrícolas. Cuenta con una variedad de productos que poseen las características específicas para satisfacer las necesidades del cliente. Estos productos son desarrollados para garantizar el transporte, la protección y la visualización del producto al consumidor final.

Los productos son los siguientes:

- Etiquetas.
- Papel sándwich wrap y margarine wrap.
- Etiquetas termoencogibles.
- Empaque para snacks.
- Bolsas *Stand pouch*, *pouch* 3 sellos, sello lateral, sello fondo y fondo cuadrado.
- Material termoencogible.

2.1.6. Departamento de Mantenimiento

El Departamento de Mantenimiento está bajo la dirección de la gerencia de operaciones, cuya función es de proveer el servicio en mantener a los equipos funcionando de manera óptima sin afectar la productividad de la planta. El personal de mantenimiento se encarga de atender dos plantas, en temas de reparaciones y mantenimientos preventivos y en donde una de ellas es la planta de empaque flexible.

El Departamento de Mantenimiento está dividido en dos áreas: una mecánica y la otra eléctrica; en las que existe una distribución de técnicos mecánicos y electricistas, los cuales se encargan de realizar las tareas indicadas en ordenes de trabajo, las cuales son colocadas por el personal de producción.

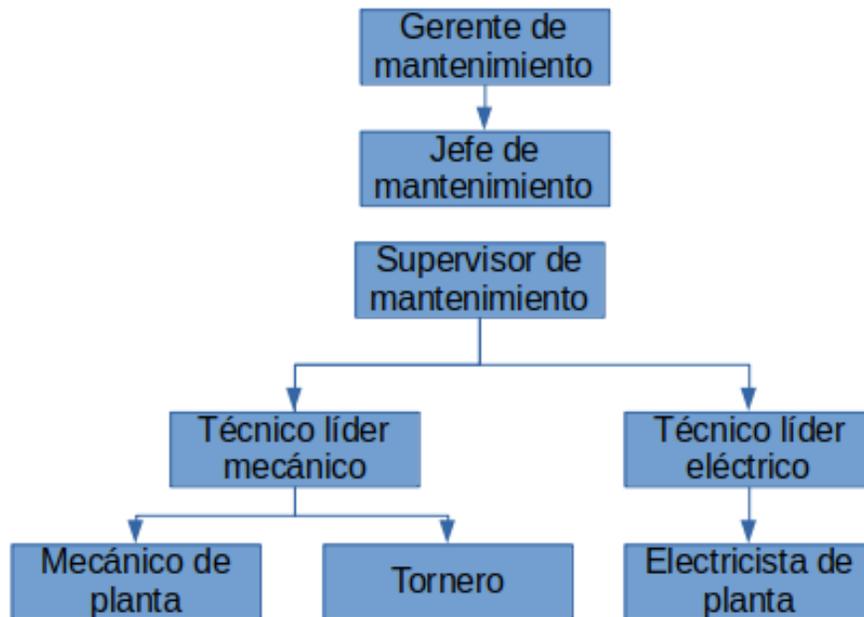
La estructura del Departamento de Mantenimiento es tipo centralizada y su organización está liderada por el gerente de mantenimiento, quién es el encargado de liderar, controlar y coordinar las actividades de mantenimiento de la planta de empaque flexible. Después se encuentra el jefe de mantenimiento, quien se encargar de liderar al equipo de mantenimiento en mantener el servicio de los equipos de la planta.

Los supervisores de mantenimiento se encargan de velar que las tareas sean ejecutadas de la manera correcta y planificar las tareas en conjunto con planificación y producción. Los técnicos líderes son los encargados de dirigir a la tripulación de mecánicos y electricistas para ejecutar las tareas de mantenimiento a los equipos. Sin embargo, es notable que la experiencia de los técnicos de mantenimiento no es aprovechada en elaboración de las tareas de mantenimiento de la planta. Esta información se obtuvo del portal documental del departamento de recursos huma de la planta de empaque flexible.

Los mandos medios y altos no realizan un análisis en encontrar una solución definitiva a las fallas recurrentes en los equipos laminadores, lo que genera la mala práctica de utilizar el mantenimiento correctivo a pesar de tener un plan de mantenimiento preventivo para cada equipo, el cual solo se limita a realizar las tareas sugeridas por el fabricante.

La estructura del Departamento de Mantenimiento se representa gráficamente en la figura 12.

Figura 12. **Organigrama del Departamento de Mantenimiento**



Fuente: elaboración propia.

2.2. Línea de laminación

La línea de laminación de la planta de empaque flexible es una de las áreas que forman el proceso de fabricación de empaques. La línea de laminación se dedica a unir los materiales impresos o no impresos con otros mediante el uso de un adhesivo. Esto con el fin de elaborar un empaque que cumpla con los requerimientos de resistencia mecánica, resistencia a la humedad y resistencia a los rayos UV.

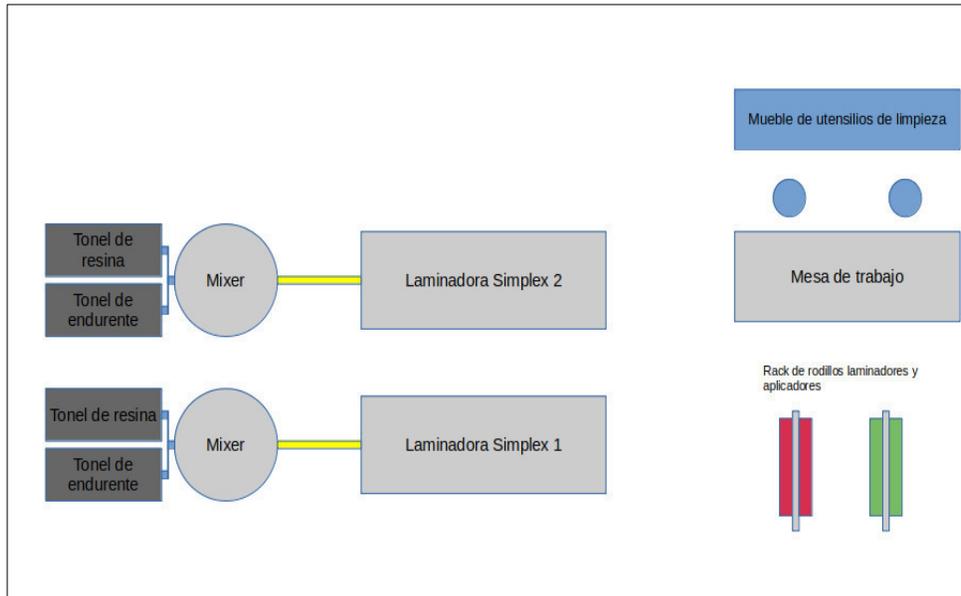
La línea de laminación cuenta con dos laminadoras Simplex SL, las cuales son necesarias para cumplir la demanda mensual de empaques de la planta.

Para que la línea pueda operar con efectividad son necesarios los siguientes recursos:

- Recurso humano: 2 operadores y 1 auxiliar por turno.
- Recurso material: material impreso o no impreso, material a laminar, adhesivo, solvente.
- Recursos complementarios: energía eléctrica, aire comprimido, agua de enfriamiento y aceite regulador de temperatura.

La información anterior fue obtenida del instructivo de laminación de la planta de empaque flexible. A continuación, se presenta un esquema de cómo está formada la línea de laminación, el cual se realizó mediante la observación del investigador.

Figura 13. **Esquema de la línea de laminación**



Fuente: elaboración propia.

2.3. Descripción del proceso de laminación

El proceso de laminación en la unión de dos o más películas flexibles (derivadas de polímeros) mediante un adhesivo formado por resina y endurente. El adhesivo es aplicado en una película y mediante presión por el rodillo laminador es unido a la otra película formando así la nueva estructura con mejores propiedades.

La laminación utilizada en la planta de empaque flexible es la laminación en seco. La laminación en seco es aquel proceso en el cual el adhesivo es secado antes de laminar y no es empleado solvente en la composición de este. El adhesivo es aplicado en uno de los sustratos, mediante el rodillo aplicador en y es secado al unirse al otro sustrato en la unidad de laminación.

La fuerza de laminación es alcanzada en el proceso de laminación mediante la presión y temperatura ejercida por el rodillo laminador.

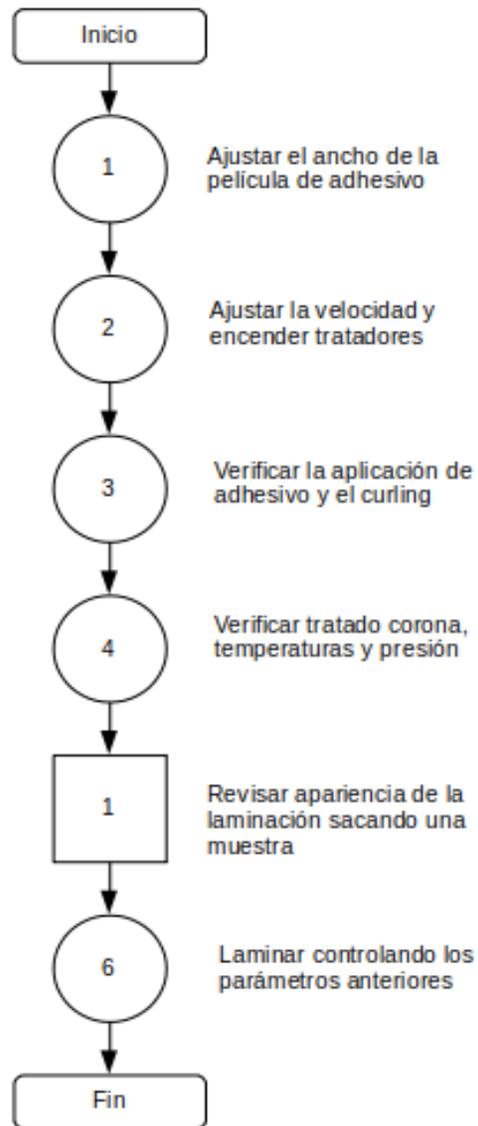
Es importante que se utilice el gramaje adecuado de adhesivo y que la cantidad sea controlada por el operador para evitar inconformidades en la laminación. Algunos problemas pueden ser que las películas se delaminen por falta de adhesivo o se peguen la bobina al ser enrollada en embobinador por exceso de adhesivo, el cual por la presión ejercida es expulsado al ancho de la película laminada, ocasionando que el rollo quede pegado.

También, es importante el control de la temperatura, tensión y presión durante el proceso de laminación de empaques flexibles. En el caso de la temperatura, esta debe ser controlada y regulada por los termorreguladores, ya que permite que el adhesivo permanezca en una viscosidad idónea de trabajo (rodillos dosificadores y aplicador) y que permita el pegado de ambas películas (rodillo laminador).

Se debe trabajar a una tensión que no ocasione estiramiento del material ni problemas de *curling*. Por otra parte, es necesario controlar la presión de trabajo en la unidad de aplicación (rodillo aplicador) y en la unidad de laminación (rodillo laminador) de manera de lograr una adhesión óptima y evitar problemas de delaminación o porosidad en la impresión del empaque.

El proceso de laminación puede ser visualizado mejor mediante el siguiente diagrama de flujo de operaciones, el cual se presenta en la figura 14.

Figura 14. Diagrama de flujo del proceso de laminación



Fuente: elaboración propia.

2.4. Laminadoras Simplex SL

La planta de empaque flexible cuenta con dos laminadoras Simplex SL 1300, del fabricante italiano Nordmeccanica. Estas máquinas son capaces de producir hasta 4,000 kg de material laminado cada una por turno. Estas máquinas están diseñadas para suplir la demanda mensual de producción de la planta, por lo que es necesario mantenerlas operando de manera óptima. El diseño de las laminadoras Simplex SL 1300 se muestra en la figura 15.

Figura 15. Laminadora simplex SL 1300



Fuente: Nordmeccanica (2008). *Laminadoras para empaques flexibles*. Consultado el 07 de octubre de 2019. Recuperado de <https://www.nordmeccanica.com>.

2.4.1. Especificaciones del equipo

Las especificaciones de la maquinaria se detallan a continuación. Es importante recalcar que las dos máquinas a analizar comparten las mismas especificaciones. La siguiente información se extrajo del manual del fabricante Nordmeccanica para el modelo de máquina Simplex SL 1300.

- Ancho máximo: 1330 mm.
- Diámetro máximo de bobinas: 850 mm.
- Tensión máxima de banda: 250 N (embobinado), 200 N (desbobinado).
- Tensión mínima de banda: 40 N (embobinado), 20 N (desbobinado).
- Peso máximo de bobinas: 800 kg.
- Velocidad máxima: 350 m/min (esta velocidad depende de la calidad, tipo de material y del tipo de adhesivo).

2.4.2. Situación de los equipos

Para reflejar la situación en la que operan los equipos laminadores, se utilizó un *check list* (anexo 3). El *check list* fue diseñado para observar y estudiar la condición de los equipos desde el punto de vista del mantenimiento. Según *check list* empleado como herramienta de recolección de datos, se recolectó información pertinente haciendo referencia a lo siguiente:

- Condición de componentes: se refiere a si el observador notó que algún componente presenta problemas de desgaste, corrosión, fracturas o suciedad.
- Funcionamiento: se refiere a si algún elemento de la máquina está funcionando de manera correcta y de la forma para lo cual fue construida.

- Fugas: abarca lo referente a fugas en los sistemas de enfriamiento, sistemas neumáticos, pérdidas de presión, aumento de temperatura y correcto funcionamiento de actuadores como los cilindros neumáticos.

Esta herramienta se usó todos los lunes, durante el periodo del mes de julio al mes de agosto, siendo en total 12 observaciones, en donde se colocó la cantidad de veces que se encontró una inconformidad en la sección del equipo analizado. A continuación, la tabla IV muestra un resumen de las no conformidades observadas en los 3 meses.

Tabla IV. **Resumen de aspectos a mejorar en equipos laminadores**

Sección de las máquinas	No. veces que se observo no conformidad	% de fallo
Columna de aplicación		
La campana de aspiración funciona correctamente	12	6.63%
La unidad de aplicación de adhesivo esta en buenas condiciones	12	6.63%
Rodillo presor engomado en buenas condiciones	12	6.63%
La unidad de alineación de banda funciona correctamente	8	4.42%
Columna de laminación		
La unidad de laminación funciona correctamente	8	4.42%
El freno electromagnético funciona correctamente	9	4.97%
Sistema neumático		
Fugas	12	6.63%
Actuadores accionan correctamente	10	5.52%
Mandos funcionan correctamente	10	5.52%
Presión adecuada (6-10 bar)	9	4.97%
Sistema eléctrico		
Centralinas funcionan adecuadamente	8	4.42%
Mixer		
Sensores de nivel funcionan correctamente	10	5.52%

Fuente: elaboración propia.

En la tabla anterior se determina que el 66.28 % de las observaciones realizadas en la línea de laminación de empaque flexible, son condiciones no conformes que pueden ser deficiencias en los aspectos de condición, funcionamiento y fugas. En el caso de las fugas en el sistema neumático, las malas condiciones en la unidad de aplicación, rodillo presor engomado y en el rodillo descentralizable corresponden a los valores más altos en no conformidades de condición del equipo.

Estos valores indican que las máquinas tienen oportunidad de mejora en su condición, las cuales serán analizadas y propuestas en el plan de mantenimiento basado en la confiabilidad.

2.5. Disponibilidad de la línea

La disponibilidad es un indicador el cuál no indica el porcentaje de tiempo en el que el equipo funcionó correctamente. La línea de laminación de empaque flexible tiene programado un tiempo de producción de 528 horas al mes (este tiempo varía dependiendo de la carga de producción). Sin embargo, no todo este tiempo se mantiene operando, por lo que se necesita el valor del tiempo de paro en determinado periodo para calcular la disponibilidad de la línea.

A continuación, se muestra un resumen del tiempo de paro de los últimos 3 meses en la línea de laminación.

Tabla V. **Resumen de tiempos de paro en la línea de laminación**

Tiempos de junio-agosto 2019			
Máquina	Total tiempo efectivo	Total tiempo de paro	Cantidad de fallas
Simplex 1	745.5	190.5	78.0
Simplex 2	792.5	143.5	65.0
Total	1538.0	334.0	143.0

Fuente: elaboración propia.

De la tabla anterior, se concluye que ambas máquinas poseen tiempos de paro elevados en comparación con el tiempo efectivo de producción, el cual es ocasionado por las fallas que se presentan en los equipos y en la mala gestión del mantenimiento preventivo.

Tomar en cuenta que el mantenimiento se enfocará solamente en los tiempos de paro, ya que el tiempo de proceso son paros por ajustes operativos y no por fallas mecánicas. Ahora se procede a calcular los indicadores de mantenimiento para cada una de las líneas, sustituyendo los valores de la tabla VII en las fórmulas 2, 3, 4 y 5.

Cálculo de MTBF: aplicando la fórmula 2, se obtiene:

$$MTBF(SIMPLEX 1) = \frac{936 \text{ hrs} - 190.5 \text{ hrs}}{78 \text{ fallas}} = \frac{9.55 \text{ hrs}}{\text{fallas}}$$

$$MTBF(SIMPLEX 2) = \frac{936 \text{ hrs} - 143.5 \text{ hrs}}{65 \text{ fallas}} = \frac{12.19 \text{ hrs}}{\text{falla}}$$

El indicador MTBF indica el tiempo promedio que el equipo funciona antes que se presente una falla, en este caso se ve que la Simplex 2 funciona 12.19 horas antes de que se presente una falla.

Cálculo de MTTR: aplicado la fórmula 3, se obtiene:

$$MTTR(SIMPLEX 1) = \frac{190.5 \text{ hrs}}{78 \text{ fallas}} = \frac{2.44 \text{ hrs}}{\text{falla}}$$

$$MTTR(SIMPLEX 2) = \frac{143.5 \text{ hrs}}{65 \text{ fallas}} = \frac{2.20 \text{ hrs}}{\text{falla}}$$

El indicador MTTR indica el tiempo promedio que dura la reparación de una falla después que se presenta. En este caso, Simplex 1 posee un tiempo medio de reparación más alto.

Disponibilidad: aplicando la fórmula 4, se obtiene.

$$\text{Disponibilidad Simplex 1} = \frac{9.55}{9.55 + 2.44} * 100 \% = 79.64 \%$$

$$\text{Disponibilidad Simplex 2} = \frac{12.19}{12.19 + 2.20} * 100 \% = 84.71 \%$$

El indicador de disponibilidad indica el porcentaje de tiempo en el cual la máquina operó correctamente del tiempo que fue programada. En este caso, se puede interpretar que la Simplex 2, fue el equipo que permaneció tiempo parada.

Disponibilidad de la línea: aplicando la fórmula 5, se obtiene:

$$\text{Disponibilidad de la línea} = \frac{79.64 \% + 84.71 \%}{2 \text{ laminadoras}} = 82.17 \%$$

Este valor indica que la línea de laminación de empaque flexible, en los últimos 3 meses, estuvo funcionando correctamente un 82.17 % del tiempo total programado. El valor indica la situación de la línea, siendo el valor abajo de 90 % un valor preocupante.

Esto indica que es necesario establecer medidas correctivas para elevar este valor, mediante la reducción de los tiempos de paro generados por fallas recurrentes e imprevistas. Para ello, es necesario el diseño de un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad.

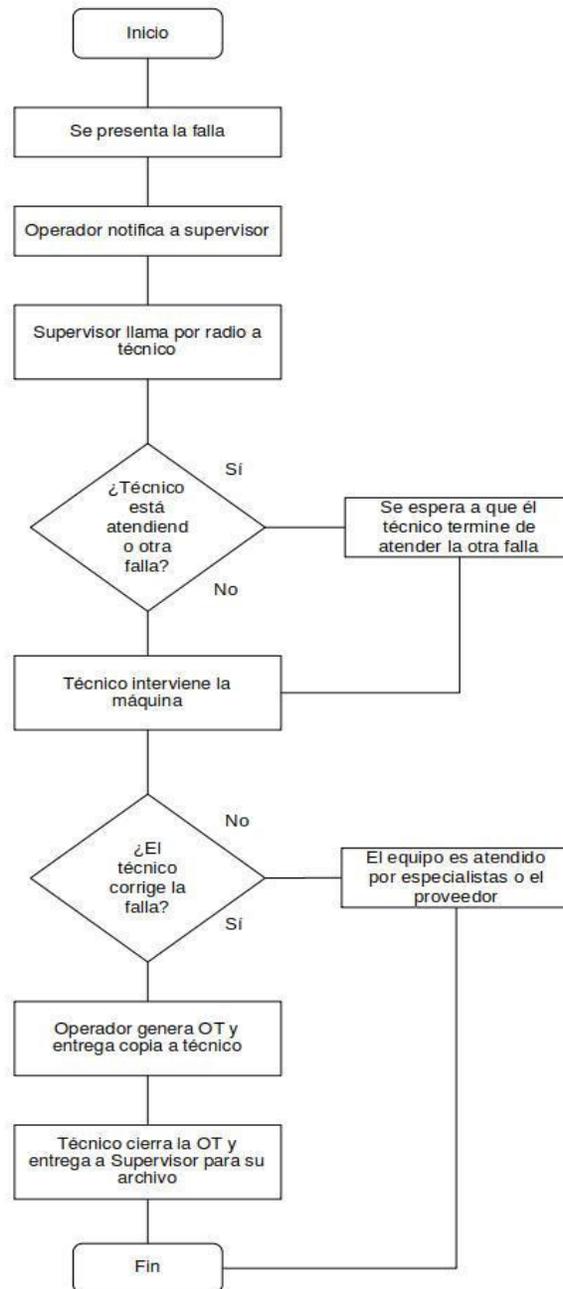
2.6. Mantenimiento correctivo en la planta

En la planta de empaque flexible, este tipo de mantenimiento es uno de los más recurrentes en la línea de laminación, a pesar de que cada máquina posee su plan de mantenimiento preventivo. Esto indica la ineficiencia del mantenimiento y que es necesario encontrar una solución a la problemática. El mantenimiento correctivo es trabajado de la siguiente manera por parte del departamento de producción y mantenimiento de la planta de empaque flexible.

Al solicitar apoyo por radio al personal de mantenimiento, al ocurrir una falla imprevista en el equipo que genere un tiempo de paro mayor a 5 minutos. Esta solicitud de apoyo es realizada por el supervisor de producción de turno. El personal operativo genera una orden de trabajo la cual es entregada al personal de mantenimiento para el seguimiento a la falla, la cual es cerrada hasta el momento que la fallas es corregida y el equipo opere en las condiciones normales.

A continuación, en la figura 16 se muestra un diagrama de flujo que muestra el procedimiento para el mantenimiento correctivo en la planta de empaque flexible.

Figura 16. Diagrama de flujo para mantenimiento correctivo



Fuente: elaboración propia.

2.7. Mantenimiento preventivo de la línea

El mantenimiento preventivo es trabajado en la planta de empaque flexible con una frecuencia de cada 15 días en cada máquina laminadora. El tiempo total de mantenimiento son 12 horas, en las cuales los técnicos de turno deben completar las tareas especificadas en el plan de mantenimiento preventivo. Sin embargo, el plan de mantenimiento está basado únicamente a lo que el fabricante sugiere, no hay tareas que se hayan modificado según las necesidades de las máquinas, experiencia de los técnicos o un análisis de fallas establecido.

Esto se ve reflejado en la cantidad de tiempo de paro y en la disponibilidad de la línea de laminación. A continuación, en la tabla VI se muestra un ejemplo de una rutina de mantenimiento semanal para una laminadora.

La información se recolecto mediante la revisión del software usado por el departamento de mantenimiento, en donde están descritas todas las rutinas de mantenimiento preventivo para los diferentes equipos de la planta de empaque flexible.

Tabla VI. **Rutina de mantenimiento preventivo semanal Simplex 1**

No. de tarea	Descripción de la tarea
1	Sustitución de filtros de acrílico en campana de aspiración
2	Lubricación de guías de las placas portabobinas
3	Lubricación de tornillo sin fin de traslación de placa
4	Inspección de junta articulada de rodillo transportador
5	Verificar desgaste en rodillo presor
6	Verificar desgaste en rodillo engomador
7	Verificar desgaste en rodillo laminador
8	Verificar tensión de faja
9	Verificar tensión de faja
10	Verificar tensión de faja
11	Inspección de funcionamiento
12	Lubricación de rodamientos
13	Inspección de nivel de aceite
14	Limpieza de tablero eléctrico
15	Verificar funcionamiento de sensores de nivel de adhesivo

Fuente: elaboración propia.

2.8. Análisis FODA del mantenimiento

Un FODA, como sus siglas lo indican, es una herramienta que analiza las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de un proceso, departamento u organización. El análisis FODA permitirá realizar un análisis al Departamento de Mantenimiento de la planta de empaque flexible, en donde se determinarán las estrategias que ayuden a trabajar en las amenazas y debilidades del departamento. Esto se realiza con el fin de determinar la problemática a investigar desde la perspectiva del departamento de mantenimiento.

A continuación, se detalla el análisis FODA que se realizó en la gestión del Departamento de Mantenimiento de la planta de empaque flexible, para determinar las estrategias que ayudarán a solucionar el problema a investigar.

Tabla VII. **Análisis FODA del mantenimiento**

Debilidades		Fortalezas	
Mala gestión del mantenimiento		Personal técnico competente	
Poco personal		Atención rápida a trabajos	
Rutinas mal estructuradas		Buena organización	
Elevados tiempos de reparación		Buena comunicación	
Falta de capacitación		Buen stock de repuestos	
Amenazas		Oportunidades	
Personal tercerizado mejor preparado		Mejorar la gestión del mantenimiento	
Recorte de personal		Personal con actitud de mejorar	
Reestructuración del departamento		Conocimientos técnicos adecuados	

Fuente: elaboración propia.

Del análisis FODA descrito en la tabla anterior, se puede formular las siguientes estrategias.

- FO: lograr una buena gestión del mantenimiento de la planta mediante el diseño de un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad para la línea de laminación de empaque flexible.
- DO: reestructuración y modificación de las rutinas del plan de mantenimiento preventivo con la ayuda del conocimiento del personal técnico.

- FA: prevenir que la gerencia contrate a personal subcontratado demostrando la capacidad del Departamento de Mantenimiento en la resolución de las fallas en la línea de laminación.
- DA: mantener la cantidad de personal para evitar costos de mano de obra que eviten la reestructuración del departamento.

3. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

En el presente capítulo se describe la propuesta de solución para el problema investigado. Se muestran las etapas para el diseño del plan de mantenimiento basado en la confiabilidad partiendo del análisis de fallas de los equipos de la línea de laminación, hasta el desarrollo de cada etapa, finalizando con la puesta en marcha del plan.

3.1. Historial de fallas de los equipos

El historial de fallas (ver anexo 4 es una base de datos controlada por el Departamento de Mantenimiento de la planta de empaque flexible, en donde son ingresados los datos de las ordenes de trabajo que fueron colocadas por el personal de producción para atender una falla o reparación emergente en cualquiera de las máquinas de la planta.

El historial de fallas es un documento en donde se recolecta la información de la falla presentada, como la fecha que se presentó, el turno, máquina, operador, elemento o componente de la máquina que sufrió el daño, descripción de la falla y el tiempo de paro ocasionado por la falla. El historial fue proporcionado al investigador, de los meses de junio a agosto para realizar los siguientes análisis.

3.2. Factores críticos del mantenimiento preventivo

Analizando la figura anterior, se puede concluir los factores críticos que posee el plan de mantenimiento preventivo, los cuales ocasionan los problemas de disponibilidad de los equipos laminadores por la recurrencia de fallas.

Se concluye que estos factores son:

- Falta de involucramiento del personal técnico en crear las rutinas
- Las rutinas están creadas a partir de manual del fabricante
- No se toman en cuenta las condiciones de operación de la maquinaria
- No se realiza un análisis de fallas recurrentes en los equipos
- No se clasifican las rutinas para fallas funcionales y no funcionales
- No hay rutinas que prevengan los modos y efectos de falla recurrentes

Con base en los factores anteriores, se ve la necesidad de diseñar un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad que ayude a eliminar estos factores que generen las fallas recurrentes de los equipos laminadores y así, mejorar la disponibilidad de la línea de producción.

3.3. Fallas recurrentes

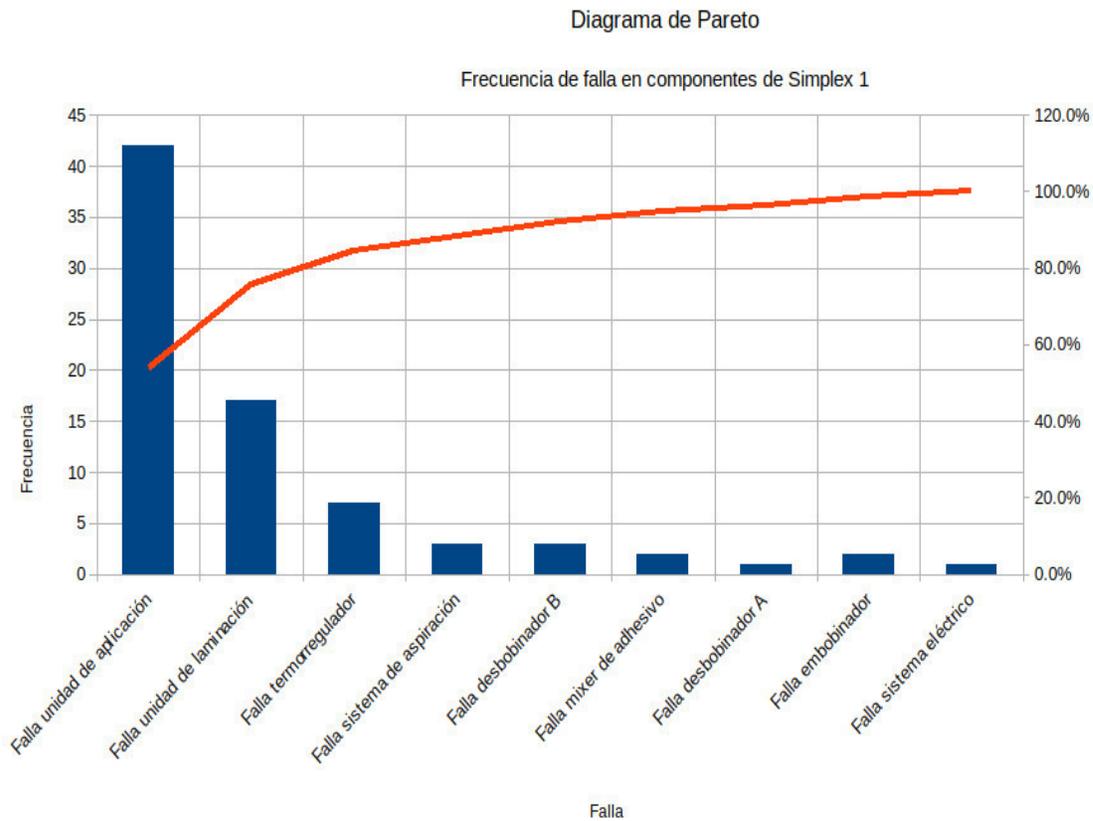
Las fallas recurrentes son aquellas que se presentaron en los equipos en varias ocasiones en un periodo determinado de tiempo. En este caso, se analizarán las fallas recurrentes en el periodo de junio a agosto del año 2019. Dicha información se obtuvo del historial de fallas controlado por el Departamento de Mantenimiento de la planta de empaque flexible.

Los datos de fallas recurrentes en el periodo descrito serán tabulados para determinar la concurrencia de éstas y analizarlas mediante histogramas y diagramas de Pareto.

A continuación, en las siguientes figuras se presentan los diagramas de Pareto en los cuales se representan los componentes de los equipos con más fallas recurrentes en el periodo establecido y en donde se debe orientar el plan de mantenimiento basado en la confiabilidad para aumentar la disponibilidad de la línea.

Se decidió generalizar cada falla recurrente por sistema o componente de la máquina donde ocurrió, para la facilidad en el manejo de datos; sin embargo, en los anexos 5 y 6 se muestra el diagrama de Pareto por cada falla recurrente de ambas máquinas.

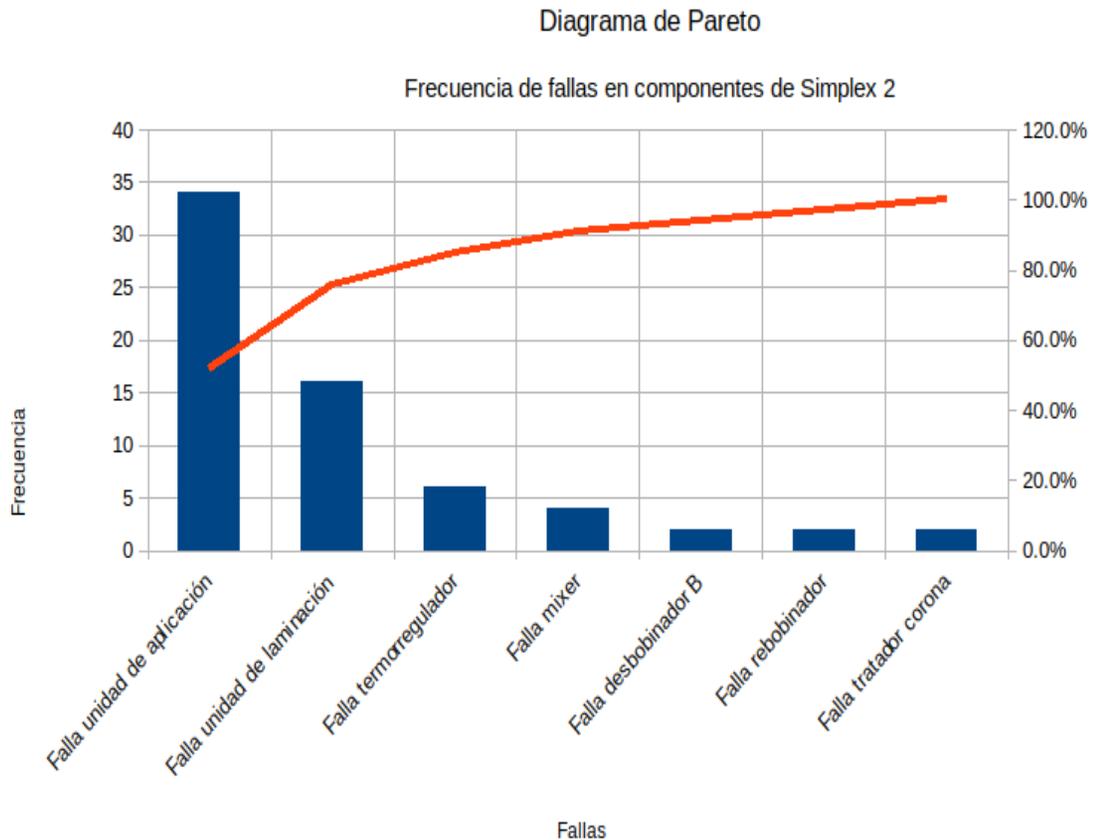
Figura 17. Componentes de Simplex 1 recurrentes en fallar



Fuente: elaboración propia.

Interpretando el gráfico anterior, se concluye que el 80 % de los fallos recurrentes que ocasionan tiempos de paro elevados en Simplex 1, provienen de los sistemas de laminación y aplicación. Por lo tanto, es aquí donde se debe enfocar el plan de mantenimiento basado en la confiabilidad.

Figura 18. Componentes de Simplex 2 recurrentes en fallar



Fuente: elaboración propia.

Del gráfico anterior se concluye que en Simplex 2 el 80 % de los tiempos de paro que afectan a disponibilidad del equipo corresponden a las fallas presentadas en la unidad de aplicación y laminación.

Por lo tanto, es necesario enfocar el plan de mantenimiento basado en la confiabilidad en reducir las fallas de estos dos sistemas de los equipos laminadores para reducir los tiempos de paro y mejorar la disponibilidad total de la línea.

3.4. Plan de mantenimiento basado en la confiabilidad

El mantenimiento basado en la confiabilidad se basa en seguir un proceso de forma sistemática con el fin de asegurar que los equipos de una planta sigan operando de la forma para lo cual fueron creados. Para desarrollar el plan de mantenimiento basado en la confiabilidad en la línea de laminación de empaque flexible se deben seguir las siguientes fases que ayudan a la recopilación de datos para su diseño.

El mantenimiento basado en la confiabilidad se centra en definir qué tipo de elementos físicos existen en una planta, y decidir cuáles deben de estar sujetos a mantenimiento centrado en la confiabilidad.

A continuación, se describe cada una de las fases aplicadas a los equipos laminadores, las cuales se encuentran basadas en la teoría presentada en el marco teórico.

3.4.1. Listado de componentes

En esta fase da inicio al diseño del plan de mantenimiento basado en la confiabilidad. Se enlistan sus componentes principales para conocer más a profundidad el funcionamiento de los equipos laminadores y de sus componentes. Tomar en cuenta que se hará referencia a los componentes de un solo equipo ya que ambos comparten los mismos.

El listado de componentes se presenta en la siguiente tabla.

Tabla VIII. **Listado de componentes de laminadoras**

Eléctricos	Mecánicos
PLC siemens	Rodillo presor engomado
Celdas de carga	Campana de aspiración
Motores AC asíncronos	Rodillo descentralizable
Motores servoventilados	Ventilador de enfriamiento de freno
Interruptor de proximidad inductivos	Freno electromagnético
Sensores ultrasónicos	Rodillo presor de compactación
Estación de descarga de tratador corona	Calandra de enfriamiento
Sensores reflectivo	Placas portabobinas
Sensor inductivo	Tornillo de traslación
Armario eléctrico	Conos para soporte de bobina
Electroválvulas	Caja reductora epicicloidal
Central de termorregulación de rodillos	Correas dentadas
Panel de control de máquina	Rodillo aplicador
Panel de control de mixer	Rodillo dosificador
	Rodillo transportador engomado
	Cilindros neumáticos de doble efecto
	Rodillo laminador cromado
	Rodillo presor engomado laminador
	Unidades de mantenimiento

Fuente: elaboración propia.

3.4.2. **Funciones del sistema**

En esta fase se presentan las funciones de cada sistema de los equipos laminadores. Para que cada sistema del equipo cumpla su función, los componentes o subsistemas en los cuales se dividen deben cumplir con la suya. Para ello, es necesario listar las funciones de cada uno de los sistemas de los equipos laminadores, los cuales se detallan a continuación.

Sistema de aplicación de adhesivo: sección de la máquina en donde es dosificado y aplicado el adhesivo a uno de los sustratos a laminar. Ver figura 19.

Figura 19. **Sistema de aplicación de adhesivo**



Fuente: elaboración propia.

Sistema de laminación: sección de la máquina en donde mediante presión de rodillos se une los dos sustratos laminados. Ver figura 20.

Figura 20. **Sistema de laminación**



Fuente: elaboración propia.

Sistema eléctrico: sistema que alimenta los componentes electrónicos, tales como motores, electroválvulas, mandos, entre otros. Ver figura 21.

Figura 21. **Sistema eléctrico**



Fuente: elaboración propia.

Sistema de mezclado de adhesivo: sistema que mezcla y dosifica la proporción adecuada de resina y endurente para formar el adhesivo. Ver figura 22.

Figura 22. **Sistema de mezclado de adhesivo**



Fuente: elaboración propia.

Sistema de embobinado y desbobinado: sistema giratorio en donde se desbobinan los sustratos a laminar y se embobina el nuevo sustrato laminado. Ver figura 23.

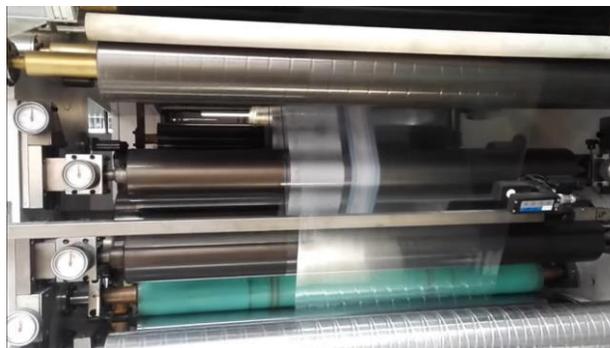
Figura 23. **Sistema de embobinado y desbobinado**



Fuente: elaboración propia.

Sistema de alineación de banda: sistema que se encarga de mantener alineados los sustratos en el proceso de laminación. Ver figura 24.

Figura 24. **Sistema de alineación de banda**



Fuente: elaboración propia.

Sistema de regulación de temperatura: sistema que proporcionar la temperatura de trabajo a los rodillos para la correcta laminación. Ver figura 25.

Figura 25. **Sistema de regulación de temperatura**



Fuente: Nordmeccanica (2010). *Sistemas auxiliares para equipos laminadores*. Consultado el 12 de octubre de 2019. Recuperado de <https://www.nordmeccanica.com>.

Sistema neumático: sistema que proporciona la energía necesaria a los actuadores mediante aire comprimido. Ver figura 26.

Figura 26. **Sistema de neumático**



Fuente: elaboración propia.

Los sistemas de aplicación y laminación de los equipos serán los que se analizarán con base en cada una de las fases del mantenimiento basado en la confiabilidad, ya que las fallas en estos sistemas representan el 80 % del total de los problemas que afectan la disponibilidad, por lo que es necesario centrar el análisis y acciones en estos sistemas.

3.4.3. Fallas funcionales

Es necesario recordar que una falla es la condición en la cual un equipo o un sistema no permiten realizar la función que el usuario desea. Por eso es necesario la correcta determinación de las funciones de cada sistema. Por lo tanto, se define que un fallo funcional es aquel que al presentarse no permite que el equipo realice su función total o parcialmente.

Al tener definidas las funciones de cada sistema de los equipos laminadores, es necesario clasificar las fallas que se han presentado en un periodo determinado, si son funcionales o no. En las tablas VIII y IX se detallan las fallas funcionales en los sistemas de aplicación y laminación para cada uno de los equipos laminadores.

Tabla IX. **Fallas funcionales en Simplex 1**

Descripción de la falla	Sistema	Falla funcional
Falla en sensor de nivel	Unidad de aplicación	Sí
Falla en motor de rodillo dosificador	Unidad de aplicación	Sí
Calandra de enfriamiento no enfría	Unidad de laminación	Sí
Falla en motor de rodillo transportador	Unidad de aplicación	Sí
Problema de presor en rodillo laminador	Unidad de laminación	Sí
Cambio de cojinete de rodillo presor	Unidad de aplicación	No
Fuga de bandeja de recolección de adhesivo	Unidad de aplicación	No
Falla cilindro neumático de rodillo presor	Unidad de aplicación	Sí
Problemas de transferencia de adhesivo	Unidad de laminación	Sí
Rodillo aplicador en mal estado	Unidad de laminación	Sí
Rodillo laminador no presiona	Unidad de laminación	Sí
Cambio de cojinete de rodillo presor	Unidad de laminación	No
Cambio de cojinete en rodillo engomador	Unidad de aplicación	No
Problemas en celda carga	Unidad de aplicación	Sí
Cambio de cilindro neumático de rodillo presor	Unidad de aplicación	Sí
Falla en motor de rodillo laminador	Unidad de laminación	Sí
Falla en electroválvula de rodillo presor	Unidad de laminación	Sí

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. **Fallas funcionales en Simplex 2**

Descripción de la falla	Sistema	Falla funcional
Falla en sensor de nivel	Unidad de aplicación	Sí
Falla en motor de rodillo dosificador	Unidad de aplicación	Sí
Calandra de enfriamiento no enfría	Unidad de laminación	Sí
Falla en motor de rodillo transportador	Unidad de aplicación	Sí
Falla en tratador corona	Unidad de laminación	No
Falla en motor rodillo aplicador	Unidad de aplicación	Sí
Problema en sensor de alineación de banda	Unidad de laminación	No
Problema de temperatura en rodillo laminador	Unidad de laminación	Sí
Alineación de rodillo laminador	Unidad de laminación	Sí
Problema de presor en rodillo laminador	Unidad de laminación	Sí
Cambio de cojinete de rodillo presor	Unidad de aplicación	No
Fuga de bandeja de recolección de adhesivo	Unidad de aplicación	No
Falla cilindro neumático de rodillo presor	Unidad de aplicación	Sí
Problemas de transferencia de adhesivo	Unidad de laminación	Sí
Rodillo aplicador en mal estado	Unidad de laminación	Sí
Rodillo laminador no presiona	Unidad de laminación	Sí
Problemas en celda carga	Unidad de aplicación	Sí
Cambio de cilindro neumático de rodillo presor	Unidad de aplicación	Sí
Falla en motor de rodillo laminador	Unidad de laminación	Sí
Falla en electroválvula de rodillo presor	Unidad de laminación	Sí

Fuente: elaboración propia.

Las tablas anteriores describen cuales son las fallas que representan el paro total o parcial de la función de la unidad de laminación y la unidad de aplicación de los equipos laminadores. Estas fallas son importantes de identificar ya que son las causantes de que los equipos laminadores produzcan o no. Por lo tanto, se deberán analizar los modos y los efectos de fallos de cada una de las fallas funcionales.

3.4.4. Modos y efectos de fallo

El próximo paso es determinar los modos de fallo. Los modos de fallo pueden definirse como las causas las cuales generan los fallos en los equipos. Es necesario definir a las fallas como las consecuencias y es importante identificar sus causas, para posteriormente analizar la gravedad de la consecuencia, la probabilidad de que se produzca y la facilidad para su detección. Con esto se determinarán las medidas preventivas para evitar que se produzcan los fallos.

Por otra parte, los efectos de fallo es todo aquello que puede suceder si se manifiesta el modo de fallo. En otras palabras, los modos de fallos son las causas y los efectos de fallo son las consecuencias de la falla presentada en el equipo.

Las herramientas que resultan útiles para determinar los modos de fallos son el análisis de modo y efecto de falla (FMEA) para cada uno de los equipos a analizar.

- Análisis de modos y efectos de falla (FMEA)

El análisis de modos y efectos de falla (FMEA), es un procedimiento el cual permite identificar fallas en sistemas de equipos, así como evaluar y clasificar de manera objetiva sus efectos, causas y elementos de identificación para evitar su ocurrencia y crear un método de prevención. A continuación, se muestra en las siguientes tablas, la aplicación de FMEA para cada una de las fallas funcionales de los equipos laminadores.

Tabla XI. FMEA aplicado a unidad de aplicación Simplex 1

Sistema: Unidad de aplicación			
Función	Falla funcional	Modo de falla (causa)	Efecto de falla (que sucede cuando falla)
Sección de la máquina en donde es dosificado y aplicado el adhesivo a uno de los sustratos a laminar	Falla en sensor de nivel unidad de aplicación	1. Falta de limpieza	Sensor incapaz de detectar el nivel de adhesivo, no activando la alarma de nivel bajo, por lo que la película puede despegarse por falta de adhesivo.
		2. Sensor dañado	
		3. Mala conexión del sensor	
	Falla en el motor de rodillo transportador, dosificador y aplicador	1. Falta de limpieza	Rodillos móviles no realizan correctamente su función por lo que la unidad no aplicará el adhesivo correctamente generando problemas de laminación
		2. Sobrecalentamiento	
		3. Sobrecarga en el motor	
		4. Falta de mantenimiento	
	Problema en cilindro neumático de rodillo presor de aplicación	1. Fuga en cilindro	Cilindro no genera la presión suficiente para lograr la correcta aplicación de adhesivo, generando producto no conforme.
		2. Presión insuficiente	
		3. Fugas en la línea de aire comprimido	
		4. Falta en electroválvula	
	Problema con celda de carga	1. Celda de carga dañada	Problemas de regulación de tensión en la película, generando reventones o problemas de <i>curling</i> .
	Rodillo aplicador en mal estado	1. Falta de limpieza	Rodillo no aplica uniformemente la película de adhesivo generando problemas de laminación
		2. Mal uso del rodillo	
		3. Falta de mantenimiento (torneado)	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. FMEA aplicado a unidad de aplicación Simplex 2

Máquina: Simplex 2			
Sistema: Unidad de aplicación			
Función	Falla funcional	Modo de falla (causa)	Efecto de falla (que sucede cuando falla)
Sección de la máquina en donde es dosificado y aplicado el adhesivo a uno de los sustratos a laminar	Falla en sensor de nivel unidad de aplicación	1. Falta de limpieza	Sensor incapaz de detectar el nivel de adhesivo, no activando la alarma de nivel bajo, por lo que la película puede despegarse por falta de adhesivo.
		2. Sensor dañado	
		3. Mala conexión del sensor	
	Falla en el motor de rodillo transportador, dosificador y aplicador	1. Falta de limpieza	Rodillos móviles no realizan correctamente su función por lo que la unidad no aplicará el adhesivo correctamente generando problemas de laminación
		2. Sobrecalentamiento	
		3. Sobrecarga en el motor	
		4. Falta de mantenimiento	
	Problema en cilindro neumático de rodillo presor de aplicación	1. Fuga en cilindro	Cilindro no genera la presión suficiente para lograr la correcta aplicación de adhesivo, generando producto no conforme.
		2. Presión insuficiente	
		3. Fugas en la línea de aire comprimido	
		4. Falta en electroválvula	
	Problema con celda de carga	1. Celda de carga dañada	Problemas de regulación de tensión en la película, generando reventones o problemas de <i>curling</i> .
Problemas de transferencia de adhesivo	1. Rodillo aplicador dañado	Adhesivo no es capaz de ser transferido adecuadamente a la película, generando problemas de laminado.	
	2. Adhesivo con viscosidad inadecuada		
	3. Nivel de adhesivo insuficiente		
Rodillo aplicador en mal estado	1. Falta de limpieza	Rodillo no aplica uniformemente la película de adhesivo generando problemas de laminación	
	2. Mal uso del rodillo		
	3. Falta de mantenimiento (torneado)		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **FMEA aplicado a unidad de laminación Simplex 1**

Máquina: Simplex 1				
Sistema: Unidad de laminación				
Función	Falla funcional	Modo de falla (causa)	Efecto de falla (que sucede cuando falla)	
Sección de la máquina en donde mediante presión de rodillos se une los dos sustratos laminados.	Calandra de enfriamiento no enfría	1. Problemas en sistema de enfriamiento	Problemas de sobrecalentamiento en el rodillo laminar, generando problemas de laminación y deformación del rodillo	
		2. Fugas en agua de refrigeración		
	Problema de presión de rodillo presor laminador		1. Fuga en cilindro	Presión insuficiente al laminar provocando delaminación en el producto final
			2. Presión insuficiente	
			3. Fugas en la línea de aire comprimido	
			4. Falla en electroválvula	
	Falla en el motor de rodillo laminador		1. Falta de limpieza	Rodillos móviles no realizan correctamente su función por lo que la unidad no aplicará el adhesivo correctamente generando problemas de laminación
			2. Sobrecalentamiento	
			3. Sobrecarga en el motor	
			4. Falta de mantenimiento	
Falla en electroválvula de rodillo presor de laminación		1. Electroválvula con fuga	Problemas en el accionamiento del rodillo laminador	
		2. Mala conexión de electroválvula		
Problema de temperatura en rodillo laminador		1. Falta en termorregulador	Problemas de delaminación	
Reemplazo de correo de transmisión de motor de rodillo laminador		1. Correa llego a su vida útil	No hay transmisión en rodillo laminador	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **FMEA aplicado a unidad de laminación Simplex 2**

Máquina: Simplex 2			
Sistema: Unidad de laminación			
Función	Falla funcional	Modo de falla (causa)	Efecto de falla (que sucede cuando falla)
Sección de la máquina en donde mediante presión de rodillos se une los dos sustratos laminados.	Rodillo de laminación desalineado	1. Rodamientos malos	Problemas de laminación en el producto final, por falta de presión a lo ancho de la película
		2. Excentricidad del rodillo mala	
	Problema de presión de rodillo presor laminador	1. Fuga en cilindro	Presión insuficiente al laminar provocando delaminación en el producto final
		2. Presión insuficiente	
		3. Fugas en la línea de aire comprimido	
		4. Falla en electroválvula	
	Falla en el motor de rodillo laminador	1. Falta de limpieza	Rodillos móviles no realizan correctamente su función por lo que la unidad no aplicará el adhesivo correctamente generando problemas de laminación
		2. Sobrecalentamiento	
		3. Sobrecarga en el motor	
		4. Falta de mantenimiento	
Falla en electroválvula de rodillo presor de laminación	1. Electroválvula con fuga	2. Mala conexión de electroválvula	Problemas en el accionamiento del rodillo laminador
Problema de temperatura en rodillo laminador	1. Falla en termorregulador	Problemas de delaminación	

Fuente: elaboración propia.

Las tablas anteriores muestran el análisis de modos y efectos de las fallas funcionales de cada sistema que presentó las fallas más recurrentes en el periodo analizado. Los modos de fallo son las causas que generan la aparición de los fallos funcionales en los sistemas importantes de la máquina. Por otra parte, los efectos de falla son las consecuencias del modo de falla.

Es importante recordar que estas fallas son las más recurrentes en los equipos, por lo que su eliminación logrará la mejora de la disponibilidad de la línea de laminación de empaque flexible.

3.4.5. Clasificación de modos de falla

Las consecuencias deben ser categorizadas después de haber sido identificados cada modo de fallo y sus efectos. En este paso del proceso es necesario evaluar las consecuencias de cada modo de fallo ya establecido para los equipos laminadores y la probabilidad de que esas ocurran.

Al momento de contestar la pregunta en la sección de los efectos de falla, es necesario valorar cada consecuencia para la seguridad personal, el medio ambiente la productividad y para los costos de mantenimiento. Cada una de estas valoraciones debe clasificarse en leve, grave o muy grave. Una vez las consecuencias de falla son valoradas, es necesario identificar la probabilidad de falla en muy improbable, probable y altamente probable.

La clasificación de las consecuencias de las fallas puede ser con base en la tabla XV.

Tabla XV. **Clasificación de consecuencias de modos de fallo**

Consecuencia de falla		
Seguridad	No hay daños personales	Leve
	Hay daños personales leves	Grave
	Hay daños personales considerables	Muy grave
Ambiente	No hay daños en el ambiente	Leve
	Hay daños de ambiente leves	Grave
	Hay daños de ambiente considerables	Muy grave
Producción	No hay interrupción de producción	Leve
	Se interrumpen actividades por cierto tiempo	Grave
	Se interrumpe la producción por un tiempo prolongado	Muy grave
Costos	Avería de bajo costo	Leve
	Avería de costo elevado	Grave
	Avería de muy alto costo	Muy grave

Fuente: elaboración propia.

3.4.6. Tareas preventivas

Una vez determinados y clasificados los modos de fallos de cada uno de los sistemas de los equipos laminadores de la planta de empaque flexible, la fase siguiente es el diseño de las medidas preventivas que serán programadas para evitar los fallos o bien minimizar sus efectos. La selección de las tareas se realizó de acuerdo con la criticidad y las consecuencias de cada falla.

Al seleccionar las tareas, se tomó en consideración las siguientes recomendaciones:

- La efectividad de la tarea debe minimizar o evitar los efectos de la falla.
- La tarea debe disponer del recurso humano idóneo y las herramientas necesarias.
- La tarea no debe ser complicada y ejecutable.

Las tareas de mantenimiento seleccionadas se basaron en parte por las recomendaciones del fabricante, fueron complementadas por los conocimientos técnicos del personal de mantenimiento (ver anexo 2) y el conocimiento operativo (ver anexo 1) del personal de producción. Las tareas de mantenimiento son descritas en las tablas XV y XVI.

Tabla XVI. Tareas preventivas modos de fallo Simplex 1

Sistema	Modo de falla (causa)	Tarea preventiva	Periodicidad
Unidad de aplicación	Falta de limpieza	Limpieza de rodillos dosificadores, transportadores y aplicadores	Diario
		Limpieza profunda del sistema de aplicación	Quincenal
	Sensor dañado	Reemplazo de sensor de nivel	Semestral
	Mala conexión del sensor	Revisión de conexiones de sensor	Semanal
		Reemplazo de conexiones dañadas	Mensual
	Sobrecalentamiento de motor	Limpieza de ventilador de motores eléctricos	Semanal
		Lubricación de rodamientos	Semanal
		Cambio de rodamientos	Semestral
	Sobrecarga en el motor	Inspección de alineación	Semanal
		Lubricación de chumaceras	Semanal
	Fuga en cilindro	Inspección de fugas en cilindros neumáticos	Diaria
		Reemplazo de mangueras y racores	Mensual
		Reemplazo de cilindro neumático	Semestral
	Presión insuficiente	Inspección de fugas en línea de aire comprimido	Diaria
	Fugas en la línea de aire comprimido	Reemplazo de mangueras neumáticas dañadas	Semestral
Problemas en sistema de enfriamiento	Revisión de fugas en sistema de enfriamiento	Diaria	
Fugas en agua de refrigeración	Cambio de elementos con fuga en sistema de refrigeración	Semestral	
Unidad de laminación	Fuga en cilindro	Inspección de fugas en cilindros neumáticos	Diaria
	Fugas en agua de refrigeración	Reemplazo de cilindro neumático	Semestral
	Presión insuficiente Fugas en la línea de aire comprimido	Inspección de fugas en línea de aire comprimido	Diaria
		Reemplazo de mangueras neumáticas dañadas	Semestral
	Falla en electroválvula	Cambio de electroválvula	Anual
	Falta de limpieza	Limpieza de rodillos laminadores y presor engomado	Diaria
	Falla en electroválvula	Limpieza profunda del sistema de laminación	Mensual

Continuación de la tabla XV.

Unidad de laminación	Sobrecalentamiento de motores eléctricos	Limpieza de ventilador de motores eléctricos	Semanal
		Cambio de rodamientos	Semestral
		Lubricación de rodamientos	Semanal
	Sobrecarga en motores eléctricos	Inspección de alineación	Semanal
		Lubricación de chumaceras	Semanal
	Electroválvula con fuga	Cambio de electroválvula	Anual
		Revisión de empaques en electroválvula	Diaria
	Mala conexión de electroválvula	Revisión de conexión de electroválvula	Semanal
		Reemplazo de racores y mangueras neumáticas	Mensual
	Falla en termorregulador	Cambio de aceite en termorregulador	Semestral
		Cambio de sensores de temperatura	Anual
		Inspección de fugas en el sistema	Diario

Fuente: elaboración propia.

La tabla anterior define las tareas preventivas necesarias para eliminar los modos y efectos de las fallas recurrentes en Simplex 1, como también la frecuencia o periodicidad de ejecución. Es importante el seguimiento al cumplimiento de las tareas, de manera de garantizar los beneficios de plan de mantenimiento basado en la confiabilidad.

Tabla XVII. Tareas preventivas modos de fallo Simplex 2

Sistema	Modo de falla (causa)	Tarea preventiva	Periodicidad
Unidad de aplicación	Falta de limpieza	Limpieza de rodillos dosificadores, transportadores y aplicadores	Diario
		Limpieza profunda del sistema de aplicación	Quincenal
	Sensor dañado	Reemplazo de sensor de nivel	Semestral
		Reemplazo de conexiones dañadas	Mensual
	Mala conexión del sensor	Revisión de conexiones de sensor	Semanal
	Sobrecalentamiento de motor	Limpieza de ventilador de motores eléctricos	Semanal
		Cambio de rodamientos	Semestral
		Lubricación de rodamientos	Semanal
	Sobrecarga en el motor	Inspección de alineación	Semanal
		Lubricación de chumaceras	Semanal
	Fuga en cilindro	Inspección de fugas en cilindros neumáticos	Diaria
		Reemplazo de mangueras y racores	Mensual
		Reemplazo de cilindro neumático	Semestral
	Presión insuficiente	Inspección de fugas en línea de aire comprimido	Diaria
	Fugas en la línea de aire comprimido	Reemplazo de mangueras neumáticas dañadas	Semestral
	Falla en electroválvula	Cambio de electroválvula	Anual
	Adhesivo con viscosidad inadecuada	Inspección de temperatura del termostato	Semanal
		Inspección de sensor de temperatura	Semanal
	Nivel de adhesivo insuficiente	Inspección del sensor de nivel de adhesivo	Diaria
		Limpieza del sensor de adhesivo	Quincenal
Cambio de sensor de nivel de adhesivo		Semestral	
Celda de carga dañada	Cambio de celda de carga	Anual	
Unidad de laminación	Rodamientos malos	Cambio de rodamientos	Mensual
		Lubricación de rodamientos	Semanal
		Inspección de excentricidad	Semestral
	Excentricidad del rodillo mala	Rectificación del rodillo	Trimestral
		Revisión de fugas en sistema de enfriamiento	Diaria

Continuación de la tabla XVI.

Unidad de laminación	Fugas en agua de refrigeración	Cambio de elementos con fuga en sistema de refrigeración	Semestral
	Fuga en cilindro	Inspección de fugas en cilindros neumáticos	Diaria
		Reemplazo de cilindro neumático	Semestral
	Presión insuficiente de rodillo	Inspección de fugas en línea de aire comprimido	Diaria
	Fugas en la línea de aire comprimido	Reemplazo de mangueras neumáticas dañadas	Semestral
	Falla en electroválvula	Cambio de electroválvula	Anuual
	Falta de limpieza	Limpieza de rodillos laminadores y presor engomado	Diaria
	Sobrecalentamiento de motores eléctricos	Limpieza de ventilador de motores eléctricos	Semanal
		Cambio de rodamientos	Semestral
		Lubricación de rodamientos	Semanal
	Sobrecarga en motores eléctricos	Inspección de alineación	Semanal
		Lubricación de chumaceras	Semanal
	Electroválvula con fuga	Cambio de electroválvula	Anuual
		Revisión de empaques en electroválvula	Diaria
	Mala conexión de electroválvula	Revisión de conexión de electroválvula	Semanal
		Reemplazo de racores y mangueras neumáticas	Mensual
	Falla en termorregulador	Cambio de aceite en termorregulador	Semestral
		Cambio de sensores de temperatura	Anuual
Inspección de fugas en el sistema		Diario	

Fuente: elaboración propia.

Las tareas preventivas descritas en la tabla anterior ayudaran a eliminar los modos y efectos de falla que fueron determinados en Simplex 2. La aplicación y seguimiento a estas tareas, garantiza la eliminación de las fallas recurrentes de los equipos laminadores que disminuyen los tiempos de paro y mejorando la disponibilidad de la línea.

3.4.7. Cambio de especificaciones

Para que el plan de mantenimiento basado en la confiabilidad logre el mejor desempeño de los equipos, es necesario que las tareas programadas en la sección anterior sean las apropiadas. Estas tareas pueden ser de diversas características y debe tomarse en cuenta los factores económico y operacional. Por lo que las tareas pueden ser:

- Modificar la instalación
- Implementar un plan de mantenimientos preventivos
- Medidas para minimizar los efectos de fallos
- Capacitación
- Supervisión

Con base en lo anterior descrito, las tareas que se definieron como medidas preventivas, se clasifican dentro de las medidas para minimizar los efectos de fallo, debido a que este es el propósito de dichas tareas. Por otra parte, las otras clasificaciones no aplican a lo que se estableció en dichas tareas, que por su naturaleza no buscan otro fin más que reducir los modos y efectos de fallo.

3.4.8. Seguimiento y control del plan

Para darles el seguimiento oportuno a las tareas preventivas de los fallos, es necesario el seguimiento al pie de la letra de las rutinas para los equipos laminadores.

Para ello es necesaria la elaboración de un *check list*, el cual refleje el cumplimiento de estas tareas y la observación de hallazgos, para modificar las rutinas con base en las necesidades presentadas en cada una de las máquinas.

Este seguimiento y control del plan es necesario para promover la mejora continua de las tareas y que se adecue a los cambios del entorno y del proceso. El *check list* puede ser usado por el personal técnico de mantenimiento o por el supervisor de mantenimiento.

- Uso del *check list*

Este registro debe ser llenado al momento de que se realice cualquiera de las tareas preventivas de modos de fallos, en donde se verificará el cumplimiento de la tarea y servirá como documentación para modificar o adecuar el plan a necesidades futuras de la línea de producción.

Dicho documento deberá ser llenado por el personal técnico de mantenimiento, el momento de realizar la tarea y se verificará el cumplimiento por parte del supervisor de mantenimiento. Es responsabilidad del Departamento de Producción y Mantenimiento, verificar la mejora de las tareas preventivas, de manera de actualizarlas o modificarlas, de acuerdo con las necesidades del proceso y de la retroalimentación que se tenga por parte del personal operativo y técnico.

En los anexos 7 y 8 se muestran los *check list* propuesto para el seguimiento y control del cumplimiento de las tareas programadas en cada uno de los equipos laminadores.

4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La cuarta y última fase de la investigación consiste en la discusión de los resultados que se obtienen del diseño del plan de mantenimiento basado en la confiabilidad. Se presenta los beneficios que se obtienen en la línea de producción siendo medidos por el indicador de disponibilidad.

4.1. Beneficios del mantenimiento basado en la confiabilidad

Los beneficios que se obtienen del diseño del plan de mantenimiento basado en la confiabilidad engloban desde la condición de los equipos hasta el mejoramiento del indicador de disponibilidad de la línea de producción. Es importante recalcar que, desde el punto de vista técnico, hay dos elementos que deben ser trabajados en la operación de cualquier equipo. El equipo debe mantenerse y de ocasionalmente debe realizarse modificaciones.

El mantenimiento basado en la confiabilidad cuando es aplicado correctamente, se obtiene los siguientes beneficios en los equipos de la línea de laminación de empaque flexible:

- Mayor seguridad y protección del entorno

En este caso se obtiene la mejora en el mantenimiento de los dispositivos de seguridad existentes, son revisadas las consecuencias de cada fallo antes de considerar el tema operacional del equipo laminador y se causan me fallos causados por mantenimientos innecesarios.

- Mejores rendimientos operativos

Se logra un mayor énfasis en los requisitos de mantenimiento de elementos y componentes críticos de los equipos laminadores, se realiza un diagnóstico más rápido de los fallos mediante la referencia de los modos de fallo relacionados con la función y a los análisis de sus efectos. Se generan intervalos más largos entre las revisiones mejorando el indicador MTBF.

También, se mejoran los paros por reparación se hacen más cortos, mejorando el indicador MTTR y, por ende, es mejorado el tiempo que el equipo está en funcionamiento con respecto al tiempo que se le programó, que mejora el indicador de disponibilidad.

4.1.1. Eliminación de fallas recurrentes

Con el plan de mantenimiento basado en la confiabilidad se espera que al implementar las medidas preventivas que eliminen los modos y efectos de fallos que se presentan en los equipos, estos sean eliminados para lograr una mejora en el funcionamiento de las unidades de laminación y la aplicación de los equipos, que elimina las fallas recurrentes identificadas en el apartado 3.2. se obtienen los valores de los tiempos de paro presentados en la tabla XVIII.

Tabla XVIII. **Resumen de tiempos de paro después de la propuesta**

Máquina	Tiempos de proyectados		Cantidad de fallas
	Total tiempo efectivo	Total tiempo de paro	
Simplex 1	914.0	22.0	12.0
Simplex 2	903.5	32.5	18.0
Total	1817.5	54.5	30.0

Fuente: elaboración propia.

La tabla anterior muestra que el tiempo de paro disminuye significativamente en un periodo de tres meses al poner en marcha las medidas preventivas y eliminar las fallas recurrentes en ellos equipos de laminación. Con base en esta tabla, en el siguiente apartado se hará el cálculo de la disponibilidad de la línea con la propuesta.

4.1.2. Disponibilidad de la línea de producción

Con base en la tabla anterior se procede a calcular los indicadores de mantenimiento que se presentaron el capítulo 2 para analizar el beneficio del plan de mantenimiento basado en la confiabilidad en la línea de laminación de empaque flexible.

Cálculo de MTBF: con base en los valores de la tabla XVII, se calcula el indicador MTBF, correspondiente a las dos máquinas.

$$MTBF (Simplex 1) = \frac{936 \text{ hrs} - 22 \text{ hrs}}{12 \text{ fallas}} = \frac{76.16 \text{ hrs}}{\text{fallas}}$$

$$MTBF (Simplex 2) = \frac{936 \text{ hrs} - 32.5 \text{ hrs}}{18 \text{ fallas}} = \frac{50.19 \text{ hrs}}{\text{fallas}}$$

El valor de MTBF para Simplex 1 y Simplex 2, aumentó en comparación con los valores obtenidos en la sección 2.5. En Simplex 1 se obtiene un valor de 76.16 horas de operación, hasta que aparezca una falla en el equipo, mientras que en Simplex 2, se obtiene un valor de 50.19 horas hasta la aparición de una falla. Es decir, que el tiempo de operación antes de que falle una laminadora aumenta considerablemente con el diseño del plan de mantenimiento basado en la confiabilidad.

Cálculo de MTTR: con base en los valores de la tabla XVII, se calcula el indicador MTTR, correspondiente a las dos máquinas.

$$MTTR (Simplex 1) = \frac{22 \text{ hrs}}{12 \text{ fallas}} = \frac{1.83 \text{ hrs}}{\text{fallas}}$$

$$MTTR (Simplex 2) = \frac{32.5 \text{ hrs}}{18 \text{ fallas}} = \frac{1.80 \text{ hrs}}{\text{fallas}}$$

El valor de MTTR para Simplex 1 y Simplex 2, disminuye en comparación con los valores obtenidos en la sección 2.5. En Simplex 1 se obtiene un valor de 1.83 horas de reparación hasta que la máquina sea restablecida, mientras que en Simplex 2, se obtiene un valor de 1.80 horas de tiempo de reparación de una falla. Es decir, que el tiempo medio de reparación de cada laminadora se ve disminuido con el diseño del plan de mantenimiento basado en la confiabilidad.

Disponibilidad: con base en los valores de la tabla XVIII, se calcula el indicador de disponibilidad correspondiente a las dos máquinas.

$$\text{Disponibilidad Simplex 1} = \frac{73.16}{76.16 + 1.83} * 100 \% = 97.65 \%$$

$$\text{Disponibilidad Simplex 2} = \frac{50.19}{50.19 + 1.80} * 100 \% = 96.53 \%$$

El valor de disponibilidad para Simplex 1 y Simplex 2, aumenta en comparación con los valores obtenidos en la sección 2.2.2.3. En Simplex 1 se obtiene un valor del 97.65 % de disponibilidad mientras que en Simplex 2, se obtiene un valor de 96.53 % de disponibilidad. Es decir, que el porcentaje de tiempo que el equipo pasa funcionando correctamente aumenta con el plan de mantenimiento basado en la confiabilidad.

Disponibilidad de la línea con la propuesta:

$$\text{Disponibilidad de la línea} = \frac{97.65 \% + 96.53 \%}{2 \text{ laminadoras}} = 97.09 \%$$

Si se analiza el valor de disponibilidad de la línea de laminación con la propuesta del plan de mantenimiento, se puede apreciar un aumento del 14.92 %. El valor de 97.09 % es bueno ya que se encuentra arriba del 90 %. El mantenimiento basado en la confiabilidad busca crear medidas preventivas a las fallas recurrentes, modos y efectos de las fallas con el propósito de disminuirlas por completo, aumentando el tiempo efectivo de producción de la línea.

Otros beneficios adicionales que se presentan con el diseño del plan de mantenimiento basado en la confiabilidad de la línea de laminación de empaque flexible son:

- Mejora en la productividad de la línea: se obtiene la mejora en la productividad, ya que el equipo permanece más tiempo operando, mejorando los kilos producidos durante el turno.
- Aumento de la capacidad de la línea: la capacidad de la línea aumenta debido a que permite procesar más kilos de producto laminado por turno, al no tener demasiados tiempos de paro.
- Mejora de la infraestructura y condición de los equipos: al tener un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad se mejoran las condiciones de infraestructura de las máquinas y la condición de operación de los equipos. Es decir, que se reparan inconformidades como fugas, reparaciones de emergencia y elementos dañados.
- Disminución de los tiempos de paro de la línea: la disminución de los tiempos de paro se ve reflejada en la mejora de los indicadores de MTTR, MTBF y disponibilidad de la línea.

4.2. Discusión de resultados

Los resultados que se obtienen con el plan de mantenimiento basado en la confiabilidad indican que los objetivos planteados fueron alcanzados. El plan de mantenimiento basado en la confiabilidad propuesto logra mejoras en el indicador de disponibilidad de la línea de laminación de empaque flexible para el beneficio de la planta.

4.2.1. Análisis interno

La planta de empaque flexible poseía un plan de mantenimiento preventivo que a pesar de que se cumplía, los equipos presentaban fallas recurrentes, las cuales no eran atacadas de raíz ni tampoco se comprendían la causa de la falla ni el efecto que tenía en el proceso productivo. Siguiendo los lineamientos que indica la metodología del mantenimiento basado en la confiabilidad, la creación de medidas preventivas garantiza eliminar estos modos y efectos de fallo en los equipos.

El personal técnico de mantenimiento y de producción, colaboraron en la creación de las medidas preventivas, gracias a la experiencia y conocimiento técnicos que ellos poseen, de manera de garantizar la calidad de estas. El personal técnico ahora tiene la posibilidad de compartir sus conocimientos sobre los equipos y aportar nuevas soluciones para detectar y eliminar las fallas que causan la baja disponibilidad de los equipos, también, posee un conocimiento más amplio de los componentes de estos equipos. El personal operativo tendrá la capacidad de detectar inconformidades en los mantenimientos y será capaz de proponer y aportar soluciones que ayuden a promover el correcto funcionamiento de los equipos.

La elaboración del diagnóstico presente en el capítulo dos de este trabajo de investigación, se detectó la oportunidad de la mejora de la disponibilidad de los equipos, a ver que estos presentaban fallas recurrentes con tiempo de paro elevado, a pesar de que está establecido un plan de mantenimiento preventivo en la línea de producción.

Como menciona Moubray (2001), el mantenimiento basado en la confiabilidad es una herramienta empleada para determinar que se debe hacer para que cualquier equipo continúe realizando la función que el operador necesita que haga, mediante un análisis de las fallas recurrentes, sus modos y efectos, con el fin de crear medidas o tareas que prevengan la aparición de dichos problemas. Debido a esto, la solución de esta problemática fue el mantenimiento basado en la confiabilidad.

Asimismo, es importante mencionar que se presentaron limitaciones durante el tiempo de recolección de los datos y la realización de los análisis en la línea de producción que afectaron los resultados de la investigación. Una de las limitaciones que afecta el resultado de la determinación de las fallas recurrentes, es el historial de fallas, el cual no presenta información de seis meses atrás, lo cual hubiese sido un periodo más confiable para analizar las fallas que se han presentado en la línea de producción.

Por otra parte, se tuvo la limitante de la realización de más visitas a línea de producción. Durante el proceso de recolección de información, se tuvo un tiempo limitado de tres semanas para la recaudación de datos. Con esto, se hubiese tenido un margen de tiempo mejor para realizar una recolección más profunda de datos para la realización del presente trabajo de investigación.

Sin embargo, las limitaciones anteriores se superaron gracias al apoyo del personal de la planta en proporcionar toda la información necesaria para la realización del presente trabajo. El historial de fallas presenta datos de los últimos tres meses, siendo los suficientes para crear un análisis sólido de las fallas recurrentes en los equipos laminadores. Los manuales, entrevistas realizadas, fotografías y la observación fueron herramientas que lograron superar la limitante de tiempo, recolectando la información adecuada para concluir el trabajo de investigación.

4.2.2. Análisis externo

Maya (2018) incluyó el análisis de modos y efectos de falla, expone que antes de proponer esta metodología, la disponibilidad de la línea de producción de galletas que analizó en su investigación era del 85 %. Describe que al implementar mantenimiento basado en la confiabilidad logró una mejora progresiva en la disponibilidad general de la línea con un valor del 93 %.

Comparando, los resultados de Maya (2018) con los resultados del presente trabajo de investigación, se ve que ambos son similares en el porcentaje de aumento de la disponibilidad de la línea de producción. Con lo anterior mencionado, se puede generalizar que el trabajo de investigación puede aplicarse en la industria alimenticia, logrando resultados similares.

Maya (2018) dirigió la propuesta de su trabajo en la implementación del mantenimiento productivo total (TPM), sin embargo, esto no se tomó en cuenta en la presente investigación; por la razón, de que el personal operativo debe estar capacitado en realizar tareas de mantenimiento en los equipos, que cumple uno de los pilares del TPM, el cual es el mantenimiento autónomo.

Por lo tanto, para orientar el mantenimiento de la planta de empaque flexible a esta filosofía, es importante gestionar la capacitación del personal operativo en tareas básicas de lubricación y limpieza, con el apoyo de los técnicos de departamento de mantenimiento, para iniciar el enfoque al TPM.

Huari (2010) analizó un colector parabólico cilíndrico solar, la disponibilidad mejoró de un 92.21 % a 94.71 %. También, menciona que, al aplicar el mantenimiento basado en la confiabilidad, disminuyeron los riesgos y fallas reflejados del equipo.

Describe también que, al aplicar el análisis modal de fallos y efectos, es posible conocer a detalle los componentes, las funciones de cada sistema, los modos y los efectos de las fallas, con el fin de elaborar las acciones que eliminen los problemas.

Si se compara a Huari (2010) con el presente trabajo, el resultado del aumento de disponibilidad no fue tan relevante, debido al tiempo que tuvo Huari (2010) de realizar su investigación; también, cabe mencionar que el colector parabólico no presentó demasiadas fallas recurrentes y los tiempos de paro no fueron tan elevados, como en el caso de la planta de empaque flexible. Sin embargo, el trabajo de investigación puede generalizarse al sector de la energía renovable, ya que se aplica la misma metodología, a pesar de no ser una línea productiva y el resultado que se obtiene en el indicador de disponibilidad es similar.

En el caso de Huari (2010), se enfocó en mejorar la disponibilidad del colector solar parabólico, para el beneficio de una localidad de Perú, y promover el uso de sistemas energéticos renovables y disminuir la producción de gases contaminantes.

Este enfoque no fue tomado en cuenta, ya que el presente trabajo se enfocó en una empresa con fines de lucro y no en una comunidad. Sin embargo, el mantenimiento basado en la confiabilidad es aplicable, independientemente de la industria o finalidad de operación del equipo.

Castillo (2017) presentó la propuesta de un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad de las unidades de bombeo horizontal multietapas del sistema de combustible, en donde se enfocó en el indicador de MTBF, donde logró un aumento en el tiempo medio entre fallas.

A pesar de que el presente trabajo no se enfoca en mejorar el indicador MTBF, este es usado para el cálculo de la disponibilidad de la línea, por lo que es válido compararlo. En el caso del presente trabajo, se logró un aumento del MTBF de 52.30 horas. Este valor es mayor ya que Castillo se enfocó en un sistema más complejo que una línea de laminación, al ser analizadas solo dos máquinas.

Villanueva (2017) presentó una propuesta para la gestión del mantenimiento basado en la confiabilidad para las líneas de distribución de energía eléctrica. Este trabajo no mide ningún tipo de indicador de disponibilidad, ya que no es un equipo que provea un servicio, sino que es un sistema de distribución de energía, por lo que el indicador de disponibilidad no es aplicable.

En este caso, el presente trabajo de investigación no puede generalizarse a sistemas o líneas de transmisión eléctrica, ya que el indicador de disponibilidad no es relevante en el funcionamiento de la línea.

Con la comparación del presente trabajo de graduación y las investigaciones anteriores, se concluye que el mantenimiento basado en la

confiabilidad puede ser generalizado si se diseña para un sistema o equipo que sea fabricado para brindar un servicio o producto y en donde el indicador de disponibilidad sea significativo, sin importar el tipo de industria en donde este equipo se desempeñe.

CONCLUSIONES

1. Se identificó la situación del mantenimiento de la planta de empaque flexible utilizando técnicas de recolección de datos, como entrevistas y *check lists*, donde se reflejó falta de personal, rutinas mal estructuradas, fallas recurrentes y mala gestión del mantenimiento. Con base en estos datos se analizó la metodología del mantenimiento que genera la información necesaria para el análisis y la elaboración de la propuesta de solución.
2. Se analizaron los factores críticos del mantenimiento preventivo, que ocasionaban las fallas recurrentes en los equipos del proceso de laminación. Dentro de las cuales se identificaron la falta de involucramiento del personal técnico en crear las rutinas, falta de análisis de fallas recurrentes y no identificar los efectos de falla.
3. Se evaluaron los beneficios de la utilización del mantenimiento basado en la confiabilidad en la línea de laminación de empaque flexible, los cuales se reflejan en la disminución de tiempos de paro, aumento del tiempo efectivo, aumento del tiempo medio entre fallas y disminución del tiempo promedio de reparación de la línea de laminación.
4. Se diseñó el plan propuesto de mantenimiento basado en la confiabilidad como método para mejorar la disponibilidad de los equipos en una línea de laminación de empaque flexible, mediante el análisis de las fallas recurrentes, que espera lograr un aumento del 14.92 % en el valor de disponibilidad de la línea de producción.

RECOMENDACIONES

1. Crear herramientas de recolección de datos que sean fáciles de aplicar, que reúnan la información necesaria, para crear un análisis situacional eficiente y que refleje las necesidades de mejora en la situación de los equipos y la gestión del mantenimiento.
2. Utilizar el mantenimiento basado en la confiabilidad, en otras industrias, el cual permitirá la reducción de los factores críticos que afecten la funcionalidad del mantenimiento en una planta de procesos que impulsa metodologías de análisis de fallas y la creación de acciones que las mitiguen. También, es importante capacitar al personal operativo en el uso correcto del equipo para evitar los fallos operativos, los cuales influyen en la efectividad del mantenimiento basado en la confiabilidad.
3. Adoptar la metodología del mantenimiento basado en la confiabilidad para obtener beneficios tales como aumento de disponibilidad, productividad, disminución de tiempos de paro, mejora en tiempos de entrega y en la condición de los equipos de la línea de producción.
4. Implementar y darle el seguimiento a la propuesta presentada en este trabajo de graduación en la planta de empaque flexible, con el fin de lograr resultados mejores a los esperados con el plan de mantenimiento basado en la confiabilidad.

REFERENCIAS

1. Aguilar, A., Torres, R., Magaña, J. (2010). Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. *Tecnología, Ciencia y Educación*, 14(2). Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/482/48215094003.pdf>.
2. Castillo, A. (2017). *Propuesta de mantenimiento centrado en la confiabilidad de las unidades de bombeo horizontal multietapas del sistema power oil de la estación ACAPI del B57-LI de Petroamazonas EP* (tesis de maestría). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
3. Central de empaques, S.A. (2016). *Catálogo de productos*. Guatemala.
4. Central de empaques, S.A. (2014). *Instructivo de laminación*. Guatemala.
5. Dounce, E. (2007). *La productividad en el mantenimiento industrial*. Ciudad de México, México: Patria.
6. Duffuaa, S. (2000). *Sistemas de mantenimiento: planeación y control*. Tijuana, México: Limusa, S.A.

9. García, S. (2003). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Madrid, España: Díaz de Santos, S.A.
10. Garrido, S. (2009) *Renovetec: indicadores de mantenimiento*. Madrid, España. Recuperado de <http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/300-indicadores-en-mantenimiento>.
11. González, F. (2008). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado*. Ciudad de México, México: FC Editorial.
12. Hernández, P. (2008). Optimización del mantenimiento preventivo, utilizando las técnicas de diagnóstico integral. *Revista Ingeniería Energética*, 7(2), 14-24. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=329127758004>.
13. Huari, N. (2017). *Programa de mantenimiento basado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad de un colector parabólico cilíndrico solar* (tesis de maestría). Universidad Nacional del Centro de Perú, Huancayo, Perú.
14. Madrid, M. (2002). Tecnología de adhesión. *Revista Loctite*, 2(1), 2-4. Recuperado de <https://www.ulpgc.es>
15. Maya, J. (2018). *Aplicación del RCM como estrategia de implementación del mantenimiento predictivo para la metodología TPM* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

16. Mendoza, C. (2016). *Sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para motores eléctrico de inducción*. (tesis de maestría). Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia.
17. Moubray, J. (2001). *Mantenimiento centrado en la confiabilidad*. Londres, Inglaterra: Industrial Press Inc.
18. Nordmeccanica, S.p.A (2002) *Manual de operación de laminadora Simplex SL*. Manual del fabricante. Italia.
19. Saavedra, W. (2018). *ABC de la laminación de empaques flexibles*. Madrid, España. Recuperado de <http://www.elempaque.com>.
20. Tavares, L. (2000). *Administración moderna del mantenimiento*. Brasilia, Brasil: Novo Polo Publicaciones.
21. Villacrés, S. (2016). *Desarrollo de un plan de mantenimiento aplicando la metodología de mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) para el vehículo Hydrocleaner Vactor M654 de la empresa etapa EP* (tesis de maestría). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
22. Villanueva, M. (2017). *Gestión del mantenimiento basado en la confiabilidad de las redes del subsistema de distribución eléctrico 22.9/13.2 KV de San Gabán-Ollachea* (tesis de maestría). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Entrevista para el personal de producción**

PLANTA DE EMPAQUE FLEXIBLE
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN
LÍNEA DE LAMINACIÓN
FECHA:
PUESTO:

ENTREVISTA PERSONAL DE PRODUCCIÓN

Instrucciones: conteste a los siguientes enunciados de forma clara y concisa.

1. ¿Cómo considera la gestión del mantenimiento en la línea de laminación?
2. ¿Considera usted que las laminadoras no se les realizan las tareas de mantenimiento adecuadas?
3. Describa las fallas recurrentes en las laminadoras en los últimos 3 meses
4. ¿Considera usted que el personal de mantenimiento posee los conocimientos necesarios para la solución a estas fallas recurrentes?
5. ¿Qué tareas de mantenimiento operativo realiza usted en su máquina?
6. ¿Cree usted que se debería de plantear nuevas rutinas y mejorar las existentes para garantizar el buen funcionamiento de las laminadoras?
7. ¿Ha reportado algún problema a su supervisor el cual mantenimiento no le ha dado solución?

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Entrevista para el personal de mantenimiento

PLANTA DE EMPAQUE FLEXIBLE

DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

FECHA:

PUESTO:

ENTREVISTA PERSONAL DE MANTENIMIENTO

Instrucciones: conteste a los siguientes enunciados de forma clara y concisa.

1. ¿Con que frecuencia se le realiza mantenimiento en la línea de laminación?
2. ¿Considera usted que las tareas son las adecuadas para garantizar la disponibilidad de la línea de laminación?
3. Describa las fallas recurrentes en las laminadoras en los últimos 3 meses
4. ¿Considera usted que el personal de producción posee los conocimientos necesarios para la operación correcta del equipo?
5. ¿Qué técnicas de análisis de fallas conoce y utiliza en su área de trabajo?
6. ¿Considera que su stock de repuestos es el adecuado para atender emergencias en la línea de laminación?
7. ¿Considera que la cantidad de técnicos es la adecuada para atender correctamente las emergencias en la línea de laminación?
8. Mencione que mejoraría usted en su departamento para garantizar la disponibilidad de la línea de laminación.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. *Check list* de condición de equipos

CHECK LIST DE CONDICIÓN DE EQUIPOS LAMINADORES			
Columna de aplicación	Sí	No	Observaciones
Rodillo presor engomador alineado			
Campana de aspiración funciona correctamente			
La celda de carga funciona correctamente			
La unidad de aplicación está en buenas condiciones			
Rodillo presor engomador en buenas condiciones			
Rodillo descentralizable en buenas condiciones			
La unidad de alineación de banda funciona correctamente			
El freno electromagnético funciona correctamente			
El ventilador del freno funciona correctamente			
El desbobinador A opera con normalidad			
Columna de laminación	Sí	No	Observaciones
El rebobinador funciona correctamente			
El rodillo presor compactador funciona correctamente			
La calandra de enfriamiento funciona correctamente			
Rodillo descentralizable en buenas condiciones			
La unidad de alineación de banda funciona correctamente			
La unidad de laminación funciona correctamente			
El ventilador del freno funciona correctamente			
El freno electromagnético funciona correctamente			
El desbobinador B opera con normalidad			
Sistema neumático	Sí	No	Observaciones
Fugas			
Actuadores accionan correctamente			
Mandos funcionan correctamente			
Presión adecuada (6-10 BAR)			
Sistema eléctrico	Sí	No	Observaciones
Cortocircuitos			
Problemas de funcionamiento			
Unidad de tratado corona funciona correctamente			
Catalizador	Sí	No	Observaciones
Funciona correctamente			
Sistema hidráulico	Sí	No	Observaciones
Centralinas funcionan correctamente			
Temperatura de rodillo adecuada			

Continuación del apéndice 3.

Mixer	Sí	No	Observaciones
La dosificación es adecuada			
Sensores de nivel funcionan correctamente			
Agitadores funcionan correctamente			
Paneles funcionan correctamente			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. Historial de fallas equipos laminadores período junio – agosto 2019

Día	Día	Mes	Descripción de falla	Componentes	Tiempo (hrs)	Máquina
Sábado	1	Junio	Falla sensor de adhesivo mixer	Mixer	2.00	Simplex 2
Sábado	1	Junio	Rodillo aplicador en mal estado	Unidad de aplicación	3.00	Simplex 1
Sábado	1	Junio	Rodillo laminador no presiona	Unidad de laminación	6.00	Simplex 1
Lunes	3	Junio	Problemas de temperatura en central térmica de acondicionamiento	Termorregulador	2.00	Simplex 1
Lunes	3	Junio	Problemas con blower de campana de aspiración	Sistema de aspiración	2.00	Simplex 1
Lunes	3	Junio	Falla en ventilador de freno desbobinador B	Desbobinador B	2.00	Simplex 1
Martes	4	Junio	Problema con celda de carga	Unidad de aplicación	4.00	Simplex 2
Miércoles	5	Junio	Falla en motor de rodillo aplicador	Unidad de aplicación	1.00	Simplex 2
Miércoles	5	Junio	Falla en ventilador de freno desbobinador B	Desbobinador B	1.00	Simplex 2
Miércoles	5	Junio	Problemas con el tratador corona	Tratador corona	2.00	Simplex 2
Miércoles	5	Junio	Problema con sensor de alineación de banda	Unidad de aplicación	1.00	Simplex 2
Jueves	6	Junio	Falla sensor de adhesivo mixer	Mixer	1.00	Simplex 2
Viernes	7	Junio	Problemas con el rodillo presor de compactación	Rebobinador	4.00	Simplex 2
Viernes	7	Junio	Falla en el motor de rodillo dosificador	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 2
Viernes	7	Junio	Falla en el motor de rodillo dosificador	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 2
Viernes	7	Junio	Falla en el motor de rodillo dosificador	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 2
Viernes	7	Junio	Falla en el motor de rodillo transportador	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 2
Viernes	7	Junio	Falla en sensor de nivel unidad de aplicación	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 2
Sábado	8	Junio	Fuga en bandeja de recolección de adhesivo	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 2
Sábado	8	Junio	Problema en cilindro neumático de rodillo presor de aplicación	Unidad de aplicación	1.00	Simplex 2
Sábado	8	Junio	Problemas de temperatura en central térmica de acondicionamiento	Termorregulador	1.00	Simplex 2
Sábado	8	Junio	Falla en electroválvula de rodillo presor de laminación	Unidad de laminación	5.00	Simplex 2
Sábado	8	Junio	Problema de temperatura en rodillo laminador	Unidad de laminación	1.00	Simplex 2
Lunes	10	Junio	Cambio de cojinete en rodillo engomador	Unidad de aplicación	5.00	Simplex 1
Lunes	10	Junio	Problemas con blower de campana de aspiración	Sistema de aspiración	5.00	Simplex 1
Martes	11	Junio	Calandra de enfriamiento no enfría	Unidad de laminación	2.00	Simplex 1
Martes	11	Junio	Problemas con rodillo presor de compactación	Embobinador	2.00	Simplex 1
Martes	11	Junio	Falla con el freno de desbobinador A	Desbobinador A	2.00	Simplex 1
Martes	11	Junio	Falla con el freno de desbobinador B	Desbobinador B	1.00	Simplex 1
Miércoles	12	Junio	Falla en sensor de nivel unidad de aplicación	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 1
Miércoles	12	Junio	Falla en sensor de nivel unidad de aplicación	Unidad de aplicación	3.00	Simplex 1
Sábado	15	Junio	Problema con celda de carga	Unidad de aplicación	4.00	Simplex 1
Sábado	15	Junio	Problema de temperatura en rodillo laminador	Unidad de laminación	4.00	Simplex 1
Domingo	16	Junio	Falla en electroválvula de rodillo presor de laminación	Unidad de laminación	2.00	Simplex 1
Domingo	16	Junio	Cambio de cojinete de de rodillo presor de laminación	Unidad de laminación	3.00	Simplex 1
Lunes	17	Junio	Centralita no aumenta temperatura	Termorregulador	3.00	Simplex 1
Martes	18	Junio	Cambio de cojinete de rodillo presor de aplicación	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 1
Martes	18	Junio	Problema de presión de rodillo presor laminador	Unidad de laminación	1.00	Simplex 1
Martes	18	Junio	Falla en el motor de rodillo laminador	Unidad de laminación	1.50	Simplex 1
Miércoles	19	Junio	Reemplazo de correo de transmisión de motor de rodillo laminador	Unidad de laminación	2.00	Simplex 1
Miércoles	19	Junio	Cambio de cojinete en rodillo engomador	Unidad de aplicación	3.00	Simplex 1
Miércoles	19	Junio	Cambio de cojinete de de rodillo presor de laminación	Unidad de laminación	2.00	Simplex 1
Jueves	20	Junio	Centralita no aumenta temperatura	Termorregulador	2.00	Simplex 2
Jueves	20	Junio	Cambio de cojinete de rodillo presor de aplicación	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 2
Viernes	21	Junio	Problema de presión de rodillo presor laminador	Unidad de laminación	2.00	Simplex 2
Viernes	21	Junio	Falla en el motor de rodillo laminador	Unidad de laminación	5.00	Simplex 2
Viernes	21	Junio	Problema de temperatura en rodillo laminador	Unidad de laminación	6.00	Simplex 2
Sábado	22	Junio	Calandra de enfriamiento no enfría	Unidad de laminación	4.00	Simplex 2
Sábado	22	Junio	Problemas de transferencia de adhesivo	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 2
Sábado	22	Junio	Problemas de transferencia de adhesivo	Unidad de aplicación	1.00	Simplex 1
Lunes	24	Junio	Problemas de transferencia de adhesivo	Unidad de aplicación	5.00	Simplex 1
Lunes	24	Junio	Falla en el motor de rodillo transportador	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 1
Lunes	24	Junio	Falla en sensor de nivel unidad de aplicación	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 1
Martes	25	Junio	Fuga en bandeja de recolección de adhesivo	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 1
Martes	25	Junio	Problema en cilindro neumático de rodillo presor de aplicación	Unidad de aplicación	3.00	Simplex 1
Martes	25	Junio	Falla en sensor de nivel unidad de aplicación	Unidad de aplicación	3.00	Simplex 1
Martes	25	Junio	Falla en motor de rodillo aplicador	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 2
Miércoles	26	Junio	Falla en ventilador de freno desbobinador B	Desbobinador B	2.00	Simplex 2
Miércoles	26	Junio	Problemas con el tratador corona	Tratador corona	2.00	Simplex 2
Miércoles	26	Junio	Problema con sensor de alineación de banda	Unidad de aplicación	4.00	Simplex 2
Miércoles	26	Junio	Falla sensor de adhesivo mixer	Mixer	2.50	Simplex 2
Jueves	27	Junio	Problemas con el rodillo presor de compactación	Rebobinador	0.00	Simplex 2
Viernes	28	Junio	Falla en el motor de rodillo dosificador	Unidad de aplicación	4.00	Simplex 1
Sábado	29	Junio	Falla en el motor de rodillo dosificador	Unidad de aplicación	4.00	Simplex 1
Domingo	30	Junio	Calandra de enfriamiento no enfría	Unidad de laminación	5.00	Simplex 1
Sábado	1	Julio	Problemas de transferencia de adhesivo	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 1
Sábado	1	Julio	Falla en el motor de rodillo dosificador	Unidad de aplicación	3.00	Simplex 1
Lunes	3	Julio	Falla en sensor de nivel unidad de aplicación	Unidad de aplicación	3.00	Simplex 1

Continuación del apéndice 4.

Lunes	3 Julio	Falla sensor de adhesivo mixer	Mixer	1.00	Simplex 1
Martes	4 Julio	Rodillo aplicador en mal estado	Unidad de aplicación	1.00	Simplex 1
Martes	4 Julio	Rodillo laminador no presiona	Unidad de laminación	1.00	Simplex 1
Martes	4 Julio	Problemas de temperatura en central térmica de acondicionamiento	Termostato	1.00	Simplex 1
Martes	4 Julio	Problemas con blower de campana de aspiración	Sistema de aspiración	1.00	Simplex 1
Martes	4 Julio	Falla en ventilador de freno desbobinador B	Desbobinador B	2.00	Simplex 1
Miércoles	5 Julio	Falla en sensor de nivel unidad de aplicación	Unidad de aplicación	5.00	Simplex 1
Miércoles	5 Julio	Rodillo aplicador en mal estado	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 2
Miércoles	5 Julio	Rodillo laminador no presiona	Unidad de laminación	2.00	Simplex 2
Miércoles	5 Julio	Falla en el tratador corona	Tratador corona	1.00	Simplex 2
Jueves	6 Julio	Problemas de temperatura en central térmica de acondicionamiento	Termostato	2.00	Simplex 2
Jueves	6 Julio	Central térmica de acondicionamiento se dispara	Termostato	2.00	Simplex 2
Jueves	7 Julio	Calandra de enfriamiento no enfría	Unidad de laminación	4.00	Simplex 2
Viernes	7 Julio	Falla en el motor de rodillo transportador	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 1
Viernes	7 Julio	Falla en sensor de nivel unidad de aplicación	Unidad de aplicación	1.00	Simplex 1
Viernes	7 Julio	Fuga en bandeja de recolección de adhesivo	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 1
Sábado	8 Julio	Problema en cilindro neumático de rodillo presor de aplicación	Unidad de aplicación	1.00	Simplex 2
Sábado	8 Julio	Falla en el tratador corona	Tratador corona	1.00	Simplex 2
Lunes	10 Julio	Problemas de temperatura en central térmica de acondicionamiento	Termostato	2.00	Simplex 2
Lunes	10 Julio	Falla en sensor de nivel unidad de aplicación	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 2
Lunes	10 Julio	Calandra de enfriamiento no enfría	Unidad de laminación	2.00	Simplex 2
Martes	11 Julio	Reemplazo de cilindros neumáticos de rodillo presor laminador	Unidad de laminación	2.00	Simplex 2
Martes	11 Julio	Centralita no aumenta temperatura	Termostato	2.00	Simplex 1
Martes	11 Julio	Cambio de cojinete de rodillo presor de aplicación	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 1
Martes	11 Julio	Problema de presión de rodillo presor laminador	Unidad de laminación	2.00	Simplex 1
Miércoles	12 Julio	Cambio de cilindro neumáticos de rodillo presor aplicador	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 1
Miércoles	12 Julio	Fuga de aceite en central térmica de acondicionamiento	Termostato	2.00	Simplex 1
Sábado	15 Julio	Rodillo aplicador en mal estado	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 1
Sábado	15 Julio	Rodillo laminador no presiona	Unidad de laminación	2.00	Simplex 1
Lunes	17 Julio	Centralita no aumenta temperatura	Termostato	2.00	Simplex 1
Lunes	17 Julio	Problema de presión de rodillo presor laminador	Unidad de laminación	2.00	Simplex 1
Martes	18 Julio	Falla en el motor de rodillo dosificador	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 1
Miércoles	19 Julio	Calandra de enfriamiento no enfría	Unidad de laminación	3.00	Simplex 1
Miércoles	19 Julio	Falla en el motor de rodillo dosificador	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 1
Miércoles	19 Julio	Falla en el motor de rodillo transportador	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 2
Miércoles	19 Julio	Falla en sensor de nivel unidad de aplicación	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 2
Miércoles	19 Julio	Fuga en bandeja de recolección de adhesivo	Unidad de aplicación	1.00	Simplex 2
Miércoles	19 Julio	Problema en cilindro neumático de rodillo presor de aplicación	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 2
Miércoles	19 Julio	Falla en sensor de nivel unidad de aplicación	Unidad de aplicación	1.00	Simplex 2
Jueves	20 Julio	Falla en sensor de nivel unidad de aplicación	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 2
Jueves	20 Julio	Central térmica de acondicionamiento no enciende	Termostato	2.00	Simplex 1
Viernes	21 Julio	Cambio de cojinete de rodillo presor de aplicación	Unidad de aplicación	1.00	Simplex 1
Viernes	21 Julio	Problema de presión de rodillo presor laminador	Unidad de laminación	2.00	Simplex 1
Lunes	24 Julio	Problema con sensor de nivel adhesivo	Unidad de aplicación	1.00	Simplex 1
Martes	25 Julio	Falla sensor de adhesivo mixer	Mixer	2.00	Simplex 1
Martes	25 Julio	Falla en sensor de nivel unidad de aplicación	Unidad de aplicación	1.00	Simplex 1
Martes	25 Julio	Calandra de enfriamiento no enfría	Unidad de laminación	2.00	Simplex 2
Sábado	1 Agosto	Falla en sensor de nivel unidad de aplicación	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 2
Sábado	1 Agosto	Falla en el motor de rodillo transportador	Unidad de aplicación	1.00	Simplex 2
Lunes	3 Agosto	Falla en sensor de nivel unidad de aplicación	Unidad de aplicación	3.00	Simplex 2
Lunes	3 Agosto	Fuga en bandeja de recolección de adhesivo	Unidad de aplicación	1.00	Simplex 2
Lunes	3 Agosto	Problema en cilindro neumático de rodillo presor de aplicación	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 2
Martes	4 Agosto	Falla en sensor de nivel unidad de aplicación	Unidad de aplicación	3.00	Simplex 1
Miércoles	5 Agosto	Problemas con el sistema eléctrico	Sistema eléctrico	1.00	Simplex 1
Jueves	6 Agosto	Calandra de enfriamiento no enfría	Unidad de laminación	1.00	Simplex 1
Jueves	6 Agosto	Problema con celda de carga	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 1
Viernes	7 Agosto	Falla en el motor de rodillo transportador	Unidad de aplicación	4.00	Simplex 1
Sábado	8 Agosto	Falla en sensor de nivel unidad de aplicación	Unidad de aplicación	5.00	Simplex 1
Sábado	8 Agosto	Fuga en bandeja de recolección de adhesivo	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 2
Sábado	8 Agosto	Problema en cilindro neumático de rodillo presor de aplicación	Unidad de aplicación	3.00	Simplex 2
Lunes	17 Agosto	Centralita no aumenta temperatura	Termostato	3.00	Simplex 2
Miércoles	19 Agosto	Alineación de rodillo laminador	Unidad de laminación	5.00	Simplex 2
Miércoles	19 Agosto	Falla en sensor de nivel unidad de aplicación	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 2
Miércoles	19 Agosto	Fuga en bandeja de recolección de adhesivo	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 2
Sábado	22 Agosto	Falla en el motor de rodillo transportador	Unidad de aplicación	5.00	Simplex 1
Sábado	22 Agosto	Falla en sensor de nivel unidad de aplicación	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 1
Sábado	22 Agosto	Fuga en bandeja de recolección de adhesivo	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 1
Sábado	22 Agosto	Problema en cilindro neumático de rodillo presor de aplicación	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 1
Lunes	24 Agosto	Problema en cilindro neumático de rodillo presor de aplicación	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 1
Lunes	24 Agosto	Freno de embobinador no funciona	Embobinador	2.00	Simplex 1
Miércoles	26 Agosto	Falla en sensor de nivel unidad de aplicación	Unidad de aplicación	5.00	Simplex 1
Miércoles	26 Agosto	Falla en el motor de rodillo transportador	Unidad de aplicación	4.00	Simplex 2
Jueves	27 Agosto	Falla en sensor de nivel unidad de aplicación	Unidad de aplicación	1.00	Simplex 2
Jueves	27 Agosto	Fuga en bandeja de recolección de adhesivo	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 2
Jueves	27 Agosto	Problema en cilindro neumático de rodillo presor de aplicación	Unidad de aplicación	2.00	Simplex 2
Viernes	28 Agosto	Falla sensor de adhesivo mixer	Mixer	2.00	Simplex 2

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Fallas recurrentes en Simplex 1

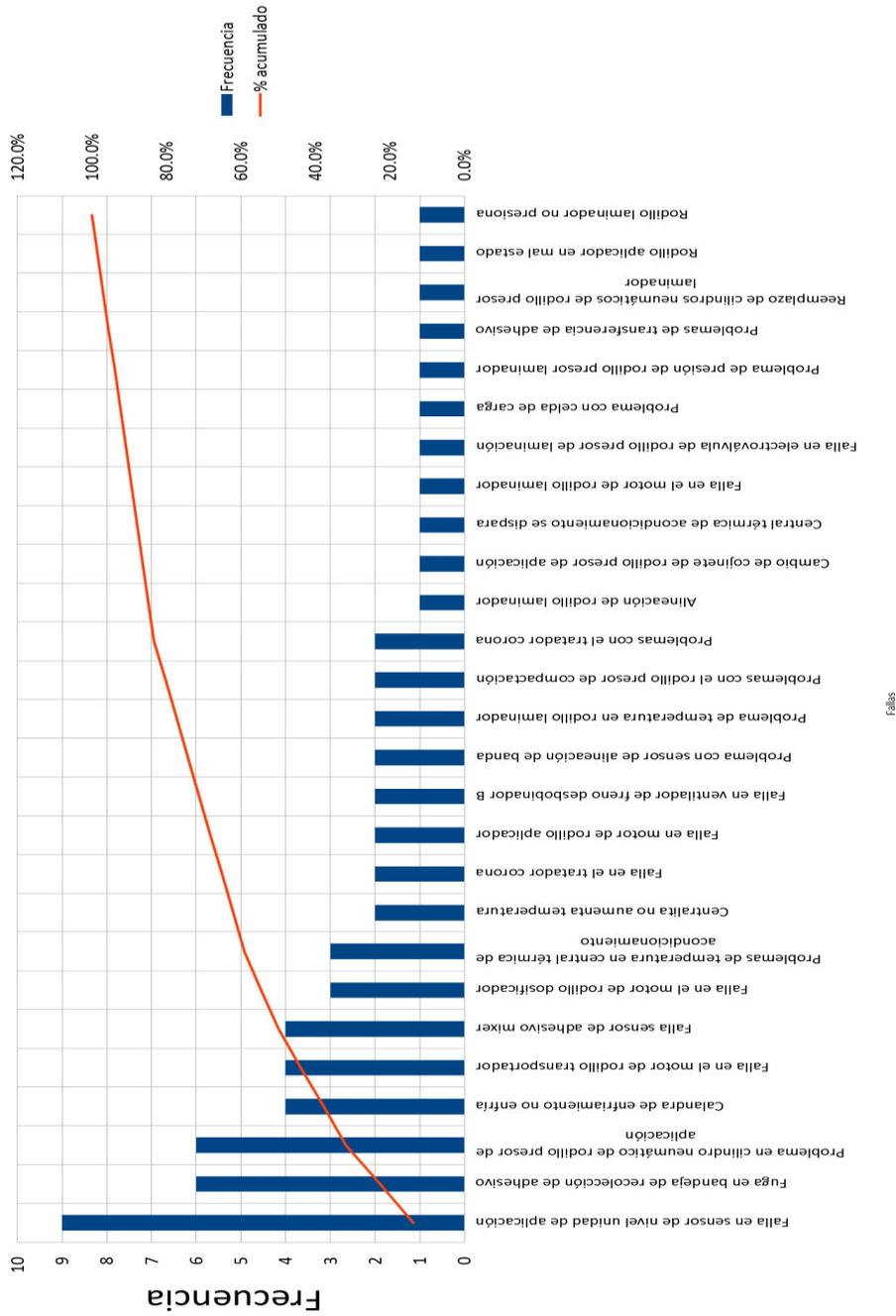
Diagrama de pareto de fallas recurrentes Simplex 1



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. Fallas recurrentes Simplex 2

Diagrama de pareto de fallas recurrentes Simplex 2



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. *Check list* tareas preventivas Simplex 1

PLANTA DE EMPAQUE FLEXIBLE				
CHECK LIST CUMPLIMIENTO DE TAREAS PREVENTIVAS				
Nombre del equipo: Simplex 1				
Modelo: SL 1300				
Fecha de elaboración: 10/10/2019				
Sistema	Tarea Preventiva	Periodicidad	Cumplimiento	
			SI	NO
Unidad de aplicación	Limpieza de rodillos dosificadores, transportadores y aplicadores	Diario		
	Limpieza profunda del sistema de aplicación	Quincenal		
	Reemplazo de sensor de nivel	Semestral		
	Revisión de conexiones de sensor	Semanal		
	Reemplazo de conexiones dañadas	Mensual		
	Limpieza de ventilador de motores eléctricos	Semanal		
	Lubricación de rodamientos	Semanal		
	Cambio de rodamientos	Semestral		
	Inspección de alineación	Semanal		
	Lubricación de chumaceras	Semanal		
	Inspección de fugas en cilindros neumáticos	Diaria		
	Reemplazo de mangueras y racores	Mensual		
	Reemplazo de cilindro neumático	Semestral		
	Inspección de fugas en línea de aire comprimido	Diaria		
	Reemplazo de mangueras neumáticas dañadas	Semestral		
	Cambio de electroválvula	Anual		
Cambio de celda de carga	Semestral			
Unidad de laminación	Revisión de fugas en sistema de enfriamiento	Diaria		
	Cambio de elementos con fuga en sistema de refrigeración	Semestral		
	Inspección de fugas en cilindros neumáticos	Diaria		
	Reemplazo de cilindro neumático	Semestral		
	Inspección de fugas en línea de aire comprimido	Diaria		
	Reemplazo de mangueras neumáticas dañadas	Semestral		
	Cambio de electroválvula	Anual		
	Limpieza de rodillos laminadores y presor engomado	Diaria		
	Limpieza profunda del sistema de laminación	Mensual		
	Limpieza de ventilador de motores eléctricos	Semanal		
	Cambio de rodamientos	Semestral		
	Lubricación de rodamientos	Semanal		
	Inspección de alineación	Semanal		
	Lubricación de chumaceras	Semanal		
	Cambio de electroválvula	Anual		
	Revisión de empaques en electroválvula	Diaria		
	Revisión de conexión de electroválvula	Semanal		
	Reemplazo de racores y mangueras neumáticas	Mensual		
	Cambio de aceite en termostato	Semestral		
	Cambio de sensores de temperatura	Anual		
Inspección de fugas en el sistema	Diario			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. *Check list* tareas preventivas Simplex 2

PLANTA DE EMPAQUE FLEXIBLE				
CHECK LIST CUMPLIMIENTO DE TAREAS PREVENTIVAS				
Nombre del equipo: Simplex 2				
Modelo: SL 1300				
Fecha de elaboración: 10/10/2019				
Sistema	Tarea Preventiva	Periodicidad	Cumplimiento	
			SI	NO
Unidad de aplicación	Limpieza de rodillos dosificadores, transportadores y aplicadores	Diario		
	Limpieza profunda del sistema de aplicación	Quincenal		
	Reemplazo de sensor de nivel	Semestral		
	Reemplazo de conexiones dañadas	Mensual		
	Revisión de conexiones de sensor	Semanal		
	Limpieza de ventilador de motores eléctricos	Semanal		
	Cambio de rodamientos	Semestral		
	Lubricación de rodamientos	Semanal		
	Inspección de alineación	Semanal		
	Lubricación de chumaceras	Semanal		
	Inspección de fugas en cilindros neumáticos	Diaria		
	Reemplazo de mangueras y racores	Mensual		
	Reemplazo de cilindro neumático	Semestral		
	Inspección de fugas en línea de aire comprimido	Diaria		
	Reemplazo de mangueras neumáticas dañadas	Semestral		
	Cambio de electroválvula	Anual		
	Rectificación de rodillo	Trimestral		
	Limpieza del rodillo	Diaria		
	Inspección de temperatura del termostato	Semanal		
	Inspección de sensor de temperatura	Semanal		
Inspección del sensor de nivel de adhesivo	Diaria			
Limpieza del sensor de adhesivo	Quincenal			
Cambio de sensor de nivel de adhesivo	Semestral			
Cambio de celda de carga	Anual			
Unidad de laminación	Cambio de rodamientos	Mensual		
	Lubricación de rodamientos	Semanal		
	Inspección de excentricidad	Semestral		
	Rectificación del rodillo	Trimestral		
	Revisión de fugas en sistema de enfriamiento	Diaria		
	Cambio de elementos con fuga en sistema de refrigeración	Semestral		
	Inspección de fugas en cilindros neumáticos	Diaria		
	Reemplazo de cilindro neumático	Semestral		
	Inspección de fugas en línea de aire comprimido	Diaria		
	Reemplazo de mangueras neumáticas dañadas	Semestral		
	Cambio de electroválvula	Anual		
	Limpieza de rodillos laminadores y presor engomado	Diaria		
	Limpieza de ventilador de motores eléctricos	Semanal		
	Cambio de rodamientos	Semestral		
	Lubricación de rodamientos	Semanal		
	Inspección de alineación	Semanal		
	Lubricación de chumaceras	Semanal		
	Cambio de electroválvula	Anual		
	Revisión de empaques en electroválvula	Diaria		
	Revisión de conexión de electroválvula	Semanal		
Reemplazo de racores y mangueras neumáticas	Mensual			
Cambio de aceite en termostato	Semestral			
Cambio de sensores de temperatura	Anual			
Inspección de fugas en el sistema	Diario			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. Matriz de consistencia de la investigación

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONFIABILIDAD COMO HERRAMIENTA PARA MEJORAR LA DISPONIBILIDAD DE LOS EQUIPOS EN UNA LÍNEA DE LAMINACIÓN DE EMPAQUE FLEXIBLE				
	OBJETIVO	RESULTADOS	CONCLUSIONES	
			RECOMENDACIONES	
G E N E R A L	Diseñar un plan de mantenimiento basado en la confiabilidad como método para mejorar la disponibilidad de los equipos en una línea de laminación de empaque flexible.	Eliminación de fallas recurrentes en los equipos laminadores; indicador de confiabilidad mejoró de un 82.17% a un 97.09%.	Se diseñó el plan propuesto de mantenimiento basado en la confiabilidad como método para mejorar la disponibilidad de los equipos en una línea de laminación de empaque flexible, mediante el análisis de las fallas recurrentes, esperando lograr un aumento del 14.92% en el valor de disponibilidad de la línea de producción.	Implementar y darle el seguimiento a la propuesta presentada en este trabajo de graduación en la planta de empaque flexible, con el fin de lograr resultados mejores a los esperados con el plan de mantenimiento basado en la confiabilidad.
	Identificar cuáles son la situación del mantenimiento en el área de laminación de la planta de empaque flexible.	Ruínas mal estructuradas; no hay un análisis de las fallas recurrentes en los equipos; no hay identificación de los modos y efectos de las fallas; no existen medidas preventivas que eliminen dichos modos y efecto de falla.	Se identificó la situación del mantenimiento de la planta de empaque flexible utilizando técnicas de recolección de datos, como entrevistas y check lists, donde se reflejó falta de personal, ruínas mal estructuradas, fallas recurrentes y mala gestión del mantenimiento. Con base a estos datos se realizó la metodología del mantenimiento, generando la información necesaria para el análisis y elaboración de la propuesta de solución.	Crear herramientas de recolección de datos que sean fáciles de aplicar, que reúnan la información necesaria, para poder crear un análisis situacional eficiente y que refleje las necesidades de mejora en la situación de los equipos y la gestión del mantenimiento.
E S P E C I F I C O S	Analizar los factores críticos del mantenimiento preventivo, que ocasionen las fallas recurrentes en el proceso de laminación.	Falta de involucramiento en el personal técnico en crear ruínas; falta de análisis de modos y efectos de fallas recurrentes; ruínas de mantenimiento solo se basan en el manual del fabricante.	Se analizaron los factores críticos del mantenimiento preventivo, que ocasionaban las fallas recurrentes en los equipos del proceso de laminación. Dentro de los cuales se identificaron la falta de involucramiento del personal técnico en crear las ruínas, falta de análisis de fallas recurrentes y no identificar los efectos de falla.	Utilizar el mantenimiento basado en la confiabilidad, en otras industrias, el cual permitirá la reducción de los factores críticos que afectan la funcionalidad del mantenimiento en una planta de procesos, impulsando metodologías de análisis de fallas, causas, efectos y la creación de acciones que las mitiguen.
	Evaluar los beneficios de la utilización del mantenimiento basado en la confiabilidad en la línea de laminación de empaque flexible.	Mejora en el indicador de disponibilidad; aumento de la productividad; eliminar tiempos de paro prolongados; mejorar tiempos efectivos; aumento del tiempo medio entre fallas y la disminución del tiempo promedio de reparación.	Se evaluaron los beneficios de la utilización del mantenimiento basado en la confiabilidad en la línea de laminación de empaque flexible, los cuales se reflejan en la disminución de tiempos de paro, aumento del tiempo medio efectivo, aumento del tiempo medio entre fallas y disminución del tiempo promedio de reparación de la línea de laminación.	Adoptar la metodología del mantenimiento basado en la confiabilidad para obtener beneficios tales como aumento de disponibilidad, productividad, disminución de tiempos de paro, mejora en tiempos de entrega y en la condición de los equipos de la línea de producción.

Fuente: elaboración propia.