



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

**IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN
CONFIABILIDAD (RCM) PARA LA OPTIMIZACIÓN EN LA MAQUINARIA
DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN, EN INDUSTRIA MALHER, S. A.**

Sergio Andrés Ordóñez Villatoro

Asesorado por el Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma

Guatemala, enero de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN
CONFIABILIDAD (RCM) PARA LA OPTIMIZACIÓN EN LA MAQUINARIA
DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN, EN INDUSTRIA MALHER, S. A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

SERGIO ANDRÉS ORDÓÑEZ VILLATORO

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ANÍBAL CHICOJAY COLOMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, ENERO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Coronado Noj
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) PARA LA OPTIMIZACIÓN EN LA MAQUINARIA DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN, EN INDUSTRIA MALHER, S. A.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 6 de julio de 2015.



Sergio Andrés Ordóñez Villatoro



Guatemala, 21 de septiembre de 2015
Ref.EPS.DOC.636.09.15.

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Rodríguez Serrano.

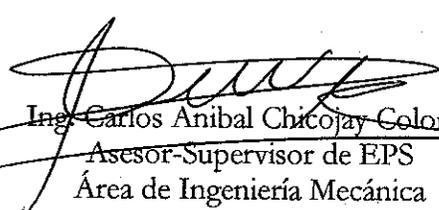
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Sergio Andrés Ordóñez Villatoro** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 201114160, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) PARA LA OPTIMIZACIÓN EN LA MAQUINARIA DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN, EN INDUSTRIA MALHER, S.A.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica

c.c. Archivo
CACC/ra





Guatemala, 21 de septiembre de 2015
REF.EPS.D.467.09.15

Ing. Roberto Guzmán
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Guzmán:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) PARA LA OPTIMIZACIÓN EN LA MAQUINARIA DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN, EN INDUSTRIA MALHER, S.A.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Sergio Andrés Ordóñez Villatoro** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Carlos Anibal Chicojaj Coloma.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José Rodríguez Ferrero
Director Unidad de EPS



SJRS/ra

Recibí
30/9/15
13:42h.



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.340.2015

El Coordinador del Área de Diseño de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación de EPS titulado: **IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) PARA LA OPTIMIZACIÓN EN LA MAQUINARIA DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN, EN INDUSTRIA MAHLER, S.A.**, del estudiante **Sergio Andrés Ordóñez Villatoro**, carné No. **2011-14160** recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Álvaro Antonio Ávila Pinzón
Coordinador del Área de Diseño
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, octubre de 2015



USAC
TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.058.2016

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) PARA LA OPTIMIZACIÓN EN LA MAQUINARIA DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN, EN INDUSTRIA MALHER S.A.** del estudiante **Sergio Andrés Ordóñez Villatoro**, carné No. **2011-14160** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, enero de 2016

/aej



DTG. 048.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM) PARA LA OPTIMIZACIÓN EN LA MAQUINARIA DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN, EN INDUSTRIA MALHER, S. A.** presentado por el estudiante universitario: **Sergio Andrés Ordóñez Villatoro**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, enero de 2016

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- | | |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dios | Por ser la fuerza que todos los días me impulsa para salir adelante, guiar mis pasos y protegerme. |
| Mis padres | Por brindarme su apoyo incondicional y aconsejarme en todo momento. |
| Mis hermanos | Por brindarme su apoyo y ser ejemplos a seguir. |
| Mis tíos y primos | Por su apoyo incondicional, motivándome a seguir adelante y cumplir mis metas. |
| Mis amigos | Por estar conmigo a lo largo de la carrera, su apoyo y amistad. |

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Alma máter que me abrió las puertas para realizar mis estudios.
Facultad de Ingeniería	Por la enseñanza y permitirme adquirir conocimientos para convertirme en un profesional.
Ing. Carlos Chicojay	Por brindarme su apoyo y paciencia con la asesoría de mi trabajo de graduación.
Ing. Marco Zamora	Por darme la oportunidad de realizar mi trabajo de graduación y su buen ejemplo profesional.
Empresa Malher, S. A.	Por abrirme sus puertas para realizar mi trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. FASE DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Información general de la empresa	1
1.1.1. Ubicación de la empresa	1
1.2. Historia de la empresa.....	2
1.2.1. Inicios	2
1.2.2. Productos que ofrece la empresa	3
1.3. Estructura organizacional	6
1.4. Misión	7
1.5. Visión.....	7
1.6. Antecedentes.....	7
1.6.1. Justificación	8
1.6.2. Formulación y delimitación del problema.....	8
1.6.3. Alcances o límites.....	8
1.7. Confiabilidad.....	9
1.7.1. Cálculos de confiabilidad	9
1.8. Confiabilidad en los sistemas	11
1.8.1. Sistema en serie	11
1.8.2. Sistema en paralelo	12

	1.8.2.1.	Sistema paralelo activo	12
	1.8.2.2.	Sistema paralelo secuencial.....	13
1.9.		Análisis de criticidad.....	14
1.10.		Cálculo de criticidad	16
1.11.		Descripción de los equipos	19
	1.11.1.	Especificaciones de la máquina dosificadora	19
	1.11.2.	Funcionamiento.....	20
1.12.		Especificaciones de la máquina taponadora	21
	1.12.1.	Funcionamiento.....	21
1.13.		Especificaciones de la máquina llenadora y selladora	22
	1.13.1.	Tipos de envases	23
	1.13.2.	Funcionamiento.....	24
2.		FASE TÉCNICO PROFESIONAL	27
2.1.		Importancia del RCM.....	27
	2.1.1.	Historia del RCM	27
2.2.		Normas para la implementación RCM en la industria	28
	2.2.1.	Norma SAE: ja1011.....	28
	2.2.2.	Norma SAE: ja1012.....	29
2.3.		Modo de implementación del RCM en la maquinaria de la planta	29
2.4.		Desarrollo del RCM.....	30
	2.4.1.	Fase cero: listado de componentes.....	31
	2.4.2.	Fase uno: funciones	34
	2.4.3.	Fase dos: fallos funcionales	35
	2.4.4.	Fase tres: modos de fallo	36
	2.4.5.	Fase cuatro: efectos de falla	38
	2.4.6.	Fase cinco: clasificación de las consecuencias de fallo.....	39

2.4.7.	Fase seis: política de manejo de fallas	41
2.4.8.	Fase siete: tareas programadas	43
2.4.9.	Fase ocho: cambio de especificaciones y operar hasta fallar	45
2.4.10.	Fase nueve: un programa de por vida	46
2.4.11.	Fase diez: puesta en marcha de las medidas y auditarlas	47
2.5.	Mantenimiento de la máquina dosificadora	47
2.6.	Mantenimiento de la máquina taponadora.....	50
2.7.	Mantenimiento de la máquina llenadora y selladora.....	55
2.8.	Diagrama de decisión de RCM.....	58
2.8.1.	Cómo interpretar diagrama de decisión.....	58
3.	FASE DE DOCENCIA	73
3.1.	Observación	73
3.2.	Recursos	73
3.3.	Acciones realizadas.....	74
3.4.	Presentación del RCM.....	75
3.5.	Capacitación.....	75
3.6.	Entrenamiento	75
3.7.	Evaluación.....	76
4.	AHORRO DENTRO DE LA EMPRESA.....	77
4.1.	Índice de eficiencia energética	77
4.2.	Ahorro energético en la empresa	78
4.3.	Control de consumo de recursos en la empresa	80
4.4.	Tratamiento de aguas residuales	82
4.4.1.	Tratamiento aeróbico de aguas residuales.....	82
4.4.1.1.	Tratamiento primario.....	82

4.4.1.2.	Tratamiento secundario.....	83
4.4.1.3.	Tratamiento terciario	83
4.5.	Partes constituyentes	83
CONCLUSIONES.....		87
RECOMENDACIONES		89
BIBLIOGRAFÍA.....		91
APÉNDICES.....		93

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Mapa de ubicación de la empresa	2
2.	Especias.....	4
3.	Sazonadores	4
4.	Organigrama de la empresa.....	6
5.	Curva desgaste <i>versus</i> costos	10
6.	Curva confiabilidad <i>versus</i> costos de mantenimiento.....	10
7.	Disposición de un sistema en serie	11
8.	Disposición de un sistema paralelo secuencial	13
9.	Matriz de criticidad	17
10.	Máquinas dosificadoras en serie	21
11.	Máquina taponadora	22
12.	Máquina llenadora y selladora	23
13.	Costuras que realiza la máquina.....	24
14.	Las siete preguntas del RCM	30
15.	Diagrama de Ishikawa o espina de pescado.....	39
16.	Consecuencias de fallo	40
17.	Curva característica de fallos	42
18.	Puntos de lubricación, dosificadora.....	47
19.	Puntos de lubricación, taponadora.....	50
20.	Puntos de lubricación, llenadora y selladora	55
21.	Control de registros de consecuencias en la hoja de decisión.....	59
22.	Diagrama de decisión de RCM	60

23.	Comparación de consumo eléctrico.....	81
24.	Comparación de consumo de agua	81

TABLAS

I.	Especificación de los ingredientes	5
II.	Clasificación del impacto en operaciones	14
III.	Clasificación según flexibilidad operacional	15
IV.	Clasificación según costos de mantenimiento	15
V.	Clasificación según seguridad y medio ambiente	15
VI.	Frecuencias	16
VII.	Información de las máquinas	17
VIII.	Datos para la criticidad de máquinas	17
IX.	Resultados para análisis de criticidad.....	19
X.	RCM a través del tiempo	28
XI.	Listado de piezas de la máquina dosificadora	31
XII.	Listado de piezas de la máquina taponadora	32
XIII.	Listado de piezas de máquina llenadora y selladora	33
XIV.	Formato de hoja de información I	36
XV.	Formato de hoja de información II	37
XVI.	Clasificación de consecuencias y probabilidades de fallo.....	41
XVII.	Plan de lubricación, dosificadora	48
XVIII.	Plan de mantenimiento preventivo, dosificadora	48
XIX.	Plan de lubricación, taponadora	51
XX.	Plan de mantenimiento preventivo, taponadora.....	54
XXI.	Plan de lubricación, llenadora y selladora.....	55
XXII.	Plan de mantenimiento preventivo, llenadora y selladora.....	56
XXIII.	Mantenimiento predictivo máquina dosificadora y taponadora	61

XXIV.	Mantenimiento predictivo, máquina llenadora y selladora.....	66
XXV.	Planes de ahorro de energía eléctrica.....	78
XXVI.	Planes de ahorro de agua	79

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm³	Centímetros cúbicos
R	Confiabilidad
R_j	Confiabilidad de j-ésimo componente
R_s	Confiabilidad de un sistema en serie
DC	Corriente directa
C	Criticidad
USD	Dólar estadounidense
Gj	Giga joule
GPM	Golpes por minuto
Hz	Hertz
H_p	Horas de paro durante el periodo de evaluación
H_t	Horas trabajadas o de marcha durante evaluación
psi	Libras por pulgada cuadrada
P	Número de paros durante el periodo de evaluación
ppm	Partes por millón
Π	Pi
SCFM	Pies cúbicos por minuto estándar
pH	Potencial hidrógeno
Q	Quetzal
MTBF	Tiempo medio entre fallas
MTTR	Tiempo medio para reparación
VAC	<i>Volts alternating current</i>

GLOSARIO

Activo	Es un bien que la empresa posee y que puede convertirse en dinero u otros medios equivalentes.
Boeing	Compañía aeroespacial líder mundial y el mejor fabricante de aviones comerciales y militares.
Borneras	Conexiones utilizadas para la distribución de energía en paneles y tableros.
Caudal	Volumen de agua que fluye en un lugar o tiempo determinado.
Conectores	Dispositivo utilizado para impedir el paso de la corriente.
Curva P-F	Herramienta utilizada para dar seguimiento y control de condición del equipo en función del tiempo, mediante la detección de fallas potenciales (P) hasta el punto de la falla funcional (F).
Dispositivo fotoeléctrico	Dispositivo electrónico que responde al cambio de intensidad de luz.

Embrague-freno	Dispositivo que absorbe energía para modificar el estado del movimiento de un sistema y a su vez se encarga de interrumpir o transmitir energía.
<i>Form film seal</i>	Se le denomina al proceso de formado de sobre, llenado y sellado.
Material termoestable	Utilizado para la fabricación de sobres el cual no pierde su forma por la acción de presión y calor.
Motorreductor	Conjunto entre un motor eléctrico y una caja reductora de engranajes.
Potencia	En física, se define como la cantidad de trabajo efectuado por unidad de tiempo.
PLC	Controlador lógico programable, es un dispositivo electrónico que su función es la de programar y controlar procesos electromecánicos de máquinas
RCM	Siglas en inglés del mantenimiento centrado en confiabilidad.
SAE	Siglas en inglés de la Sociedad de Ingenieros Automotores.

RESUMEN

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) es un método sistemático que consta de diversos pasos y especificaciones, es un tipo de mantenimiento que se diferencia de los demás por basarse en el estudio detallado de los equipos, sistemas y subsistemas, convirtiéndolo en un procedimiento especial para el cuidado de los activos a los cuales se desean reducir al máximo sus fallas.

Para la implementación del RCM se tomaron en cuenta las maquinarias del área de producción de la planta y se seleccionaron los equipos que deben presentar la menor cantidad de fallas para que la producción no se vea afectada, reduciendo al máximo imprevistos y paros muy prolongados. Se detalla cada uno de los pasos del RCM para darle el seguimiento necesario a cada uno de ellos, guiados por medio de las normas: SAE ja1011 y SAE ja1012.

Las máquinas sometidas a estudio son las máquinas All-Fill encargadas de la dosificación de productos en polvo, operadas en serie con una taponadora automática Tedelta. Las otras maquinarias son las máquinas Fustec encargadas del llenado de especias y sellado de los sobres por medio de un material termoestable sometido a temperatura y presión para darle forma a los sobres.

El resultado será el de elaborar el manual de RCM en donde se detallen las funciones de los componentes de las máquinas, así como la implementación para determinar las fallas que puedan suscitarse para reducirlas al máximo o estar preparado cuando estas lleguen a manifestarse.

OBJETIVOS

General

Implementar el proceso de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) para la optimización del mantenimiento de las máquinas dosificadora, taponadora y llenadoras de especias y consomé.

Específicos

1. Realizar el estudio correspondiente de la maquinaria de producción para determinar su importancia respecto a criterios de seguridad, medio ambiente, costos y operaciones.
2. Implementar la modalidad del mantenimiento centrado en confiabilidad para las máquinas seleccionadas y seguir con la metodología utilizada en las normas que rigen este modelo.
3. Mejorar y complementar las técnicas de manejo de los equipos mediante la creación de tablas, fichas y hojas basadas en mantenimiento preventivo y correctivo, además de la nueva modalidad de mantenimiento predictivo usado en el RCM.
4. Dar capacitación a las personas de mantenimiento y producción involucradas en el manejo y cuidado de los activos sometidos a estudios, para garantizar que se cumplan las nuevas medidas implementadas y que continúen para mejores resultados.

5. Implementar medidas y proyectos relacionados con el cuidado ambiental para reducir el consumo de recursos y por lo tanto los costos.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la mayoría de organizaciones se encuentran en un proceso de mejora continua, y la industria de alimentos y bebidas en polvo no es la excepción. Por lo que la gestión de un mantenimiento que incluya diversos planes estratégicos dirigidos al cumplimiento de seguridad, productividad, cuidados al medio ambiente y sobre todo confiabilidad en los equipos, tendrá como resultado que la competitividad de la empresa esté encaminada al cumplimiento de metas y sea más reconocida.

Debido a que el mantenimiento ha evolucionado al pasar de los años, sufriendo modificaciones, pasando de ser una función puramente de preservación del activo y aplicación del correctivo, hasta presentarse como una inversión que en cierto punto se manifiesta como una rentabilidad financiera mayor, ya que prolongará la vida útil de los equipos, lo cual será observable en el aumento de producción y reduciendo los costos fijos.

Por lo que, al hablar de mejora continua en mantenimiento, se desea implementar el mantenimiento centrado en confiabilidad, o RCM por sus siglas en inglés *reliability centered maintenance*, que inicialmente era un método utilizado en la industria aeronáutica alrededor de los años 60 y que posteriormente se implementó en la industria comercial.

A continuación se detalla cómo se desarrolló esta modalidad de mantenimiento para determinar las fallas del equipo, sus sistemas y subsistemas; con la expectativa de disminuirlas al máximo, aumentando la confiabilidad y desempeño de las máquinas en el área de producción.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1. Información general de la empresa

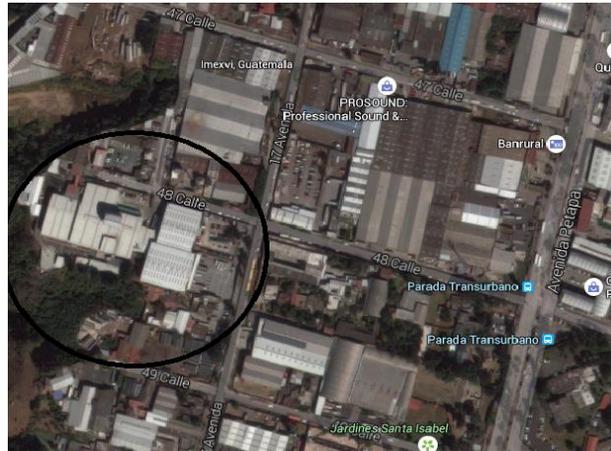
La empresa lleva a cabo con una gran variedad de procesos de fabricación de productos deshidratados, así como la fabricación de bebidas en polvo, cuenta también con el proceso de llenado de los mismos, todo mediante procesos de alta tecnología automatizados y de ahorro energético. Está dedicada al cumplimiento de requisitos de cuidado del medio ambiente, buenas prácticas de manufactura y seguridad dentro de la empresa, consolidándola como una empresa de alto prestigio y líder en este tipo de mercado.

Recientemente la empresa se encuentra a cargo de la compañía multinacional Nestlé, con fábricas en más de 81 países, siguiendo con la tradición de Malher, S. A. y mejorando cada vez más para los consumidores mediante la innovación de sus equipos y procesos.

1.1.1. Ubicación de la empresa

La empresa Malher, S. A. está ubicada en las cercanías de la avenida Petapa, en la 17 avenida 48-54 zona 12 de la ciudad de Guatemala, como muestra la figura 1.

Figura 1. **Mapa de ubicación de la empresa**



Fuente: Google Earth. Consulta: mayo de 2015.

1.2. **Historia de la empresa**

A continuación se presenta una breve historia de la empresa, desde sus inicios hasta la situación actual.

1.2.1. **Inicios**

Una familia guatemalteca comenzó un pequeño negocio que en pocos años se convirtió en todo un éxito. Todo comenzó en la abarrotería que fundaron los esposos Miguel Ángel Maldonado y María García.

En 1957, tras unos años de operaciones exitosas y estables, se da por fundada Malher, S. A. En aquellos momentos era imposible imaginar el alcance que llegaría a tener esta empresa que ahora se codea con multinacionales de primer orden.

En la década de los 60, con el crecimiento de la producción hubo la necesidad de instalar la planta en la zona 3 de la ciudad capital. En 1964 don Miguel Ángel introdujo a los hogares el producto insignia, el consomé de pollo.

En la década de los 80 los productos se enraizaron en los hogares de los consumidores a nivel nacional y regional. Esto permitió, en 1983, la apertura de la nueva planta, haciendo posible la fabricación de 12 líneas de productos.

Uno de los principales ingredientes de esta época fue la consolidación del sistema propio de distribución, un sistema con el objetivo principal de que en ninguna mesa faltara el toque característico de la empresa.

Actualmente, la empresa está unida con el liderazgo y experiencia de Nestlé, con la eficiencia y cobertura de un sistema de distribución único y la flexibilidad de sus procesos productivos, para satisfacer las necesidades de consumidores emergentes en toda la región y juntos trascender de nuevo en el mercado y en la historia.

1.2.2. Productos que ofrece la empresa

- Especias

La empresa cuenta con una gran gama de productos de este tipo. Son sustancias de origen vegetal, como semillas, frutos, flores, que se utilizan para la sazón de los alimentos y su característica principal es su sabor fuerte.

Figura 2. **Espicias**



Fuente: *Condimentos y especias*. www.malher.com. Consulta: mayo de 2015.

- **Sazonadores**

Este tipo de productos se utilizan para aromatizar platos con diferentes sabores, así como para conservar los alimentos por más tiempo.

Figura 3. **Sazonadores**



Fuente: *Condimentos y especias*. www.malher.com. Consulta: mayo de 2015.

Algunos de los ingredientes principales para la elaboración de estos productos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla I. **Especificación de los ingredientes**

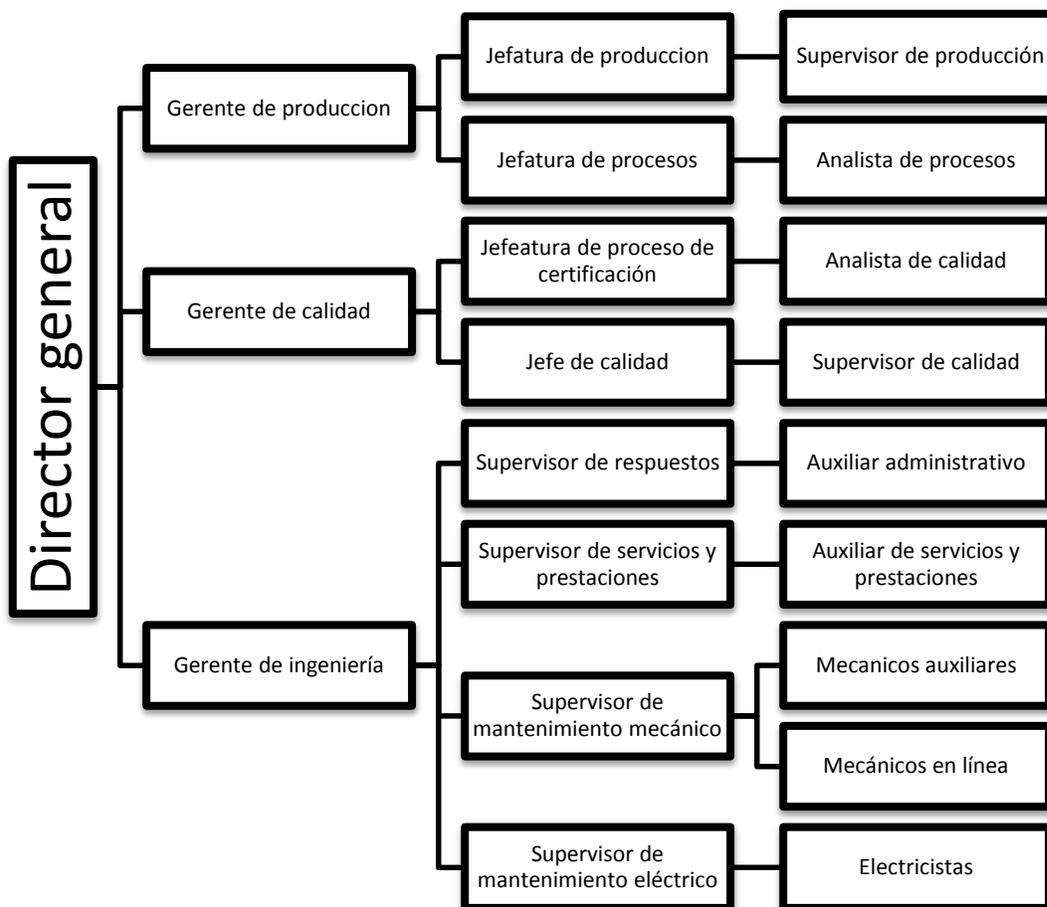
Ingrediente	Función
Glutamato monosodico, $C_5H_8NNaO_4$	Es un saborizante en forma de sal el cual se agrega a productos procesados para maximizar el sabor, el glutamato proviene de la caña de azúcar fermentada.
Dextrosa, $C_6H_{12}O_6$	La dextrosa es el nombre de la glucosa en el área alimentaria, esta es utilizada comercialmente como un edulcorante. Sus usos comunes son en la elaboración de la cerveza y el vino
Estearato de calcio	Es un polvo refinado, incoloro y suave, aditivo en alimentos, su uso común es como estabilizante y deslizante, ya que cuenta con propiedades de lubricación para su uso en polímeros, es clasificado como una sal de calcio de ácido orgánico.
Sal yodada, NaCl	La sal es una sustancia blanca, cristalina, muy soluble en el agua, la sal yodada se crea de forma artificial agregándole yodo para cubrir las carencias de la dieta.
Dióxido de silicio, SiO_2	Es un polvo envolvente que ayuda a la mejora de la humectabilidad del producto alimenticio y de esa manera evita que se formen grumos. De esta forma los productos poseen mayor estabilidad y su almacenamiento llega a ser largo sin deterioro alguno.
Fosfato tricalcico	Es un producto moderador de acidez, se le usa para diferentes acciones, entre ellas prevenir la formación de grumos, estabiliza la textura de los vegetales enlatados y para la fortificación de alimentos.
Maltodextrina	Es extraída del almidón de maíz, trigo, centeno, el plátano o la yuca, en la industria alimentaria es utilizada como humectante y espesante también se encarga de estabilizar alimentos con gran cantidad de grasas, creando un efecto de durabilidad sin deterioro.
Inosinato disodico	Es un aditivo alimenticio soluble en agua, principal sustituto de la sal, este se puede obtener por medio de procesos de fermentación bacteriana de azúcares, o también elaborado a partir de carne o pescado.

Fuente: elaboración propia.

1.3. Estructura organizacional

La empresa cuenta con varios departamentos y una estructura de tipo funcional, ya que las personas tienen un jefe inmediato y el jefe las supervisa en sus tareas. La siguiente figura muestra la estructura de trabajo de los distintos departamentos, ya que cuentan con expertos especializados y con amplio conocimiento para la administración de sus funciones.

Figura 4. Organigrama de la empresa



Fuente: elaboración propia, con datos de la empresa.

1.4. Misión

“Producir y comercializar alimentos y bebidas de alta calidad y fácil preparación para satisfacer a los consumidores”.¹

1.5. Visión

“Ser la empresa de alimentos más reconocida y exitosa de la región y mercados adyacentes, con innovación, calidad y flexibilidad, siendo líderes en donde participemos, logrando que todos consuman nuestras marcas”.²

1.6. Antecedentes

Desde el creciente aumento en el uso de equipos de tecnología avanzada se busca que el equipo funcione de manera que cumpla todas sus tareas así como prolongando lo más posible su tiempo de vida.

Los equipos que desempeñan una importante parte en el funcionamiento eficiente de un proceso deben contar con un alto mantenimiento y aplicarlo de forma correcta. Cada vez estos sistemas son más sofisticados, lo cual ayuda a proporcionar una gran productividad al menor costo; pero para que esto se cumpla es de suma importancia conocer varios aspectos que pueden afectar la efectividad y el rendimiento de estos equipos.

¹ Misión proporcionada por Malher, S. A.

² Visión proporcionada por Malher, S. A.

1.6.1. Justificación

Debido al gran número de maquinaria y equipos que deben estar en óptimas condiciones, es necesario, en el proceso del área de fabricación de productos alimenticios y de bebidas, llevar un control de la forma en que estos son tratados y de partes que son de interés, además de la importancia del ciclo en que estos operan, tomando en cuenta el origen de la fallas mediante la metodología de aplicación del RCM y determinar qué tanto beneficio se obtendrá en la producción, ya que es de gran impacto dentro de esta industrial.

1.6.2. Formulación y delimitación del problema

El principal problema se debe que todo mecanismo, máquina y sus accesorios tienen que tener un buen mantenimiento, ya que estas partes pueden presentar deficiencias, las cuales afectan tanto el equipo como la producción, lo cual genera un gran impacto económico. Por lo tanto, deben tomarse en cuenta las diferentes fallas que pueden dañar este equipo y determinar cuáles son los mejores procesos de prevención e intervención en los equipos, para tener mayor cuidado, obteniendo así menos tiempos de mantenimiento debido a la menor variación de sus imprevistos en relación con las fallas, desgaste, averías, entre otros.

1.6.3. Alcances o límites

Debido a la gran cantidad de máquinas, equipos y elementos auxiliares que hay en la empresa solo se estudiarán las de mayor importancia.

1.7. Confiabilidad

Al implementar un mantenimiento centrado con confiabilidad se debe crear la incógnita de ¿qué exactamente es la confiabilidad? La confiabilidad (R) es definida como un componente en el instante t, visto de la forma $R(t)$ y no es más que la probabilidad de que un elemento no falle en un intervalo (0, t), tomando en cuenta que en el instante $t=0$ será tomado como un elemento nuevo o como nuevo.

La confiabilidad es asociada básicamente con la tasa de fallas, el tiempo medio de operación y el tiempo de operación. Asimismo, cuando el número de fallas de un equipo vaya aumentando o mientras el tiempo medio de operación del equipo disminuya, la consecuencia de la confiabilidad es que será menor.

1.7.1. Cálculos de confiabilidad

Para tener claro la confiabilidad referente al cálculo se debe saber su definición la cual es de la siguiente manera: “Es la probabilidad de que un sistema, activo o componente lleve a cabo su función adecuadamente durante un periodo bajo condiciones operacionales previamente definidas y constantes”.³

Esta definición de la confiabilidad la describe como un dato estadístico, ya que esta probabilidad puede ser determinada o calculada a partir de información de registros de paros.

³ BAVARESCO, Guillermo. *Mantenimiento una herramienta para la productividad*. p. 24.

La siguiente ecuación es la utilizada para el cálculo de la confiabilidad:

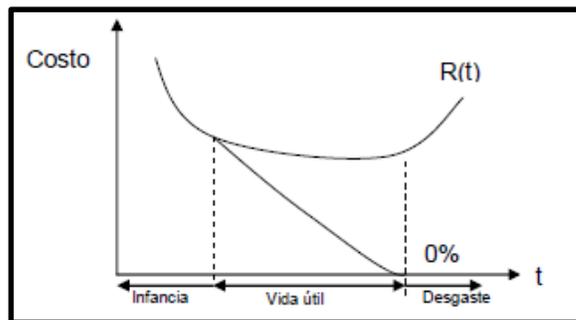
$$R = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100 \quad (1)$$

Los datos anteriores se calculan de la siguiente manera:

$$MTBF = \left[\frac{h_r}{p} \right] \times 100 \quad (2)$$

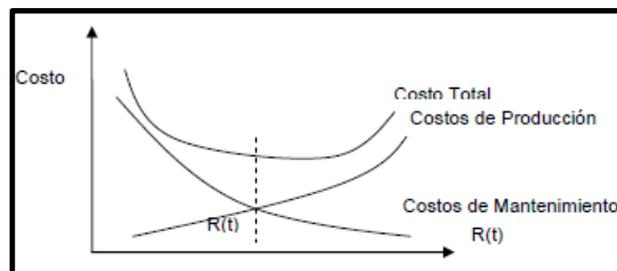
$$MTTR = \left[\frac{h_p}{p} \right] \times 100 \quad (3)$$

Figura 5. **Curva desgaste versus costos**



Fuente: DA COSTA BURGA, Martin. *Mantenimiento motores de gas*. p. 25.

Figura 6. **Curva confiabilidad versus costos de mantenimiento**



Fuente: DA COSTA BURGA, Martin. *Mantenimiento motores de gas*. p. 26.

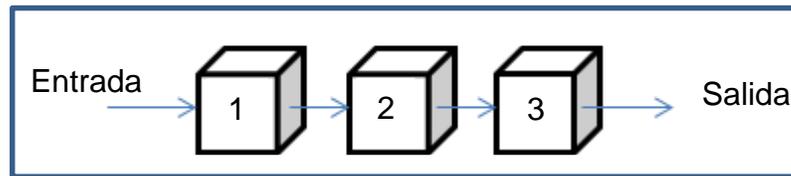
1.8. Confiabilidad en los sistemas

Se basa en determinar qué tan eficiente es el mantenimiento que se está aplicando, ayudando a llevar un control estadístico que sirve para llevar un registro en un periodo establecido.

1.8.1. Sistema en serie

Los sistemas en esta disposición se caracterizan porque el funcionamiento de cada sistema que lo compone depende directamente del funcionamiento del sistema que lo antecede, es decir, si uno de los componentes falla todo el sistema lo hará.

Figura 7. Disposición de un sistema en serie



Fuente: elaboración propia.

$$\text{Para } n \text{ sistemas en serie: } R_s = \prod_{j=1}^n R_j \quad (4)$$

$$\text{Para este sistema en serie: } R_s = R_1 \times R_2 \times R_3 \quad (5)$$

Por lo que, el carácter de multiplicación de las confiabilidades hace que el sistema sea más propenso a las fallas.

1.8.2. Sistema en paralelo

Denominado también sistemas redundantes, es más complejo en su funcionamiento, más costosos y por consecuente de mayor confiabilidad. Esto significa que algunas de las funciones pueden duplicarse, triplicarse, y más. Este sistema tiene el propósito de garantizar la operación normal del proceso, generalmente es poco común por el costo que implica.

Este sistema se divide en dos, los cuales son:

1.8.2.1. Sistema paralelo activo

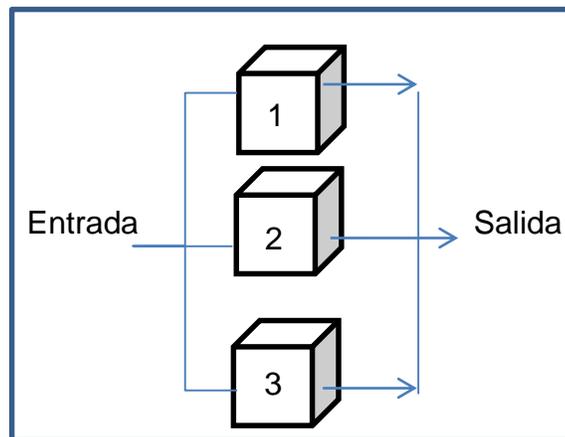
- Sistema de dos unidades
 - Ambas unidades funcionan
 - Solo se necesita una
 - El sistema falla si las dos unidades fallan

- Sistema de tres unidades
 - Las tres unidades funcionan
 - Solo se necesita de una
 - El sistema falla si las tres unidades fallan

1.8.2.2. Sistema paralelo secuencial

En estos sistemas la maquinaria no funciona simultáneamente, sino que se espera a que se produzca la falla para entrar en servicio. Como la cantidad de equipos que trabajan son varios, las unidades que fallan pueden ser reparadas o sustituidas por otra, de modo que no puede fallar cuando no funciona. También se denomina sistema de reserva o *stand by*.

Figura 8. Disposición de un sistema paralelo secuencial



Fuente: elaboración propia.

$$\text{Para } n \text{ sistemas en paralelo secuenciales: } R_s = 1 - \prod_{j=1}^n (1 - R_j) \quad (6)$$

Para este sistema en paralelo secuencial:

$$R_s = 1 - [(1 - R_1) \times (1 - R_2) \times (1 - R_3)] \quad (7)$$

1.9. Análisis de criticidad

La criticidad del equipo es una medida que se impone a la necesidad de desarrollar este método y definir los niveles del equipo que se desea estudiar, todo mediante una ecuación matemática, para calcular la escala en que se encuentra el activo o activos en estudio. Para el análisis se determinan las variables de la criticidad que son la frecuencia y la consecuencia, y se desglosan según sus efectos mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Criticidad} = \text{frecuencia} \times \{(\text{impacto operacional} \times \text{flexibilidad operacional}) + (\text{costo de mantenimiento}) + (\text{impacto seguridad y medio ambiente})\} \quad (8)$$

En esta ecuación se debe determinar la consecuencia; que se define como el resultado de un evento y puede existir una o más consecuencia por cada evento que pueden expresarse tanto cualitativamente como cuantitativamente. Los aspectos a considerar para calcular la consecuencia son los ligados al impacto en operaciones, flexibilidad operacional, costo de mantenimiento y el impacto en la seguridad y ambiente.

Tabla II. **Clasificación del impacto en operaciones**

Impacto en operaciones		Factor
Alta	Parada inmediata de toda la planta.	5
Media alta	Impacto a nivel de producción o de calidad.	4
Promedio	Parada inmediata de un sector de la línea de producción.	3
Baja	Impacto en costos operacionales adicionales asociados a la disponibilidad del equipo.	2
Excelente	No se detecta ningún efecto significativo sobre operaciones y la producción.	1

Fuente: elaboración propia, con base en distintas investigaciones.

Tabla III. **Clasificación según flexibilidad operacional**

Flexibilidad operacional		Factor
Alta	No existe opción de producción y equipo de respaldo.	5
Media alta	Existe repuestos pero de largo plazo de entrega.	4
Promedio	Existen repuestos de corto plazo de entrega o disponibles.	3
Baja	Existe opción de respaldo compartido.	2
Excelente	Existe otra opción de respaldo disponible.	1

Fuente: elaboración propia, con base en distintas investigaciones.

Tabla IV. **Clasificación según costos de mantenimiento**

Costo de mantenimiento (aproximado)		Factor
Excelente	De Q 0, 00-Q10 000, 00	1
Baja	De Q10 000, 00-Q50 000, 00	2
Meda	De Q50 000, 00-Q100 000, 00	3
Media alta	De Q100 000, 00-Q150 000, 00	4
Alta	De Q150 000, 00 en adelante	5

Fuente: elaboración propia, con base en distintas investigaciones.

Tabla V. **Clasificación según seguridad y medio ambiente**

Impacto en la seguridad y el medio ambiente		Factor
Critico	Afecta seguridad humana tanto dentro como fuera del recinto y el medio ambiente considerablemente.	5
Media alta	Afecta instalaciones provocando daños considerables.	4
Media	Daños menores (accidentes e incidentes) del personal.	3
Baja	Impacto al ambiente pero que no viola las normas ambientales.	2
Excelente	No provoca ningún daño a personas, instalaciones ni ambiente.	1

Fuente: elaboración propia, en base en distintas investigaciones.

La frecuencia es un parámetro que representa la cantidad de veces que falla un equipo de cualquier tipo en un periodo determinado, la estimación de la frecuencia se realiza utilizando criterios y rangos preestablecidos:

Tabla VI. **Frecuencias**

Frecuencia de fallas		Factor
Alta	Más de 52 fallas por año (más de una falla a la semana).	5
Media Alta	Entre 27 y 52 fallas por año (1 falla semanal).	4
Promedio	Entre 13 y 26 fallas por año (1 falla cada 2 semanas).	3
Baja	Entre 1 y 12 fallas por año (1 falla mensual).	2
Excelente	Menos de 1 fallas por año.	1

Fuente: elaboración propia, con base en distintas investigaciones.

Los factores de las tablas se utilizan para determinar la criticidad y están en función de números del 1 al 5, donde 1 es el mejor de los casos y aumentan gradualmente hasta el caso menos óptimo, el número 5.

1.10. Cálculo de criticidad

A continuación se detalla el cálculo de la confiabilidad de las máquinas para determinar su clasificación según este método.

Tabla VII. Información de las máquinas

<p>Máquina: llenadora y selladora.</p> <p>Cantidad: 2 llenadoras y selladoras.</p> <p>Condiciones de operación:</p> <p>Fluido: aire comprimido.</p> <p>Consumo: caudal de 130 litros/minuto a una presión de 6 bar, 3X220 en 60 Hz.</p> <p>Función: llenado y formado del sobre.</p>	<p>Máquina: dosificadora y taponadora.</p> <p>Cantidad: 2 dosificadoras y 1 taponadora.</p> <p>Condiciones de operación:</p> <p>Fluido: aire comprimido.</p> <p>Consumo: caudal de 7-8 SCFM a una presión de 80 psi, taponadora a una tensión 208VAC 60HZ, 24VDC.</p> <p>Función: llenado de botes y cierre con tapaderas.</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

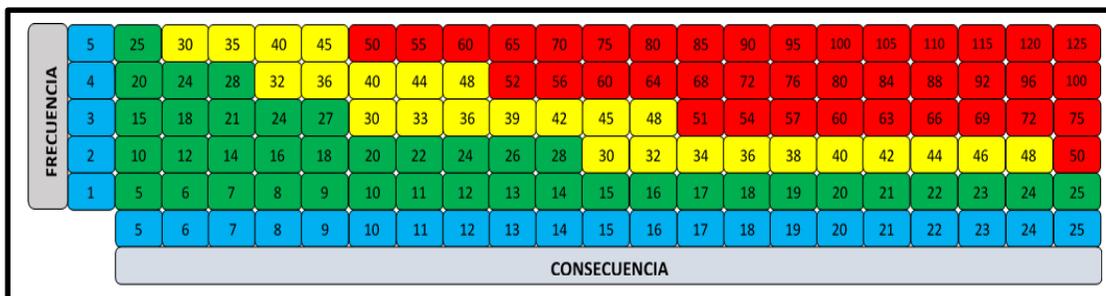
Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. Datos para la criticidad de máquinas

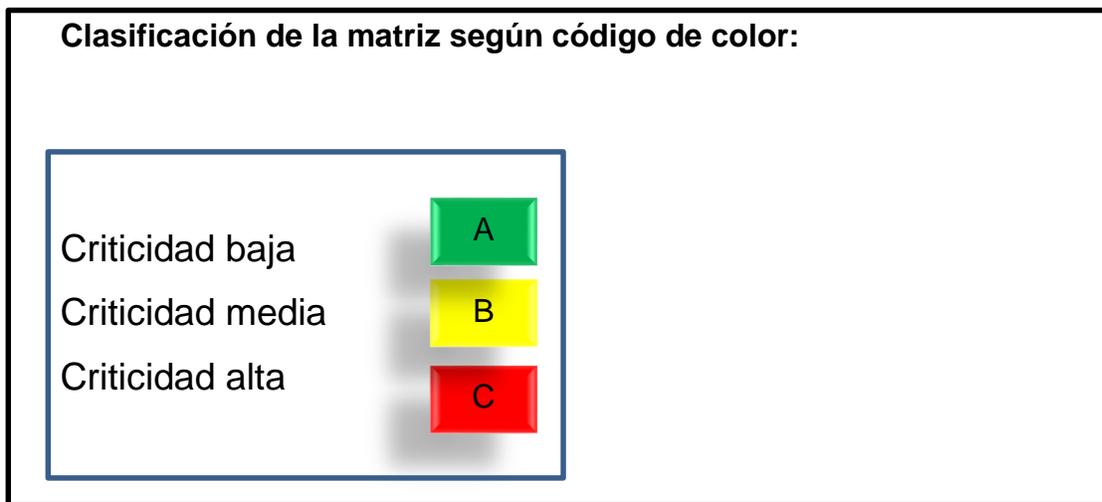
Equipos	Canti- dad de equipos	Factor impacto en operaciones	Factor flexibilidad Operacional	Factor costo mantenimiento	Factor impacto seguridad y medio ambiente
Dosificador	2	4	3	2	1
Taponadora	1	3	3	1	1
Banda transportadora	1	4	3	1	1
Llenadora y selladora	2	4	3	2	1

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Matriz de criticidad



Continuación de la figura 9.



Fuente: elaboración propia.

La matriz es una herramienta utilizada para determinar en qué clasificación se encuentra el equipo. En el eje horizontal se encuentra la consecuencia y se ubica el número resultante en los cuadros celestes según los factores que intervienen en el cálculo (ver ecuación 8) y en el eje vertical la frecuencia del equipo según su clasificación en la tabla VI. Se realiza la multiplicación y el resultado es un número que, según su ubicación en la matriz, determina un valor correspondiente a un color.

Tabla IX. **Resultados para análisis de criticidad**

Criticidad= Frecuencia x consecuencia				
Máquinas sometidas a estudio	Factor de frecuencia tomado de tabla VI.	Consecuencia en cada caso según factores de tablas II, III y IV	Resultado multiplicación	Criticidad
Dosificadora	4	10	40	B
Taponadora	4	8	32	B
Banda transportadora	4	9	36	B
Llenadora y selladora	2	10	20	A

Fuente: elaboración propia.

1.11. Descripción de los equipos

A continuación se detallan los equipos sometidos a estudio de RCM, para conocer sus características principales y funciones operacionales.

1.11.1. Especificaciones de la máquina dosificadora

Esta máquina es una dosificadora semiautomática que funciona mediante aire comprimido y diversos mecanismos mecánicos y eléctricos. Es utilizada para el llenado de polvos y líquidos mediante dos cabezas de llenado operadas en serie y un sistema de transporte de los recipientes a lo largo de las máquinas.

El producto es llevado de un nivel superior de la máquina y los envases por un conducto proveniente del mismo nivel que el de la caída del producto.

1.11.2. Funcionamiento

El proceso de dosificación es de forma vertical iniciando desde la parte superior de la cabeza de llenado hasta llegar al recipiente ubicado en la parte inferior de la tolva de abastecimiento. Un motorreductor alimenta el tornillo de abastecimiento, el producto desemboca de la tubería de alimentación a la tolva donde se mantiene un nivel de producto adecuado para el llenado mediante un control de nivel electrónico.

Un segundo motorreductor junto a una cadena de transmisión son encargados de transmitir potencia al agitador dentro de la tolva para que el producto no se apelmace en las paredes de la tolva y un agitador de alta velocidad, que gira acoplado al eje del tornillo de abastecimiento, a la misma velocidad de rotación.

El sistema de embrague freno es el que controla la rotación del tornillo dosificador, operado eléctricamente y ubicado en el interior de la cabeza de llenado, cuando se completa el periodo definido de llenado, se activa el freno y el embrague es liberado para detener la rotación del eje, mientras el motor continua girando para mayor eficiencia.

El transporte de recipientes a llenar se da mediante un motor de corriente directa, debido a su trabajo de torque elevado y su caja de engranajes para una operación suave y trabajo continuo, además de una cadena de transporte.

Pistones neumáticos accionan brazos que detienen el bote en la posición de llenado y se liberan cuando se termina el tiempo de dosificación, continuando su recorrido rumbo a la taponadora.

Figura 10. **Máquinas dosificadoras en serie**



Fuente: *Filling machine*. www.all-fill.com. Consulta: julio 2015.

1.12. **Especificaciones de la máquina taponadora**

La taponadora es una máquina que fue especialmente diseñada para el proceso de cierre de envases de plástico y vidrio, por medio de un proceso totalmente automatizado.

1.12.1. **Funcionamiento**

La máquina taponadora automática se opera en serie con la línea de producción que desee ajustarse y se intercala acoplándose a la línea de suministro de aire comprimido de la fábrica. La máquina, una vez ajustada al tipo de envase, trabaja de forma totalmente autónoma.

Esta función se lleva a cabo debido a una serie de sensores que sirven para detectar cualquier anomalía, como atascamiento en la entrada, trabajo en vacío en la salida, falta de tapones, entre otros.

Figura 11. **Máquina taponadora**



Fuente: *Taponadoras*. www.tedelta.com. Consulta: julio 2015

1.13. Especificaciones de la máquina llenadora y selladora

Esta es una máquina envasadora automática, de llenado vertical, mecánico, operado neumáticamente. Es apta para el envasado de polvos, granos, líquidos y semilíquidos.

Partiendo de una bobina de material termoestable de envoltura, forma el sobre, lo llena y lo cierra. Este proceso se conoce internacionalmente como *form-fill-seal* (FFS).

Figura 12. **Máquina llenadora y selladora**

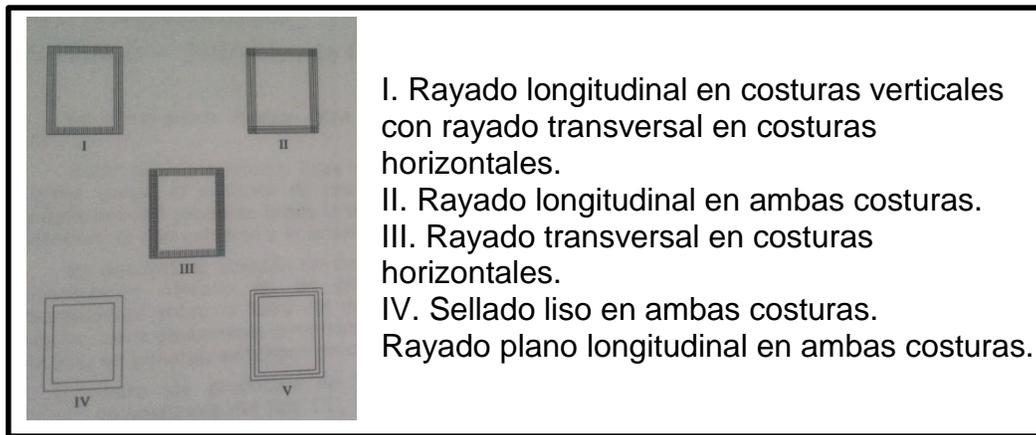


Fuente: *Productos*. www.fustec.com.ar. Consulta: julio 2015

1.13.1. Tipos de envases

La máquina produce envases planos de cuatro costuras, de diferentes tamaños y cantidades, de acuerdo a las necesidades de *packaging* del cliente, dentro de un rango de medidas que van desde los 37 mm hasta los 300 mm de ancho, y desde los 50 mm hasta los 300 mm de largo. Esto permite a la máquina producir desde uno hasta 6 sobres simultáneamente.

Figura 13. **Costuras que realiza la máquina**



Fuente: Fustec. *Manual máquina llenadora y selladora*. p. 7.

1.13.2. **Funcionamiento**

El movimiento de la envasadora es generado por un sistema motorreductor, libre de mantenimiento, de corriente alterna de 2 HP, controlado por un sistema electrónico que, modificando tensión y frecuencia, permite una variación continua de la velocidad.

El movimiento circular del eje principal de la máquina es transformado en movimiento rectilíneo alternativo por un sistema biela-manivela que transmite su movimiento por medio de un brazo a un piñón que lo transforma, a su vez, en movimiento circular alternativo. Este movimiento es aprovechado para mover el eje que comanda las ruedas de tracción del film, controlado por medio de un embrague-freno.

El tablero eléctrico, diseño normalizado, cuenta con circuitos electrónicos de tecnología propia y con componentes como contactores, conectores, pulsadores y borneras de marcas reconocidas mundialmente.

Además, la máquina incorpora un controlador lógico programable (PLC), que permite un reglaje completo de todas las funciones mediante la incorporación de datos a través de una pantalla táctil, ubicada sobre el frente del tablero.

El límite mecánico de la envasadora es ciento treinta ciclos (o golpes) por minuto (130 gpm). La velocidad de operación está limitada usualmente por razones prácticas que dependen principalmente del producto (polvo en suspensión, espuma, dificultad de deslizamiento, viscosidad, entre otros).

- Abastecimiento

La envasadora maneja volúmenes desde 1 cm³ hasta 1 000 cm³, dado que el producto debe ser conducido hasta la envasadora y que, en ciertos casos, el volumen de producto a desplazar obliga a un abastecimiento automático del producto hasta la tolva.

2. FASE TÉCNICO PROFESIONAL

2.1. Importancia del RCM

El RCM es un proceso que se realiza de forma sistemática y científicamente con el fin de asegurar que los activos físicos de una empresa continúen operando de la forma en la cual los usuarios inicialmente decidieron obtener ese equipo.

- Integración: de una revisión de las fallas de operación tomando en cuenta el aspecto de la seguridad y amenazas del medio ambiente, por lo que estos dos aspectos hacen que en el mantenimiento se tomen mucho en cuenta al momento de tomar decisiones.
- Atención: para las tareas de mantenimiento que tienen mayor impacto en el funcionamiento y desempeño de las instalaciones, garantiza que la inversión en mantenimiento sea utilizada donde sea de mayor beneficio.

2.1.1. Historia del RCM

Al final de los años 50 la aviación comercial estaba sufriendo muchos accidentes que, estadísticamente, eran muy elevados. De esa forma es que nace el mantenimiento centrado en confiabilidad, en cooperación con entidades como la Nasa y empresas privadas como Boeing que es una empresa encargada de construir aviones. En los años 60 y 70 se desarrolla fuertemente esta modalidad de mantenimiento.

Debido al gran éxito alcanzado en la industria de aeronáutica, otros tipos de industrias empiezan a utilizar este tipo de mantenimiento, como empresas de generación eléctrica, petroleras, refinación de gas e industria de manufactura, adecuándolas al tipo de proceso que utilizan, de esta manera el RCM adaptado a la rama industrial se le denomina MCC 2.

Tabla X. **RCM a través del tiempo**

Año	Suceso
1960	MSG-1, precursor del RCM, para la compañía Boeing en su modelo 747, considera que no todos los equipos son idénticos y que por lo mismo no se le debe hacer un mantenimiento sistemático a todos.
1970	MSG-2, es creado el diagrama de decisión lógico. Este proceso se extiende a toda la industria de aviones.
1980	MSG-3, el RCM es aplicado al mundo nuclear y es implementado en industria: RCM2.
1990	MSG 3, 2ª edición.
2000	Edición de las normas estándar SAE JA 1011 y 1012 y edición de la 3ª versión del MSG 3.

Fuente: elaboración propia.

2.2. Normas para la implementación RCM en la industria

Para implementar este método de mantenimiento se siguen normas para realizar el mejor análisis y obtener resultados positivos y confiables.

2.2.1. Norma SAE: ja1011

La Norma SAE: JA1011 es un documento que describe los criterios mínimos que deben cumplirse para ser denominado RCM, si el proceso satisface los criterios descritos, se considera un proceso de RCM. Aunque la Norma no intenta

definir un proceso específico, se utilizará como guía para la elaboración del proyecto para realizarlo de la mejor manera.

2.2.2. Norma SAE: ja1012

Por su parte, la Norma SAE: JA1012 es una guía más explícita de la forma de llevar a cabo el proceso de RCM, ya que la norma 1011 lo hace con términos bastante propios y si no se está familiarizado con ellos es difícil comprender del todo lo que se quiere llevar a cabo.

2.3. Modo de implementación del RCM en la maquinaria de la planta

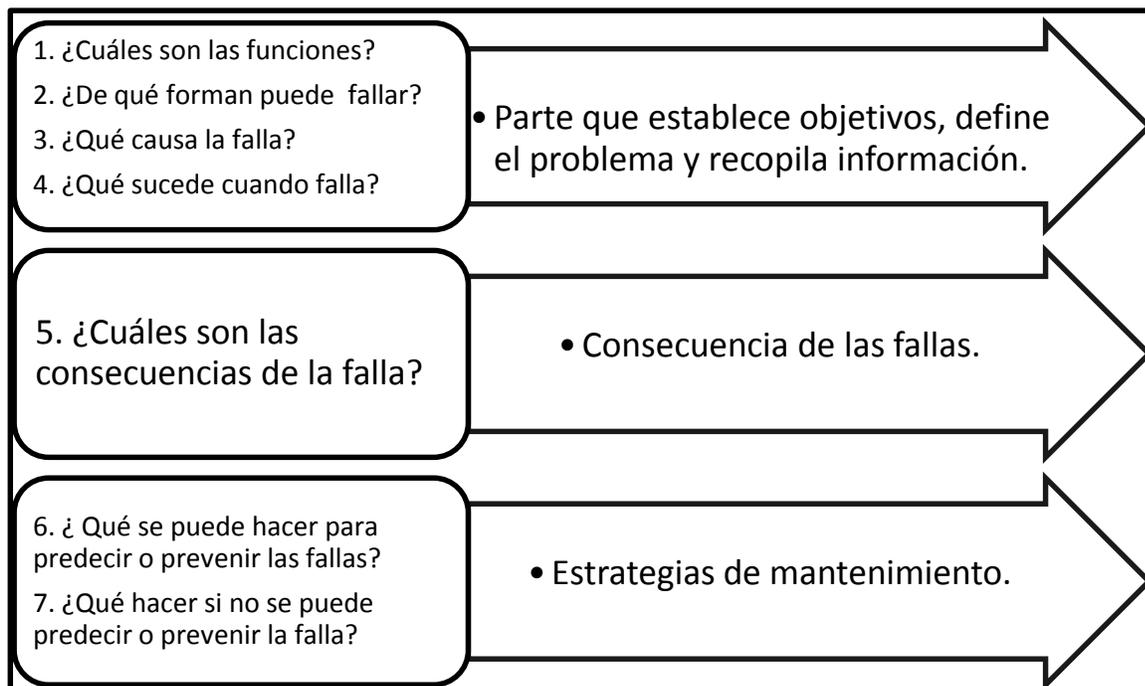
Este método se implementará con base en una serie de pasos elaborados y relacionados. Principalmente se debe tomar en cuenta las metas de la productividad y de mejora que ha definido la industria, por lo que se precisará una clara estrategia por parte del Departamento de Ingeniería, que es el que vela por la gestión del mantenimiento, tomando en cuenta el mejoramiento de costos, fiabilidad para realizarlo, entre otros. Con esto claro hay que evaluar los métodos y maneras, para que las metas puedan alcanzarse.

Teniendo claras las metas y como pretenden alcanzarse, se debe llevar a cabo un trabajo de investigación, para deducir los modos de fallo más frecuentes y la mejor forma de eliminar o reducir las consecuencias de cada fallo.

En algunos casos, el análisis de fallos asociado con los costos aconsejará dejar que el equipo continúe operando hasta el fallo, esto dependerá de lo que el análisis refleje y no hacer ningún tipo de mantenimiento preventivo. En otros, por ejemplo, también se inducirá que el equipo funcione hasta que falle, pero con un

sistema paralelo activo cuya intervención será más barata que realizar un mantenimiento periódico.

Figura 14. Las siete preguntas del RCM



Fuente: elaboración propia.

2.4. Desarrollo del RCM

Para elaborar el análisis de mantenimiento centrado en confiabilidad se sigue una serie de pasos que ayudan a recopilar datos para implementarlo. Los pasos son los siguientes.

2.4.1. Fase cero: listado de componentes

En la fase cero se da inicio al estudio de las máquinas enlistando sus principales componentes para conocer más a fondo cómo están armadas y compuestas.

Tabla XI. Listado de piezas de la máquina dosificadora

<p>Eléctricos y electrónicos</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. PLC FESTO-FC20 2. Entradas PNP/NPN, 8 salidas por RELE. 3. Alimentación 24 VDC 4. Cable de unión entre PLC 5. Pantalla FED -50 6. Cable de conexión entre FED -50 y FEC -FC20 7. Contador/ temporizador digital 8. ALL-FILL panel de control Micro counter 9. Sistema de microcomputador Cerebus II para ALL-FILL 10. Modulo embrague freno 11. Motor DC de velocidad variables para cadena transporte Modelo 4Z531A 12. Motorreductor del removedor 13. Motor de dosificación (llenado) 14. Dayton control de Motor DC modelo 6X165E 15. Motor de llenado contrarreloj 16. Control de nivel 17. Desconexión de seguridad: parada de emergencia el equipo 18. Mecanismo vibrador eléctrico 	<p>Mecánicos</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Cadena del motor del removedor 2. Piñón 3. Pines 4. Mesas giratorias 5. Removedor (agitador) de alta velocidad 6. Removedor (agitador) de baja velocidad 7. Barrena (tornillo dosificador) 8. Eje de conexión de la barrena en la cabeza de llenado. 9. Arandela de goteo <i>drip washer</i> 10. Eje adaptador o collar de bloqueo de la barrena 11. Transmisión por correa 12. Polea 13. Cadena de transporte 14. Rieles ajustables 15. Accesorios de llenado: 16. Embudo 17. Collar de bloqueo 18. Depósito de alimentación 19. Mesa giratoria 20. Boquilla o cañuelas conducir el producto al interior del bote 21. Adaptador del taladro)
<p>Neumáticos</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Cilindros de aire 2. Unidad de mantenimiento 3. Electroválvula 4. Válvula reguladora 5. ¼" NPT conexión de entrada filtrada para aire comprimido 	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Listado de piezas de la máquina taponadora**

<p>Eléctricos y electrónicos</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Elemento conexión 2. Motor eléctrico 3. Fotocélula 4. Cabezal magnético 5. Motor de elevación 6. Motorreductor 	<p>Mecánicos</p> <ol style="list-style-type: none"> 7. Bancada 8. Guía 9. Distanciador elevador 10. Bandeja 11. Rodillo 12. Bandeja abatible 13. Pomo 14. Soporte tornillo regulación 15. Aguja bandeja 16. Eje bandeja abatible 17. Eje tracción 18. Rueda 19. Tolva 20. Tensor 21. Rodillo retorno 22. Juntas 23. Rodamientos 24. Eje del motor 25. Arandelas 26. Placa 27. Soporte 28. Anillo de seguridad 29. Piñón 30. Eje 31. Cuerpo central 32. Soporte guía 33. Estrella soporte 34. Columna 35. Leva 36. Rodamiento 37. Buje 38. Cuerpo de presión vertical 39. Rueda dentada 40. Mesa rotativa 41. Asiento para botella 42. Estrella 43. Puntos de engrase
<p>Neumáticos</p> <ol style="list-style-type: none"> 44. Pistón neumático 	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. Listado de piezas de máquina llenadora y selladora

<p>Eléctricos y electrónicos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Accionamiento directo de botón 2. Accionamiento a palanca de FE cromatizada largo 25,5 mm 3. Accionamiento a palanca de FE cromatizada con rodillo de nylon (largo 12 mm) 4. Servo motor de 3 fases: BMH070, BMH100, BMH140, BMH205 5. Circuito de freno termomagnético TeSys GV2-0.63 (GV2ME05) 6. Conductor variable de velocidad ATV12-1.5Kw-2hp-200.240V-1ph-con disipador de calor (ATV12HU15M2) 7. Interruptor de protección de plástico XCSPA-1-NC+1 NO-acción rápida-1 entrada aprovechado (XCSPA591) 8. Incremental <i>encoder</i> \varnothing40- eje macizo 6mm-360 puntos-presionar-halar (XCC1406PR03K) 9. Motion servo drive-Lexium 32-Voltaje de alimentación monofásica 115/230V-0.5/1Kw (LXM32AD18M2) 10. Bloque de contacto único para la cabeza \varnothing 1NC borne de tornillo (ZBE102) 11. Base compacta M238-24 I/O-110.240V suministro AC-CANOpen-interna RAM 1000Kb (TM238LFAC24DR) 12. Termocupla: Fe-Co 13. Sistema de fotocentrado 	<p>Mecánicos</p> <ol style="list-style-type: none"> 14. Eje principal 15. Sistema biela manivela. 16. Mordazas verticales 17. Mordazas horizontales 18. Arandela platillo 19. Ruedas de arrastre 20. Sistema de carga-dosificador 21. Discos y embudos de dosificación 22. Tolva 23. Eje porta bobina 24. Bobina 25. Rodillos 26. Perillas "C" 27. Corte vertical por cuchillas circulares 28. Contra cuchillas 29. Corte horizontal por cuchilla dentada 30. "V" formadora 31. Caños dosificadores 32. Tornillo sin fin 33. Mandíbulas de sellado 34. Juego de levas 35. Seguidores de leva 36. Mordaza fría 37. Corte vertical por cuchillas fijas 38. Cadenas
<p>Neumático:</p> <ol style="list-style-type: none"> 39. Perfil distribuidor VABM-B6-E-G14-8 40. Válvula de cierre HE-1/2-D-MIDI 41. Válvula de cierre HEE-1/2-D-MIDI-24 42. Unidad de filtro y regulador LFR-1/2-D-O-MIDI 43. Electroválvula VUVB-L-M42-AZD-Q6-1C 44. Cilindros normalizados DNC-32-PPV 45. Válvula de estrangulación y antiretorno GRLA-1/8-QS-6-RS-D 46. Cilindros normalizados DSN-12-10-P 47. Válvula de estrangulación y antiretorno GRLA-M5-QS-4-RS-D 	

Fuente: elaboración propia.

2.4.2. Fase uno: funciones

En este paso se deben identificar las funciones del activo. El objetivo del RCM es desarrollar una serie de políticas que ayuden a preservar las funciones del activo tomando en consideración los estándares de operación aceptables para el dueño del equipo. Las funciones son divididas en dos categorías:

- **Funciones primarias:** es la razón por la cual fue adquirido el activo o sistema, es la función o funciones que realiza y cumple específicamente con ellas.
- **Funciones secundarias:** es de esperar que el activo, además de sus funciones primarias, realice otro tipo de funciones, a estas se le denominan funciones secundarias. Generalmente, estas funciones son menos obvias, pero la pérdida de una función de este tipo también puede tener grandes consecuencias y en ocasiones más serias que las primarias.

Para tener una idea más clara de cuáles son las funciones secundarias, no se debe descuidar el siguiente tipo de funciones:

- **Integridad ambiental:** función que define la magnitud del cumplimiento del activo con las normas o regulaciones corporativas, municipales, regionales, nacionales e internacionales.
- **Seguridad:** función que trata con una amenaza específica a la seguridad sin relación al diseño de infraestructura.

- Integridad estructural: muchos activos tienen como función secundaria la de proveer soporte o cierta seguridad a otro elemento.
- Contención: una función primaria de algunos equipos es almacenar materiales, por lo que su función secundaria es almacenarlo y estas funciones deben especificarse.
- Apariencia: es una función secundaria importante debido a que trabajos relacionados con la apariencia también constituyen varias funciones de protección, como pinturas anticorrosivas o de seguridad, en el caso de pinturas antireflejantes.
- Protección: estas eliminan o minimizan consecuencias de fallas de otra función, advierten a operadores de condiciones anormales como luces o alarmas, detienen el equipo (mecanismos de parada), sistemas de alivio, entre otros.

2.4.3. Fase dos: fallos funcionales

Una falla es aquella que se presenta cuando el activo es incapaz de realizar la tarea que el usuario desea que realice. Se sabe que el activo está definido como una función, que cada activo tiene una y por lo general varias gamas de funciones diferentes y que para cada una de ellas hay una probabilidad de fallar.

Tabla XIV. **Formato de hoja de información I**

Sistema:			
Subsistema:			
Núm.	Equipo/elemento	Función	Fallo funcional
	Nombre del equipo sometido a análisis	Compuesta por: <ul style="list-style-type: none"> • Verbo • Objeto • Estándar de desempeño 	Niega la función: total o parcialmente

Fuente: elaboración propia.

Para los fallos funcionales se deben tener ya establecidas las funciones, tanto primarias como secundarias, para identificarlos y clasificarlos según los tipos generales de fallos que existen y de interés para este análisis.

2.4.4. Fase tres: modos de fallo

Es el análisis diferencial entre el estado de fallo del activo (falla funcional) y los eventos que causan los estados de fallo (modos de fallo), debido a que es extremadamente complicado definir las causas de una falla hasta que se hayan identificado exactamente qué se entiende por “falla”.

Deben utilizarse verbos para describir los modos de falla, pero deben seleccionarse cuidadosamente, ya que tienen una gran importancia en el proceso y lo que se quiere dar a entender en la política de manejo de fallas. Por ejemplo, no se deben utilizar con frecuencia los verbos como “fallar” o “averiarse”, ya que no proporcionan mayor información de lo que sucede y no se da una buena información de cómo manejar el modo de falla.

Tabla XV. **Formato de hoja de información II**

Sistema:					
Subsistema:					
Función		Fallo funcional		Modo de fallo (causas de falla)	
1	Compuesta por: <ul style="list-style-type: none"> • Verbo • Objeto • Estándar de desempeño 	A	Niega la función:	1	Uso de verbos
			Total o parcialmente	2	
				3	
2		B		1	
				2	

Fuente: elaboración propia.

Para encontrar las fuentes de información de modos de falla deben tomarse en cuenta los modos que han ocurrido antes en los activos, las fuentes de información de estos modos pueden ser el personal de mantenimiento, operadores, vendedores, registros de historiales y datos en la base.

Para facilitar el uso de modo de fallo se toman en cuenta los eventos o procesos que probablemente puedan causar una falla funcional, entre estos se incluyen: deterioro, defectos en el diseño, errores humanos, condiciones externas anómalas y fallos como consecuencia de otro fallo.

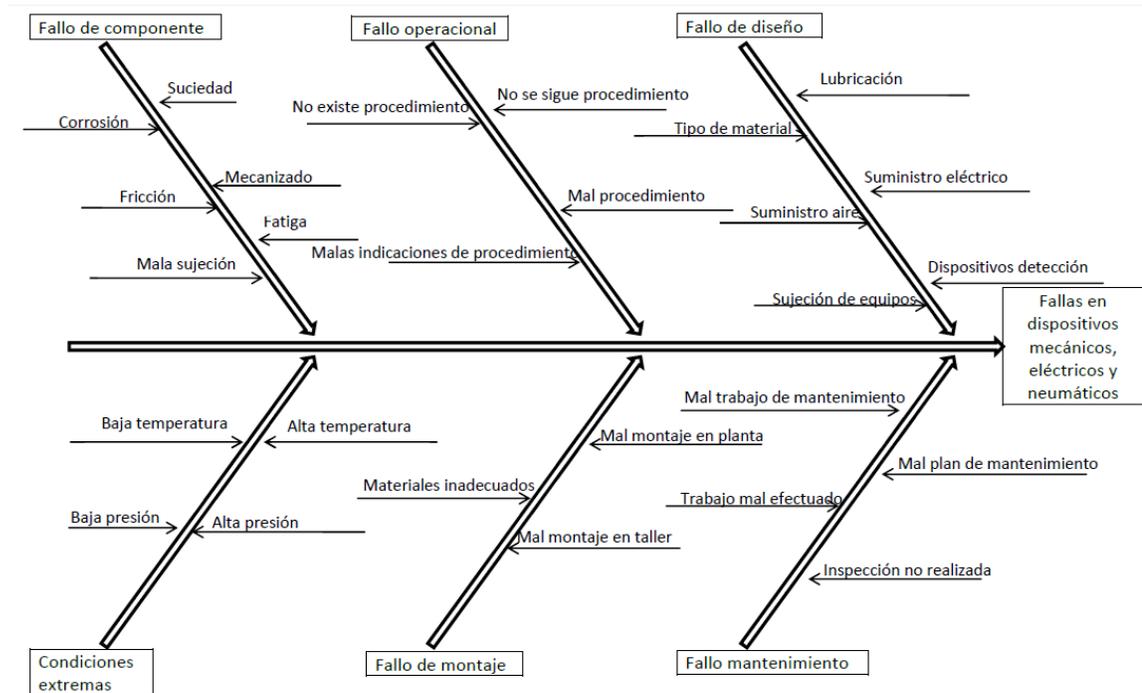
2.4.5. Fase cuatro: efectos de falla

- Suposiciones básicas: una definición de los que es un efecto de falla es que describe lo que puede suceder si se manifiesta el modo de fallos. El RCM diferencia claramente los modos de falla (causas) y los efectos de falla (consecuencias).

La definición de los efectos de falla se utiliza para evaluar las consecuencias de cada modo de falla que se encuentre. Con esta información establecida se utiliza para facilitar las políticas de manejo de fallas que se deben implementar para evitar, eliminar o minimizar las consecuencias y satisfacer las necesidades del dueño del activo.

- Información necesaria: los efectos de falla deben incluir toda la información para sustentar lo evaluado en las consecuencias de fallo:
- Evidencia de que se ha producido una falla: debe permitir a los operarios ver si la falla será evidente en sus tareas de desempeño habituales. Debe indicarse si va precedida por ruidos, fuego, humo, fugas de fluidos, si se detiene el equipo, entre otros.
- De qué forma la falla representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente: se debe mostrar la forma en que se puede lesionar o, en el peor de los casos, morir una persona, así como infringir alguna normativa o reglamento con relación al medio ambiente.

Figura 15. Diagrama de Ishikawa o espina de pescado

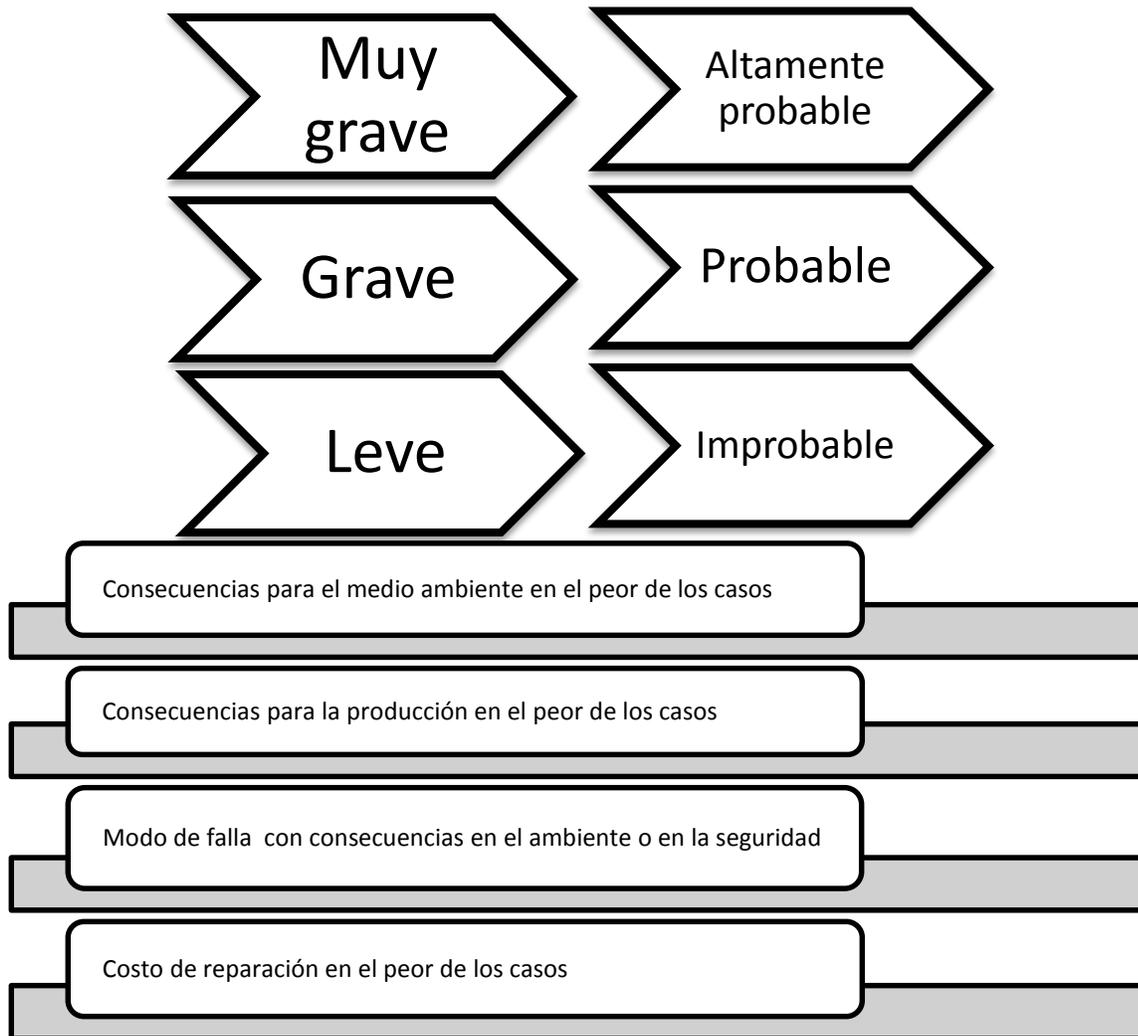


Fuente: elaboración propia.

2.4.6. Fase cinco: clasificación de las consecuencias de fallo

Estas consecuencias deben ser categorizadas después de haber sido identificado cada modo de fallo y sus efectos, en este paso del proceso se deben evaluar las consecuencias de cada modo de fallo ya establecido.

Figura 16. Consecuencias de fallo



Fuente: elaboracion propia.

Tabla XVI. **Clasificación de consecuencias y probabilidades de fallo**

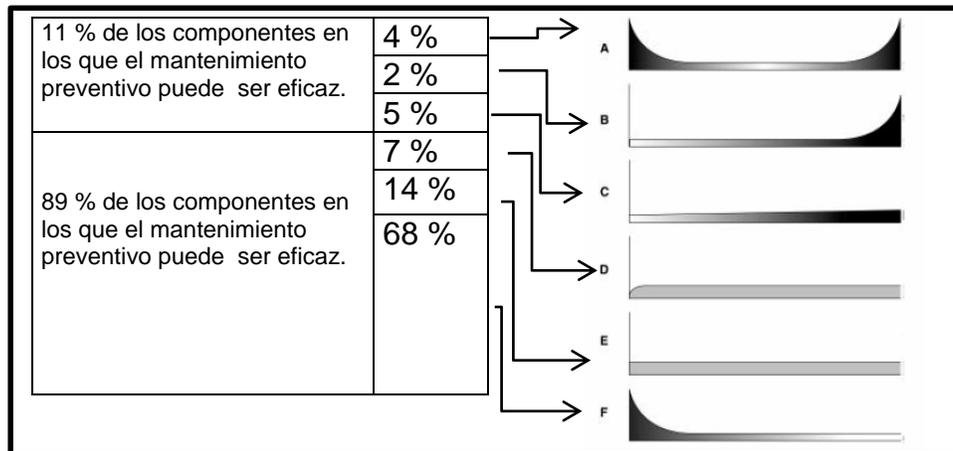
Consecuencia		
Consecuencia para la seguridad	No ocurren daños personales	Leve
	Hay daños personales leves	Grave
	Hay daños personales considerables	Muy grave
Consecuencia para el ambiente	No hay daños en el medioambiente	Leve
	Daños medioambientales con oportunidad de reparar a bajo costo	Grave
	Daños irreversibles con alto costo de reparación y violación de normativas	Muy grave
Consecuencias operacionales (producción)	La producción no se ve interrumpida	Leve
	Se interrumpe las actividades de producción cierto tiempo	Grave
	Se interrumpe la producción un tiempo prolongado	Muy grave
Consecuencias no operacionales (costos de reparación)	Avería de bajo costo	Leve
	Avería repetitiva o de un costo elevado	Grave
	Avería de muy alto costo	Muy grave
Probabilidad de falla		
Muy improbable	Si no se actúa no es seguro que ocurra	
Probable	Si no se actúa es probable que ocurra antes de 3 años	
Altamente probable	Si no se actúa es probable que ocurra antes de 1 años	

Fuente: elaboracion propia.

2.4.7. Fase seis: política de manejo de fallas

En este proceso debe tomarse en cuenta, para la selección del manejo de fallas, que la probabilidad condicional de los modos de falla aumentará con el tiempo o sometidos a esfuerzo, que la probabilidad condicional de otros no cambiará con el paso del tiempo y que en otros casos la probabilidad condicional disminuirá con el paso del tiempo.

Figura 17. Curva característica de fallos



Fuente: elaboracion propia.

- Patrones A y B: asociados con un incremento veloz de probabilidad condicional de falla (denominada zona de desgaste).
- Patrón C: muestra un incremento sostenido en la probabilidad de falla, pero no se distingue una zona de desgaste.
- Patrón D: muestra una probabilidad condicional de falla baja cuando el elemento es nuevo, por lo que sucede un incremento rápido hacia un nivel que crece lento o de forma constante.
- Patrón E: muestra una probabilidad condicional de falla de forma constante para toda la longevidad (falla aleatoria).
- Patrón F: empieza con una alta mortalidad prematura, que decrece de forma constante o muy baja de la probabilidad condicional de falla.

2.4.8. Fase siete: tareas programadas

Se tomará como tareas basadas bajo condición del equipo en el cual debe cumplir los siguientes criterios para lo que se va a utilizar.

- Debe estar identificada 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 funcional.
- Debe ser físicamente posible realizar las tareas en menor tiempo que el periodo de las fallas funcionales.

Hay cuatro categorías principales sobre técnicas basadas en condición, que son las siguientes:

- Las técnicas que se basan en la variación de la calidad del producto. En la mayoría de los casos, la emergencia de un defecto producido por una máquina está directamente relacionada a un modo de falla de la misma. Muchos otros defectos surgen gradualmente, así proveen evidencia oportuna de fallas potenciales.
- Técnicas de monitoreo de efectos primarios. Los efectos primarios (velocidad, caudal de flujo, presión, temperatura, potencia, corriente, entre otros) son otras fuentes de información acerca de las condiciones del equipo. Los efectos pueden ser monitoreados por una persona a través de la lectura de un indicador, por un computador como parte de un sistema de control de procesos o por un registrador de mapas.
- Técnicas basadas en los sentidos humanos. Observar, escuchar, sentir, y oler.

- Técnicas de monitoreo de condición. Estas son técnicas para detectar fallas potenciales que involucran el uso de equipo especializado (el cual, algunas veces, se incorpora al equipo que se está monitoreando). Estas técnicas son conocidas como monitoreo de condición para distinguirlas de otros tipos de mantenimiento basados en condición.
 - Desde el punto de vista técnico: tomando en cuenta que el punto de vista económico que puede ser sin costo, bajo costo o alto costo, y desechar medidas que no sean necesarias o acordes.
 - Sustitución de componentes, materiales o equipos
 - Modificar la disposición
 - Instalación de sistemas antierror
 - Instalación de elementos o tener equipos de reserva
 - Cambiar o modificar régimen de lubricación
 - Modificación en la refrigeración
 - Modificar suministro de energía eléctrica, mecánica o térmica
 - Modificar instrumentación mecánica
 - Tipos de tareas de mantenimiento: se toma de igual manera el punto de vista económico: sin costo, bajo costo o alto costo.
 - Inspecciones sensoriales, las cuales son las que se realizan por medio de los sentidos, sin la necesidad de utilizar instrumentos de medición.
 - Realizar lecturas y anotaciones de parámetros del funcionamiento del equipo o de los instrumentos que están en ellos.
 - Tareas de lubricación.

- Sustitución de consumibles de bajo costo.
- Medición de variables con instrumentos externos, entre ellos están los equipos analizadores de vibraciones, termografía infrarroja, análisis de lubricantes.
- Verificaciones tomando mediciones de holgura, alineación, espesor, apriete de pernos, tornillos y elementos de sujeción.
- Funcionamiento de lazos de control.
- Sustitución condicional de piezas con desgaste.
- Limpieza de equipos condicionales.
- Limpiezas sistemáticas con periodicidad programada.
- Configuración de equipos programables o que estén sujetos a distintos cambios y formatos de funcionamiento.
- Calibración de instrumentos de medida.
- Sustitución sistemática de piezas de desgaste.

2.4.9. Fase ocho: cambio de especificaciones y operar hasta fallar

La creación del RCM se esfuerza por obtener el mejor desempeño del sistema como está configurado y que opere correctamente a través de la aplicación de tareas programadas apropiadas. Estas tareas pueden ser de diversas categorías y deben tomarse en cuenta los factores económico y operacional.

- Modificar instalación.
- Plan de mantenimiento preventivo.
- Medidas para minimizar al máximo los efectos de fallos presentes en el equipo.
- Instrucciones especiales y detalladas de mantenimiento.

- Formación y preparación.
- Supervisión.

Para el caso de que las tareas no estén disponibles, puede ser necesario hacer un cambio, este debe de efectuarse solamente si la falla tiene consecuencias en la seguridad y el ambiente; es de suma importancia reducir las probabilidades de que sucedan a un nivel tolerable de la empresa dueña del activo. Si la falla del equipo no tiene repercusiones en la seguridad del ambiente, es criterio del dueño del activo el dar una solución que sea económica y efectivamente rentable.

2.4.10. Fase nueve: un programa de por vida

- Se debe tomar en cuenta que muchos de los datos usados en el análisis inicial son inherentemente imprecisos y los datos más precisos estarán disponibles a través del tiempo.
- La manera en la cual el activo es utilizado, junto a las expectativas de desempeño asociadas, también cambiarán con el tiempo.
- “La tecnología de mantenimiento continúa evolucionando. De modo que, una revisión periódica es necesaria si el programa de manejo de activos del RCM derivado es asegurar que los activos continúen cumpliendo las expectativas funcionales actuales de sus dueños y usuarios.”⁴

⁴ SAE. *Una guía para la norma de mantenimiento centrado en confiabilidad*. p. 10.

2.4.11. Fase diez: puesta en marcha de las medidas y auditarlas

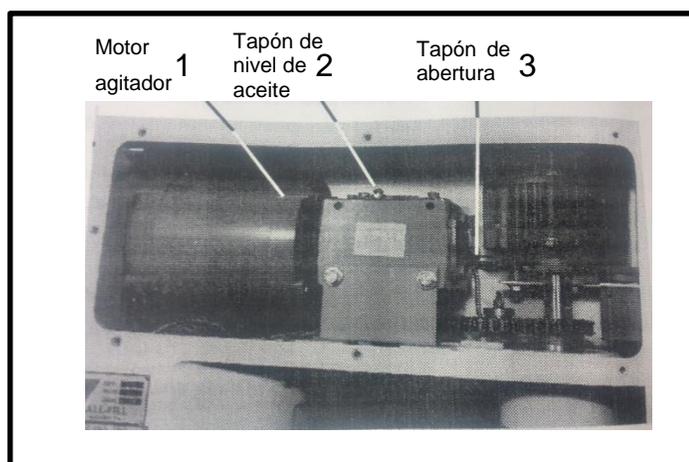
El plan de mantenimiento no será funcional si solamente fue creado, ya que debe ponerse en marcha para que los resultados puedan observarse y mejorar progresivamente al permanecer al tanto de cómo se realiza y supervisararlo para un rendimiento al máximo.

El resultado fue el de la creación de la hoja de RCM que demuestra los estudios correspondientes de las máquinas seleccionadas, creando un estudio exhaustivo, la hoja se adjunta en los anexos de este trabajo.

2.5. Mantenimiento de la máquina dosificadora

A continuación se detallan los distintos formatos para el mantenimiento preventivo de la máquina dosificadora.

Figura 18. Puntos de lubricación, dosificadora



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Tabla XVII. **Plan de lubricación, dosificadora**

INDUSTRIA DE ALIMENTOS EN POLVO PROYECTO DE CONTROL DE MANTENIMIENTO					
Sistema a lubricar	Puntos	Nombre	Función	Estado de la máquina	Lubricante
Mecanismo interno	1	Motor agitador	Entrega la potencia y regula la velocidad (mensual)	Detenido	AGMA #8 o #7 (mensual)
	2	Tapón de nivel de aceite	Se introduce el aceite para el cambio	Detenido	AGMA #8 o #7
	3	Tapón de abertura	Se remueve para observar el nivel de aceite	Detenido	AGMA #8 o #7

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Plan de mantenimiento preventivo, dosificadora**

INDUSTRIA DE ALIMENTOS EN POLVO PROYECTO DE CONTROL DE MANTENIMIENTO						
Instructivo de mantenimiento preventivo						
Nombre del equipo: All-Fill Código: #08 Modelo: SHA 300 Serie:--- Año: 1995 Fecha elaboración de plan: 20/06/2015						
Descripción de la tarea	Tiempo (minutos)	Estado			Observaciones	Frecuencia
		B	R	M		
Dosificadora						
Estado de la tensión de la faja no mayor a 7/16" de deflexión desde el centro	15				Quincenal	

Continuación de la tabla XVII.

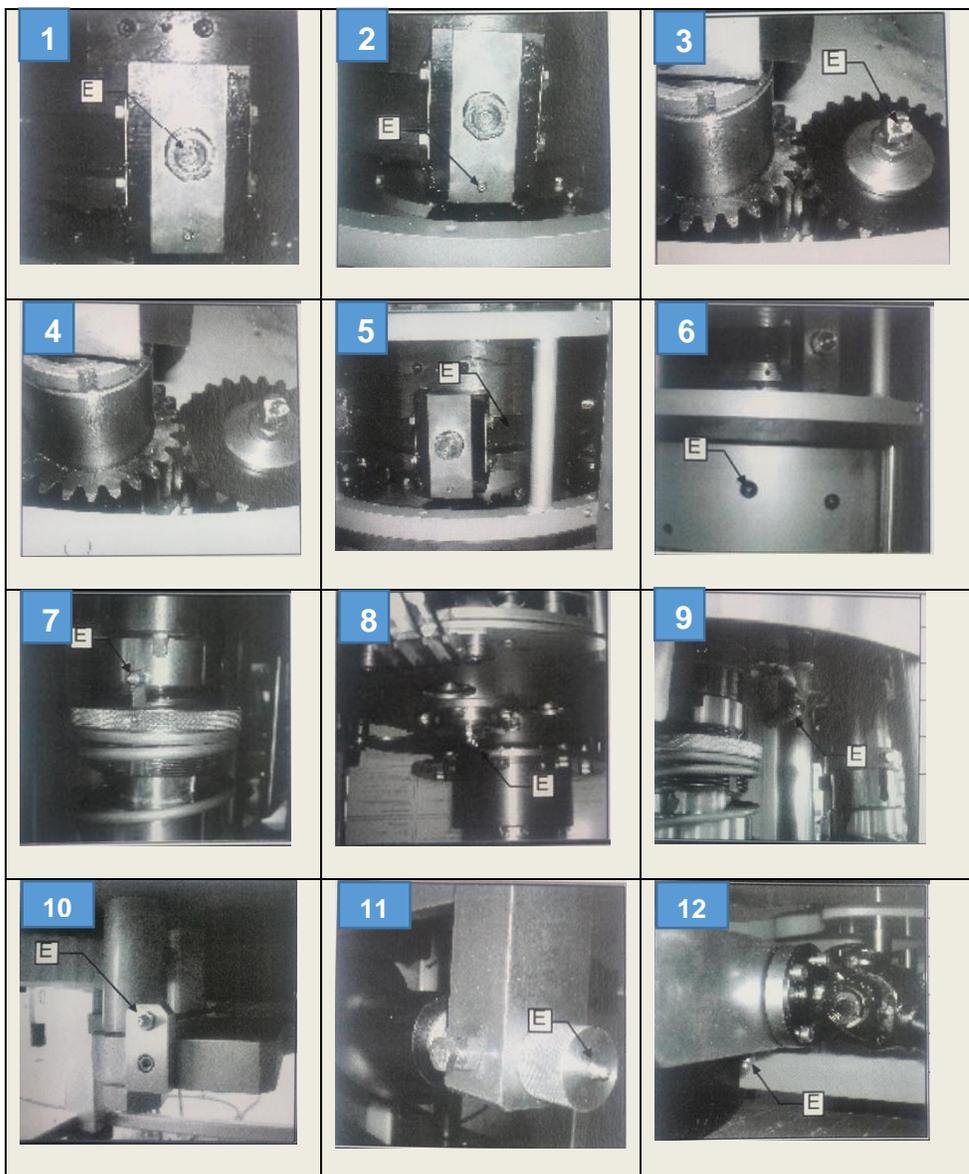
Revisar la posición y la tensión de la faja y alineación de la polea, reemplazar si es necesario	30						Mensual
Revisar si la caja de engranajes del agitador tiene fugas	15						Mensual
Revisar la posición y ajuste de la barrena	10						Semanal
Inspección de la barrena por signos de rebabas, desgaste y desalineamiento	45						Semestral
Inspeccionar el embudo y accesorios (tornillos, empaques, mariposas, entre otros), cambiar si es necesario	60						Semestral
Limpiar y relubricar la cadena del agitador	60						Trimestral
Revisar el ajuste del soporte del embudo, cambiar accesorios si es necesario	25						Semestral
Revisar los sellos de la cubierta de la tolva	25						Semestral
Caja motorreductora							
Revisar que la caja de engranajes tenga un nivel adecuado de aceite y no gotee, de existir fugas reparar	10						Semestral
Revisar el conmutador para un posible rectificando	10						Trimestral
Revisar los engranes exteriores del eje por desgaste de dientes o dientes faltantes	5						Semanal
Inspeccionar las escobillas del estator, estas deben tener un mínimo de ¼" de largo, si el tamaño es menor es necesario reemplazarlas	45						Semestral
Caja de velocidades del cabezal de agitación							
Revisar los cojinetes intermedios y de alta velocidad por desgaste	30						Semestral
Revisar el <i>o-ring</i> del eje de salida por fugas	10						Trimestral
Transportador							
Limpiar la cadena y lubricar si es necesario	30						Trimestral
Lubricar los <i>sprockets</i> locos o libres con aceite liviano	20						Mensual
Revisar la tensión de la cadena, la holgura debe ser de un máximo de 3" a 4" medidas desde el centro. Esta se ajusta con el <i>sprocket</i> loco o libre	10						Semestral
Vibrador							
Revisar los cojinetes de las levas	15						Semestral
Engrase del eje	15						Trimestral

Fuente: elaboración propia.

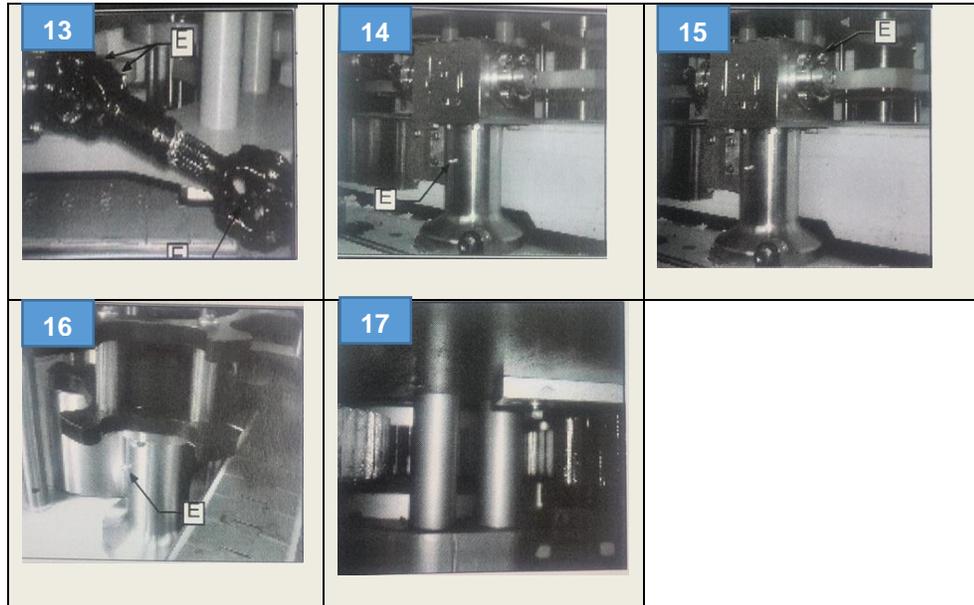
2.6. Mantenimiento de la máquina taponadora

A continuación se detallan los distintos formatos para el mantenimiento preventivo de la máquina taponadora.

Figura 19. Puntos de lubricación, taponadora



Continuación de la figura 19.



Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Plan de lubricación, taponadora**

INDUSTRIA DE ALIMENTOS EN POLVO PROYECTO DE CONTROL DE MANTENIMIENTO				Frecuencia			
Puntos	Componente a lubricar	Herramienta de engrase	Lubricante	15 días	Mensual	3 meses	6 meses
1	Rodillo de leva	Bomba de mano	Grasa Klübersynth UH1 64-62	x			
2	Rodamiento superior de pistón	Bomba de mano	Grasa Klübersynth UH1 64-62	x			

Continuación de la tabla XVIII.

3	Piñón intermediario	Bomba de mano	Grasa Klübersynth UH1 64-62		x		
4	Ruedas dentadas	Brocha	Grasa Klübersynth UH1 64-62			x	
5	Carril de leva	Brocha	Grasa Klübersynth UH1 64-62			x	
6	Rodamiento o casquillos cuerpo central	Bomba de mano	Grasa Klübersynth UH1 64-62	x			
7	Cabezal tuerca presión vertical	Bomba de mano	Grasa Klübersynth UH1 64-62	x			
8	Tapa Tansfer	Bomba de mano	Grasa Klübersynth UH1 64-62	x			
9	Columna central	Bomba de mano	Aceite Klüberoil 4 UH1 220N	x			
10	Axial de columna central	Bomba de mano	Grasa Klübersynth UH1 64-62	x			
11	Soporte sin fin	Bomba de mano	Grasa Klübersynth UH1 64-62	Cada cambio de sin fin			
12	Soporte cardan	Bomba de mano	Grasa Klübersynth UH1 64-62				x

Continuación de la tabla XVIII.

13	Cardan	Bomba de mano	Grasa Klübersynth UH1 64-62				x
14	Buje cardan	Bomba de mano	Grasa Klübersynth UH1 64-62		x		
15	Reenvío	Bomba de mano	Grasa Klübersynth UH1 64-62		x		
16	Bujes estrellas de entrada y salida	Bomba de mano	Grasa Klübersynth UH1 64-62		x		
17	Ruedas dentadas	Brocha	Grasa Klüberplex AG 11-462			x	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. Plan de mantenimiento preventivo, taponadora

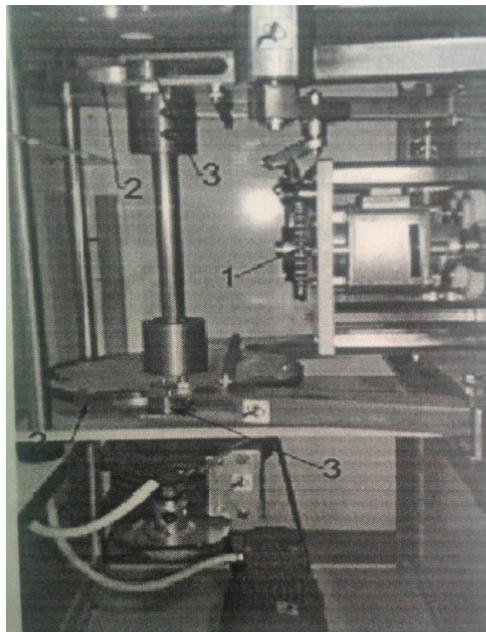
INDUSTRIA DE ALIMENTOS EN POLVO PROYECTO DE CONTROL DE MANTENIMIENTO						
Instructivo de mantenimiento preventivo Nombre del equipo: Taponadora Tedelta Codigo:#0801 Modelo:---- Serie:---- Año:2013 Fecha elaboración de plan: 21/06/2015						
Descripción de la tarea	Tiempo (minutos)	Estado			Observaciones	Frecuencia
		B	R	M		
Torreta						
Controlar juntas tóricas y retenes de los cabezales	15					Trimestral
Verificar y limpiar el interior del cono de cierre	15					Trimestral
Verificar y limpiar todos los puntos de engrase	30					Semanal
Revisar el sistema de expulsión y sustituirlo de ser necesario	30					Semestral
Ajustar patines de los pistones	20					Semestral
Pick and place						
Verificar el pistón neumático y electroválvula	30					Mensual
Verificar el funcionamiento de los rodamientos en los soportes del transfer, de los soportes, del eje en la estrella, columna central	60					Semestral
Columna central						
Verificar todos los puntos de engrase y limpiarlos antes y después del engrase	120					Cada lubricación
Verificar los discos antirotatorios de goma, de ser necesario, sustituirlos	30					Semestral

Fuente: elaboración propia.

2.7. Mantenimiento de la máquina llenadora y selladora

A continuación se detallan los distintos formatos para el mantenimiento preventivo de la máquina llenadora y selladora.

Figura 20. Puntos de lubricación, llenadora y selladora



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. Plan de lubricación, llenadora y selladora

INDUSTRIA DE ALIMENTOS EN POLVO PROYECTO DE CONTROL DE MANTENIMIENTO				Frecuencia		
Puntos	Componente a lubricar	Estado de la máquina	Lubricante	Diaria	Semanal	Mensual
1	Cadena	Detenido	Grasa de litio		X	

Continuación de la tabla XX.

2	Leva	Detenido	Grasa para alta presión tipo Patriot Power PL10			X
3	Seguidor de leva	Detenido	Grasa para alta presión tipo Patriot Power PL10			X

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Plan de mantenimiento preventivo, llenadora y selladora**

INDUSTRIA DE ALIMENTOS EN POLVO PROYECTO DE CONTROL DE MANTENIMIENTO						
Instructivo de mantenimiento preventivo						
Nombre del equipo: Fustec						
Codigo: #32 y #33						
Modelo: MV 430						
Serie:-----						
Año:2015						
Fecha elaboración de plan: 08/07/2015						
Descripción de la tarea	Tiempo (minutos)	Estado			Observaciones	Frecuencia
		B	R	M		
Mecanismo principal						
Revisar que la caja de engranajes tenga un nivel adecuado de aceite y no gotee de existir fugas reparar.	20					Trimestral
Sustituir pastillas y ajustar del módulo embrague-freno	60					Semestral
Lubricación de la cadena con grasa a base de litio con alta adhesividad y resistencia a la humedad.	20					Semestral
Sistema de transporte de la bobina						
Revisar el filo de la cuchilla central, sustituir o afilar	10					Trimestral
Sellado horizontal y vertical	20					Trimestral

Continuación de la tabla XXI.

Limpeza del material pegado a las mordazas verticales y horizontales con cepillo de bronce.	20					Diario
Regular la presión de las arandelas platillo con una luz entre el conjunto tuerca, arandela y soporte de 0,3 a 0,5 mm	15					Semestral
Revisar conexiones y forros de los cables de las termocuplas y resistencias	10					Mensual
Sistema de tracción del film						
Inspección del estado de las ruedas de tracción, sustituir las si es necesario con polímero de alta capacidad	5					Semestral
Corte horizontal y vertical						
Revisar filo de las cuchillas dentadas y estado general	15					Mensual
Revisar estado de la electroválvula, así como sus conexiones eléctricas	10					Mensual
Revisar filo y estado de las cuchillas verticales circulares sustituir si es necesario	10					Mensual
Sistema de dosificación						
Limpiar la tolva del producto acumulado	30					Cambio de formato
Revisar conexión y estado del guarda nivel y vibrador	20					Semestral
Chequear rodamiento y alineación del componente de salida de los servomotores así como su fijación	20					Mensual
Sistema de aire comprimido						
Verificar tubería de transporte de aire	20					Trimestral
Verificar conexiones y mangueras de la máquina	20					Trimestral
Sistema eléctrico						
Revisar conexiones y cableado	40					Mensual
Medir la corriente de los dispositivos de seguridad eléctricos y verificar que sean adecuados	30					Semestral
Revisar el estado de la bobina de los contactores, limpieza de núcleo y contactos	45					Semestral

Fuente: elaboración propia.

2.8. Diagrama de decisión de RCM

Las aproximaciones que se hacen para el diagrama de decisión de RCM se basan en que las consecuencias en la seguridad y ambiente se deben ajustar a las consecuencias de tipo económica. En este diagrama se responden todas las preguntas que se formulan y ayuda a determinar ciertas decisiones, como:

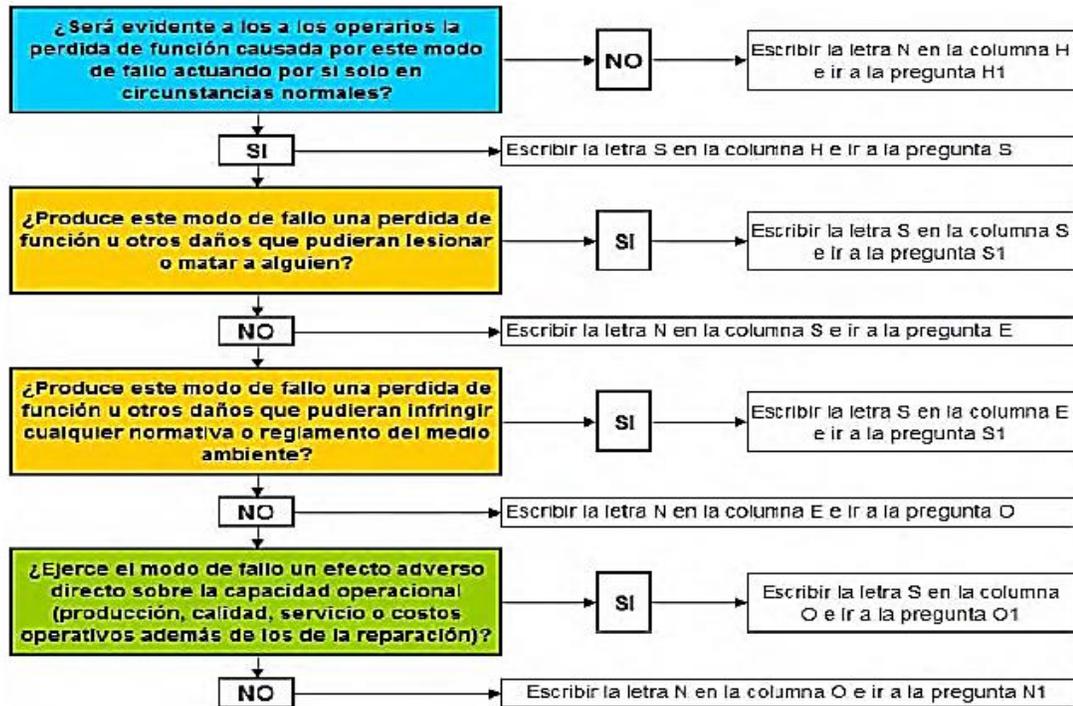
- Qué mantenimiento de rutina establecido debe ser realizado, con qué frecuencia debe ser realizado y la persona que será encargada de que se realice.
- El tipo de fallas que son consideradas muy serias como para justificar el rediseño.
- Caso en donde la decisión final será la de dejar que las fallas ocurran.

2.8.1. Cómo interpretar diagrama de decisión.

Para determinar los modos de fallo, el diagrama clasifica todas las fallas basándose en sus consecuencias. Las columnas H, S, E, O y N se utilizan para registrar las respuestas a las incógnitas ligadas a cada modo de fallo.

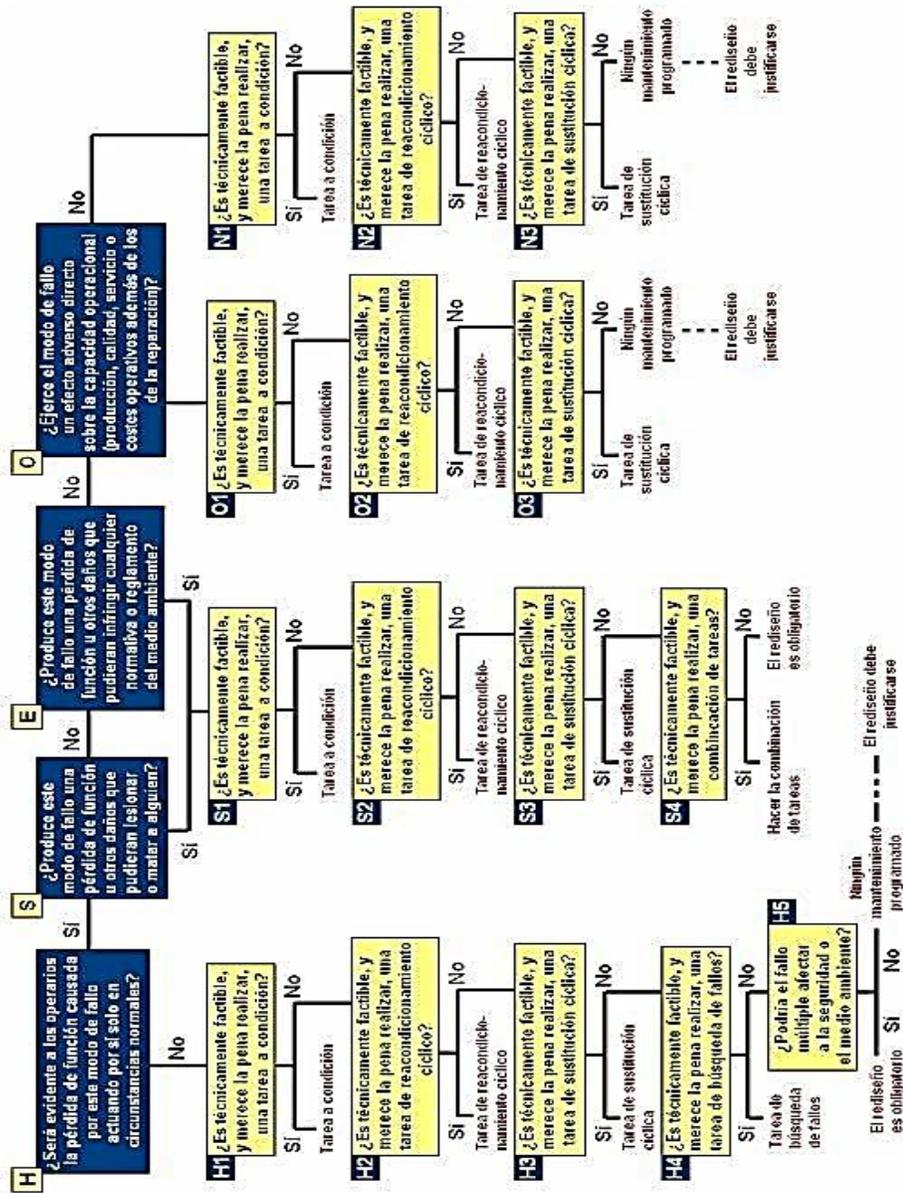
El proceso se basa en seguir las preguntas en el diagrama de decisiones hasta determinar la tarea más adecuada, como se observa en la figura 21 y que se pueden observar en la hoja de trabajo de RCM, ubicada en los anexos de este trabajo.

Figura 21. Control de registros de consecuencias en la hoja de decisión



Fuente: MOUBRAY, John. *Reliability-centered maintenance*. p. 198.

Figura 22. Diagrama de decisión de RCM



Fuente: BARRERA AZOR, Daniel. *Aplicación de la metodología RCM*. p. 60.

Tabla XXIII. **Mantenimiento predictivo máquina dosificadora y taponadora**

		Hoja de decisión de RCM															
		Fecha de elaboración: 19/08/2015		F=Función FF= Fallo funcional MF= Modo de fallo			Máquina: ALL-FILL/ TEDELTA			Dosificadora y taponadora			Elaboración Sergio Ordóñez				
Información		Evaluación de consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a falta de"			Tareas recomendadas bajo condición		Frecuencia	Realizada por		
		F	FF	MF	H	S	E	O				H 4	H 5	S 4			
1	1	A	1	S	S			S							—		
	2	A	1	S	S			S							—		
2	1	A	1	S	N	S		N	N	N					—		
	1	A	1	S	N	N	S	S							Mantener adecuada lubricación para que los engranajes trabajen adecuadamente, revisar el estado de los dientes.	Mensual	Lubricador
	1	B	1	S	S			S							Reducir carga del motor para evitar sobrecalentamiento, Análisis de termografía infrarroja.	Mensual	Departamento de Ingeniería
	1	B	2	S	S			S							Inspección periódica de fugas.	Diario	Operador
	1	A	1	S	S			N	N	N					—		
	2	A	1	N				S							Inspección del cojinete y su estado.	Mensual	Mecánico
	1	A	1	S	N	N	S	N	N	N					—		
	2	A	1	S	N	S		S							Chequeo de conexiones en busca de cables en mal estado o sueltos.	Semestral	Eléctrico
	1	A	1	S	N	N	S	S							Chequear estado de los cables, revisión de conexiones.	Semestral	Eléctrico
	1	A	2	S	N	N	S	N	N	N					—		

Continuación de la tabla XXII.

3	1	A	1	S	N	N	S	N	N	N		—		
	1	A	1	S	N	N	S	N	N	N		—		
	1	A	2	S	N	N	S	S				Inspección visual del cojinete para evitar que se acumule exceso de producto o suciedad. Sustituir si es necesario.	Mensual	Mecánico
	2	-	-									—		
	1	A	1	S	N	N	S	N	N	N		—		
	1	A	1	S	N	N	S	S				Chequeo periódico del paso de la cadena, Alargamiento admisible total de la cadena es de 1% de su longitud inicial.	Quincenal	Mecánico
	1	B	1	S	N	N	S	S				Chequeo de las ruedas dentadas si hacen falta dientes sustituirlos si es necesario.	Quincenal	Mecánico
	1	A	2	S	S			S				Inspección mediante análisis de termografía infrarroja para determinar funcionamiento adecuado del motor en función de su temperatura.	Mensual	Departamento de Ingeniería
	1	A	3	S	N	N	S	S				Inspección visual del cojinete para evitar que se acumule exceso de producto y suciedad. Sustituir si es necesario.	Mensual	Mecánico
	1	A	1	S	N	N	N	S				Chequeo de la tensión de la polea que no sea mayor a 7/16" de deflexión desde el centro.	Semanal	Mecánico
1	A	1	S	N	N	N	S				Inspección de posición de la correa en la polea.	Semanal	Mecánico	

Continuación de la tabla XXII.

4	2	-	-															
	1	A	1	S	S			S							Seguimiento del estado de temperatura mediante análisis de termografía infrarroja, Sustitución bobina.			Departamento de Ingeniería
	1	B	1	S	N	N	S	N	N	N								
	1	A	1	S	N	N	S	S						Inspección visual del cojinete para evitar que se acumule exceso de producto y suciedad. Sustituir si es necesario.	Mensual		Mecánico	
	2	-	-															
	1	A	1	S	N	S		S						Revisar las revoluciones de la barrena programadas, rebabas del desgaste y alineamiento,	Durante operación Mensual		Operador	
	2	A	1	S	N	N	S	N	N	N								
	1	A	1	S	N	N	S	S						Inspección del estado.	para cada cambio de formato		Operador	
	1	A	1	N				N	N	N								
	1	A	2	N				S						Inspección del embudo y accesorios como tornillos, empaques, mariposas. Cambiar si es necesario.	Semestral		Operador	
1	A	1	S	N	N	S	N	N	N									
1	A	2	N				S						Inspección visual del cojinete para evitar exceso de producto y suciedad. Sustituir si es necesario.	Mensual		Mecánico		

Continuación de la tabla XXII.

5	1	A	1	S	N	N	S	S				Inspección de las conexiones, chequear estado, sustituir tarjeta si es necesario.	Semestral	Eléctrico
	1	A	1	S	N	N	S	S				Chequeo periódico del paso de la cadena, Alargamiento admisible total de la cadena es de 3% de su longitud inicial.	Quincenal	Mecánico
	2	A	1	S	N	N	S	S				Inspección periódica del estado de los dientes de las ruedas dentadas	Mensual	Mecánico
6	1	A	1	S	N	N	S	S				Inspección de tornillos de ajuste de los rieles	Semanal	Operador
	1	A	1	S	N	N	S	N	N	N		—		
	2	A	1	S	N	N	S	N	N	N		—		
7	1	A	1	S	N	N	S	S				Análisis de termografía infrarroja para cojinetes y caja para su correcto funcionamiento.	Mensual	Departamento de Ingeniería
	2	A	1	S	N	N	S	S				Inspección de tornillos de ajuste de los rieles	Trimestral	Operador
	1	A	1	S	N	N	S	S				Análisis de termografía infrarroja para cojinetes y caja para su correcto funcionamiento.	Mensual	Departamento de Ingeniería
	2	A	1	S	N	N	S	S				Inspección periódica de los rodillos con el fin de que tengan un correcto movimiento libre de tracción.	Trimestral	Mecánico
	1	A	1	S	N	N	N	N				—		

Continuación de la tabla XXII.

	2	-	-												—		
	1	A	1	S	S			S							Chequeo de cableado y conexiones.	Semestral	Eléctrico
TAPONADORA TEDELTA																	
	1	A	1	S	N	N	S	S							Lubricación adecuada para coronas de bronce, retenedores y cojinetes de caja reductor.	Quincenal	Lubricador
	1	A	1	S	N	S		S							Revisar los <i>bushing</i> por falta de lubricación y lubricar.	Quincenal	Lubricador
	1	A	1	S	N	N	S	S							Inspección periódica y lubricar.	Quincenal	Lubricador
	1	A	1	S	N	S		S							Inspección periódica de los componentes que intervienen en el cambio de formato y sus piezas.	Según se requiera por cambio de formato o ajuste	Lubricador
	1	A	1	N				N	N	N					—		
	1	A	1	S	N	N	S	N	N	N					—		
	1	A	1	S	N	N	S	N	N	N					—		
	1	A	1	S	N	N	S	N	N	N					—		
	1	B	1	S	N	S		S							Inspección periódica del estado de los resortes de los cabezales.	Semanal	Operador
	1	B	2	S	N	S		N	N	N					—		
	2	A	1	S	N	N	S	S							Inspección de las juntas tóricas y estado.	Mensual	Mecánico
	1	A	1	S	N	N	S	S							Inspección de la tensión de la faja y su estado.	Semanal	Mecánico

Continuación de la tabla XXII.

	2	A	1	S	N	N	S	N	N	N					
	1	A	1	N				S					Inspección del estado de las graseras y limpieza de suciedad acumulada y exceso de grasa.	Diario	Operador

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Mantenimiento predictivo, máquina llenadora y selladora**

		Hoja de decisión de RCM															
		Fecha realización: 17/07/2015				F=Función FF= Fallo Funcional MF= Modo de Fallo				Máquina: Fustec MV4-30 Llenadora y selladora						Hoja _ de _	
Información		Evaluación de consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a falta de"			Tareas recomendadas bajo condición		Frecuencia	Realizada por		
		F	F	MF	H	S	E	O				H	H	S			
												4	5	4			
1	1	A	1	S	S			N	N	N					-----		
	2	A	1	S	S			S							Chequear estado de las conexiones y piezas de sujeción de componentes.	Semanal Semestral	Operador Mecánico
	3	A	1	N				S							Revisar que los botones y luces de emergencia estén bien sujetos y conectados al mueble de la máquina.	Anual	Departamento de Ingeniería
2	1	A	1	S	N	N	S	S							Chequear el nivel de aceite y estado de los dientes, así como análisis de termografía y de vibraciones.	Diario Mensual Mensual	Departamento de Ingeniería
	1	B	1	S	S			S							Análisis de termografía infrarroja, reducir carga del motor para evitar sobrecalentamiento o.	Mensual	Departamento de Ingeniería
	1	B	2	S	N	N	N	N	N	N					Inspección periódica de fugas	Diario	Operador

Continuación de la tabla XXIII.

	2	A	1	S	N	N	S	S				Análisis de vibraciones, Realizar limpieza de leva con solvente y relubricar, lubricar mensualmente seguidor con grasa de alta presión.	Quincenal Mensual	Departamento de Ingeniería Lubricador
	1	A	1	S	N	N	N	N	N	N		-----		
	2	A	1	S	N	N	N	N	N	N		-----		
	3	-	-									-----		
	1	A	1	S	S			S				Seguimiento del estado de temperatura mediante análisis de termografía infrarroja, sustitución bobina.	Mensual Operar hasta fallar	Departamento de Ingeniería
	1	B	1	S	N	N	S	N	N	N		-----		
	1	A	1	S	N	N	N	N	N	N		-----		
	2	-	-									-----		
	1	A	1	S	N	N	S	S				Lubricación semanalmente con grasa a base de litio con alta adhesividad y resistencia a humedad, preferiblemente con aditivos de disulfuro de molibdeno.	Semanal	Lubricador
	1	B	1	S	N	N	S	S				Chequeo periódico del paso de la cadena, Alargamiento admisible total de la cadena es de 1 % de su longitud inicial.	Bimensual	Mecánico
3	1	A	1	S	N	N	S	S				Chequear el nivel de aceite y estado de los dientes, así como análisis de termografía y de vibraciones.	Diario Mensual Mensual	Departamento de Ingeniería
	1	B	1	S	S			S				Revisar especificaciones del motor para ver si trabaja en sus condiciones de diseño adecuadas.	Para cada cambio de trabajo de motor	Departamento de Ingeniería
	1	B	2	S	S			S				Análisis con termografía infrarroja.	Mensual	Departamento de Ingeniería
	2	A	1	S	N	S		N	N	N		-----		
	1	A	1	S	N	S		N	N	N		-----		

Continuación de la tabla XXIII.

	2	-	-								-----			
	1	A	1	S	N	S		S			Inspección visual y de tacto del film para encontrar irregularidades.	Para cada bobina nueva	Operador	
	1	A	2	S	N	S		N	N	N	-----			
	1	A	1	S	N	S		N	N	N	-----			
	2	A	1	S	S			N	N	N	-----			
	1	A	1	S	N	S		N	N	N	-----			
	1	A	1	S	N	S		N	N	N	-----			
	2	-	-									-----		
4	1	A	1	S	N	S		N	N	N	-----			
	1	B	1	N				S			Chequeo de los rodamientos, análisis de termografía infrarroja	Mensual	Departamento de Ingeniería	
	1	C	1	S	S			S			Limpieza de material pegado a ellas con cepillo de bronce en seco, chequear estado de superficie de rayado.	Diario Mensual	Operador	
	1	D	1	S	S			N	N	N	-----			
	2	A	1	S	N	S		N	N	N	-----			
	3	-	-									-----		
	1	A	1	S	N	S		N	N	N	-----			
	1	A	1	S	N	N	S	N	N	N	-----			
5	1	A	1	S	S			S			Chequear estado de los cables, revisión de conexiones	Semestral	Eléctrico	
	1	A	1	S	S			S			Revisar conexiones y estado de los forros del cableado.	Semestral	Eléctrico	
	1	A	1	S	N	S		N	N	N	-----			
	1	B	1	S	N	S		N	N	N	-----			

Continuación de la tabla XXIII.

	1	C	1	S	S			S				Limpieza de material pegado con cepillo de bronce en seco. Chequear estado de superficie de rayado.	Diario Mensual	Operador
	2	A	1	S	N	S		N	N	N		-----		
	1	A	1	S	N	N	S	N	N	N		-----		
	1	A	1	S	S			S				Chequear estado de los cables, revisión de conexiones.	Semestral	Eléctrico
	1	A	1	S	S			S				Revisar conexiones y estado de los forros del cableado.	Semestral	Eléctrico
6	1	A	1	S	N	S		N	N	N		-----		
	1	B	1	S	N	S		N	N	N		-----		
	1	C	1	S	N	S		S				Inspección del estado del material y utilizar material polímero de alta capacidad.	Diario Operar hasta fallar	Operador Departamento de Ingeniería
	1	A	1	N				N	N	N		-----		
7	1	A	1	S	S			N	N	N		-----		
	1	A	2	S	N	S		N	N	N		-----		
	1	B	1	S	N	N	N	N	N	N		-----		
	1	A	1	S	N	N	S	N	N	N		-----		
	1	B	1	S	N	N	N	N	N	N		-----		
	1	A	1	N				N	N	N		-----		
	1	B	1	N				S				Revisar cables, conexiones y estado de los cables en el PLC.	Semestral	Eléctrico
8	1	C	1	S	N	N	N	N	N	N		-----		
	1	A	1	S	S			N	N	N		-----		
	1	A	2	S	N	N	N	N	S			Habilitar caudal de refrigeración de la máquina.	Según se requiera	Departamento de Ingeniería
9	1	A	3	S	N	N	S	N	N	N		-----		
	1	A	1	S	N	N	N	N	N	N		-----		
	1	B	1	S	N	N	S	N	N	N		-----		
	1	B	2	S	N	N	N	N	N	N		-----		

Continuación de la tabla XXIII.

10	1	A	1	S	S			S				Inspección del estado de la banda, sustituir banda.	Semanal 2 veces al año	Operador Departamento de Ingeniería
	1	B	1	S	N	N	S	S				Revisar rodamientos y lubricación de elementos móviles.	Anual	Mecánico
11	1	A	1	S	N	S		N	N	N		-----		
	1	B	1	N				N	N	N		-----		
	1	C	1	N				N	N	N		-----		
	1	A	1	S	N	N	N	N	N	N		-----		
	2	B	1	S	N	S		S				Revisar conexiones y estado del guarda nivel y vibrador.	Diario Trimestral	Operador Eléctrico
	1	A	1	S	S			N	N	N		-----		
	1	A	2	S	N	N	S	S				Chequear rodamiento con análisis de termografía infrarroja.	Mensual	Departamento de ingeniería
	1	A	3	N				S				Análisis de vibraciones mecánicas. Nivelar y equilibrar componente de salida. Comprobar la rigidez de la fijación del motor.	Mensual	Departamento de Ingeniería Mecánico
	1	A	4	N				S				Análisis de vibraciones mecánicas. Nivelar componente de salida. Comprobar la rigidez de la fijación del motor.	Mensual	Departamento de Ingeniería Mecánico
	1	B	1	S	N	N	N	S				Revisar apriete del conector.	Quincenal Anual	Operador Eléctrico
12	1	A	1	S	N	N	S	S				Verificar tubería y encendido de compresores a la presión que se requiere.	Diario	Mecánico
	1	A	1	S	N	N	S	N	N	N		-----		
	1	B	1	S	N	N	N	N	N	N		-----		

Continuación de la tabla XXIII.

	1	B	1	S	N	N	N	S				Verificar conexiones y mangueras	Diario	Operador
	1	A	1	S	N	N	N	S				Chequeo periódico de la unidad de trampa de agua a la salida y purgar condensado	Diario	Mecánico
13	1	A	1	S	S			S				Chequeo de cableado y conexiones	Semestral	Eléctrico
	1	A	1	S	N	N	S	N	N	N		-----		
	1	A	1	S	N	N	S	S				Chequear relé con termografía infrarroja Reajustar los tornillos	Mensual Trimestral	Departamento de ingeniería Eléctrico
	1	A	2	N				S				Medir la corriente	Semanal	Eléctrico
	1	A	1	S	N	N	S	S				Chuequear relé con termografía infrarroja Reajustar los tornillos	Mensual Trimestral	Departamento de Ingeniería Eléctrico
	1	A	2	N				S				Inspección para revisar el estado de la bobina, así como limpieza del núcleo y contactos	Semestral	Eléctrico
	1	A	1	N				S				Chequear las especificaciones del fabricante o medir la carga del dispositivo eléctrico para colocar el adecuado para protegerlo Inspección del dispositivo	Para cada cambio de trabajo del equipo Semestral	Departamento de ingeniería Eléctrico

Fuente: elaboración propia.

3. FASE DE DOCENCIA

Como todo nuevo proceso que se desea implementar, es necesaria la capacitación dentro de la organización, utilizando el mejor método de integración del tema a instruir. El motivo de la capacitación en la industria Malher, S. A. es que mediante un proceso educacional, aplicado estratégicamente, organizado y sistemático, las personas desarrollen conocimientos y habilidades específicas con relación al tema o trabajo, para modificar sus actitudes frente a aspectos en el ámbito laboral, aumentando su eficiencia, progreso personal dentro y fuera de la empresa.

Con el fin de brindar una orientación sobre la forma en que se instruyó al personal en este capítulo, se muestra la guía de los temas abordados para la capacitación del RCM.

3.1. Observación

Antes de iniciar la capacitación se observaron las conductas y formas de trabajo del personal, para reforzar sus procesos y complementarlo con la metodología de técnicas predictivas usadas en el RCM.

3.2. Recursos

Con las bases teóricas bien implementadas, se estructuró el programa que se llevó a cabo en la capacitación, se tomaron en cuenta ciertos requerimientos para que se realizara de la mejor manera.

- Infraestructura
 - Sala de conferencia
 - Sala de reuniones
 - Sala de proyecciones
 - Oficinas

- Materiales
 - Equipos de computo
 - Equipo de proyección
 - Material de videos
 - Equipos de sonido
 - Pizarrones

3.3. Acciones realizadas

La base de la capacitación fue el de los métodos que aumentan la confiabilidad en el equipo basados en inspecciones más exhaustivas que, además, se complementó con las modalidades de mantenimiento preventivo y correctivo, dejando registros de puntos de lubricación de las máquinas, hojas de mantenimiento preventivo y la hoja de mantenimiento predictivo basado en el diagrama de decisiones del RCM.

3.4. Presentación del RCM

En conjunto con el Departamento de Ingeniería, se dio a conocer la nueva metodología de mantenimiento de las máquinas seleccionadas, con el fin de que las tareas realizadas por los mecánicos, electricistas y operadores se vean reflejadas en un tiempo determinado, tomando en cuenta los registros correspondientes como indicadores de tiempo medio entre fallos, análisis de averías y paros por distintas circunstancias, para evidenciar si estos tiempos son reducidos al tener técnicas de inspección más periódicas a los equipos.

3.5. Capacitación

Para que el resultado del proceso sea el adecuado se creó un grupo de trabajo, para que la participación de diversas personas e ideas puedan llegar a dar los mejores resultados, con al menos una persona de mantenimiento y otra del área de producción. La duración de las capacitaciones fue de alrededor de 1 mes, con reuniones de aproximadamente 20 minutos 2 veces por semana.

Los temas que se abordaron en la capacitación son los necesarios para llenar la plantilla de la hoja de RCM, para lo cual deben tener muy en cuenta las funciones primarias y secundarias del equipo, sus fallas, causas y efectos (uso del diagrama de Ishikawa), tomando en cuenta la importancia en seguridad, medio ambiente, condiciones operacionales y no operacionales.

3.6. Entrenamiento

Se basó en proporcionar medios que permitan el aprendizaje de una forma beneficiosa, para que el personal involucrado en la actividad pudiera desarrollar de forma más rápida sus conocimientos, aptitudes y habilidades.

Con el entrenamiento se intentó asegurar que el personal tuviera un desarrollo en cuanto a conocimientos de lo que el RCM representa y cómo los cambios tecnológicos deben llevarse a la vanguardia. Esto permite que el personal desarrolle sus trabajos de forma más eficaz y eficiente, y en consecuencia, su autorrealización en el logro de los objetivos organizacionales como:

- Optimizar tiempo de aprendizaje
- Reducir costos de mantenimiento
- Reducir rechazo o desperdicio en producción
- Mejorar los sistemas y métodos de trabajo
- Repartir adecuadamente el trabajo al personal
- Reducir costos de trabajos extraordinarios
- Cultura por la seguridad

3.7. Evaluación

La etapa final del proceso de capacitación es evaluar los resultados, regularmente es la parte que genera más problemas. La evolución de este proceso será medida a través del tiempo y los temas a evaluar serán los siguientes:

- Confiabilidad de las máquinas real y teórico
- Control de tiempo medio entre fallas
- Reuniones del grupo de trabajo de RCM
- Seguimiento de indicadores
- Medidas predictivas utilizadas
- Uso y actualización de datos de las hojas de RCM

4. AHORRO DENTRO DE LA EMPRESA

En este capítulo se abordará el tema de ahorro de recursos en la industria, ya que la energía es un elemento muy importante a considerar dentro de la sociedad y sobre todo porque mueve la economía. Es por eso que se vuelve de carácter imprescindible desarrollar tecnologías y gestionar sistemas adecuados que ahorren estos recursos, para que se lleve a cabo un desarrollo correcto y de carácter sostenible.

Es importante resaltar que el objetivo primordial de la eficiencia energética es que se obtenga un rendimiento energético óptimo para cada proceso o servicio que haga uso de este recurso y sea indispensable, pero sin que ello dé lugar a una disminución de la productividad o calidad que presta el activo y por lo que fue adquirido.

4.1. Índice de eficiencia energética

Se define como el perfil que debe tener la empresa para un correcto ahorro de recursos y consta de cuatro factores claves.

- **Cultura energética:** se analiza el nivel de control e información existente en la empresa y las normas que rigen la eficiencia energética.
- **Mantenimiento:** Este es un apartado importante que determina el nivel de mantenimiento de los diferentes activos de la empresa, con el fin de llegar a alcanzar el óptimo rendimiento y desempeño desde el punto de vista de eficiencia energética.

- Control de energía: en este apartado se analiza el nivel del gasto energético mediante métodos de medición y recopilación de datos, para tomar las medidas administrativas necesarias para los procesos que se llevan a cabo.
- Innovación energética: se refiere a la evolución de la empresa en relación a su grado de actualización referente a las medidas tomadas en las instalaciones, activos, producción y servicios generales y se valora según su actualización en el cuidado a través de las nuevas tendencias.

4.2. Ahorro energético en la empresa

El cuidado por la salud y el medio ambiente son aspectos que se toman mucho en cuenta en la empresa, ya que muchas entidades exigen cuidados en sus desechos y ahorro energético. Es por eso que se desarrollaron proyectos en conjunto con el Departamento de Ingeniería los cuales se pretenden realizar en la cantidad de meses que se muestran en las tablas XXV y XXVI, así como el ahorro aproximado mensual en dólares después de las modificaciones.

Tabla XXV. Planes de ahorro de energía eléctrica

Proyecto	Descripción	Ahorro GJ/mes	Meses	Ahorro estimado en dólares
Optimización para agua caliente	Mediante intercambio de calor con el compresor, utilizar energía para calentar agua y usarla en la torre de mezcla.	3, 74	10	2, 227
Mejora iluminación	Reemplazo de lámparas tipo Metalarc por tipo led	3, 50	8	1, 667
Uso paneles solares	Calentar agua del área de duchas mediante energía solar.	13, 29	9	7, 123

Continuación de la tabla XXIV.

Ahorro energía despena	Gestionar el mejor número de equipos de refrigeración, eliminando algunos en la despena sin afectar al consumidor.	5, 96	11	3, 904
Cambio de lámparas por led	Cambio de las luminarias de bodega de producto final y planta de manufactura.	25, 00	7	10,421
Electroflow	Instalar sistema para mejorar calidad de energía de entrada a la fábrica.	45, 00	4	10, 729
Compresor de aire de velocidad variable	Cambiar la carga del sistema de aire de la planta ajustándolo lo mejor posible.	25, 00	4	5, 955
Totales		121	53	42, 017

Fuente: elaboración propia, con datos del Departamento de Ingeniería.

Tabla XXVI. **Planes de ahorro de agua**

Proyecto	Descripción	Ahorro m³/mes	Meses	Ahorro estimado en dólares
Lavado de pisos de área administrativa	Eliminar área de lavado de productos de limpieza y usar paños desechables.	25, 00	10	173
Lavado de pisos en bodega de materia prima	Eliminar área de lavado de productos de limpieza y usar paños desechables.	15, 00	8	104
Agua de lavado en cafetería	Implementar proceso de recolección de desechos antes de entregar los platos en cafetería, de forma tal que se disminuya el consumo a la hora de lavar los platos.	5, 00	9	21

Continuación de la tabla XXV.

Eliminar en sistema colector de polvos la inyección con agua	Modificar el sistema de extracción de polvos por vacío y eliminar el uso de agua en el sistema para su ahorro.	90, 00	11	683
Regular el volumen de agua de descarga en sanitario de hombres	Modificar la descarga de agua sin afectar el funcionamiento	25, 00	7	138
Cambiar 11 inodoros en baño de damas	Sustituir inodoros y colocar con doble tanque para disminuir la carga de agua.	40, 00	4	221
Totales		200	53	1 339

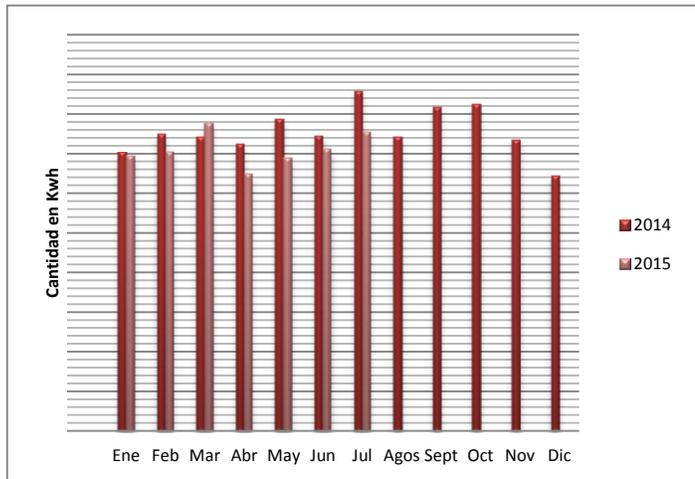
Fuente: elaboración propia, con datos del Departamento de Ingeniería.

4.3. Control de consumo de recursos en la empresa

A través de los años se toman datos para compararlos y mejorarlos de la mejor forma, mediante la implementación de trabajos y correcciones. A continuación se muestra el ahorro entre el 2014 y el 2015, mostrando una mejoría considerable.

Figura 23. Comparación de consumo eléctrico

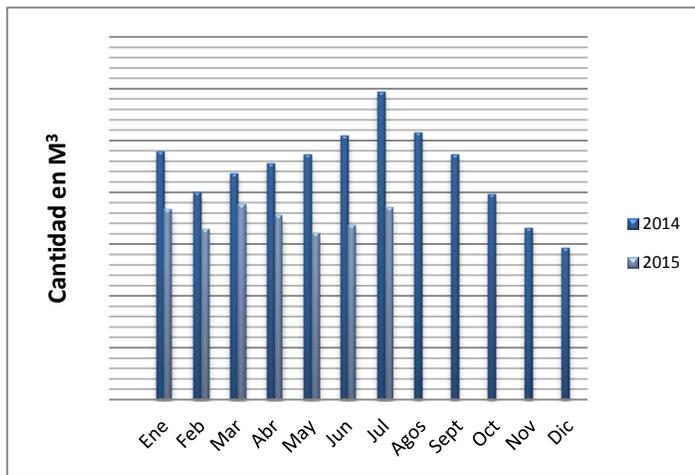
Mes	2014	2015
Enero	140 541	138 954
Febrero	149 808	140 820
Marzo	148 440	155 122
Abril	144 807	129 590
Mayo	157 329	137 656
Junio	148 744	142 192
Julio	171 535	150 569
Agosto	148 170	
Septiembre	163 536	
Octubre	165 065	
Noviembre	146 845	
Diciembre	128 611	



Fuente: elaboración propia.

Figura 24. Comparación de consumo de agua

Mes	2014	2015
Enero	956	732
Febrero	797	659
Marzo	874	755
Abril	912	710
Mayo	946	642
Junio	1 018	674
Julio	1 118	741
Agosto	1 029	
Septiembre	945	
Octubre	792	
Noviembre	663	
Diciembre	583	



Fuente: elaboración propia.

4.4. Tratamiento de aguas residuales

Actualmente, la empresa cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales que cumple con normas nacionales Coguanor NTG/ISO 8689-1, 8692, 5667-4, NTG 29014 h7, requerimientos internacionales por parte del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y con base en las normas de Nestlé sobre conciencia ambiental.

4.4.1. Tratamiento aeróbico de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales se basa en pasos sistemáticos físicos, químicos y biológicos cuyo su propósito es eliminar factores contaminantes en el agua por los humanos. Existen 3 etapas principales para este tratamiento.

4.4.1.1. Tratamiento primario

Todo inicia con el pretratamiento el cual se basa en un sistema de rejillas cuyo objetivo principal es el de remover de objetos de tamaño mayor a 25 mm, así como la presencia de aceites, grasas, arenas y sólidos, considerado como un tratamiento mecánico. Después de las rejillas, pasa al tanque amortiguador, el cual tiene como función la retención de la variación de caudales en su máximo punto de funcionamiento y así evitar que los caudales elevados ingresen a la planta, alterando su tiempo de retención hidráulico.

4.4.1.2. Tratamiento secundario

Tiene el objetivo de estabilizar y remover materia de origen orgánico que está contenida en el agua, así como los sólidos en suspensión. Esta etapa secundaria está integrada por un tanque de aireación, decantador o clarificador secundario con cámara de desinfección.

La digestión aeróbica se basa en un proceso bacteriano que ocurre en presencia del oxígeno. Las bacterias se alimentan de materia orgánica y la convierten en dióxido de carbono (CO_2). Cuando la materia es eliminada, las bacterias mueren y son utilizadas como alimento por otras bacterias, dando lugar a la reducción de sólidos, ya que ocurre la digestión aeróbica rápidamente.

4.4.1.3. Tratamiento terciario

El agua tratada es trasladada al tanque de desinfección, donde se le dosifica cloro para eliminar microorganismos patógenos. El agua finalmente tratada es depositada en la cámara de bombeo, o bien, descargada por gravedad, donde será impulsada hacia su destino final.

Por lo tanto, el objetivo del tratamiento de las aguas residuales es producir un flujo reutilizable en el ambiente, reduciendo sus efectos dañinos y nocivos.

4.5. Partes constituyentes

- Cribado: su fin es el de separar el material más complicado y fino para evitar que se sedimente y atasque en las fases siguientes.

- Acumulación y homogenización: esta operación se realiza con el fin de que la alimentación sea lo más constante posible en el área de oxidación. La masa se mantiene en movimiento continuo por medio de agitación forzada obtenida mecánicamente por insuflación de aire con microburbujas, en esta fase se puede obtener una preoxidación del fluido a tratar.
- Neutralización: en esta parte se cambia el valor del pH del agua, por eso está prevista el área de neutralización para que la instalación biológica pueda, en efecto, ser explotada y utilizada óptimamente, ya que necesita que el líquido en llegada tenga un pH neutro o ligeramente alcalino y lo más constante posible.
- Desnitrificación biológica: esta fase es necesaria por el valor elevado de azoto. Es simplemente una cisterna con características adecuadas al caso, a través de bombas se hace recircular una cantidad del agua de oxidación.
- Oxidación biológica: se realiza en un depósito en el cual, por medio de bacterias sobre la carga contaminante, se desarrolla la depuración del agua. La aportación de oxígeno necesario se da por medio de un grupo de sopladores. El alto desempeño de oxígeno se obtiene por la formación de aire en microburbujas mediante originadores de poliuretano de alta densidad.
- Alimentación de sales nutritivas: provisto de una estación de alimentación con sales nutritivas de fósforo y nitrógeno, elementos indispensables para la vida de los microorganismos en el depósito.

- Sedimentación: su objeto es que el agua de salida del depósito de oxidación salga más clara, permitiendo la circulación de lodos sedimentados.
- Desinfección final: el agua resultante de la planta desde el sedimentador se desbacteriza con hipoclorito de sodio al 14 %. El hipoclorito de sodio se agrega mediante una bomba y se mantiene una concentración de cloro libre en la salida de agua entre 0, 5 a 1 ppm.

CONCLUSIONES

1. Se clasificaron las máquinas de acuerdo a su importancia en producción y al criterio de los especialistas del área de ingeniería y producción, además del estudio de su criticidad para tomar las medidas de prevención adecuada, siendo criticidad B (media) la dosificadora, la taponadora (B), la banda transportadora (B) y la llenadora y selladora C (baja).
2. Se llevó a cabo el desarrollo del mantenimiento centrado en confiabilidad, creando la hoja de RCM, cumpliendo con la información de sus funciones, fallos, causas y efectos de fallo, así como los parámetros operacionales, no operacionales, seguridad y medio ambiente que deben resguardarse para mejorar sus funciones, además de mantenerlas lo mejor posible, ayudando a mantener trabajando estas máquinas con mayor confiabilidad a través del tiempo.
3. Con la implementación del RCM en la maquinaria de producción se logró la optimización de técnicas de mantenimiento mediante la creación y mejoramiento de planes de lubricación, plan de mantenimiento preventivo y la creación de mantenimiento predictivo, con el fin de garantizar la confiabilidad en factores como seguridad, ambiente, costos y mejores condiciones de los equipos y componentes.

4. Para que la implementación de la nueva modalidad de mantenimiento que se creó tenga una óptima gestión, se creó una guía de capacitación para el método de aprendizaje de la misma y se dejó registro de cómo fue implementado en las máquinas seleccionadas, dejando para su futura implementación en otras máquina la hoja de datos del RCM en un archivo de Excel, para el llenado y seguimiento de los pasos para su correcta administración.

5. Se analizaron y crearon procesos de ahorro energético dentro de la empresa para su implementación durante el tiempo del proyecto y para futuras realizaciones. El ahorro de agua en la empresa será de alrededor de 200 m³/mes y 121 GJ/mes, constituyendo una fuerte mejora para el plan de ahorro de la empresa. Además, el estudio de ahorro de consumo de recursos en 2014 y 2015 logró un ahorro energético de 66 301 Kwh, que representa un 6, 24 % y 1 778 m³ de agua, reflejado en un ahorro de 26, 57 %, logrando así tener un desarrollo sostenible, lo que se refiere a poner en marcha todo lo que sea necesario para cubrir las demandas de la empresa pero a un nivel de explotación de recursos consciente y respetuoso para el ambiente sin comprometer los recursos y posibilidades de futuras generaciones.

RECOMENDACIONES

1. Las técnicas del mantenimiento predictivo están asociadas generalmente con tecnología y equipos sofisticados; por lo tanto, son costosas, pero el uso de los sentidos, como la vista, el oído o el tacto, así como el seguimiento del estado de la máquina, mediante inspecciones, chequeos de conexiones y posición correcta de elementos, también son técnicas basadas en este procedimiento y que pueden desarrollarse de forma frecuente para mejorar la productividad de los equipos.
2. Para mejores resultados de la metodología implementada, es conveniente la supervisión de los procesos implementados, teniendo mejores resultados con la ayuda de la constante retroalimentación y mejora continua en relación a sus constantes cambios tecnológicos y operacionales que varían con el tiempo y ayudan a estar a la vanguardia de los cambios que se manifiesten.
3. Es importante que el personal de mantenimiento y jefes del área se involucren en la metodología y las técnicas que este conlleva, asimismo, que el proceso posea técnicas motivacionales para estas personas, con el fin de crear una cultura de compromiso para que las medidas implantadas se cumplan de la mejor manera.

4. Hay que tomar en consideración que el método del mantenimiento centrado en confiabilidad es una organización que no mostrará grandes resultados de inmediato, sino que a través del tiempo, tomando las medidas de control de datos y cuantificación periódica podrá evaluarse de forma segura a través de los meses o años; es por eso que este proyecto es de largo alcance con visión hacia el futuro.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALL-FILL, INC. *SHA-300, unscrambler accumulator*. EUA: All-Fill, 1994, 140 p.
2. BUTTERWORTH, Heinemann. *Reliability-centred maintenance*. 4a ed. EUA: Jordan Hill, 1997. 415 p.
3. FUSTEC ENVASADORAS AUTOMÁTICAS. *Manual de operaciones*. Argentina: Fustec, 2014. 80 p.
4. RIVERA RUBIO, Enrique Miguel. *Sistema de gestión del mantenimiento industrial*. Tesis de Ing. Mecánica. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Industrial, 2011. 232 p.
5. ROJAS BARAHONA, Randall. *Plan para la implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para plantas de concreto en proyectos del ice*. Tesis de maestría en Administración de Proyectos. Universidad para la Cooperación Internacional, 2010. 190 p.
6. SAE Internacional. *Criterios de evaluación del proceso de mantenimiento centrado en confiabilidad. Norma SAE JA1011*. EUA: SAE, 1999. 12 p.

7. _____. *Una Guía para la Norma de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC). Norma SAE JA1012.* EUA: SAE, 2002. 62 p.
8. TEDELTA TÉCNICA DEL TAPADO, S. A. *Manual de instrucciones, lista de repuestos.* España: Tedelta, 2013. 78 p.
9. VÁZQUEZ OYARZÚN, David Esteban. *Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad rcm en motores Detroit 16v-149ti en Codelco División Andina.* Tesis de Ing. Mecánica. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, 2008. 120 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Hoja de trabajo RCM, máquina All-Fill

Hoja de trabajo para aplicación RCM																
		Maquina: ALL-FILL Modelo: SHA: 300 y 360 Taponadora: TEDELTA		Tipo de fallo Según se manifiesta el fallo			Según efectos		Según magnitud		Consecuencia		Probabilidad de falla			
		Empresa: Malher, S.A. Departamento de ingeniería Verificado por: Fecha:		Aprobado por: Fecha:		E=Evidente P=Progresivo S=Súbito O=Oculto	L=Leve M=medio G=Grave MG=muy grave	P=Parcial T=Total	S=Seguridad A=Ambiente O=Operacionales NO=No operacionales	Leve Grave Muy grave	MI=Muy improbable P=Probable AP=Altamente Probable					
No.	Elemento	Funcion	Fallo funcion	Tipo de fallo			Modo de falla	Efecto de fallo	Política de manejo de fallos	S	A	O	NO	MI	P	AP
ALL-FILL																
1	Gabinete de la máquina	1.) Sostiene el peso de la maquina entre sus distintos componentes y mecanismos de la ALL-FILL.	A.) Gabinete de la maquina esta en mal estado	E P S O	L M G M G	P T	1-Deterioro	Gabinete inseguro para soportar peso de todos los componenetes	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G MG			
		2.) Dentro de este van colocados diferentes componentes como los componentes de transporte y el motor (rodamientos, caja de engranes)	A.) Elementos de trabajo expuestos a personal	E P S O	L M G M G	P T	1-Deterioro	Personal expuesto a piezas moviles y lesiones	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G MG			
2	Tuberia de alimentacion	1.) Lleva el producto desde un nivel superior hacia el deposito alimentador de la máquina para el proceso de llenado.	A.) La tubería se llena de producto por algun cuerpo extraño impidiendo el paso continuo de producto	E P S O	L M G M G	P T	1-Atascamiento	Producto no pasa de la tubería de alimentación a la maquina	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G	L G MG			
	Motorreductor	1.) Alimenta tornillo para permitir que el producto se traslade adecuadamente a la tova.	A.) La caja reductora no trabaja o lo hace con dificultad	E P S O	L M G M G	P T	1-Desgaste	Los dientes de los engranajes se desgastan	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G MG			
			B.) EL Motor se calienta o trabaja con dificultad	E P S O	L M G M G	P T	1-Calor	Por sobrecargar el motor se calienta a tal punto de evaporar el aceite.	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G MG			
							2-Fuga	Fugas en el retenedor filtrando aceite y dañando el rotor	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G MG			
	Deposito de alimentacion (Tolva)	1.) Elemento en el cual desemboca la tubería de alimentación de producto y se lleva a cabo el llenado.	A.) La tolva no esta bien alineada con la maquina y el sistema de alimentacion	E P S O	L M G M G	P T	1-Desajuste	Causa daños a la maquina llenadora y sus componentes	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G MG			
		2.) Producto destinado a llenar esta contenido dentro de la tolva que rodea la cabeza de llenado. La tolva incluye un acople de fácil desmontaje para permitir una fácil remoción para limpieza, cambio de producto, etc.	A.) El cojinete de la tolva no se mueve dificultando su remocion y el movimiento del tornillo	E P S O	L M G M G	P T	1-Suciedad y deterioro	Cojinete atascado por suciedad acumulada o producto	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G	L G MG			

Continuación del apéndice 1.

	Control de nivel	1.) Controlador on/off para determinar la cantidad de producto en el depósito de alimentación. El montaje de este sensor está montado en la tapa de la tolva.	A.) Sensor no realiza función de regular el nivel	E P S O	L M G M G	P T	1- Mala manipulación	Sensor falla por incorrecta manipulación	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
		2.) Envía la señal al centro de mando para detener o iniciar la marcha en el sistema de alimentación cuando el producto no esté en los rangos establecidos dentro del depósito de alimentación.	A.) EL nivel de producto no es el adecuado siendo mucho o poco para la dosificación	E P S O	L M G M G	P T	1- Conexión	No envía señal el sensor para adecuado nivel de producto	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
	Mecanismo vibrador	1.) El tubo de abastecimiento puede ser selectivamente vibrado para permitir al producto se asiente y se distribuya uniformemente dentro de la tubería.	A.) Vibrador no funciona	E P S O	L M G M G	P T	1-Conexión	No funciona debido a que no tiene conexión eléctrica adecuada debido a falso contacto	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
							2- Tiempo de vida	Vibrador funciona mal debido a desgaste por tiempo de vida y uso	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
3	Motor-reductor	1.) Se encarga de dar la potencia a la cuchilla del agitador de baja velocidad el reductor se encarga de reducir la velocidad y entregarla a la magnitud que se requiere la rotación del motor es favor manecillas.	A.) Motor arranca pero no dispensa producto	E P S O	L M G M G	P T	1-Desajuste	Dirección del motor no es la adecuada	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
	Removedor (Agitador) baja velocidad	1.) Elemento alimentado por el sistema motor-reductor que mediante su movimiento giratorio evita que el producto se apelmace en el interior del embudo.	A.) No hay movimiento del agitador	E P S O	L M G M G	P T	1-Desajuste	No se remueve el producto atascado en el embudo	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
				E P S O	L M G M G	P T	2-Desgaste y suciedad	El agitador no se mueve debido al atascamiento del cojinete	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
		2.) Llevar el producto en los vuelos del tornillo dosificador y llenar conducto dosificador para tener un parejo llenado del tornillo sin fin. Gira en dirección contraria a la barrena (favor manecillas).														
	Removedor (Agitador) alta velocidad	1.) Modalidad rápida del sistema de agitación, en esta modalidad la cuchilla de agitador está montada en el eje de la barrena y opera a la misma velocidad que la barrena.	A.) No hay movimiento del agitador	E P S O	L M G M G	P T	1-Desajuste	No se remueve producto acumulado en los lados del eje de la barrena	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
	Cadena	1.) Se encarga de la transmisión de potencia en el sistema del removedor entre el motor reductor y el agitador de baja velocidad con un paso de 40.	A.) Cadena no transmite uniformemente el movimiento	E P S O	L M G M G	P T	1- Desgaste y Alargamiento	Alargamiento en su funcionamiento desgastando pasadores, casquillos y rodillos	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
			B.) Estabones no entran correctamente en los dientes de la rueda.	E P S O	L M G M G	P T	1- Desincronización, Ruido y Desajuste	Paso de la cadena aumenta	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			

Continuación del apéndice 1.

4	Motor de llenado	1.) Proporciona la energía a la impulsión de la correa. La rotación del motor es transmitida al eje de accionamiento final mediante una correa de transmisión de y el sistema embrague/freno instalado en la cabeza de llenado. (gira contramanillas) para finalmente dar lugar a la transmisión de potencia al tornillo	A.) El motor no genera movimiento para el tornillo o lo hace con dificultad	E P S O	L M G M G	P T	1-Desconexión	Falsos contactos	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G		
							2-Calentamiento	Motor se calienta demasiado por exceso de carga	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G		
							3-Suciedad	Cojinetes se atascan debido a la acumulación de suciedad y/o producto	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G		
	Correa (V-Belt)	1.) Encargada de la transmisión de energía del motor al sistema de embrague/freno.	A.) La tensión de la correa no es la adecuada	E P S O	L M G M G	P T	1-Flojo o justado	La correa se desliza, se deteriora o falla contantemente	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G		
	Polea de 3 pasos	1.) Se utiliza para variar la velocidad de llenado al cambiar la posición de la correa en la polea.	A.) La velocidad de transmisión no es adecuada o no hay	E P S O	L M G M G	P T	1-Desposicionamiento	La velocidad es inadecuada en la posición que se encuentra la correa sobre la polea	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G		
		2.) Trabaja en conjunto con el sistema de correa y el sistema embrague/freno ya que al recibir la señal del embrague la polea gira para que el eje de la barrena gire.													
	Sistema embrague-freno	1.) La rotación de la barrena es controlado por este dispositivo operado eléctricamente. Al completar el periodo definido de llenado, se activa el freno y el embrague es liberado para detener la rotación del eje. El motor de llenado opera continuamente para una eficiencia máxima.	A.) Motor no tiene potencia, trabaja con dificultad	E P S O	L M G M G	P T	1-Calentamiento	La bobina se quema	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G		
			B.) Sistema no realiza correctamente su función	E P S O	L M G M G	P T	1-Desgaste y Desajuste	Pastillas se desgastan	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G		
	Eje de la barrena	1.) Conectado al módulo de embrague cuando se activa gira el eje y transmite la rotación de la polea del eje a este eje de la barrena.	A.) Eje no gira	E P S O	L M G M G	P T	1-Deterioro y suciedad	Cojinete de atasca debido a suciedad acumulada y/o producto	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G		
		2.) En el interior del eje va alojado el tornillo sin fin.													
	Barrena	1.) Hace que la dosificación sea controlada exactamente mediante sus dimensiones especificadas y vueltas que se programan para la dosificación.	A.) La dosificación no es la adecuada	E P S O	L M G M G	P T	1-Desajuste	El bote no se llena según especificaciones se pierde producto	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G		
		2.) Producto se distribuye (traslada de arriba abajo) en el recipiente desde un taladro accionado por la correa durante el llenado. El taladro está montado dentro de un eje de la barrena en la cabeza de llenado y se puede quitar para servicio, mantenimiento.	A.) El tornillo no se mueve adecuadamente	E P S O	L M G M G	P T	1-Desajuste	No se distribuye el producto desde el embudo hasta el recipiente	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G		

Continuación del apéndice 1.

	Eje adaptador o bloque de la barrena	1.) Utilizado para bloquear la barrena y liberarla para cambios de formato	A.) Ajuste no es adecuado de la barrena	E P S O	L M G M G	P T	1-Deterioro y desgaste	El resorte y pin de sujeción se desgastan	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
	Embudo	1.) El producto es entregado desde el tornillo dosificador al recipiente por medio de un embudo instalado en el fondo del depósito de alimentación.	A.) El embudo no está colocado adecuadamente	E P S O	L M G M G	P T	1-Desajuste	El producto no llega adecuadamente	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
							2-Desgaste	El embudo no se posiciona correctamente	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
5	Motor DC de velocidad variable	1.) Alimenta la potencia de cadena transporte, con su caja de engranajes usados para operación suave y trabajo continuo (10hrs/día) el motor es de 90VDC de magneto permanente con torque de 250 In/Lb, entrada de 0.75 AMP.	A.) Motor no arranca trabaja con dificultad	E P S O	L M G M G	P T	1-Desgaste	Motor se para o trabaja pausado	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
							2-Atascamiento y zumbido	Cojinetes se atascan debido a la acumulación de suciedad y/o producto	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
	Control de velocidad de Motor DC	1.) Regulador de velocidad de motor DC es diseñado para aplicaciones que requieren torque continuo o disminución. Es diseñado para operar solo con 1 magneto permanente con una temperatura máxima de trabajo de 40C con entrada de 115VAC±10%, con 60/50, fase única.	A.) No varía la velocidad	E P S O	L M G M G	P T	1-Corto circuito o tiempo de vida	Tarjeta alimentadora se quema por corto o edad	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
	Cadena de transporte	1.) La cadena transportadora de acero inoxidable con paso de 5/16 mueve los recipientes a lo largo del sistema a una velocidad constante mediante motor DC.	A.) Cadena no transmite uniformemente el movimiento	E P S O	L M G M G	P T	1- Desgaste y Alargamiento	Alargamiento en su funcionamiento desgastando pasadores, casquillos y rodillos	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
		2.) La cadena se mueve a través de piñones que son ruedas dentadas montadas en el eje de cada extremo del sistema de transporte y giran libremente y permite el movimiento cíclico y constante de la cadena de transporte.	A.) Los dientes de las ruedas dentadas están muy desgastados o le faltan dientes	E P S O	L M G M G	P T	1-Desgaste	La cadena se sale de su posición	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
6	Rieles ajustables	1.) Están montados en ambos lados del sistema de transporte que guían los contenedores a través de la máquina y sirven como posicionador del recipiente para el llenado.	A.) Los tornillos de los rieles fallan por constantes ajustes	E P S O	L M G M G	P T	1-Desgaste	Los rieles se aflojan y no sujetan adecuadamente el recipiente	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
	Cilindros de aire (2 por cabeza de llenado)	1.) la función de un cilindro es el de sujetar y mantener el bote debajo de la cañuela durante su tiempo de llenado y liberándolo cuando concluye su volumen de llenado.	A.) No genera movimiento adecuado para sujetar botes en su posición	E P S O	L M G M G	P T	1-Desgaste y subpresión	El pistón pierde presión de trabajo por mal estado del empaque	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
		2.) La función del otro cilindro es de retener los botes que vienen atrás para que no choquen con el que está siendo llenado e interfiera con la operación del llenado.	A.) No genera movimiento adecuado para retener los botes	E P S O	L M G M G	P T	1-Desgaste y subpresión	El pistón pierde presión de trabajo	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
7	Mesa giratoria de entrada	1.) Posee un motor encargado de la alimentación de la potencia de la mesa giratoria trabaja con corriente directa alterna AC y 220V.	A.) Motor no trabaja o lo hace con dificultad	E P S O	L M G M G	P T	1-Atascamiento	La caja reductora y los cojinetes se traban	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
		2.) Mesas con un disco giratorio en la parte superior que se utilizan para colocar botes vacíos en un conducto en un nivel superior y mediante su movimiento angular posicionar los botes	A.) La mesa no gira suavemente	E P S O	L M G M G	P T	1-Desgaste y falta de arrastre	Los rodillos de movimiento se desgastan	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			

Continuación del apéndice 1.

	Mesa giratoria de salida	1.) Posee un motor encargado de la alimentación de la potencia de la mesa giratoria trabaja con corriente directa DC debido a su función de trabajo de torque elevado.	A.) Motor no trabaja o lo hace con dificultad	E P S O	L M G M G	P T	1-Atascamiento	La caja reductora y los cojinetes se traban	Edad	L G M G	L G M G	L G M G			
		2.) Al final del proceso de llenado y cierre de tapadera a la salida se encuentra otra mesa giratoria para los botes y poder tomarlos y ponerlos dentro de cajas de empaque.	A.) La mesa no gira suavemente	E P S O	L M G M G	P T	1-Desgaste y falta de arrastre	Los rodillos de movimiento se desgatan	Edad	L G M G	L G M G	L G M G			
	Conductos de botes plasticos vacios	1.) Conductos en forma de jaula de acero inoxidable cóncavo hacia abajo para permitir llegar a los botes vacios que dispensa la mesa giratoria en el nivel superior hacia el nivel inferior mediante la acción de caída libre.	A.) Los botes no entran al sistema o no esta ajustado adecuadamente	E P S O	L M G M G	P T	1-Desajuste	Botes no llegan a las cabezas de llenado	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G			
		2.) Se ajustan a diferentes tamaños de botes mediante ajustes mecánicos de quitar y poner varillas de acero inoxidable.													
	Sistema eléctrico	1.) Encargado de la alimentación de la maquina de 3x220V en 60Hz	A.) Maquina no trabaja	E P S O	L M G M G	P T	1-Deterioro	Suministro de energía de la red no esta bien conectado o esta en mal estado	Edad	L G M G	L G M G	L G M G			
Taponadora TEDELTA															
1	Motor-Reductor	1.) Motor principal del movimiento de la maquina taponadora	A.) La maquina no mueve sus componentes adecuadamente	E P S O	L M G M G	P T	1-Desgaste y deterioro	Los componetes del motor y caja se desgastan por trabajo	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G			
	Tornillo sin fin	1.) Conduce el bote de la parte de llenado a la estrella de entrada de la taponadora	A.) Tornillo no se mueve adecuadamente	E P S O	L M G M G	P T	1-Desgaste	Tornillo se mueve forzado por falta de lubricacion	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G			
	Rotula	1.) Mecanismo giratorio utilizado para el movimiento del tornillo sin fin	A.) El trabajo de la rotula no es adecuado	E P S O	L M G M G	P T	1-Rotura de material	La rotula falla por falta de lubricacion	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G			
	Estrellas entrada y salida	1.) Componentes de acero inoxidable con espacios para posicionar los botes dentro de ellas y trasladarlos a los cabezales y de salida para el inductor	A.) La estrella trabaja mal o desajustada	E P S O	L M G M G	P T	1-Rotura de componente	Se pueden quebrar las piezas por mala graduacion o desgaste por constante cambio de formato	Edad	L G M G	L G M G	L G M G			
	Engranajes plasticos	1.) Elementos dentados de plastico que transmiten potencia para las estrellas	A.) La traccion de los engranes no es adecuada	E P S O	L M G M G	P T	1-Desgaste	Desgaste de los dientes por falta de lubricacion	Edad	L G M G	L G M G	L G M G			
	Motor-Reductor	1.) Sube y baja la torreta para adecuarse a diferentes alturas de botes	A.) EL motor no sube y baja la torreta	E P S O	L M G M G	P T	1-Friccion y calentamiento	Los componentes se desgastan por falta de lubricacion	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G			
	Pedestal	1.) Sirve de guia para que suba y baje todo el cabezal alimentado por el motor-reductor	A.) Atascamiento por exceso de suciedad	E P S O	L M G M G	P T	1-Friccion	El pedestal sube y baja con difucultad	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G			
	Cabezal magnetico	1.) Componente que gira para posicionar y colocar la tapa en el recipiente	A.) EL movimiento de arriba hacia abajo del cabezal no es correcto	E P S O	L M G M G	P T	1-Friccion y desgaste	La leva de que le da movimiento a los cabezales se desgastan por falta de lubracion	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G			

Continuación del apéndice 1.

			B.) La presión la cual se colocan las tapaderas no es suficiente	E P S O	L M G M G	P T	1-Pierde elasticidad	Resorte de presión darle torque se quiebra o pierde su elasticidad	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
							2-La posición del calibrador del torque no está bien puesto	La presión que se le da a la colocación de las tapas no es adecuada	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
		2.) La sujeción de las tapas se da por medio de empaques llamados juntas tóricas u O-ring que mantienen la estanqueidad del aire	A.) Los O-ring pierden elasticidad	E P S O	L M G M G	P T	1-Fugas y desgaste	Se pierde sujeción de las tapas en el proceso de colocarla en el bote	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
	Faja	1.) Se ajusta al tamaño de los botes para frenarlos por medio de fricción para que la tapa sea bien enroscada	A.) La faja se revienta por desgaste	E P S O	L M G M G	P T	1-Fatiga	Los botes no frenan cuando se coloca la tapa y no cierra correctamente	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
		2.) Mediante un cilindro neumático regular la tensión de la faja para los distintos botes	A.) El cilindro no tiene suficiente presión de aire	E P S O	L M G M G	P T	1-Desgaste, fugas	No se tensa la faja para la colocación de la tapadera y no se enrosca correctamente	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
	Graseras	Dispositivos colocados en distintos puntos de la máquina en los cuales se introduce la grasa para lubricación de los distintos componentes mecánicos	A.) La lubricación de la máquina no es adecuada	E P S O	L M G M G	P T	2-Suciedad, deterioro	Las graseras están sucias o desgastadas y no entra la grasa para la lubricación	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Hoja de trabajo RCM, máquina Fustec

Hoja de trabajo para aplicación RCM																
Maquina: FUSTEC Modelo: MV4-30		Tipo de fallo										Probabilidad de falla				
		Según se manifiesta el fallo	Según efectos	Según magnitud	Consecuencia											
Verificado por: Fecha:		Aprobado por: Fecha:		E= Evidente P= Progresivo S=Súbito O=Oculto	L= Leve M= medio G= Grave MG= muy grave	S= Seguridad A= Ambiente O=Operacionales NO=No operacionales	Leve Grave Muy grave MI= Muy improbable P= Probable AP= Altamente probable									
No.	Elemento	Función	Fallo función	Tipo de fallo	Modo de falla	Efecto de fallo	Política de manejo de fallos	S	A	O	N	O	MI	P	AP	
1	Mueble de la maquina	1.) Soporta los mecanismos y componentes de la maquina	A.) El mueble de la maquina esta en mal estado	E P S O	L M G M G	P T	1-Deterioro	Mueble malo para soportar peso de los componentes y se ve inseguro	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
		2.) Protege al personal de piezas que puedan caer o lastimar a los operadores al estar bien ancladas a este.	A.) Partes de sujeción no están en buen estado y no sujetan piezas	E P S O	L M G S M G	P T	1-Desgaste	No se sujetan total o parcialmente los distintos componentes en la máquina	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
		3.) Sobre este están los dispositivos de seguridad tanto botones y luces de emergencia.	A.) No se localizan fácilmente los dispositivos de seguridad o no pueden conectarse adecuadamente	E P S O	L M G S M G	P T	1-Inseguro	No se cumplen las normas de seguridad establecidas en la planta	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
2	Motor-reductor	1.) Elemento que transmite la potencia el eje principal con una potencia 2HP.	A.) La caja reductora no trabaja o lo hace con dificultad	E P S O	L M G M G	P T	1-Desgaste	Los dientes de los engranajes se desgastan	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
			B.) EL Motor se calienta o trabaja con dificultad	E P S O	L M G S M G	P T	1-Calor	Por sobrecargar el motor se calienta a tal punto de evaporar el	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
							2-Fuga	Fugas en el retenedor filtrando aceite y dañando el rotor	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
						3-Contaminacion	Contaminacion por agua o polvo	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G				
		2.) Mediante un juego de levas y 2 seguidores en el eje principal entregan la fuerza necesaria para el sellado de los materiales y general movimiento alternativo de las mordazas.	A.) No se transfiere la fuerza necesaria del motor-reductor hacia el eje principal	E P S O	L M G M G	P T	1-Desajuste	Se desajuste el eje de acople perdiendo precisión en el movimiento y dañando la cuña	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
	Sistema biela manivela	1.) Transforma el movimiento circular del eje principal en un movimiento rectilíneo alternativo, con un límite de ciento treinta ciclos (o golpes) por minuto (130gpm)	A.) La cantidad de gpm no es la adecuada	E P S O	L M G M G	P T	1-Desajuste	La maquina trabaja muy rápido o lento y no realiza los sobres de forma adecuada	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
		2.) Permite variar el largo mecánico del sobre	A.) El largo mecánico del sobre no es el adecuado	E P S O	L M G M G	P T	1-Desajuste	No se cumplen los estándares de calidad. del tamaño del sobre se debe parar la producción	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			

Continuación del apéndice 2.

	Eje-porta bobina	1.) Mediante los conos de sujeción del rollo se utilizan para ajustar con firmeza, para llevar una buena operación de fotocentrado	A.) El rollo no se aprieta adecuadamente	E P S O	L M G M G	P T	1-Desajuste	El material no esta sujeto con firmeza No se puede realizar la operación de fotocentrado	Infantil Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
		2.) Sistema para colocar bobina de material para poder enhebrar en el sistema de rodillos.														
	Bobina	1.) Material termoestable de envoltura utilizado para la fabricación de los sobres.	A.) Mala calidad del material	E P S O	L M G M G	P T	1- Deficiencia de producto y desajuste	Material de envoltura se pega en mordazas	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
							2-Variaciones en las impresiones	El largo del sobre varia	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
	"V" formadora	1.) Mediante sistema rodillos se encargan del desplazamiento del material a través de la máquina y posicionarlo en las mordazas de corte y sellado.	A.) El material de envoltura se afloja sobre la "V" cortadora	E P S O	L M G M G	P T	1-Flojo	Excesivo largo del sobre	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
		2.) Mediante una cuchilla divide el film en 2 partes que pasan en la "V" formadora.	A.) El corte de las dos caras no están alineadas sobre las mordazas	E P S O	L M G M G	P T	1-Desalineamiento	El corte no se realiza uniformemente	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
	Sistema de rodillos de transporte del film	1.) Conjunto de rodillos que se encargan de llevar el film del eje porta bobina a través de la máquina y sujetarlo con firmeza.	A.) Film con excesiva tensión en los rodillos	E P S O	L M G M G	P T	1- Imperfecciones	Se producen arrugas en las costuras al accionar las ruedas de arrastre	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
	Perillas "C"	1.) Dispositivos en los cuales se puede lograr el desplazamiento de una de las caras respecto de la otra.	A.) El desplazamiento de las caras respecto una de la otra no es el adecuado	E P S O	L M G M G	P T	1-Desalineado y descentrado	Las impresiones no están centradas	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
		2.) Regulan y controlan el enfrentamiento de las dos caras del film sobre las mordazas después de pasar por la "V" cortadora														
4	Mordazas verticales	1.) Elementos con movimiento paralelo puro que se encargan del sellado del producto mediante presión y calor variable	A.) Las mordazas no sellan apropiadamente	E P S O	L M G M G	P T	1-Rotura	Arandelas platillo rotas	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
			B.) El movimiento paralelo no se realiza adecuadamente	E P S O	L M G M G	P T	1-Desgaste	Los rodamientos de los ejes donde van montadas las mordazas están mal estado	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
			C.) Mal estado del sellado	E P S O	L M G M G	P T	1-Desgaste	Las superficie de mordazas esta malo	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			

Continuación del apéndice 2.

		D.) Excesiva o poca temperatura	E P S O	L M G M G	P T	1-Sobre- calentamiento Sub- calentamiento	EL sobre no sella o se deforma	Aleatorio	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
	2.) Las mordazas verticales son regulables en su espacio de trabajo para poder adecuarlas a diferentes productos o largos de los caños	A.) Incorrecto punto de dosificación	E P S O	L M G M G	P T	1-Suciedad	Mordazas están sucias Se contamina zona de sellado	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
	3.) Aloja la termocupla en uno de los bastones de sellado que forman esta mordaza.														
	1.) Van armadas sobre una placa con colizas para permitir, mediante el desplazamiento de las mismas, ajustar los anchos parciales de sellado.	A.) El ancho parcial no es el que se requiere	E P S O	L M G M G	P T	1-Desajuste	no se cumplen los estándares de calidad. del tamaño del sobre se debe parar la producción	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
	1.) Unen las mandíbulas de sellado y su placa base con la placa soporte en conjunto con espárragos	A.) Mandíbula y placa no están soportados correctamente	E P S O	L M G M G	P T	1-Desajuste	El paralelismo de las mordazas no es correcto	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
	1.) Realiza el control de temperatura para el sellado, estas envían información a cada pirómetro	A.) Termocupla no envía señal	E P S O	L M G M G	P T	1- Desprendimien o	Cables se desprenden hay falsos contactos	Aleatorio	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
	1.) Dispositivos que transforman la energía en calor para el sellado de los sobres	A.) Resistencia no caliente	E P S O	L M G M G	P T	1-Deterioro	Falsos contactos hay corto circuito	Aleatorio	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
5	1.) Elementos mediante presión y calor se encargan del sellado. Poseen resistencia al calentamiento de G 12 A	A.) Las mordazas no sellan apropiadamente	E P S O	L M G M G	P T	1-Rotura	Arandelas platillo rotas	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
		B.) Excesiva o poca temperatura	E P S O	L M G M G	P T	1-Sobre- calentamiento Sub- calentamiento	EL sobre no sella o se deforma	Aleatorio	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
		C.) Mal estado del sellado	E P S O	L M G M G	P T	1-Desgaste	Las superficie de mordazas esta malo	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
	2.) Montadas sobre un brazo independiente de las mordazas verticales lo que los permite ser regulables en su altura de trabajo para poder adecuarlas a diferentes productos o largos de los	A.) Incorrecto punto de dosificación	E P S O	L M G M G	P T	1-Suciedad	Mordazas están sucias Se contamina zona de sellado	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
	1.) Unen las mandíbulas de sellado y su placa base con la placa soporte en conjunto con espárragos	A.) Mandíbula y placa no están soportados correctamente	E P S O	L M G M G	P T	1-Desajuste	El paralelismo de las mordazas no es correcto	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			

Continuación del apéndice 2.

	Termocupla Fe-Co	1.) Realiza el control de temperatura para el sellado, estas envían información a cada pirómetro	A.) Termocupla no envía señal	E P S O	L M G M G	P T	1- Desprendimient o	Cables se desprenden Falsos contactos	Aleatorio	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G		
	Resistencias:	1.) Dispositivos que transforman la energía en calor para el sellado de los sobres	A.) Resistencia no calienta	E P S O	L M G M G	P T	1-Deterioro	Falsos contactos Corto circuito	Aleatorio	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G		
6	Ruedas de arrastre para el film	1.) Elemento que genera presión para permitir un fácil enhebrado del film.	A.) Las ruedas de arrastre patinan sobre el film	E P S O	L M G M G	P T	1-Sobrepresion	Se estropean costuras verticales del sobre	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G		
			B.) Posición de las ruedas de tracción es incorrecta	E P S O	L M G M G	P T	1-Desajuste	El sello de los sobres tienen arrugas	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G		
			C.) El material de tracción de las ruedas se desprende	E P S O	L M G M G	P T	1-Deterioro	El material desprende partículas o se desprende en su totalidad	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G		
	Perillas	1.) Sistema de arrastre posee 2 perillas que actúan sobre cada extremo del eje permitiendo regular la presión de las ruedas independiente en cada	A.) Las ruedas de arrastre patinan sobre el film	E P S O	L M G M G	P T	1-Desajuste	El sistema de fotocentrado no trabaja	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G		
7	Corte horizontal por cuchilla dentada	1.) Realiza el corte vertical del sobre mediante una cuchilla dentada montada sobre una mordaza fría	A.) El corte de los sobres es defectuoso	E P S O	L M G M G	P T	1-Desafilado	La cuchilla esta desafilada	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G		
							2-Desajuste	El corte del sobre no se realiza de forma adecuada	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G		
			B.) El momento de corte de la cuchilla no es accionado correctamente	E P S O	L M G M G	P T	1-Desajuste	Estiramientos y desgarros del film	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G		
	Pistón neumático DNC 12-10 P	1.) Es el encargado de realizar el movimiento de corte horizontal.	A.) No genera movimiento adecuado para el corte	E P S O	L M G M G	P T	1-Desgaste y subpresion	El pistón pierde presión de trabajo por mal estado del empaque	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G		
			B.) La cuchilla no realiza correcto troquelado y/o corte	E P S O	L M G M G	P T	1-Inestabilidad	La cuchilla no esta bien sujeta pierde sujeción por lo tanto estabilidad porque la rosca esta mala	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G		
	Electroválvula	1.) El control del pistón lo realiza una electroválvula mediante el panel frontal del PLC.	A.) La presión no es adecuada por exceso de fugas en el interior de la electroválvula	E P S O	L M G M G	P T	1-Desgaste	El pistón no trabaja correctamente o con dificultad	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G		

Continuación del apéndice 2.

		B.) No recibe señal de trabajo la electroválvula	E P S O	L M G M G	P T	1- Discontinuidad	El pistón no se mueve	Aleatorio	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
		C.) Ruido excesivo de electroválvula no tiene dispositivo para ruido en salida de aire	E P S O	L M G M G	P T	1-Ruido	Sonido excesivo en escape de aire	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
8	Corte vertical por cuchillas circulares	1.) El corte se realiza en el momento del avance del film mediante conjunto de cuchillas y contra cuchillas	A.) El corte vertical es defectuoso	E P S O	L M G M G	P T	1-Desgaste	Filo de cuchillas mellado	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G		
						2-Temperatura	Temperatura elevada en las costuras del sobre	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
						3-Poca presión	Poca presión entre cuchilla y contra cuchilla	Aleatorio	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
9	Fotocentrado	1.) Un sensor fotoeléctrico capta distancia entre referencias en el film y envía una señal al sistema de control que actúa deteniendo en forma efectiva la tracción del material de envoltura.	A.) El interruptor del fotocentrado esta en posición de "NO"	E P S O	L M G M G	P T	1-Desajuste	No funciona el sistema de fotocentrado	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G		
			B.) La lectura no es correcta de parte del sensor	E P S O	L M G M G	P T	1- Desalineamiento	La alineación entre marca de referencia del film y el lente del sensor no esta bien	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G		
						2-Suciedad y Desajuste	El cabezal no detecta la marca (no se prende la luz)	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
10	Cinta de salida de sobres	1.) Mediante una banda transportadora se encarga de transportar el material de salida de la maquina alimentado por un motor reductor.	A.) Deterioro de la banda transportadora	E P S O	L M G M G	P T	1-Desgaste	La banda no esta en condiciones adecuadas	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G		
			B.) Los rodillos de transporte no se mueven con facilidad	E P S O	L M G M G	P T	1-Fatiga	Ruido excesivo, movimiento forzado e inadecuado	Aleatorio	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G		
11	Sistema carga-dosificación	1.) Sistema que se encarga del abastecimiento de la envasadora automática Fustec MV4 30 maneja volúmenes desde 1 cm ³ hasta 1000 cm ³ .	A.) Incorrecto punto de dosificación	E P S O	L M G M G	P T	1-Suciedad	Se contamina zona de sellado por mordazas sucias	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G		
			B.) Incorrecta alineación de los tubos de dosificación respecto las mordazas	E P S O	L M G M G	P T	1-Desalineado	El sellado tiene arrugas	Aleatorio	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G		

Continuación del apéndice 2.

			C.) Incorrecta altura de los tubos encargados de la dosificación	E P S O	L M G M G	P T	1-Desposicionamiento	Las mordazas no sellan como es debido	Aleatorio	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
	Tolva	1.) Elemento utilizado en el sistema de alimentación que descarga sobre la tolva del dosificador, ubicado con la máquina	A.) Producto contaminado por distintos cambios de formato	E P S O	L M G M G	P T	1-Suciedad	El producto se contamina del utilizado anteriormente debiendo parar el llenado	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
		2.) Mediante un control de nivel permite mantener el nivel de producción parejo y constante dentro de la tolva mediante un vibrador que asienta	B.) La tolva se llena demasiado o no posee suficiente producto	E P S O	L M G M G	P T	1-Suciedad y deficiencia	La tolva se rebalsa o no dosifica la cantidad de producto adecuado en los	Aleatorio	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
	Servo motores	1.) Proporcionan la potencia para mover tornillos de dosificación.	A.) Servomotor no proporciona adecuadamente potencia	E P S O	L M G M G	P T	1-Sobrecarga Descuido Suciedad	El calentamiento del motor es muy elevado	Aleatorio	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
							2-Ruido Deterioro	Hay un sonido silbante o de golpeteo	Aleatorio	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
							3-Desnivel Desequilibrio	Vibración radial	Aleatorio	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
							4-Golpes	Vibración axial	Aleatorio	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
			B.) Motor no arranca o lo hace con dificultad	E P S O	L M G M G	P T	1-Flojo	Calentamiento de los bornes de conexión	Aleatorio	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
	Pistones DSN 12-10 PPV	1.) Ubicados en cada conexión de los tornillos sin fin para permitir el cerrado y apertura del sistema de tapaderas.	A.) No genera movimiento adecuado para accionamiento de las tapaderas	E P S O	L M G M G	P T	1-Desgaste y subpresion	El piston pierde presion de trabajo por mal estado del empaque	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
			B.) Las tapaderas no abren y cierran	E P S O	L M G M G	P T	1-Desgaste	No se sujeta el cilindro con el dispositivo de tapaderas	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
12	Sistema de aire comprimido	1.) Se encarga del suministro de aire para el movimiento de los distintos dispositivos neumáticos de la FUSTEC. Se recomienda un caudal de 130 litros/minuto a una presión de 6 bar.	A.) La presión de trabajo requerida de la red de suministro no es suficiente	E P S O	L M G M G	P T	1-Desajuste	Maquina no trabaja en sus condiciones optimas	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
			B.) Presión del aire no es la adecuada en los componentes de la maquina	E P S O	L M G M G	P T	1-Fuga	Los distintos mecanismos de aire no realizan su movimiento con normalidad	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			

Continuación del apéndice 2.

	Filtro regulador lubricador	1.) Retiene el agua y partículas extrañas que puedan venir de la red de aire comprimido con un grado de filtración de 40 µm.	A.) Las mangueras de aire de la maquina están muy sucias o con presencia de humedad	E P S O	L M G M G	P T	1-Descuido	La unidad se ensucia mucho y se llena de condensado	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
13	Sistema eléctrico	1.) Encargado de la alimentación del tablero trifásica de 3x220V en 60Hz, la configuración de potencia total de la maquina es aproximadamente 6Kw.	A.) Maquina no trabaja	E P S O	L M G M G	P T	1-Deterioro	Suministro de energía de la red no esta bien conectado o esta en mal estado	Edad	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
	Panel de control	1.) En él se realizan todas las operaciones para dar señales y generar distintas órdenes a los diferentes equipos electromecánicos de la FUSTEC.	A.) La pantalla del panel de control no enciende, no funciona correctamente	E P S O	L M G M G	P T	1-Desprogramación	Cuando se enciende el equipo no se enciende la pantalla	Aleatorio	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
	Relés	1.) Dispositivo de seguridad electromagnético el cual su función es la de abrir o cerrar circuitos para permitir el paso de corriente de bajo valor como las de circuitos de	A.) Relé no opera o lo hace incorrectamente	E P S O	L M G M G	P T	1-Sobrecalentamiento Discontinuidad	Hay falsos contactos	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
							2-Sobrecarga	Corriente es muy elevada	Aleatoria	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
	Contactores	1.) Dispositivo de seguridad electromecánico que son interruptores para la conexión y desconexión de circuitos de iluminación y	A.) Contactor no opera o lo hace incorrectamente	E P S O	L M G M G	P T	1-Sobrecalentamiento Discontinuidad	Hay falsos contactos	Aleatorio	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
							2-Recalentamiento	Bobina quemada	Aleatorio	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			
	Dispositivos de seguridad	1.) Proteger los dispositivos electricos de sobrecargas	A.) La capacidad del dispositivo no es la adecuada	E P S O	L M G M G	P T	1-Sobrecarga	Dañar parcial o totalmente el equipo	Infantil	L G M G	L G M G	L G M G	L G M G			

Fuente: elaboración propia.