



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

**DIAGNÓSTICO, ANÁLISIS Y PROGRAMA DE CONFIABILIDAD DE EQUIPO ENVOLVEDOR  
PARA EMPAQUE CON BANDA PET, OPERADO POR RISSOTECH, S.A.**

**Carlos Alberto Ríos Calderón**

Asesorado por: Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma

Guatemala, febrero de 2021



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DIAGNÓSTICO, ANÁLISIS Y PROGRAMA DE CONFIABILIDAD DE EQUIPO ENVOLVEDOR  
PARA EMPAQUE CON BANDA PET, OPERADO POR RISSOTECH, S.A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA  
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA POR:

**CARLOS ALBERTO RÍOS CALDERÓN**

ASESORADO POR: ING. CARLOS ANIBAL CHICOJAY COLOMA  
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2021



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés De La Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Esdras Feliciano Miranda Orozco
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

**DIAGNÓSTICO, ANÁLISIS Y PROGRAMA DE CONFIABILIDAD DE EQUIPO ENVOLVEDOR  
PARA EMPAQUE CON BANDA PET, OPERADO POR RISSOTECH, S.A.**

tema que me fuera asignado por la dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 30 de mayo de 2019.

**Carlos Alberto Ríos Calderón**





Guatemala, 30 de julio de 2020  
REF.EPS.DOC.30.07.20

Ingeniero  
Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ing. Argueta Hernández:

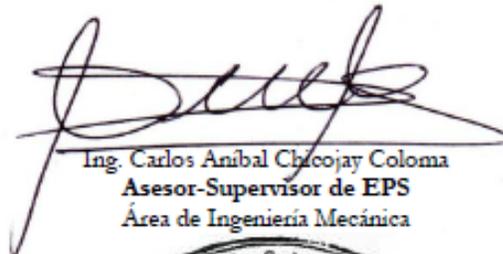
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S.) del estudiante universitario de la Carrera de Ingeniería Mecánica, Carlos Alberto Ríos Calderón, Registro Académico No. 009616551 procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **DIAGNÓSTICO, ANÁLISIS Y PROGRAMA DE CONFIABILIDAD DE EQUIPO ENVOLVEDOR PARA EMPAQUE CON BANDA PET, OPERADO POR RISSOTECH, 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



CACHC/cch





Guatemala, 31 de julio de 2020  
REF.EPS. D.17.07.2020

Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza  
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Urquizú Rodas:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **DIAGNÓSTICO, ANÁLISIS Y PROGRAMA DE CONFIABILIDAD DE EQUIPO ENVOLVEDOR PARA EMPAQUE CON BANDA PET, OPERADO POR RISSOTECH, S.A.**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Carlos Alberto Ríos Calderón** quien se identifica con **CUI 1609 91250 0101** y **Registro Académico 9616551**, quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS



OAH





UNIDAD DE EPS

Guatemala, 26 de octubre de 2020  
REF

Ingeniero  
Gilberto Enrique Morales Baiza  
Director de Escuela  
Ingeniería Mecánica  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ing. Morales Baiza:

Por este medio atentamente le informo que procedí a revisar el informe final titulado: **DIAGNÓSTICO, ANÁLISIS Y PROGRAMA DE CONFIABILIDAD DE EQUIPO ENVOLVEDOR PARA EMPAQUE CON BANDA PET, OPERADO POR RISSOTECH, S.A.** del estudiante universitario de la escuela de ingeniería mecánica, Carlos Alberto Ríos Calderón, Registro Académico 009616551.

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. Herbert S. Figueroa A.**  
**Ingeniero Mecánico**  
**Col. 10108**

**Ing. Herbert Samuel Figueroa Avendaño**  
Área Complementaria  
Escuela de Ingeniería Mecánica.





**USAC**

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.EIM.150.2020

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: **DIAGNÓSTICO, ANÁLISIS Y PROGRAMA DE CONFIABILIDAD DE EQUIPO ENVOLVEDOR PARA EMPAQUE CON BANDA PET, OPERADO POR RISSOTECH, S.A.** del estudiante **Carlos Alberto Ríos Calderón**, DPI **1609912500101**, Reg. Académico **9616551**, y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

**"Id y Enseñad a Todos"**



Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza

Director

Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, octubre de 2020

/aej





DTG. 054.2021.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al Trabajo de Graduación titulado: **DIAGNÓSTICO, ANÁLISIS Y PROGRAMA DE CONFIABILIDAD DE EQUIPO ENVOLVEDOR PARA EMPAQUE CON BANDA PET, OPERADO POR RISSOTECH, S.A.**, presentado por el estudiante universitario: **Carlos Alberto Ríos Calderón**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, febrero de 2021.

AACE/asga



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Jesucristo</b>	Toda la honra y gloria es tuya. A quien debo mi salvación, sabiduría y salud.
<b>Mis Padres</b>	Luis Alberto y María Antonieta, por estar a mi lado brindándome su amor y apoyo.
<b>Mis hermanos y familia</b>	Luis Fernando, Martha Lucia y Ana Elsa, por su apoyo incondicional.
<b>Mi Ale</b>	Gracias por ser tan linda conmigo, por estar siempre a mi lado y amarme tanto como yo.



## **AGRADECIMIENTOS:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por ser mi segundo hogar y mi fuente de conocimiento.

**Facultad de Ingeniería**

Por permitirme desarrollar mi pasión por la ciencia y brindarme conocimiento para toda la vida.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XIII
GLOSARIO.....	XV
RESUMEN. ....	XIX
OBJETIVOS .....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. FASE DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Descripción de la empresa .....	1
1.1.1. Ubicación .....	1
1.1.2. Historia.....	1
1.1.3. Misión.....	2
1.1.4. Visión .....	2
1.1.5. Valores.....	3
1.1.6. Estructura organizacional.....	3
1.2. Descripción del problema .....	4
1.2.1. Definición del problema raíz .....	5
1.3. Descripción del proceso de funcionamiento.....	7
1.3.1. Análisis situacional del proceso.....	7
1.3.2. Descripción del equipo .....	8

	1.3.2.1.	Descripciones técnicas .....	9
	1.3.2.2.	Breve explicación del uso del equipo .	13
	1.3.2.3.	Empaque y usos .....	14
	1.3.2.4.	Caracterización del producto.....	14
1.4.		Diagnóstico y estudio del proceso .....	18
	1.4.1.	Alcance y limitaciones del proyecto .....	19
		1.4.1.1.	Alcance .....
		1.4.1.2.	Limitantes.....
		1.4.1.3.	Desarrollo.....
	1.4.2.	Análisis del proceso .....	20
	1.4.3.	Definición del proceso por diagrama SIPOC .....	23
		1.4.3.1.	Análisis y priorización de CTQ's.....
		1.4.3.2.	Variable de respuesta .....
		1.4.3.3.	Justificación del programa de confiabilidad del equipo.....
	1.4.4.	Minimizar las razones de generación de desechos y emisiones.....	28
1.5.		Análisis de las 6M del proceso .....	30
	1.5.1.	Análisis de espina de Ishikawa de las variables del proceso.....	30
	1.5.2.	Formulación del problema.....	32
	1.5.3.	Análisis de variación de las variables críticas.....	33
		1.5.3.1.	Selección de los CTQ's del producto..
		1.5.3.2.	Validación del sistema de medición ...

1.5.4.	Análisis de 80-20 Pareto .....	37
1.6.	Historial de fallos .....	38
1.6.1.	Análisis exploratorio de datos.....	39
1.6.1.1.	Estudio estadístico descriptivo .....	40
1.6.1.2.	Estudio estadístico descriptivo acumulado.....	41
1.6.2.	Estudio y diagnóstico del equipo .....	44
1.7.	Estudio de las variables significativas .....	46
1.7.1.	Análisis Yield combinado .....	46
1.7.1.1.	Método: Rolled Troughput Yield .....	46
1.7.2.	Evidencia de los fallos e ineficiencia operacional ...	48
2.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL.....	49
2.1.	Características técnicas de la maquinaria habilitada.....	50
2.1.1.	Tipo de maquinaria .....	50
2.1.2.	Configuración física de la maquina.....	50
2.1.2.1.	Alimentador de entrada .....	51
2.1.2.2.	Sistema de levas .....	52
2.1.2.3.	Sistema de empujadores .....	53
2.1.2.4.	Alimentador de bobina.....	54
2.1.2.5.	Mecanismo de elevación .....	55
2.1.2.6.	Sistema de codificación .....	56
2.2.	Parámetros de operación del equipo .....	57
2.2.1.	Variable 1: temperatura frontal de sellos .....	57
2.2.2.	Variable 2: temperatura lateral de sellos .....	57

2.2.3.	Variable 3: fuerza neumática .....	58
2.3.	Estándares de operación del equipo .....	58
2.3.1.	Procedimiento: secuencia de arranque de máquina.....	58
2.3.1.1.	Consideraciones al operar la máquina .....	60
2.3.2.	Procedimiento: secuencia de arranque de máquina.....	61
2.3.3.	Procedimiento: actividades previas a la operación de la máquina envolvente <i>flowpack</i> .....	61
2.3.4.	Procedimiento: verificaciones antes y durante la operación .....	62
2.3.5.	Procedimiento: operación de la máquina .....	62
2.4.	Requerimientos de operación correcta de la maquina.....	62
2.4.1.	Requerimientos del sistema de gestión de calidad	63
2.4.1.1.	Parámetros de operación .....	63
2.4.1.2.	Criterios de operación .....	64
2.5.	Fundamentos previos al programa de confiabilidad.....	64
2.5.1.	Mantenimiento predictivo .....	65
2.5.2.	Análisis de Ishikawa y las 6M.....	66
2.5.3.	Desperdicios identificados en el método .....	67
2.6.	Elaboración del programa de mantenimiento predictivo total....	68
2.6.1.	Partes del programa TPM .....	69
2.6.2.	Confiabilidad del equipo.....	71

2.6.3.	Alcance y definición del target de estudio.....	74
2.7.	Plan de mantenimiento productivo total TPM.....	75
2.7.1.	Objetivos del TPM.....	75
2.8.	Primera parte: planeamiento del proceso de TPM .....	76
2.8.1.	Planeamiento .....	77
2.8.2.	Trabajo con 5S.....	78
2.9.	Segunda parte: acondicionamiento previo a la implementación del TPM.....	80
2.9.1.	Acondicionamiento de la máquina.....	82
2.9.1.1.	Fase 1. Limpieza inicial .....	83
2.9.1.2.	Fase 2. Identificación de causas de suciedad y fallas menores .....	84
2.9.1.3.	Fase 3. Preparación de los procedimientos de limpieza y lubricación .....	85
2.9.1.4.	Fase 4. Inspecciones generales .....	85
2.9.1.5.	Fase 5. Inspecciones autónomas .....	86
2.9.1.6.	Fase 6. Orden en la distribución y estandarización .....	87
2.9.1.7.	Fase 7. Optimización y autonomía en la actividad .....	90
2.10.	Tercera parte: programa de mantenimiento productivo total: instauración de los 8 pilares del TPM .....	90
2.10.1.	Pilar 1: seguridad industrial y ambiente .....	90
2.10.1.1.	Hazard Assessment .....	91

2.10.1.2.	Procedimiento y documentación de bloqueo y etiquetado .....	96
2.10.1.3.	Distribución física del equipo y estudio ambiental .....	100
2.10.1.4.	Hojas de seguridad MSDS .....	102
2.10.2.	Pilar 2: mantenimiento autónomo.....	104
2.10.2.1.	Limpieza rutinaria del equipo .....	106
2.10.2.2.	Limpieza NO rutinaria del equipo .....	107
2.10.2.3.	Herramientas para ejecución del mantenimiento autónomo.....	109
2.10.2.4.	Stock de repuestos y suministros .....	110
2.10.2.5.	Cartas de lubricación .....	112
2.10.2.6.	Jornada de tarjeta problema .....	115
2.10.2.7.	Evaluación de la grasa utilizada en el mantenimiento .....	117
2.10.3.	Pilar 3: mejoras enfocadas ( <i>kobetsu kaizen</i> ).....	122
2.10.3.1.	Estudio continuo de las seis pérdidas existentes del proceso por fallos .....	123
2.10.3.2.	Reuniones de grupos autónomos de trabajo para mejora y seguimiento ...	125
2.10.3.3.	Herramientas para el apoyo del personal .....	127
2.10.4.	Pilar 4: mantenimiento planeado.....	129
2.10.5.	Pilar 5: control de cambios.....	130
2.10.6.	Pilar 6: mantenimiento de la calidad .....	131

2.10.7.	Pilar 7: capacitaciones .....	132
2.10.8.	Pilar 8: apoyo de la administración .....	133
2.11.	Validación del programa TPM implementado.....	133
2.11.1.	Análisis Yield combinado post proyecto .....	135
2.11.1.1.	Método Rolled Troughput Yield post proyecto .....	135
2.11.1.2.	Conclusiones de la prueba .....	137
2.11.2.	Prueba de diferencia de rendimiento del equipo con datos pareados.....	137
2.12.	Mejora continua del proceso de mantenimiento productivo total .....	142
2.12.1.	Detalle de herramientas de mejora continua .....	143
2.12.1.1.	Análisis de vibraciones .....	143
2.12.1.2.	Visitas y observación técnica de desgastes.....	144
2.12.1.3.	Termografía.....	144
2.13.	Importancia del mantenimiento TPM .....	145
3.	FASE DE DOCENCIA.....	147
3.1.	Fundamentos para el programa de capacitación operativo.....	149
3.1.1.	Perfil del operario .....	150
3.1.1.1.	Habilidades esperadas del operador	150
3.1.1.2.	Entrenamiento en manejo de desechos.....	152
3.1.1.3.	Desechos peligrosos .....	153

3.1.1.4.	Desechos no peligrosos .....	153
3.1.2.	Aspectos relevantes a verificar .....	155
CONCLUSIONES.....		157
RECOMENDACIONES .....		161
BIBLIOGRAFÍA .....		163
APÉNDICES .....		165
ANEXOS.....		169

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Estructura organizacional.....	4
2.	Árbol del problema .....	6
3.	Tipología productiva de configuración del equipo .....	10
4.	Diseño de la pieza unitaria a empacar.....	15
5.	Layout del proceso automático de empaque .....	17
6.	Alimentador de línea de maquina .....	18
7.	Mapa de proceso de primer nivel .....	20
8.	Mapa de proceso.....	21
9.	Diagrama de flujo de proceso y operación de la maquina .....	22
10.	Análisis y definición del proceso .....	24
11.	Árbol de CTQ's de clientes.....	26
12.	Espina de Ishikawa, del diagnóstico inicial del proceso .....	31
13.	Análisis de Pareto .....	37
14.	Histograma de datos obtenidos .....	39
15.	Fallo 4: Histograma de los fallos analizados y curva normal.....	44
16.	Cálculo del nivel de Sigma preliminar de la maquina.....	47
17.	Alimentador de entrada .....	51
18.	Sistema de levas .....	52

19.	Sistema de empujadores .....	53
20.	Alimentador de bobina .....	54
21.	Mecanismo de elevadores .....	55
22.	Sistema de codificación .....	56
23.	Panel de instrumentos .....	59
24.	Instrumentación neumática del equipo .....	60
25.	Cronograma de implementación de las fases .....	77
26.	Limpieza previa al turno de producción .....	79
27.	Estándar de limpieza del equipo antes de la operación.....	80
28.	Limpieza profunda de maquina .....	83
29.	Limpieza de componentes internos.....	84
30.	Programa de limpieza de la maquina .....	89
31.	Análisis de riesgos de máquina Flowpack.....	92
32.	Seleccionador de bloqueo de máquina Flowpack .....	98
33.	Colocación de etiqueta LOTO .....	99
34.	SOP de bloqueo y etiquetado del equipo .....	100
35.	Diseño del equipo instalado .....	101
36.	Listado de elementos almacenados y sus MSDS.....	102
37.	Documento MSDS .....	103
38.	Cronograma de actividades de mantenimiento .....	104
39.	Pieza del eje en limpieza y lubricación antes de la instalación .....	105
40.	SOP Limpieza no rutinaria del equipo .....	108
41.	Pintura de la máquina para su mantenimiento y cuidado .....	110

42.	Eje y cadenas del mecanismo principal previo a lubricación .....	112
43.	Carta de lubricación máquina PEWO-250 .....	113
44.	Etiqueta de seguimiento del mantenimiento autónomo .....	114
45.	Tarjeta problema de TPM.....	116
46.	Gráfico de la dispersión de datos para ambos tratamientos .....	121
47.	Lecciones de un punto para máquina <i>flowpack</i> .....	129
48.	Análisis comparativo del tiempo perdido por fallos acumulados .....	134
49.	Cálculo del nivel de Sigma post proyecto de la maquina.....	136
50.	Lectura de minutos acumulados reportados de fallos.....	139
51.	Capacitación del personal acerca de la documentación y reportería .	148
52.	Capacitación del personal en uno de los talleres del área de trabajo	149
53.	Rombo de seguridad y del peligro NFPA 704.....	155
54.	Reuniones con administrativos para seguimiento del programa.....	156

## TABLAS

I.	Ficha técnica del equipo.....	11
II.	Tabulación por mes de la información historia recabada .....	27
III.	Cálculo de <i>scrap</i> de bobina para envoltura .....	29
IV.	Instrumento de medición y toma de fallos del equipo .....	34
V.	Estadística descriptiva por meses estudiados .....	40
VI.	VARIABLES estadísticas por meses estudiados .....	40
VII.	Estadística descriptiva acumulada .....	41

VIII.	Variables estadísticas acumulada .....	42
IX.	Detalle de suministros para mantenimiento autónomo .....	111
X.	Identificación de los tratamientos evaluados .....	117
XI.	Prueba de <i>t-student</i> para la diferencia de tratamientos .....	120
XII.	Estadística descriptiva para la prueba .....	141

## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
<b>cm</b>	Centímetros
<b>g</b>	Gramos
<b>h</b>	Horas
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>m</b>	Metro
<b>mm</b>	Milímetro
<b>min</b>	Minutos
<b>%</b>	Porcentaje
<b>s</b>	Segundos



## GLOSARIO

<b>CAPA</b>	Son las acciones correctivas y preventivas tomadas al encontrar algún hallazgo en la máquina, proceso o cualquier elemento auditable.
<b><i>Flowpack Bundler</i></b>	Es una máquina semiautomática que trabaja envolviendo en un flujo constante y continuo producto terminado, a través de un proceso de colocación del producto y su envoltura con láminas de polietileno, con el fin de crear un envoltorio en el producto terminado de forma homogénea, libre de contaminación y con niveles de productividad elevados.
<b><i>Hazard Assesstment</i></b>	Es el término empleado para un análisis de riesgos, el método contempla una guía que permita conocer todos los riesgos implicados a la operación del equipo, en él se evalúa también puntos de atrapamiento, condiciones inseguras y rotulación. Es esencial previo a un programa de TPM, debido a que se instaurara un equipo de mantenimiento autónomo, es decir todos deben conocer los riesgos de hacer un mantenimiento o limpieza en la máquina.

***Housekeeping***

Concepto utilizado en la metodología de 5S y *Kaizen*, que define como estándares de limpieza y mantenimiento del área de trabajo. Es muy utilizado sobre todo en el mantenimiento de la limpieza de las áreas de trabajo, regularmente es un documento sencillo, no requiere mayor complejidad, pero si tiene detallado como, cuando, quien y de qué forma se hace una rutina simple de limpieza para un área específica.

***Kaizen***

Significa, un cambio y mejora continua, es una metodología desarrollada en Japón, de gestión de la calidad y mantenimiento autónomo muy conocido en el mundo de la industria. Implica un cambio de actitud en todos los niveles y es muy utilizado para los programas de TPM. Significa: “muchos pequeños cambios, muchas mejoras acumuladas”.

**KPI**

Siglas para “*key process indicator*”, o indicadores clave de gestión. Permite mostrar el estatus de un proceso, en este caso el indicador que se desarrollara es para mostrar los índices de operación de la máquina.

**LUP**

Son las siglas de lección de un punto. Es un instrumento vigente de comunicación simple, sencillo, generalmente de una hoja que está en las áreas de trabajo, como una calcomanía con los pasos para

hacer alguna tarea sencilla de mantenimiento, operación o limpieza.

## **MSDS**

Por sus siglas en inglés "*Material Safety Data Sheet*", es una hoja de seguridad que contiene información sobre manipulación, toxicidad y cualquier información referente al manejo de las sustancias a las que refiere. Persigue reducir los riesgos laborales y medioambientales.

## **PET**

El polietileno tereftalato, es un tipo de plástico muy usado en envases y empaques. Algunas compañías manufacturan el PET y otros poliésteres bajo diferentes soluciones de empaque. Su principal problema es la complejidad de la biodegradación, aunque existen investigaciones de algunas universidades británicas y estadounidenses acerca de una enzima que acelera la desintegración de la molécula de PET, haciendo que el proceso que dura mínimo 450 años se realice en cuestión de unos días, aunque aún está en fase de desarrollo.

## **SOP**

Refiere a un procedimiento estándar de operación, por sus siglas en inglés, y es un documento que contiene un procedimiento. Para este estudio se presentan los documentos emitidos en las áreas de trabajo, como instructivos estándar de trabajo, no se colocaron los procedimientos como tal, por razones de espacio.

**5S**

Es un método de trabajo, desarrollado en Japón y es denominado por la primera letra del nombre que en japonés designa cada una de sus cinco etapas. Su principal objetivo es lograr lugares de trabajo mejor organizados, más ordenados y más limpios de forma permanente y continua. Este es uno de los cimientos principales del programa de mantenimiento TPM.

**6M**

Las 6M de Ishikawa, se definen como variables que forman parte de las posibles fuentes de variación de los procesos productivos o fuentes de fallos.

## RESUMEN

El mantenimiento predictivo, debe considerarse como parte fundamental de los procesos de confiabilidad en los equipos, centrándose en un análisis detallado de las fuentes de variación y fallos, su impacto en la producción y calidad del equipo objeto.

Estos procedimientos forman parte del programa TPM, que es una metodología y filosofía de trabajo, desarrollada en Japón, este método de trabajo incorpora elementos muy importantes en la industria moderna, formando parte de los procesos productivos de clase mundial, su objetivo principal al devolver al equipo la confiabilidad deseada, brinda como efecto la factibilidad de correr programas de producción “*Just in Time*”, esta tiene como objetivo primordial la eliminación sistemática de desperdicios.

El equipo en estudio, será sometido al proceso de diagnóstico y luego será realizado un estudio que permita devolver la confiabilidad al equipo por mantenimiento, y un programa preventivo, que permita la utilización de instrumentos preventivos, áreas de trabajo adecuadas para la operación, seguras, limpias, delimitadas y con la documentación que respalde el correcto uso y mantenimiento de la misma. Se considerarán las métricas de Lean Six-Sigma para sustentar la capacidad del proceso una vez se ejecute el plan, dando como resultado un programa robusto de mantenimiento, que considera los elementos esenciales del TPM, tales como plan de mantenimiento preventivo, documentación de procesos de operación que aseguren su correcto uso, instrumentos documentales de control y medición, mantenimiento autónomo, aplicación de las 5s y los indicadores de gestión.



# OBJETIVOS

## General

Aplicar un programa de confiabilidad del equipo por mantenimiento, a través de aplicación de ingeniería como método de anticipación de fallos, devolviendo la confianza a la operación del mismo.

## Específicos

1. Crear un programa de confiabilidad en el equipo, de esta industria.
2. Aplicar un estudio de ingeniería mecánica, como método de anticipación de fallos al equipo.
3. Desarrollar las bases para un programa de mantenimiento robusto, cumpliendo los requerimientos mínimos de TPM.
4. Desarrollar un programa que devuelva la capacidad al proceso de la operación de la máquina.
5. Prevenir fallos de producción a través de técnicas de confiabilidad, utilizando metodologías de Mantenimiento Productivo Total.
6. Desarrollar un programa de mantenimiento preventivo, con todos sus lineamientos, capacitación y documentación, para garantizar la operación correcta.

7. Analizar y prevenir las fallas y sus correspondientes probabilidades de ocurrencia.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años la industria se ha caracterizado por la automatización de sus procesos, a través de equipos industriales, máquinas y métodos que eficientizan la producción, elevando la productividad. El problema surge cuando, se descuida los equipos, debido a la naturaleza de la operación, dejando por un lado el proceso de mantenimiento y perdiendo así la confiabilidad de los equipos.

Es necesario tomar en cuenta que los programas de mantenimiento involucran, no solo una inversión inicial de tiempo y recursos, sino que crea un ambiente de confianza en los equipos, obteniendo así, la productividad tan necesaria en estos mercados competitivos.

En los procesos de clase mundial, se consideran los elementos de las 6M, y la maquinaria como eje principal de este análisis, debe entenderse como un esfuerzo continuo en materia de implementación y ejecución. El mantenimiento es el elemento principal de la confiabilidad de una planta de producción y el elemento central que debe estudiarse y afianzarse en la industria.

El estudio no se pretende únicamente crear un programa predictivo de mantenimiento, sino ir más allá, tomando como base los análisis de recurrencia estadística y estudiando la capacidad del proceso para tomas de decisiones acertadas y controladas.



# **1. FASE DE INVESTIGACIÓN**

## **1.1. Descripción de la empresa**

La planta de producción de empaque y acabados, está ubicada en la zona 12, Ciudad de Guatemala encargada del empaque secundario de productos de cuidado personal para su venta, antes de ser distribuidos. La empresa de estudio es la que se encarga de la operación del equipo de forma tercerizada.

### **1.1.1. Ubicación**

La empresa se encuentra ubicada en la 13 avenida y 19 calle de la zona 11, como sus oficinas administrativas. El proyecto de estudio está ubicado a doscientos metros de la 50 calle zona 12.

### **1.1.2. Historia**

En el año 1999, se comienza a elaborar empaque desde terceros a través de procesos manuales, consolidándose en el mercado a través de una buena calidad y relación de costos. Para el año 2001 la empresa logró mejorar sus operaciones y adquirir equipo semiautomático, que permitiera ofrecer sus servicios de empaque de producto. Para el año 2011 se inició con el proceso de empaque con equipo que permitía una mejor relación de volumen. Sin embargo, para 2017 los procesos y el equipo principal de la empresa comenzaron a tener

serios problemas. Se vio en la necesidad de operar a través de un tercero, la máquina y sus procesos. Aquí surge la necesidad de un programa de mantenimiento, que permita devolver al equipo la confiabilidad necesaria para su operación correcta y rentable. Después de dos años de problemas, perdidas y atrasos. Formado por un equipo de profesionales que integran unidades de planeación y ejecución, fortalecidos por principios organizacionales basados primordialmente en la política y filosofía de la organización, la empresa de consultoría está orientada a brindar al país ayuda integral en la planificación y ejecución de proyectos. La organización cuenta entre sus departamentos con el de recursos humanos, encargado del reclutamiento, selección, inducción, evaluación y motivación, de los nuevos colaboradores a la organización.

### **1.1.3. Misión**

"Ofrecer al mercado de servicios la mejor opción de empaque. En relación a eficiencia, calidad, soluciones rápidas y adaptables a sus necesidades"<sup>1</sup>.

### **1.1.4. Visión**

"Ser la mejor opción del mercado con soluciones de empaque, con el compromiso de sobrepasar las expectativas de servicio y la satisfacción del cliente"<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> RisoTech, S.A. *Manual de calidad*. p. 6.

<sup>2</sup> *Ibíd.*

### **1.1.5. Valores**

**Trabajo en equipo:** Se busca el compromiso de los empleados y la empresa con ellos mismos y con el cliente.

**Integridad:** El pilar de los valores éticos. Contando con principios de responsabilidad y compromiso.

**Compromiso:** Con responsabilidad hacia el cliente y con una integridad hacia los empleados<sup>3</sup>.

### **1.1.6. Estructura organizacional**

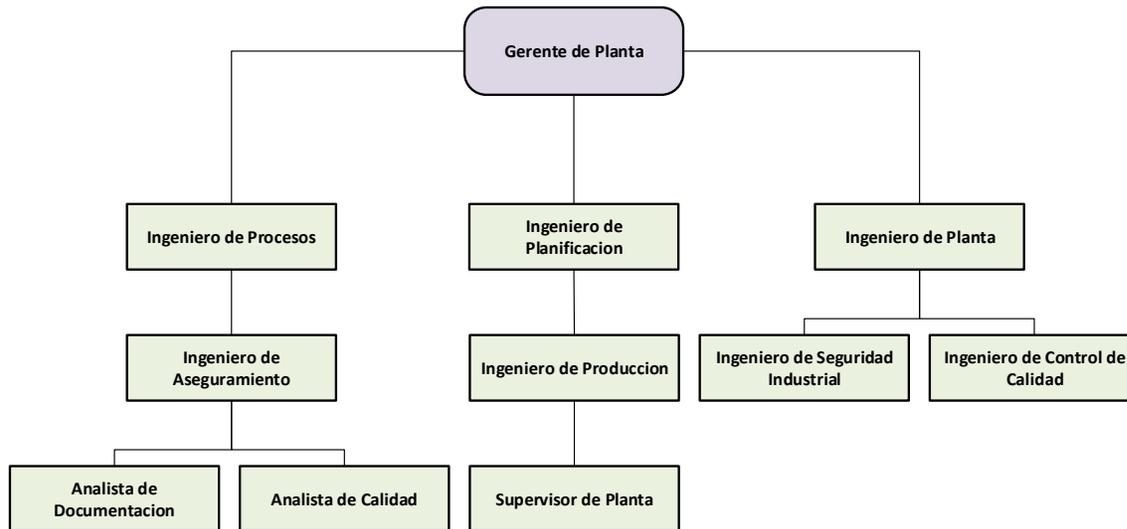
La organización está constituida por una estructura que cuenta primeramente con el área administrativa y luego con las divisiones de proyectos delimitadas independientemente.

En este caso se cuenta como un proyecto técnico de una de las divisiones de consultoría, como se puede delimitar en el organigrama siguiente.

---

<sup>3</sup> RissoTech, S.A. *Manual de calidad*. p. 7.

Figura 1. Estructura organizacional



Fuente: elaboración propia.

## 1.2. Descripción del problema

Por mucho tiempo se ha detectado el problema de la falta de confiabilidad de la máquina, debido a que el índice de fallos que la máquina mantiene en un periodo de operación, se ha vuelto cada vez más complicado.

La cantidad de fallos es bastante alta y el problema con la ejecución continua de mantenimientos correctivos, ha hecho que se incrementen los costos. Se precisará un análisis diagnóstico de la máquina, con el fin de encontrar todas las posibles fuentes de variación y de fallos en el equipo.

Debido a que, actualmente se cuenta con un proceso productivo fallido, muy importante para la empresa objetivo, y que este equipo cuenta con una tasa de fallo alta, dejando el proceso productivo en situación de incumplimiento. Se ha detectado varios problemas de operación y fallos por un mantenimiento incorrecto.

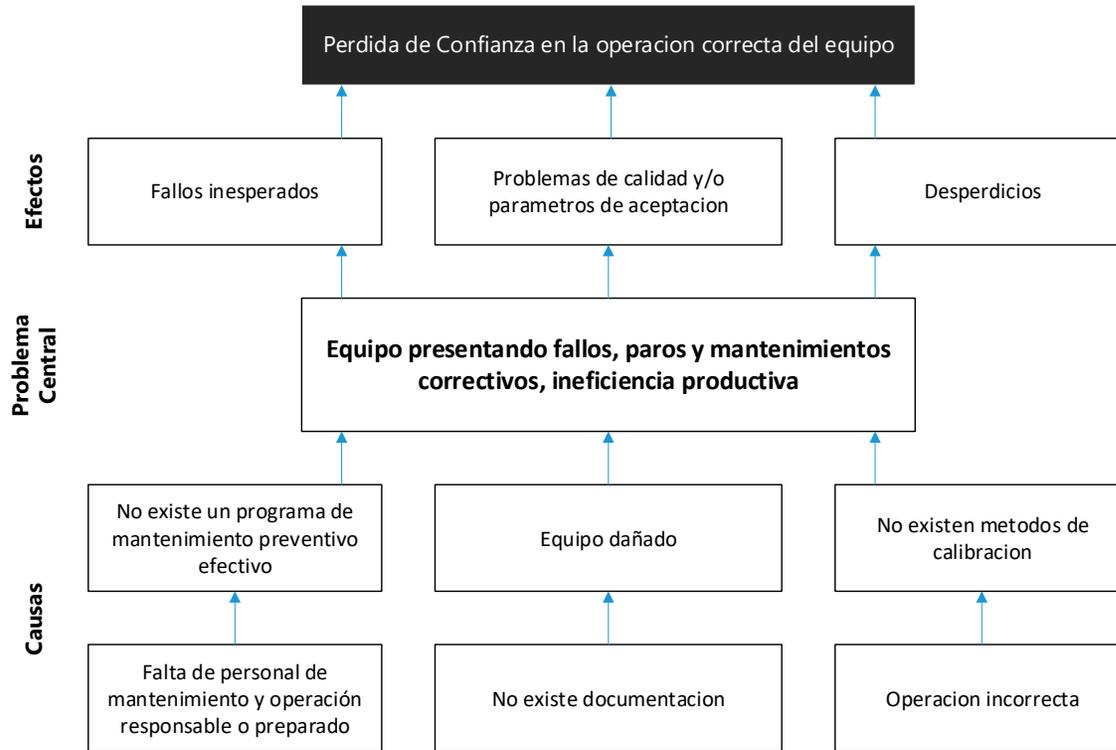
Se considerarán herramientas de apoyo, como las métricas de Lean Six-Sigma para sustentar la capacidad del proceso una vez se ejecute el plan, dando como resultado un programa robusto de mantenimiento, que considera los elementos esenciales del TPM, tales como plan de mantenimiento preventivo, documentación de procesos de operación que aseguren su correcto uso, instrumentos documentales de control y medición, mantenimiento autónomo, aplicación de las 5s y los indicadores de gestión.

### **1.2.1. Definición del problema raíz**

Se realizó un estudio preliminar, a través de una espina de Ishikawa, demostrando que los problemas se centran mayormente en los fallos, paros y equipo sin confiabilidad operativa.

Se consideraron los costos de paros, desperdicios, reprocesos y costos de la “No Calidad”.

Figura 2. **Árbol del problema**



Fuente: elaboración propia.

El equipo en estudio, será sometido al proceso de diagnóstico y luego será realizado un estudio que permita devolver la confiabilidad al equipo por mantenimiento, y un programa preventivo, que permita la utilización de instrumentos preventivos, áreas de trabajo adecuadas para la operación, seguras, limpias, delimitadas y con la documentación que respalde el correcto uso y mantenimiento de la misma.

El programa pretende devolver la confiabilidad, del equipo a través de un diagnóstico preliminar, analizando a profundidad las evidencias marcadas con anterioridad, demostradas en los análisis de Ishikawa y árbol de problemas.

### **1.3. Descripción del proceso de funcionamiento**

El mantenimiento productivo, debe considerarse como parte fundamental de los procesos de confiabilidad en los equipos, centrándose en un análisis detallado de las fuentes de variación y fallos, su impacto en la producción y calidad del equipo objeto. Estos procedimientos forman parte del programa TPM, que es una metodología y filosofía de trabajo, desarrollada en Japón, este método de trabajo incorpora elementos muy importantes en la industria moderna, formando parte de los procesos productivos de clase mundial, su objetivo principal al devolver al equipo la confiabilidad deseada, brinda como efecto la factibilidad de correr programas de producción “*Just in Time*”, la cual tiene como objetivo primordial la eliminación sistemática de desperdicios.

#### **1.3.1. Análisis situacional del proceso**

La máquina ha sufrido un deterioro operativo que se ha monitoreado por al menos tres meses, arrojando registros de fallos repetitivos y que no se han podido eliminar por diversas causas, la falta de una cultura preventiva, la sobreproducción de los equipos, la poca importancia a los programas de mantenimiento y varios elementos propios del equipo, que deben analizarse.

El equipo presenta una serie de elementos donde puede deducirse que no se tiene un programa apropiado de uso, mantenimiento y operación. Esto hace que se incurra en una serie de problemas internos en la planta.

Se pretende realizar un análisis de ingeniería tomando en consideración todos los aspectos posibles para brindar un programa de confiabilidad, tomando en cuenta todas las herramientas factibles que apliquen a su funcionamiento correcto.

### **1.3.2. Descripción del equipo**

Es una máquina semiautomática que trabaja envolviendo en un flujo constante y continuo producto terminado, a través de un proceso de colocación del producto.

Las envolvedoras *Flowpack*, son máquinas de envasado horizontal de alta producción, que utilizan una sola bobina de film para la realización de la envuelta, Su capacidad máxima puede llegar a ser mediante tres soldaduras, dos transversales y una longitudinal.

Este tipo de máquina está orientada tanto al mercado alimenticio como al no alimenticio. La máquina opera dependiendo el proceso de empaque del producto, la máquina crea un tubo o envoltorio de plástico partiendo de un film flexible y el producto lo atraviesa hasta alcanzar una mordaza o cuchilla que delimitara el principio y el final del paquete.

Otro elemento básico de la máquina es el centrado de la impresión del material de envoltimiento cuando esto tiene características graficas específicas; para esta tarea se complementa la máquina con una fotocélula que lee unas marcas negras que el fabricante del material realiza para determinar el principio y el final del área de impresión.

Como norma regulatoria se requiere el marcaje de la fecha de fabricación o lote, y la caducidad del producto. La máquina tiene instalada sobre la bandeja de salida, uno sistema de marcaje por inyección de tinta.

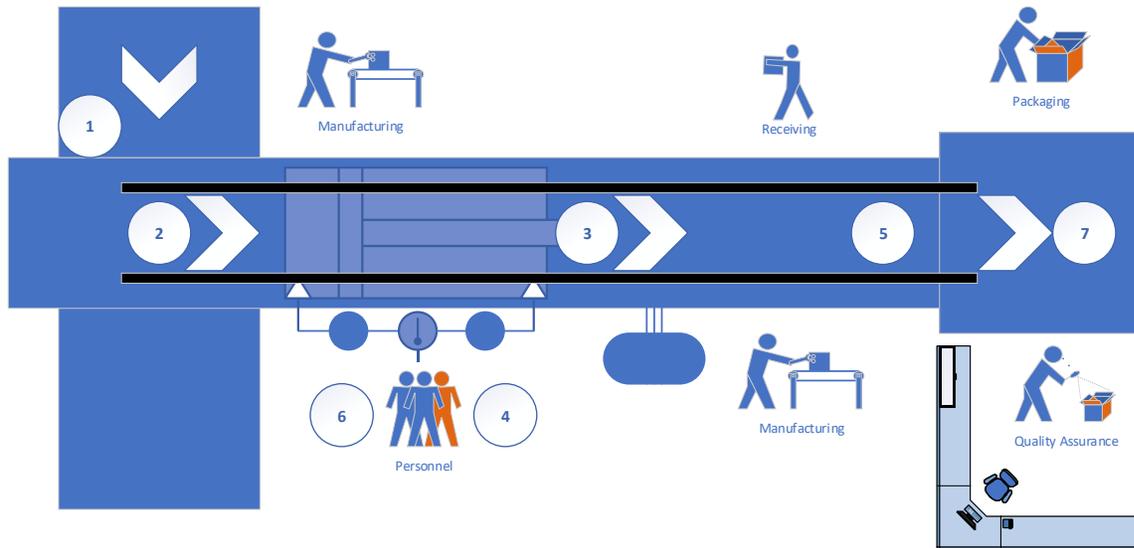
Para realizar el embalaje más escuadrado se recurre al pliegue inglés, que es un dispositivo que se instala cerca de las mordazas y que se introduce antes de la soldadura para aumentar el doblaje del material envoltorio en correspondencia de la misma.

Los productos embalados son de dimensiones no muy grandes, que requieren cadencias altas y lotes homogéneos.

### **1.3.2.1. Descripciones técnicas**

Este equipo es una envolvente horizontal de empaque. La velocidad nominal del equipo en la tipología de producción actual es de 420 piezas por hora, pero en condiciones ideales y dependiendo de la tipología de producción, podría incrementarse de 8 a 12 veces su capacidad de empaque.

Figura 3. **Tipología productiva de configuración del equipo**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2019.

Las características operativas, como se observa en la figura 3, están dadas por una cadena de alimentación del transportador con empujadores (1), que llevan el producto terminado hacia las guías de alimentación en acero inoxidable (2), estas conducen el producto al sistema envolvente de material empaque laminado (3). Cuenta con un sistema de instrumentación equipado con panel de control digital (4), una función de diagnóstico o de bloqueo al momento de atascarse (5) y controles de ajuste de temperatura y neumática según él la tipología de producción configurada (6). Tiene un sistema de impresión o codificación para los elementos de buenas prácticas de manufactura, como es la expiración y lote del producto terminado, por regulatorio y legislación (7).

Tabla I. Ficha técnica del equipo

<b>FICHA TECNICA</b>		FORMATO: <b>FT-TPM-01</b>
<i>TECHNICAL SPECIFICATIONS FOR BUNDLER FLOWPACK</i>		Status: Implementado
Documento tipo: Administrativo Distribución: Confidencial Programa de Apoyo: Mantenimiento y Seguridad Industrial Alcance: Planta de Produccion GT Objetivo: Mantenimiento productivo total Emisión: Julio de 2019 Soporte: P-OP-003 Versión: 1.0	Emitido por: QA Analista de Documentacion Actualizado por: Ingeniero de Aseguramiento Revisado por: Ingeniero de Procesos Autorizado por: Carlos Ríos Vigencia: Activo Ultima Actualización: Agosto 2019 Frecuencia: Cuando aplique Control: BPM	

**Especificacion del equipo**

Descripcion Variable	Dimensionales	Especificacion
Marca		Pester-Pac
Modelo		PEWO-250
Fabricacion		Alemania
Version estandar		Solo equipo, sin tomar en cuenta transportadores, codificadora e instalac
Longitud	mm	1,450
Peso	Kg	800
Altura	mm	1 750
Alimentador	mm	2 000
Empacador	mm	2 000
Banda transportadora	mm	1 750
Altura encapsulado	mm	900
Controlador flowpack		Siemens /Allen Bradley
Componente electrico principal		Klößkner-Mößller
Cilindro		Festo
Valvulas		Neumaticas
Presion de Operación	BAR	5
Switch/Micro de seguridad en puertas		Schmersal
Switch de Proximidad		IFM
Control de temperatura		Pester-pac automation
Mecanismo de estiramiento		Stretching shaft Pester-pac patented
Material programado		PET
Codificador		Codificador de chorro de tinta
Marca		Image
Modelo		S8 Master
Fabricacion		Francia
Version estandar		Codificadora con cañon de chorro de tinta
Adaptabilidad		Dentro de la maquina envolvedora
Sensor		Laser de proximidad

**Variables de trabajo**

Descripcion Variable	Dimensionales	Especificacion
Maximo ancho de sellado	mm	250
Maxima apertura de ingreso	mm	250
Maximo lagro de sellado	mm	250
Maxima altura de sellado	mm	250
Maxima altura de ingreso	mm	5

Continuación de la tabla I.

Poder electrico de alimentacion		
Descripcion Variable	Dimensionales	Especificacion
Fuente de poder	V	230 - 480
Voltaje de control	V	24
Consumo de potencia	kW	1,0 - 2,0
Frecuencia de operación	Hz	50

Poder neumatico de alimentacion		
Descripcion Variable	Dimensionales	Especificacion
Fuente minima de aire presurizado	BAR	5
Fuente maxima de aire presurizado	BAR	10
Conneccion cruzada de aire	"	1/2
Presion de trabajo	BAR	5
Consumo	l/cycle	5

Película de material		
Descripcion Variable	Dimensionales	Especificacion
Material		PET
Grosor maximo de pelicula	µm	25 - 80
Diámetro maximo de bobina	mm	300

Fuente: elaboración propia, con base en información de PEWO PACK, Pester-Pack Automation.

Este tipo de máquina está diseñada para el empaque de forma fija, envolviendo producto dentro del empaque, el cual queda de forma externa, teniendo la forma del producto empacado. Estos equipos son adecuados para todo tipo de embalaje de productos sólidos de forma regular incluyendo productos alimenticios y otros productos industriales.

En algunas ocasiones podría configurarse para el empaque con pequeñas piezas para separar artículos. Estos pueden ser puestos dentro de pequeños contenedores o cajas, en algunos casos organizados en bloques después de usar esta máquina.

### **1.3.2.2. Breve explicación del uso del equipo**

Desde un eje porta bobina del material flexible que puede ser polipropileno o PET, o un material complejo según las exigencias, pasa a través de un túnel conformador y se sella mediante unas ruedas de soldadura o superficies térmicas, si la bobina no está bien centrada respecto al eje de avance del producto, conlleva a errores, ya que el empaque que se forma tendrá más material por un lado que por el otro. El equipo debe estar en buenas condiciones ya que, si existe un descentrado del material, conlleva en pérdidas o reproceso. El producto a embalar viene empujado por unas paletas distanciadas hasta alcanzar el envoltorio plástico que se ha formado. Siendo las paletas coordinadas con el cierre de una mordaza giratoria puesta longitudinalmente respecto al avance del film, el producto queda envasado en un paquete delimitado al principio y al final por la acción de la mordaza y posteriormente sellados.

El proceso de ajuste prevé al principio poner en fase el empuje de las paletas donde se colocan los productos con el cierre de las mordazas o cuchillas. Una vez que se ha coordinado este movimiento, se regula la velocidad de avance del film siendo válida la regla que cuanto más rápido el avance, más largo el paquete que se obtiene. Lo último que hay que ajustar es la velocidad tangencial de las mordazas con la velocidad de avance del film, si este es muy rápido y las mordazas más lentas, el producto se acumula con las mismas, mientras si las mordazas van más rápidas que el avance del film, acaban rompiéndolo estirándolo demasiado.

Para esto hay una regulación mecánica mediante un excéntrico que permite acelerar o ralentizar la velocidad de la mordaza en el momento de realizar la soldadura. Con la evolución de la tecnología, se ha introducido la electrónica

para el control de las operaciones permitiendo la regulación de todos los parámetros antes descritos desde un panel de mando digital.

### **1.3.2.3. Empaque y usos**

Los usos de maquinaria de estos tipos son esencialmente para el empaque horizontal de flujo continuo. El polietileno tereftalato, es un tipo de plástico muy usado en envases y empaques. Algunas compañías manufacturan el PET y otros poliésteres para diferentes soluciones de empaque. Sus características más relevantes es su alta resistencia al desgaste y corrosión, buena resistencia química y térmica, que le permite ser un empaque muy apreciado, no permite la contaminación con CO<sub>2</sub> y la humedad. Muy compatible y manejable, con otros materiales barrera que mejoran en su conjunto la calidad de los envases y por lo tanto permiten su uso en mercados específicos. Otra ventaja es que es reciclable en un alto porcentaje.

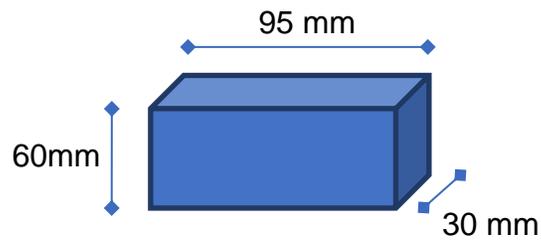
Su principal problema es la complejidad de la biodegradación, aunque existen investigaciones de algunas universidades británicas y estadounidenses acerca de una enzima que acelera la desintegración de la molécula de PET, haciendo que el proceso que dura mínimo 450 años se realice en cuestión de unos días, aunque aún está en fase de desarrollo.

### **1.3.2.4. Caracterización del producto**

El producto se caracteriza por su estructura rígida, en el caso de estudio, la máquina se encarga de envolver pastillas de jabón, de 110 gr. Las cuales son

colocadas en la máquina uniformemente. Cada unidad que se empaca tiene las características siguientes:

Figura 4. **Diseño de la pieza unitaria a empacar**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2019.

Las unidades se colocan una por una en la máquina envolvedora, haciendo un *mix* de cuatro unidades, la máquina opera de la manera siguiente. La máquina semiautomática trabaja envolviendo en un flujo constante y continuo producto terminado, a través de un proceso de colocación manual del producto. Las envolvedoras *flowpack*, son máquinas de envasado horizontal de alta producción, que utilizan una sola bobina de film para la realización de la envuelta. Su capacidad máxima puede llegar a ser mediante tres soldaduras, dos transversales y una longitudinal. Este tipo de máquina está orientada tanto al mercado alimenticio como al no alimenticio.

La máquina opera dependiendo el proceso de empaque del producto, la máquina crea un tubo o envoltorio de plástico partiendo de un *film* o película flexible y el producto lo atraviesa hasta alcanzar una mordaza o cuchilla que delimitara el principio y el final del paquete. Desde un eje porta bobina del material flexible que puede ser polipropileno o PET, o un material complejo según

las exigencias, pasa a través de un túnel conformador y se sella mediante unas ruedas de soldadura o superficies térmicas, si la bobina no está bien centrada respecto al eje de avance del producto, conlleva a errores, ya que el empaque que se forma tendrá más material por un lado que por el otro. El equipo debe estar en buenas condiciones ya que, si existe un descentrado del material, conlleva en pérdidas o reproceso. El producto a embalar viene empujado por unas paletas distanciadas hasta alcanzar el envoltorio plástico que se ha formado. Siendo las paletas coordinadas con el cierre de una mordaza giratoria puesta longitudinalmente respecto al avance del *film*, el producto queda envasado en un paquete delimitado al principio y al final por la acción de la mordaza y posteriormente sellados.

El proceso de ajuste prevé al principio poner en fase el empuje de las paletas donde se colocan los productos con el cierre de las mordazas o cuchillas. Una vez que se ha coordinado este movimiento, se regula la velocidad de avance del *film* siendo válida la regla que cuanto más rápido el avance, más largo el paquete que se obtiene. Lo último que hay que ajustar es la velocidad tangencial de las mordazas con la velocidad de avance del *film*, si este es muy rápido y las mordazas más lentas, el producto se acumula con las mismas, mientras si las mordazas van más rápidas que el avance del *film*, acaban rompiéndolo estirándolo demasiado.

Para esto hay una regulación mecánica mediante un excéntrico que permite acelerar o ralentizar la velocidad de la mordaza en el momento de realizar la soldadura.

Con la evolución de la tecnología, se ha introducido la electrónica para el control de las operaciones permitiendo la regulación de todos los parámetros antes descritos desde un panel de mando digital.

Figura 5. **Layout del proceso automático de empaque**



Fuente: elaboración propia, empleando CorelDraw 2017.

Otro elemento básico de la máquina es el centrado de la impresión del material de envolvimiento, cuando esto tiene características graficas o arte específico; para esta tarea se complementa la máquina con una fotocélula que lleva el *film* de material, identificando los puntos de corte mediante la lectura de unas marcas fotosensibles negras, que el fabricante del material realiza para determinar el principio y el final del área de impresión. Como norma regulatoria se requiere el marcaje de la fecha de fabricación o lote, y la caducidad del producto. La máquina tiene instalada sobre la bandeja de salida, uno sistema de marcaje por inyección de tinta.

Para realizar el embalaje más escuadrado se recurre al pliegue inglés, que es un dispositivo que se instala cerca de las mordazas y que se introduce antes de la soldadura para aumentar el doblaje del material envoltorio en

correspondencia de la misma. Los productos embalados son de dimensiones no muy grandes, que requieren cadencias altas y lotes homogéneos.

Figura 6. **Alimentador de línea de maquina**



Fuente: elaboración propia.

Se observa cómo se alimenta la máquina y luego esta, envuelve el producto terminado para empacarlo y posteriormente embalarlo.

#### **1.4. Diagnóstico y estudio del proceso**

Se realizó una investigación y diagnóstico del proceso actual, enfocándose en los métodos de análisis, para poder sustentar de una mejor manera el estudio y la posterior implementación de un programa de mantenimiento productivo total.

### **1.4.1. Alcance y limitaciones del proyecto**

Se delimitará el proyecto en base a las limitantes que se definirán a continuación.

#### **1.4.1.1. Alcance**

El programa se centrará puntualmente en los análisis de ingeniería competentes para el equipo en estudio, desarrollando un plan de mantenimiento productivo total e implementando las actividades y mejoras necesarias.

#### **1.4.1.2. Limitantes**

El programa puede ser limitado por las aprobaciones en cambios del programa de mantenimiento.

Otra limitación podría darse por la falta de seguimiento del programa de mejora continua y la asignación de presupuesto.

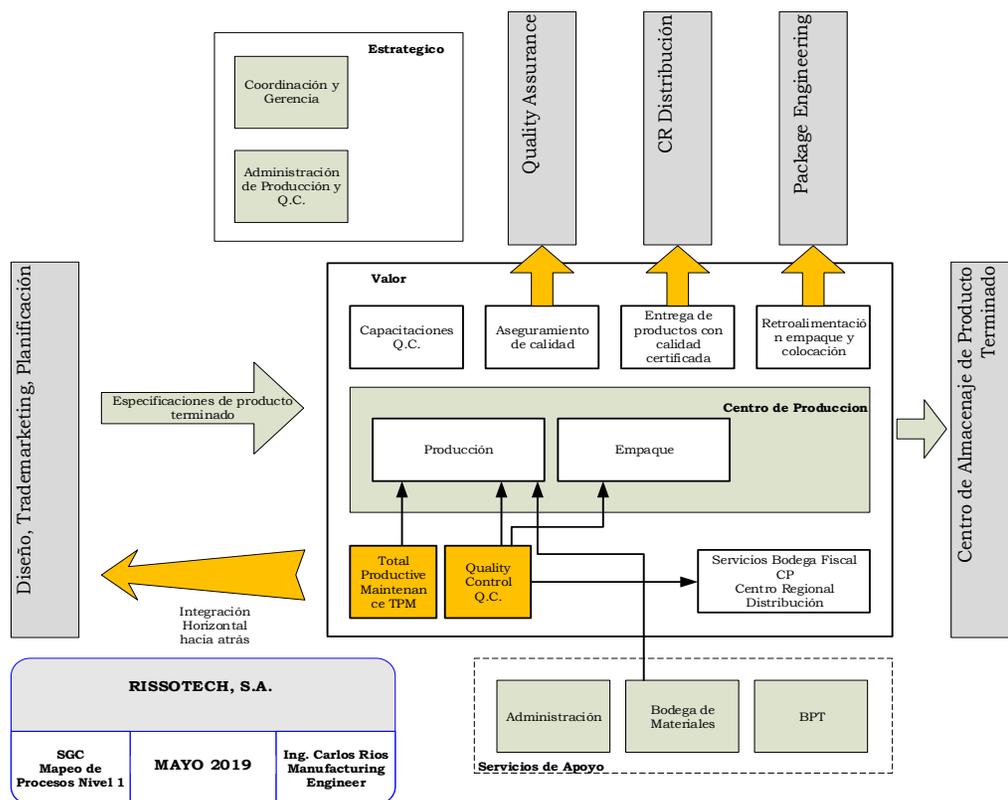
#### **1.4.1.3. Desarrollo**

El proyecto será desarrollado acorde a los lineamientos de la metodología de mantenimiento productivo total TPM, y se apoyará con herramientas de control.

## 1.4.2. Análisis del proceso

Se detalla el mapa de proceso, para entender a detalle la operación y luego el diagrama de flujo de proceso, donde se detalla el proceso de producción y operación de la máquina.

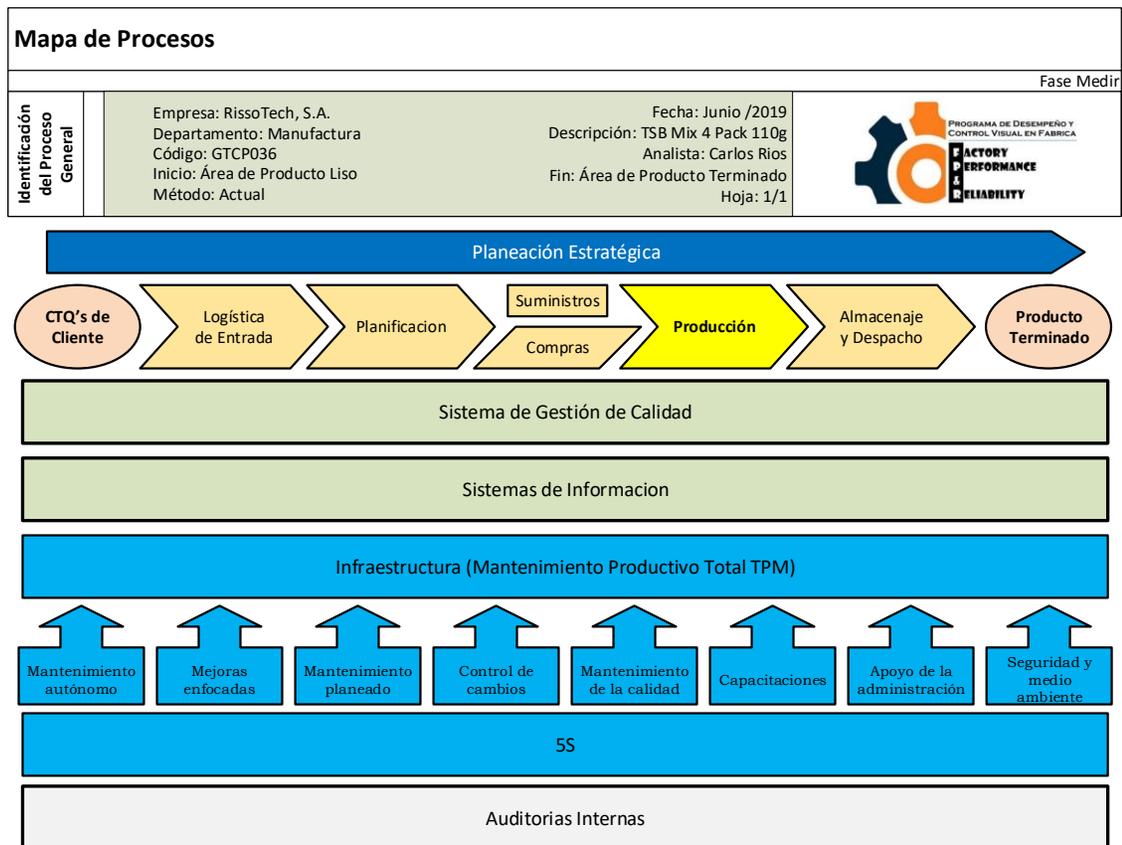
Figura 7. Mapa de proceso de primer nivel



Fuente: elaboración propia, empleando MindManager 2019.

Se puede observar en el mapa, la interacción de los procesos internos, como un sistema productivo, y las distintas relaciones que se guardan con otras áreas.

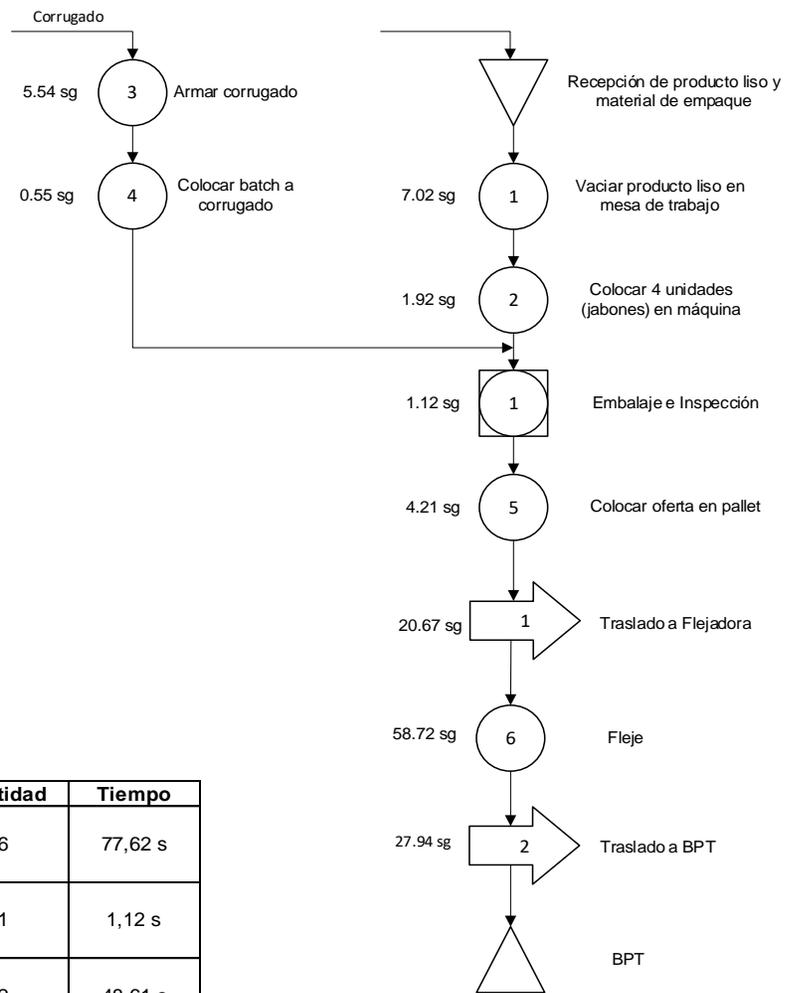
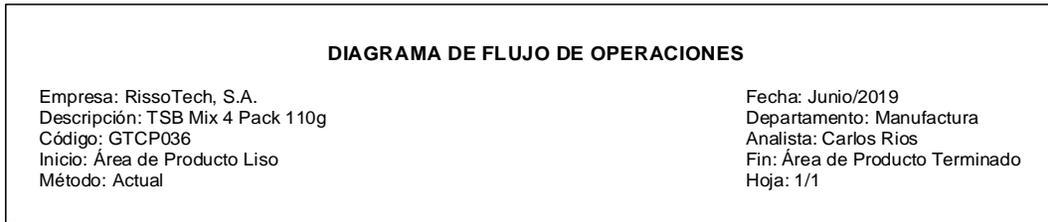
Figura 8. Mapa de proceso



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2019.

El proceso de producción, está ligado directamente a los procesos de entrada y salida como se detalló, para su interpretación correcta.

Figura 9. Diagrama de flujo de proceso y operación de la maquina



**Resumen**

Simbología	Actividad	Cantidad	Tiempo
	Operación	6	77,62 s
	Combinado	1	1,12 s
	Transporte	2	48,61 s
	<b>Total</b>	<b>9</b>	<b>127,69 s</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2019.

Dada la importancia del proceso productivo y de la implicación que conlleva tener un equipo en condiciones de poca confiabilidad, es necesario crear un programa que devuelva su estado funcional, que se analicen las posibles causas y que este estudio de ingeniería permita evidenciar la importancia de los programas de control de mantenimiento y confiabilidad en este tipo de industria, la cual carece de esta cultura.

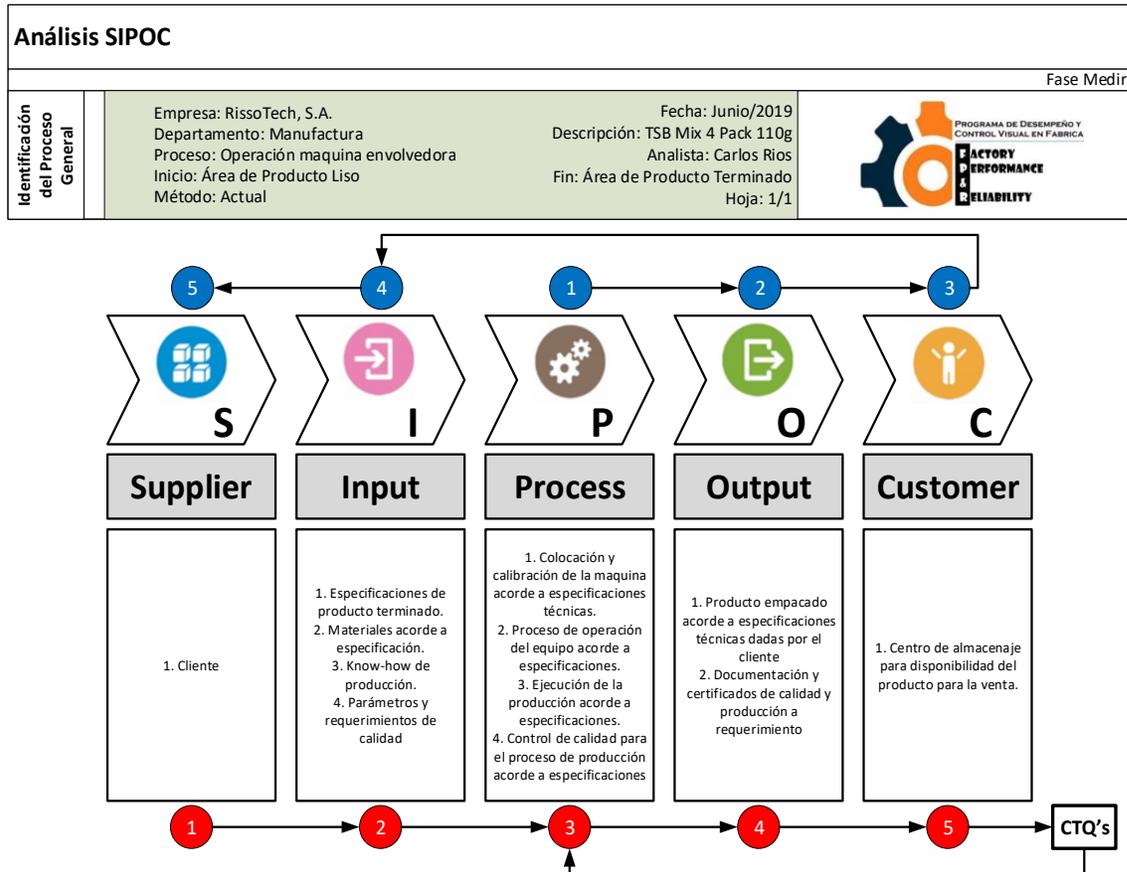
### **1.4.3. Definición del proceso por diagrama SIPOC**

Se utilizará esta herramienta para caracterizar el proceso, definido a partir de la identificación de elementos claves del proceso y subprocesos.

Esta herramienta se utilizará para hacer énfasis en el enfoque definido y centrado en el *supplier (S)*, que establece los requerimientos y en *customer (C)*, que es quien entrega el producto con los criterios de aceptación aprobados. Ambos procesos internos productivos del equipo en estudio.

Los elementos fuera del cuadro inferior caracterizan los criterios de aceptación del cliente, es decir los parámetros con los que el equipo debe operar para ser considerado confiable.

Figura 10. Análisis y definición del proceso



Fuente: elaboración propia, empleando MindManager 2019.

De aquí en adelante, estos se definirán como *CTQ's* definidos y sirven como una retroalimentación o *feedback* del proceso para ajustar el equipo de acuerdo a lo necesario.

#### **1.4.3.1. Análisis y priorización de CTQ's**

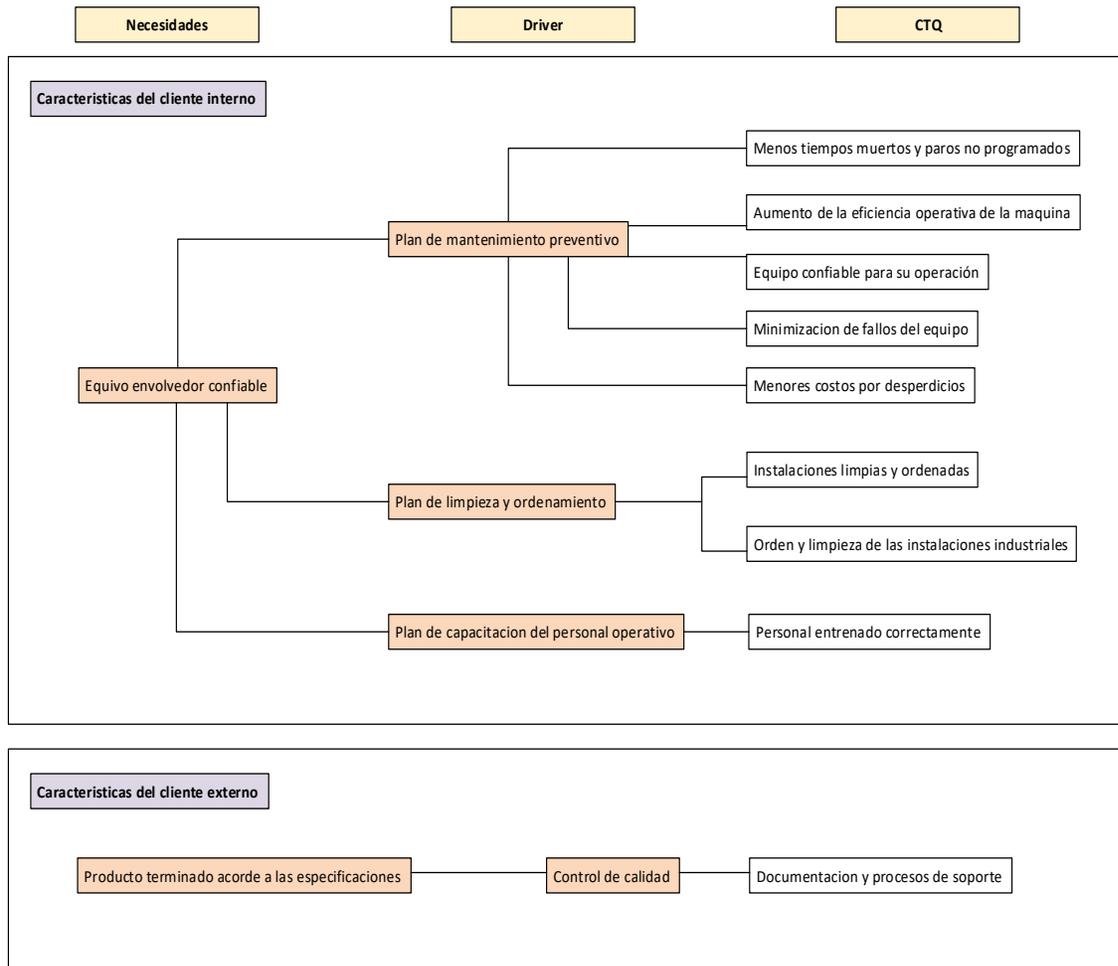
Por el tipo de proceso se analizaron los *CTQ's* desde el punto de vista de cliente interno y externo. Se definen como *CTQ's* a los criterios de aceptación del cliente. En caso del cliente interno, es el mismo equipo de producción ya que es quien suministra a la línea de producción de estudio y el cliente externo es a quien se le entrega la producción realizada en la máquina de estudio.

Debe quedar claro el concepto que la metodología pide, que es que se definan claramente los procesos, aunque internos en este caso, como salidas y entradas, ya que la máquina de estudio es el proceso de transformación, debe considerarse como la variable crítica a la cual debe devolverse la confiabilidad en la brevedad posible. Es allí donde el mantenimiento productivo total, debe hacer la diferencia en cuanto a su implementación.

Debido a la naturaleza del proceso, los *CTQ's* que se priorizaran son los que más afectan en el correcto desempeño de la máquina. Debido a que se identifican como las fuentes de variación que más impactan en el proceso.

En este caso se define como al TPM, una vez instaurado, operando y que logre restablecer la confiabilidad del equipo, tenerlo controlado y mejorado, eliminara más del ochenta por ciento de los problemas del equipo y su calidad.

Figura 11. **Árbol de CTQ's de clientes**



Fuente: elaboración propia.

### 1.4.3.2. **Variable de respuesta**

Se considerará el siguiente diagrama con los datos recopilados por el operador encargado de la toma de los datos, se contabilizaron los registros por grupos de empaques, teniendo un operario encargado por día de lectura.

La variable dependiente será definida como una variable discreta, en este caso los clústeres de los elementos de fallo del equipo, para poder analizarlos de forma aleatoria o independiente según sea el caso, y la variable de respuesta los reportes de los operarios registrando los minutos perdidos en cada fallo.

Tabla II. Tabulación por mes de la información histórica recabada

Metodo 6M	Registro de Tiempos Muertos (mín)	Lecturas por Día															
		OPERARIO A								OPERARIO B							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
MATERIALES	CLUSTER: PROBLEMAS CON INSUMOS/MATERIALES																
	FALTA DE MATERIA PRIMA / PRODUCTO LISO																
	FALTA DE MATERIAL DE EMPAQUE PROBLEMA / CURLING DE BOBINA			20					20	20				10			15
METODO	CLUSTER: FALLOS POR OPERACIÓN INCORRECTA																
	AJUSTE / CAMBIO DE BOBINA																
	AJUSTE / CAMBIO DE GUIAS																
	AJUSTE DEL LARGO DE PAPEL FALLA / AJUSTE DE CAIDA DE ALIMENTADOR																
MANO DE OBRA	CLUSTER: FALLOS POR PROBLEMAS DE PERSONAL DE OPERACIÓN																
	PREPARACION DE ARRANQUE																
	FALTA DE PERSONAL																
MEDIO AMBIENTE	CLUSTER: FALLOS POR LIMPIEZA/LUBRICACION																
	AJUSTE / LIMPIEZA DE FLAUTAS																
	LIMPIEZA EXTRAORDINARIA	18	11	16	14	11	15	18	16	20	11	17	16	19	18	16	11
MAQUINARIA	CLUSTER: PROBLEMAS CON INSTALACIONES INDUSTRIALES																
	FALLA DE ENERGIA ELECTRICA																
	FALTA DE SUMINISTRO NEUMATICO DESPEJE DE LINEA	17	15	19	13	17	15	20	14	16	18	15	10	20	16	11	18
MAQUINARIA	CLUSTER: FALLOS POR PROBLEMAS MECANICOS																
	AJUSTE DE ELEVADORES	14	15	34	15	33	26	39	10	45	32	19	40	15	39	22	15
	AJUSTE / CAMBIO DE CUCHILLAS	10	17	12	16	15	32	17	45	39	15	29	18	18	28	14	30
	AJUSTE DE EMPUJADORES	10	19	37	13	39	12	22	14	25	31	10	32	36	15	22	14
	FALTA DE FLUIDEZ EN BANDA / ALIMENTADOR																
	CLUSTER: FALLOS POR DISPOSITIVOS ELECTRICOS																
	FALLA / AJUSTE DE RESISTENCIAS																
	FALLOS CON TERMOCOPLAS																
	PROBLEMAS CON PIROMETROS																
	FALLOS CON DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD																
	CLUSTER: FALLOS POR INSTRUMENTACION																
	FALLA / AJUSTE DE FOTOCELDAS																
	PROBLEMAS CON SENSORES																
FALLA / AJUSTE DE CODIFICADORA	30	30	50	10	20	20	20	30		15		20	10	30	20	20	
MEDICION	CLUSTER: FALLOS POR PROBLEMAS DE MEDICION/CALIBRACION																
	CALIBRACION INCORRECTA DE SENSORES																
TOTAL MINUTOS PERDIDOS		99	127	168	81	135	140	156	129	145	122	100	136	118	161	105	108

Fuente: elaboración propia.

#### **1.4.3.3. Justificación del programa de confiabilidad del equipo**

El programa de confiabilidad es un método que conlleva la instauración de un sistema de mantenimiento productivo total, sustentando sobre la base de las 5S, que le devolverá al equipo la confianza para la operación correcta, al definir confianza refiere a que el equipo no solo opere sin fallos únicamente, sino que funcione con los parámetros correctos. Para ello se utilizan las herramientas de mejora continua adicionales al programa de mantenimiento, evidenciando la capacidad del proceso, las métricas de control y el análisis correspondiente, previendo fallos o incumplimientos en los controles del mismo. El proceso de mantenimiento productivo total, devolverá un plan que generará valor al método actual y garantizará la oportuna operación del mismo, a través de indicadores de gestión para su correcta administración.

#### **1.4.4. Minimizar las razones de generación de desechos y emisiones**

La variable más crítica en relación a la generación de desechos, es el desperdicio de material envoltorio, el cual es una variable que influye en varios escenarios. Influye directamente en los costos, por ser un *scrap* o desperdicio que podría minimizarse, afectando directamente en los costos. Otro escenario sensible es en el ambiente, ya que el material debe desecharse y no puede ser ni reciclado ni biodegradado, por lo que el único tratamiento que se estudia para su correcta eliminación es su incineración para generación de energía. El otro escenario es el tiempo, en el cual el proceso se vuelve poco productivo y eficiente por los reprocesos constantes. El tratamiento y reducción de los desperdicios, así

como las emisiones se tratarán más detalladas, luego de la implementación del TPM. A continuación, el detalle de los datos de campo de desechos, identificados como *scrap* o desperdicio del proceso.

Tabla III. **Cálculo de *scrap* de bobina para envoltura**

Calculo de scraps bobina flowpack					
Codigo	Codigo Material	Dias Producidos	UD Totales Codificadas	UD Totales Aprobadas	UD Totales Rechazadas
SKU0133	92290315	14	121.975,0	98.796,0	23.179,0
SKU0137	91821115	10	87.805,0	70.908,0	16.897,0
SKU0130	91798315	5	43.775,0	36.024,0	7.751,0
SKU0139	91799215	2	17.680,0	14.520,0	3.160,0
<b>Dias Monitoreados</b>		<b>31</b>	<b>271.235,0</b>	<b>220.248,0</b>	<b>50.987,0</b>

Totales	
Unidades Totales Rechazadas	50.987,0
Desperdicio Real Total (Kg)	254.935
Promedio % UDS/DESP	18,78%
Costo Total del Desperdicio (US\$)	\$ 2.039,48

■ UD Totales Aprobadas ■ UD Totales Rechazadas

Fecha	SKU	CS Prod	UD / CS	UD Totales	UD Codif	SCRAP (UD)	% UDS/DESP	CONSUMO UD/MAT(Kg)	Desperdicio real (Kg)	Costo del Desperdicio (US\$)
4/1/2019	SKU0137	566,00	12,00	6.792,0	8.925,0	2.133,0	23,90%	0,005	10,665	\$ 85,32
4/2/2019	SKU0137	599,00	12,00	7.188,0	8.925,0	1.737,0	19,46%	0,005	8,685	\$ 69,48
4/3/2019	SKU0137	577,00	12,00	6.924,0	8.670,0	1.746,0	20,14%	0,005	8,730	\$ 69,84
4/4/2019	SKU0137	605,00	12,00	7.260,0	8.585,0	1.325,0	15,43%	0,005	6,625	\$ 53,00
4/5/2019	SKU0137	577,00	12,00	6.924,0	8.840,0	1.916,0	21,67%	0,005	9,580	\$ 76,64
4/6/2019	SKU0137	605,00	12,00	7.260,0	8.925,0	1.665,0	18,66%	0,005	8,325	\$ 66,60
4/7/2019	SKU0130	599,00	12,00	7.188,0	8.925,0	1.737,0	19,46%	0,005	8,685	\$ 69,48
4/8/2019	SKU0139	616,00	12,00	7.392,0	8.925,0	1.533,0	17,18%	0,005	7,665	\$ 61,32
4/9/2019	SKU0139	594,00	12,00	7.128,0	8.755,0	1.627,0	18,58%	0,005	8,135	\$ 65,08
4/10/2019	SKU0137	605,00	12,00	7.260,0	8.670,0	1.410,0	16,26%	0,005	7,050	\$ 56,40
4/11/2019	SKU0133	577,00	12,00	6.924,0	8.585,0	1.661,0	19,35%	0,005	8,305	\$ 66,44
4/12/2019	SKU0137	588,00	12,00	7.056,0	8.840,0	1.784,0	20,18%	0,005	8,920	\$ 71,36
4/13/2019	SKU0133	566,00	12,00	6.792,0	8.840,0	2.048,0	23,17%	0,005	10,240	\$ 81,92
4/14/2019	SKU0133	605,00	12,00	7.260,0	8.670,0	1.410,0	16,26%	0,005	7,050	\$ 56,40
4/15/2019	SKU0130	605,00	12,00	7.260,0	8.585,0	1.325,0	15,43%	0,005	6,625	\$ 53,00
4/16/2019	SKU0133	605,00	12,00	7.260,0	8.670,0	1.410,0	16,26%	0,005	7,050	\$ 56,40
4/17/2019	SKU0133	588,00	12,00	7.056,0	8.670,0	1.614,0	18,62%	0,005	8,070	\$ 64,56
4/18/2019	SKU0133	577,00	12,00	6.924,0	8.755,0	1.831,0	20,91%	0,005	9,155	\$ 73,24
4/19/2019	SKU0133	605,00	12,00	7.260,0	8.585,0	1.325,0	15,43%	0,005	6,625	\$ 53,00
4/20/2019	SKU0133	610,00	12,00	7.320,0	8.755,0	1.435,0	16,39%	0,005	7,175	\$ 57,40
4/21/2019	SKU0130	588,00	12,00	7.056,0	8.840,0	1.784,0	20,18%	0,005	8,920	\$ 71,36
4/22/2019	SKU0133	610,00	12,00	7.320,0	8.585,0	1.265,0	14,74%	0,005	6,325	\$ 50,60
4/23/2019	SKU0130	605,00	12,00	7.260,0	8.755,0	1.495,0	17,08%	0,005	7,475	\$ 59,80
4/24/2019	SKU0133	582,00	12,00	6.984,0	8.925,0	1.941,0	21,75%	0,005	9,705	\$ 77,64
4/25/2019	SKU0133	577,00	12,00	6.924,0	8.925,0	2.001,0	22,42%	0,005	10,005	\$ 80,04
4/26/2019	SKU0133	566,00	12,00	6.792,0	8.755,0	1.963,0	22,42%	0,005	9,815	\$ 78,52
4/27/2019	SKU0133	577,00	12,00	6.924,0	8.585,0	1.661,0	19,35%	0,005	8,305	\$ 66,44
4/28/2019	SKU0133	588,00	12,00	7.056,0	8.670,0	1.614,0	18,62%	0,005	8,070	\$ 64,56
4/29/2019	SKU0130	605,00	12,00	7.260,0	8.670,0	1.410,0	16,26%	0,005	7,050	\$ 56,40
4/30/2019	SKU0137	577,00	12,00	6.924,0	8.755,0	1.831,0	20,91%	0,005	9,155	\$ 73,24
5/1/2019	SKU0137	610,00	12,00	7.320,0	8.670,0	1.350,0	15,57%	0,005	6,750	\$ 54,00

Fuente: elaboración propia, con base en datos recopilados de la empresa.

## **1.5. Análisis de las 6M del proceso**

El proyecto será desarrollado acorde a los lineamientos de la metodología seleccionada como herramientas de Lean Six Sigma, para instaurar las bases que puedan definir de una mejor manera el programa de mantenimiento productivo total TPM.

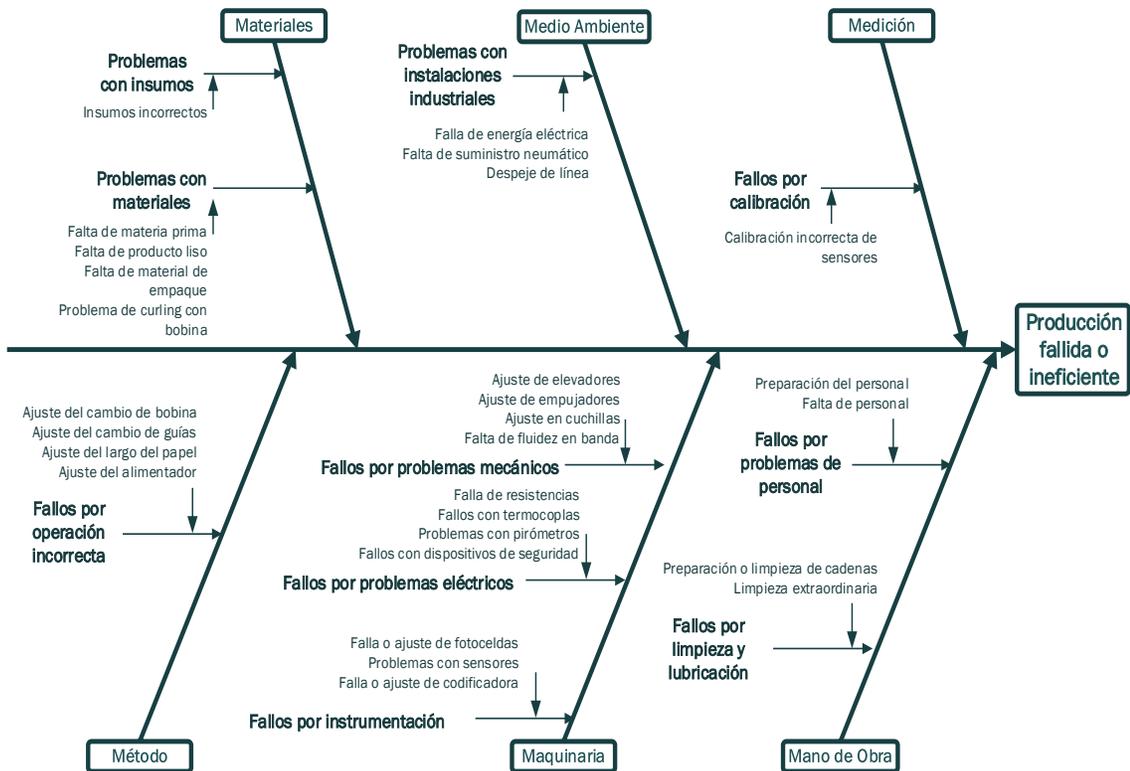
### **1.5.1. Análisis de espina de Ishikawa de las variables del proceso**

El programa pretende abarcar un plan de confiabilidad, para el equipo involucrado *Flowpack Pester-Pac Bundler PEWO-250*, contemplando el historial de fallos y todas las variables analizadas en el proceso de diagnóstico, un histograma de fallos, análisis de Pareto y Espina de Ishikawa como herramientas de ingeniería para evidenciar y detectar los problemas, posterior a este estudio previo se pretende desarrollar un programa puntual de mantenimiento preventivo, el plan de capacitación y toda la documentación generada, como identificación de puntos críticos de lubricación, lecciones de un punto para los operadores, cartas de lubricación, fichas de control visual, para cumplir con los lineamientos de confiabilidad de equipos, valiéndose de herramientas de Lean Six-Sigma para obtener un programa confiable.

Para este análisis se hizo uso de la espina de Ishikawa, que es un análisis de causa-efecto, desarrollado en Japón. El diagrama que muchas veces debido a su estructura se le llama también, diagrama de espina de pez, consiste en una representación gráfica, intuitiva y sencilla, de los elementos que se agrupan de manera relacional en una especie de espina central, que representa el problema

a analizar, y que se escribe en la derecha. En ámbitos de la ingeniería se utiliza como un análisis primario y de campo, facilitando el análisis de problemas y sus posibles causas en esferas segregadas en segmentos previamente establecidos por el analista. Se utilizan las 6M de Ishikawa para determinar los problemas y sus posibles fuentes de variación. En este caso, se tomaron las 6M y se segregaron en clústeres que permiten agrupar completamente los problemas identificados por el instrumento desarrollado para este estudio. A continuación, se muestra el desarrollo del análisis, Se evaluaron todas las posibles causas de variación, identificadas en los análisis previos y en base a los CTQ's prioritarios:

Figura 12. Espina de Ishikawa, del diagnóstico inicial del proceso



Fuente: elaboración propia, empleando Minitab Workspace 19.

Como se encontraron las causas de variación más frecuentes en el proceso 6M de “maquinaria”. Para lo cual se hizo anteriormente un diagnóstico de Pareto, con el fin de evidenciar la información que más problema está ocasionando.

Los problemas mecánicos están en el segmento del 80-20 por lo cual el proyecto centrara sus esfuerzos en eliminarlos a través de un mantenimiento productivo total.

### **1.5.2. Formulación del problema**

Se espera tener como resultado un programa de confiabilidad del equipo por mantenimiento para su correcta operación. Se necesita hacer un estudio de ingeniería y entregar un plan que permita adecuar el uso del equipo de forma correcta.

Como valor agregado se pretende demostrar la necesidad y la concientización a la industria guatemalteca, la importancia de los programas de mantenimiento preventivo y su evolución a un plan de confiabilidad, donde además de estos procesos, se incluyen elementos de Lean Six-Sigma, elementos que brindan una mejor competitividad a través de la eficientización de los procesos automáticos de los equipos.

Estos elementos serán a su vez las bases del estudio para la implementación de un mantenimiento productivo total.

### **1.5.3. Análisis de variación de las variables críticas**

El clúster de la 4M (equipo o maquinaria), que en el análisis previo se demostró según los estudios de las fases anteriores, que las otras variables no son tan significativas como esta, descartando su trascendencia en los fallos observados. Se asume que el resto de los problemas podrían ser eliminados o reducidos al mínimo al implementar un programa de mantenimiento productivo total.

#### **1.5.3.1. Selección de los CTQ's del producto**

Se definen como los *CTQ's* a las variables que caracterizan el correcto desempeño del proceso y lo que se espera cumplir a través del programa de mantenimiento. Estas variables son conocidas como las variables críticas para operar con calidad y se definen como la selección de las "Y's", es decir la variable dependiente del análisis. Para este estudio se utilizarán variables discretas. Tomando en consideración estos elementos, los *CTQ's* priorizados dependerían del siguiente apartado.

#### **1.5.3.2. Validación del sistema de medición**

El diseño del instrumento fue primeramente elaborado a partir de las necesidades de medición del proceso, al no contar con un historial de fallos de forma eficiente y no contar con elementos cuantitativos, no se podía definir de una manera puntual los elementos a estudiar. El problema que se detectó inicialmente es que el instrumento que se utilizaba era ambiguo, no captaba los

datos de forma cuantitativa, sino se valía de la expertíz del operario y de los criterios correctivos que se ejecutaban cuando el equipo presentaba fallas.

Tabla IV. Instrumento de medición y toma de fallos del equipo

<p>Documento tipo: <i>Administrativo</i>                  Distribución: <i>Confidencial</i>                  Programa de Apoyo: <i>Mantenimiento</i>                  Alcance: <i>Centro Regional de Operas</i>                  Objetivo: <i>Control de Producción e Historia de Fallos</i>                  Emisión: <i>Mayo de 2017</i>                  Soporte: <i>P-OP-003</i>                  Versión: <i>3.0</i></p>		<p>Emisión por: <i>QA Analista de Documentación</i>                  Actualizado por: <i>Ingeniero de Aseguramiento</i>                  Revisado por: <i>Ingeniero de Procesos</i>                  Autorizado por: <i>Gerente de Planta</i>                  Vigencia: <i>Activo</i>                  Última Actualización: <i>Agosto 2019</i>                  Frecuencia: <i>Día por turno</i>                  Control: <i>BPM</i></p>		 <p>PROGRAMA DE DESEMPEÑO Y CONTROL VISUAL EN FÁBRICA  <b>FACTORY PERFORMANCE</b>  <b>RELIABILITY</b></p>									
Fecha Realización: _____ / _____ / 2019 CODIGO SKU OF: _____ DESCRIPCIÓN OF: _____ Encargado de Máquina: _____		LINEA 8 Turno: _____ Hora de Inicio: _____ : _____ Hora de Finalización: _____ : _____ Batch / Lote: _____											
<b>REGISTRO DE PRODUCCIÓN POR HORA - ENVOLVEDORA FLOWPACK</b>													
Registro de Actividad / Hora		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	TOTAL
CAJAS PRODUCIDAS													
<b>REGISTRO DE ACTIVIDADES REALIZADAS - PAROS PROGRAMADOS</b>													
Registro de Actividad / Hora		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	TOTAL
TIEMPO DE COMIDA													
MANTENIMIENTO PREVENTIVO													
ENTRENAMIENTO / REUNIONES													
LIMPIEZA													
PRUEBAS / AJUSTES													
TOTAL													
<b>REGISTRO DE FALLOS / PAROS NO PLANIFICADOS</b>													
Metodo 6M	Registro de Tiempos Muertos (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	TOTAL
MATERIALES	CLUSTER: PROBLEMAS CON INSUMOS/MATERIALES												
	FALTA DE MATERIA PRIMA / PRODUCTO USO												
	FALTA DE MATERIAL DE EMPAQUE												
	PROBLEMA / CURLING DE BOBINA												
METODO	CLUSTER: FALLOS POR OPERACIÓN INCORRECTA												
	AJUSTE / CAMBIO DE BOBINA												
	AJUSTE / CAMBIO DE GUIAS												
	AJUSTE DEL LARGO DE PAPEL												
MANO DE OBRA	FALTA / AJUSTE DE CAIDA DE ALIMENTADOR												
	CLUSTER: FALLOS POR PROBLEMAS DE PERSONAL DE OPERACIÓN												
	PREPARACION DE ARRANQUE												
	FALTA DE PERSONAL												
MEDIO AMBIENTE	CLUSTER: FALLOS POR LIMPIEZA/LUBRICACION												
	AJUSTE / LIMPIEZA DE FLAUTAS												
	LIMPIEZA EXTRAORDINARIA												
	CLUSTER: PROBLEMAS CON INSTALACIONES INDUSTRIALES												
	FALTA DE ENERGIA ELECTRICA												
	FALTA DE SUMINISTRO NEUMATICO												
	DESPEJE DE LINEA												
	CLUSTER: FALLOS POR PROBLEMAS MECANICOS												
	AJUSTE DE ELEVADORES												
	AJUSTE / CAMBIO DE CUCHILLAS												
	AJUSTE DE EMPUJADORES												
	FALTA DE FLUIDEZ EN BANDA / ALIMENTADOR												

Continuación de la figura 15.

MAQUINARIA	CLUSTER: FALLOS POR DISPOSITIVOS ELECTRICOS									
	FALLA / AJUSTE DE RESISTENCIAS									
	FALLOS CON TERMOCOPIAS									
	PROBLEMAS CON PIROMETROS									
	FALLOS CON DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD									
	CLUSTER: FALLOS POR INSTRUMENTACION									
FALLA / AJUSTE DE FOTOCELAS										
PROBLEMAS CON SENSORES										
FALLA / AJUSTE DE CODIFICADORA										
MEDICION	CLUSTER: FALLOS POR PROBLEMAS DE MEDICION / CALIBRACION									
	CALIBRACION INCORRECTA DE SENSORES									
OBSERVACIONES / ANOTACIONES										
LISTADO DE PERSONAL										
1	_____	Ingeniero de Procesos								
2	_____									
3	_____									
4	_____									
5	_____									
6	_____									
INFORMACION GENERAL										
Numero de Lecturas de Codificadora:	_____	STICKER DE LOTE								
INICIO DE PRODUCCION	_____									
Numero de Lecturas de Codificadora:	_____									
FINALIZACION DE PRODUCCION	_____									

Fuente: elaboración propia.

Es aconsejable que en un futuro se realice un estudio de R&R como parte de la mejora continua del proceso de mantenimiento productivo total, ya que es necesario que se tome en consideración la capacidad de los operarios de reportar los fallos y saber cómo deben tabular los datos. En este caso se diseñó un instrumento que permite capturar los datos de la manera más sencilla posible con una inducción a su utilización sencillo e intuitivo, con el fin de no obtener fuentes de variación como consecuencia de la mala utilización o reporte. El instrumento presenta un sencillo *grid* o malla que permite que el operario introduzca sus datos de forma sencilla. Definitivamente este criterio no era válido, bajo ningún punto de vista, acerca de cómo debía estar establecido el correcto reporte de los fallos obtenidos. Por esta razón se diseñó el instrumento a continuación. El estudio de

repetibilidad y reproducibilidad del instrumento de medición, es un elemento que pueda que sea útil para validar los datos recolectados, como pueda que su uso no sea tan crítico, ya que lo que se está haciendo en el instrumento es únicamente recopilar datos e información, no se están haciendo mediciones o uso del criterio del operario. Esto hace que en esta parte del estudio no sea necesario su utilización considerando que la precisión es la variación que presentan los resultados al medir varias veces la misma variable, situación que no se da en este estudio.

De igual forma como parte integral del proceso de mantenimiento, se definió también, en otro apartado, los datos correspondientes a la producción de la máquina, la cuantificación de horas reportadas y algunos datos de eficiencias, que permite evidenciar los datos de operación del equipo y cuantificar las variables de estudio y control de la máquina. Es importante añadir que el estudio de repetibilidad y Reproducibilidad R&R no se efectuara, justificando que no hay instrumentación que evaluar en los mecanismos de toma de datos.

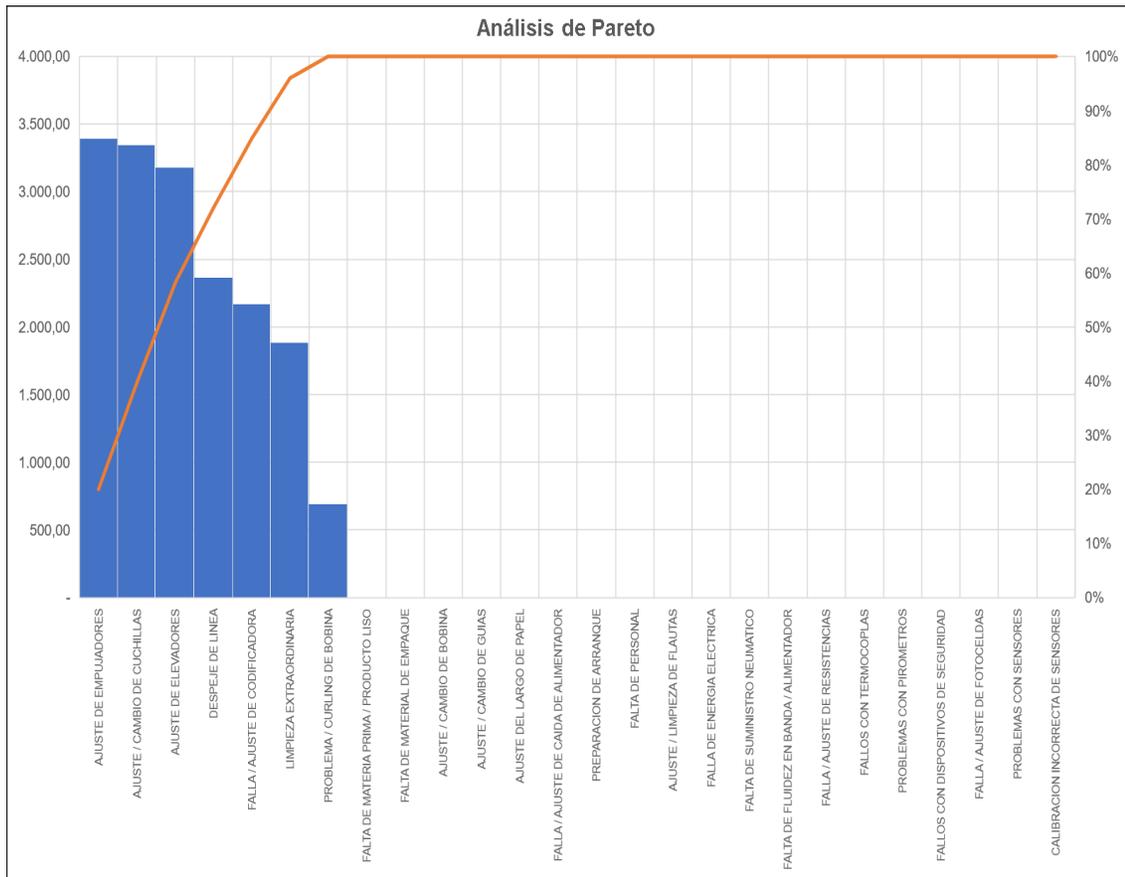
La forma de utilizar el instrumento es la siguiente:

- Se llenan los datos iniciales con la información de la producción.
- Se anotan las producciones y toda la actividad planeada y no planeada del equipo por hora.
- Se cierra el documento, totalizando los datos.
- Se entrega al turno siguiente y estos son depositados en un apartado específico para que sean procesados.
- Una vez sea cargada la información, esta se debe procesar en la base de datos.
- Se almacena el documento procesado y sellado.

### 1.5.4. Análisis de 80-20 Pareto

De esta forma se obtuvo los datos de cuatro meses para analizar las variables definidas. Se tiene un gráfico de Pareto, para definir el 80-20 de los problemas.

Figura 13. Análisis de Pareto



Fuente: elaboración propia, con base en datos recopilados de la empresa.

Al tabular los datos y realizar un análisis de Pareto, se puede evidenciar lo siguiente: como se observa en la tabla anterior, los elementos que más delimitan atención se centran aparentemente en los grupos siguientes: materiales, medio ambiente y maquinaria del método de las 6M.

De los problemas reportados durante un horizonte de cuatro meses, se puede considerar que los clústeres con más injerencia en el proceso y que podrían considerarse como los más afectados son: Maquinaria, con fallos en problemas mecánicos, con lo que se evidencia que el problema se da por problemas con el equipo.

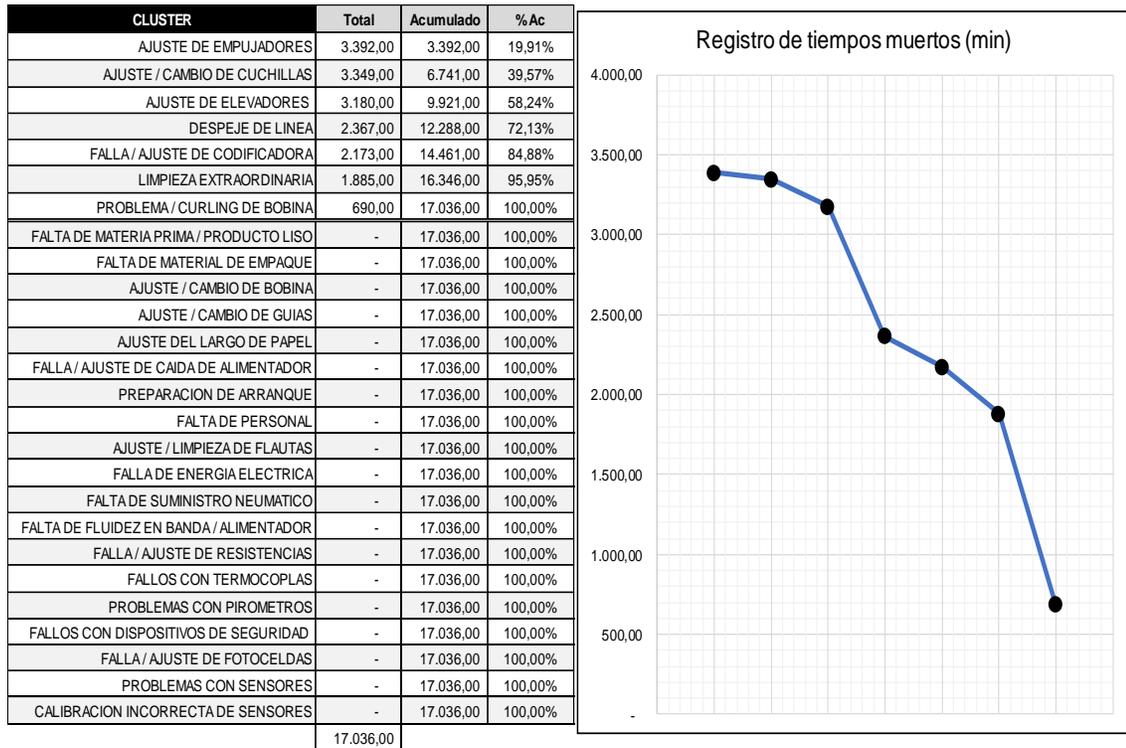
Para este caso de estudio es necesario contar con un sistema que permita mantener el equipo en un estado de confiabilidad por mantenimiento, ya que se tienen serios problemas de fallos y paros no programados del mismo.

## **1.6. Historial de fallos**

Después de la lectura de la información a través del instrumento de recopilación de fallos, y de un análisis de Pareto, se obtuvo la información histórica siguiente, la cual fue tabulada como un histograma para poder analizar de una mejor forma el comportamiento en el tiempo de los fallos detectados y su impacto en el desempeño del equipo, tal como se muestra a continuación.

Es evidente como se puede apreciar el comportamiento de los elementos identificados y su ordenamiento de forma ascendente.

Figura 14. Histograma de datos obtenidos



Fuente: elaboración propia, con base en datos recopilados de la empresa.

### 1.6.1. Análisis exploratorio de datos

Se evidencio la información siguiente analizando por mes y al final se hizo un estudio por el total de los cuatro meses estudiados, valiéndose de la herramienta, software Minitab 19.

### 1.6.1.1. Estudio estadístico descriptivo

Estudio por meses analizados:

Tabla V. **Estadística descriptiva por meses estudiados**

Variable	Total Count	N	N*	Cum.N	Percent	Mean	SE Mean	St.Dev	Variance	Coef.Var	Sum of Squares
ABR	7,0	7,0	0,0	7,0	100,0	544,1	75,2	199,0	3.969,1	36,6	2.310.355
MAY	7,0	7,0	0,0	7,0	100,0	520,9	86,8	229,6	52.695,5	44,1	2.215.218
JUN	7,0	7,0	0,0	7,0	100,0	520,7	59,7	157,9	24.937,9	30,3	2.047.631
JUL	7,0	7,0	0,0	7,0	100,0	546,7	83,7	221,6	49.085,0	40,6	2.384.599

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

Tabla VI. **Variables estadísticas por meses estudiados**

Variable	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	Range	Mode	N for Mode	Sweakness	Kurtosis
ABR	7,0	7,0	0,0	7,0	100,0	544,1	75,2	199,0	3.969,1	36,6
MAY	7,0	7,0	0,0	7,0	100,0	520,9	86,8	229,6	52.695,5	44,1
JUN	7,0	7,0	0,0	7,0	100,0	520,7	59,7	157,9	24.937,9	30,3
JUL	7,0	7,0	0,0	7,0	100,0	546,7	83,7	221,6	49.085,0	40,6

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

Se puede observar una consistencia en los datos, ya que las desviaciones estándar se asemejan entres si, también se tiene una coincidencia en las medias aritméticas de cada mes.

Esto concluye que los fallos tienen a tener una consistencia en cuanto a la recurrencia durante los días de operación lo que permite que se tenga una mejor forma de controlar los fallos a través de un sistema de mantenimiento.

### 1.6.1.2. Estudio estadístico descriptivo acumulado

Se analizarán los datos acumulados en los cuatro meses y se realizara un análisis estadístico, como se muestra a continuación.

Tabla VII. Estadística descriptiva acumulada

Variable	Total Count	N	N*	CumN	Percent	Mean	SE Mean	StDev	Variance	CoefVar	Sum of Squares
TOTAL FALLOS	7	7	0	7	100	2132	299	791	626186	37.11	35579347

Variable	FALLOS	N	N*	Percent	Mean	SE Mean	StDev	Variance	CoefVar	Sum of Squares
OBSERVACIONES	FALLO 1	4	0	14.2857	172.5	37.7	75.3	5675	43.67	136050
	FALLO 2	4	0	14.2857	471.25	5.44	10.87	118.25	2.31	888661
	FALLO 3	4	0	14.2857	476	2.04	4.08	16.67	0.86	906354
	FALLO 4	4	0	14.2857	679.5	36.8	73.6	5419	10.83	1863138
	FALLO 5	4	0	14.2857	723.3	29	58.1	3370.9	8.03	2102475
	FALLO 6	4	0	14.2857	726.8	28.8	57.6	3314.3	7.92	2122605
	FALLO 7	4	0	14.2857	482	27.7	55.4	3074.7	11.5	938520

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

**Tabla VIII. Variables estadísticas acumulada**

Variable	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	Range	Mode	N for Mode	Skewness	Kurtosis
TOTAL FALLOS	690	1885	1928	2893	2907	2217	*	0	-0.91	0.73

Variable	FALLOS	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum	Range	Mode	N for Mode
OBSERVACIONES	FALLO 1	95	108.8	160	248.8	275	180	*	0
	FALLO 2	456	459.75	474.5	479.5	480	24	*	0
	FALLO 3	470	471.75	477.5	478.75	479	9	*	0
	FALLO 4	593	613.3	676	749.3	773	180	*	0
	FALLO 5	655	665	733	771.8	772	117	*	0
	FALLO 6	684	686.3	706.5	787.5	810	126	*	0
	FALLO 7	436	439.5	466	540.5	560	124	*	0

Variable	FALLOS	Skewness	Kurtosis
OBSERVACIONES	FALLO 1	0.94	1.68
	FALLO 2	-1.33	1.29
	FALLO 3	-1.76	3.23
	FALLO 4	0.28	1.53
	FALLO 5	-0.39	-3.77
	FALLO 6	1.61	2.48
	FALLO 7	1.35	1.5

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

Para la fuente de estudio, se analizarán los tres fallos que más imprimen problemas según el análisis de Pareto expuesto anteriormente.

- Identificación Método 6M: el 80% de los problemas está definido en el segmento de la 5M: Maquinaria. Todos los cálculos se elaboraron en el software Minitab 19, valiéndose de las secciones de estadística descriptiva.

Puntos críticos

Clúster: Fallos por problemas mecánicos

Fallo 4: Ajuste de elevadores

Tamaño de la muestra (meses)

$$n = 4$$

Media Aritmética (minutos)

$$\bar{x} = 679,5$$

Mediana: Minutos distribuidos en el percentil 50

$$Me = 676$$

Moda:  $N_{Mo} = 0$

$$Mo = N/A$$

Desviación estándar (minutos)

$$\sigma = 73,6$$

Varianza:

$$\sigma^2 = 5,419$$

Rango:

$$R = 180$$

Coefficiente de Pearson

$$\rho = N/A$$

Limites reales:

$$MIN = 593$$

$$MAX = 773$$

Coefficiente de asimetría:

$$Se = 0,28$$

Sesgo estandarizado

$$S.s. = 0,2286$$

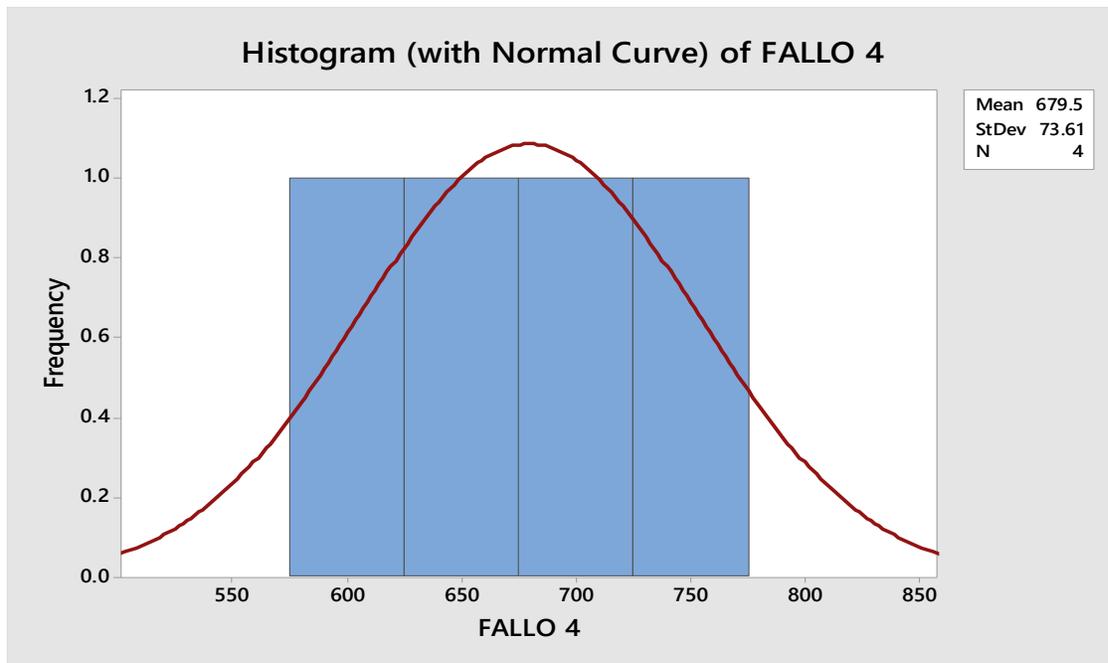
Curtosis:

$$Ku = 1,53$$

Curtosis estandarizada

$$Ku.s = 0,1583$$

Figura 15. **Fallo 4: Histograma de los fallos analizados y curva normal**



Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

### 1.6.2. Estudio y diagnóstico del equipo

- Los datos presentan un comportamiento normal. En el fallo 4, se encontró un problema leve de descentrado porque los reportes de horas de fallos, no son contantes, se tienen fallos que no corresponden a un comportamiento continuo, es decir, no se presentan de forma constante en el tiempo, sino son más recurrentes.

- Se concluye analizando las medidas de tendencia central, que el proceso aparentemente está controlado ya que estos estadísticos descriptivos, tienden a estar casi al mismo nivel.
- Se puede observar que en el percentil 50, se indica que los datos tienden a estar del otro lado de la media, es decir con una inclinación al límite superior.
- La desviación estándar de la muestra, indica que existe un nivel de 73,6 minutos para el fallo 5, entre la variación de las observaciones, por lo tanto, concluyendo que los fallos tienen a repetirse con una variación de aproximadamente una hora entre los meses observados.
- Se puede asumir que el proceso está controlado, pero no centrado, ya que el coeficiente de asimetría indica que los datos tienen a estar con tendencia a la derecha de la media.
- Lo mismo ocurre con los gráficos platicúrticos, que los datos tienden a estar dispersos conforme al centro.
- Se puede asumir también, según los análisis de estadística descriptiva que los fallos de la máquina tienden a repetirse y a tener una tendencia a mantenerse de igual manera en el tiempo.
- Puede asumirse también que, al atacar estos fallos de raíz, identificando sus fuentes, puede eliminarse el problema.
- Al mantener el proceso centrado y controlado, se puede asumir que los fallos identificados pueden eliminarse por completo y posiblemente su eliminación o reducción al mínimo de ocurrencia, pueden llevar a la desaparición de los fallos relacionados.
- El proceso está controlado, pero no centrado, es recomendable un estudio de la capacidad del proceso, ya que las variables estudiadas son fallos que deberán ser eliminados, a través de un programa de confiabilidad del equipo.

Por lo tanto, se concluye que los CTQ's designados para su estudio son los correspondientes a la 5M, que es: Maquinaria, y que estas variables serán el objeto de estudio. La manera de devolver la confiabilidad al equipo es desarrollando un programa de mantenimiento productivo total que elimine estos fallos de una forma continua.

## **1.7. Estudio de las variables significativas**

El estudio de las variables significativas se hará a través de un análisis de sigma del proceso. Este estudio busca encontrar en qué nivel se encuentra el proceso de la máquina, para conocer la capacidad del mismo y como influiría en el tiempo los desgastes del equipo por utilización o por falta de mantenimiento.

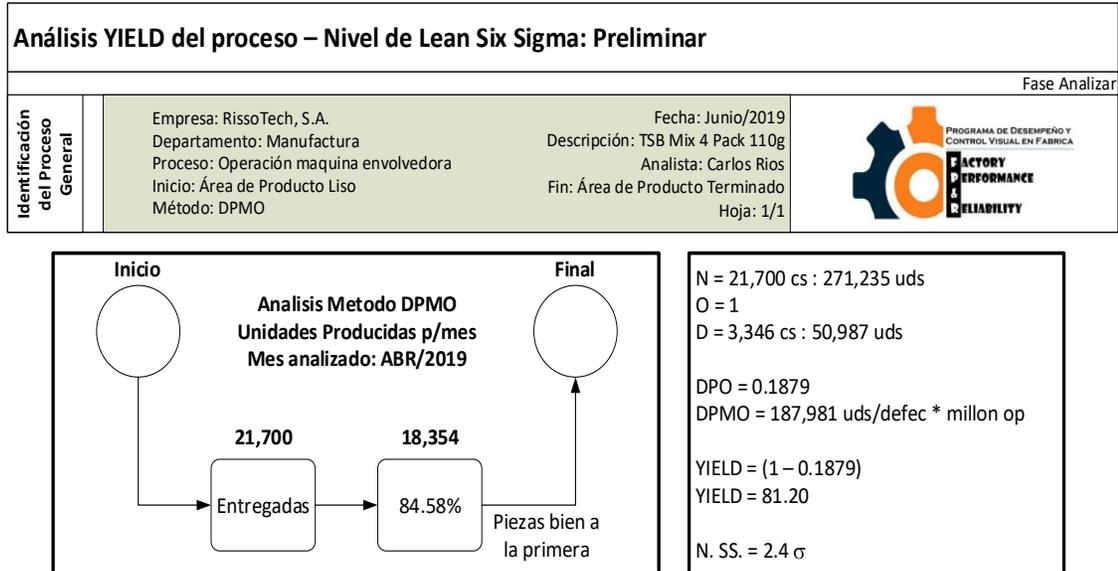
### **1.7.1. Análisis Yield combinado**

Es el rendimiento combinado de ambos procesos, el proceso inicial que es la recepción y colocación de la materia prima en la máquina envolvente, no presenta ningún inconveniente. Al combinarlo con el equipo *flowpack* que está teniendo un índice de fallos alto, se puede estudiar con una mejor comprensión el equipo y su capacidad de utilización.

#### **1.7.1.1. Método: Rolled Throughput Yield**

Como se puede evidenciar en el gráfico siguiente el proceso cuenta con un índice elevado de fallo, afectando la confiabilidad del mismo.

Figura 16. Cálculo del nivel de Sigma preliminar de la maquina



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2019.

Cálculo del Yield:

Unidades producidas por la maquina:

$$N = 21,700 \text{ cs} \times 12 \text{ uds/cs}$$

$$N = 271,235 \text{ uds}$$

$$DPO = 0,1879$$

$$DPMO = 187,981 \text{ unidades defectuosas por millón de oportunidades}$$

$$YIELD = (1 - 0.1879)$$

$$YIELD = 81,20$$

Nivel de Sigma =  $2,4 \sigma$

Significa que el proceso no se encuentra ni siquiera en el mínimo aceptable para corto plazo que es  $3 \sigma$ . Al tomar en cuenta el desgaste del equipo y someterse a trabajos de desgaste por utilización, el nivel de sigma teórico que se sugiere es  $(-1,5 \sigma)$  lo que sugiere lo siguiente:

Nivel de Sigma a largo plazo

N.S. =  $2,4 \sigma - 1,5 \sigma$

N.S. =  $0,9 \sigma$

### **1.7.2. Evidencia de los fallos e ineficiencia operacional**

- Esto significa que la máquina, en definitiva, no cuenta con el nivel de confiabilidad deseado para la operación.
- Aunque se planifique una corrida de N cajas, la máquina nunca lograra cumplir la meta de producción debido a los altos fallos y la probabilidad que ocurran.

## **2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL**

A través de los análisis de las variables de fallos, en esta fase se establecen las bases y el desarrollo del programa de mantenimiento predictivo, utilizando el método de Mantenimiento Productivo Total TPM, para un programa de confiabilidad. Se consideró:

- Identificar el estado actual del equipo, a través de un estudio del proceso, con el fin de identificar y diseñar el modelo de mantenimiento.
- Brindar un modelo de confiabilidad del equipo, por mantenimiento TPM, para el equipo, con la finalidad de mantenerlo en estado óptimo.
- Brindar un cronograma de inspecciones y paros programados, con las variables críticas de inspección.
- Minimizar desgastes prematuros en las piezas del equipo por falta de un programa de prevención de fallos.
- Implementar un plan de mantenimiento predictivo, basado en el programa de TPM, para que genere eficiencia al equipo.
- Entregar el equipo con el juego de documentos, etiquetas, rotulaciones y el sustento del programa de mantenimiento, para el correcto desempeño del equipo.

## **2.1. Características técnicas de la maquinaria habilitada**

El equipo de estudio se caracteriza por ser una máquina envolvente de forma horizontal, que se utiliza dependiendo la tipología de producción, a continuación, se detallaran las especificaciones técnicas del mismo.

### **2.1.1. Tipo de maquinaria**

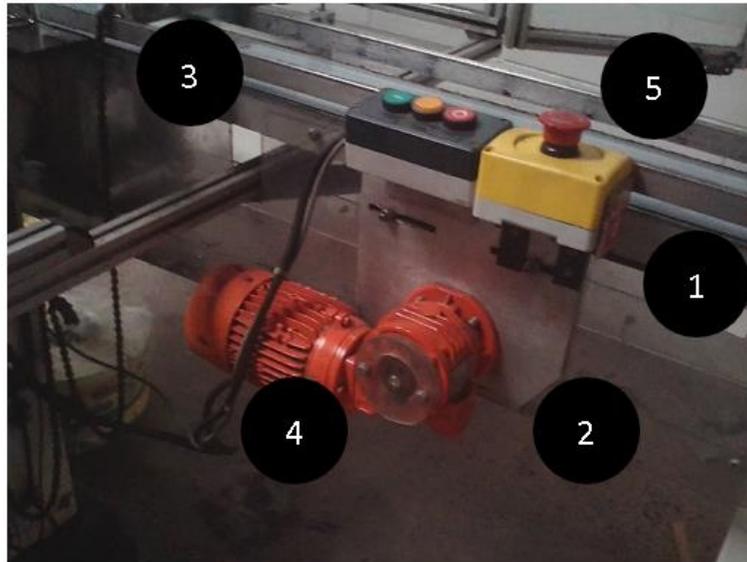
La maquinaria es una envolvente de tipo mecánica semiautomática, accionada con energía eléctrica para los sistemas de empuje, codificadoras y equipo electrónico, sistema de emergencia, motor principal y motorreductores de transmisión de potencia.

Es accionada en los mecanismos de biela manivela, movimiento de guías y mecanismo de corte y envoltura por energía neumática. El accionamiento de sellado es a través de mordazas con resistencias eléctricas que permiten un sello térmico.

### **2.1.2. Configuración física de la maquina**

La máquina envolvente *flowpack* Pester-Pac PEWO-250, está compuesta por los siguientes elementos:

Figura 17. **Alimentador de entrada**



Fuente: elaboración propia.

#### 2.1.2.1. **Alimentador de entrada**

- 1. Carrilera
- 2. Cojinetes
- 3. Rodillos
- 4. Motorreductor de faja de 220 Volts, 0,25 HP
- 5. Sistema de arranque y paro de máquina

Figura 18. **Sistema de levas**

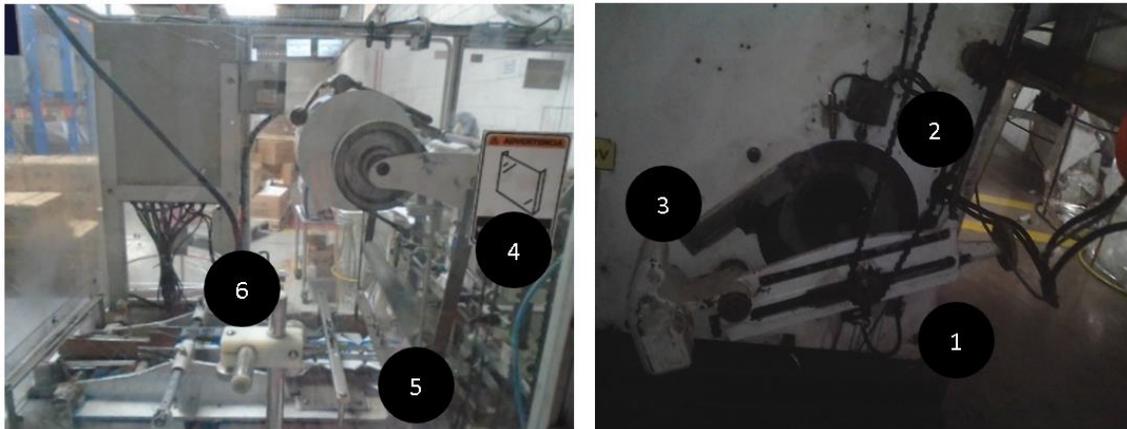


Fuente: elaboración propia.

#### **2.1.2.2. Sistema de levas**

- 1. Árbol de levas

Figura 19. Sistema de empujadores

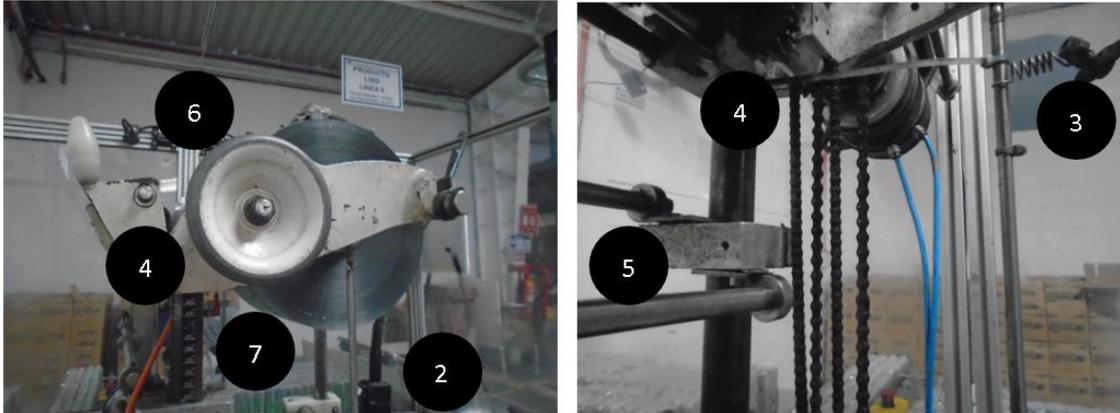


Fuente: elaboración propia.

### 2.1.2.3. Sistema de empujadores

- 1. Carrilera
- 2. Cojinetes
- 3. Rodillos
- 4. Guías
- 5. Láminas planas
- 6. Empujador horizontal

Figura 20. **Alimentador de bobina**

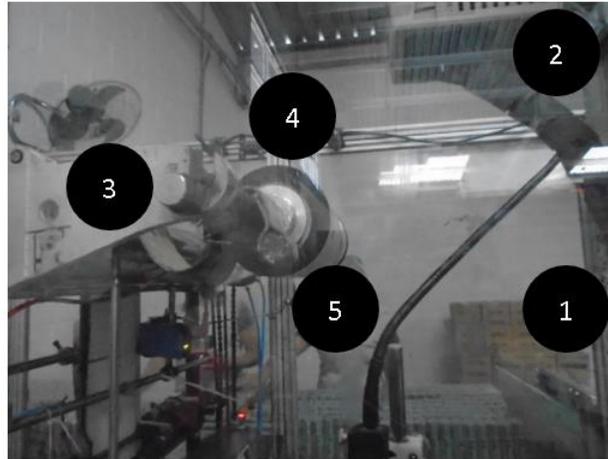


Fuente: elaboración propia.

#### 2.1.2.4. **Alimentador de bobina**

- 1. *Clutch* o embrague neumático
- 2. Sistema de cuchillas
- 3. Resortes
- 4. Sistema de guía superior de dosificador
- 5. Guías del formato de empaque
- 6. Tacos de entrada del formato
- 7. Sensor infrarrojo o fotocelda

Figura 21. **Mecanismo de elevadores**

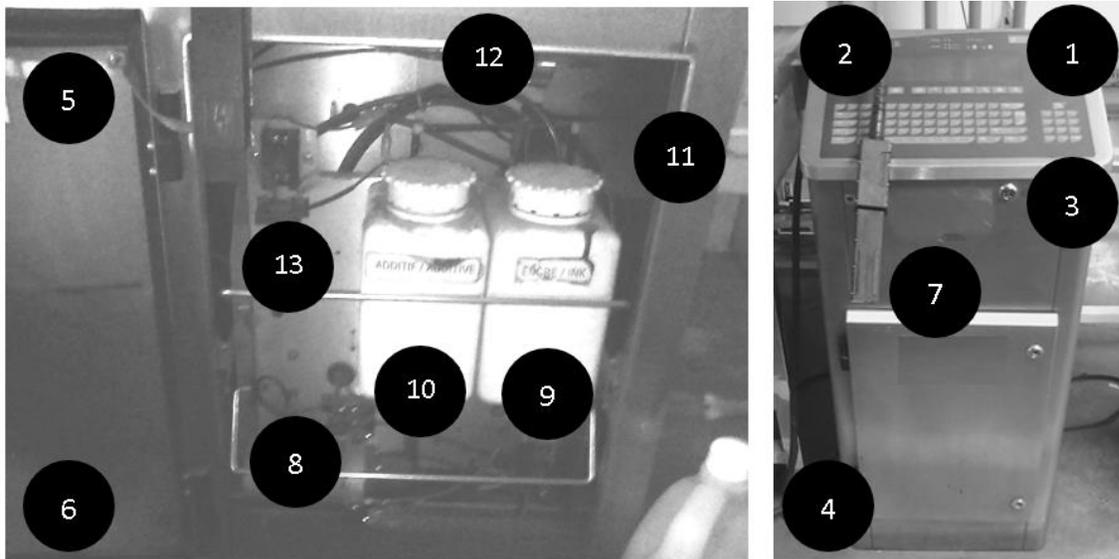


Fuente: elaboración propia.

#### **2.1.2.5. Mecanismo de elevación**

- 1. Guardas de protección
- 2. Micros de retardo en compuertas
- 3. Armazón principal
- 4. Rodillo principal
- 5. Cañón de codificación

Figura 22. Sistema de codificación



Fuente: elaboración propia.

#### 2.1.2.6. Sistema de codificación

- 1. Interfaz de operador
- 2. Pantalla WYSIWYG
- 3. Teclado
- 4. Conexión eléctrica y aire comprimido
- 5. Cartucho de filtro
- 6. Depósito
- 7. Cañón
- 8. Compartimiento Hidráulico

- 9. Depósito de tinta
- 10. Depósito de aditivo
- 11. Filtro de tinta
- 12. Tapón de vaciado
- 13. Motor-agitador magnético

## **2.2. Parámetros de operación del equipo**

Se tendrán tres variables de energía en el equipo, para su utilización correcta y como los parámetros de operación.

### **2.2.1. Variable 1: temperatura frontal de sellos**

Accionar en los pirómetros identificados la temperatura para el sello frontal: 90-100 Celsius.

### **2.2.2. Variable 2: temperatura lateral de sellos**

Accionar en los pirómetros identificados la temperatura para los laterales: 140-145 grados Celsius.

### **2.2.3. Variable 3: fuerza neumática**

Accionar la válvula de aire, hasta los 5 BAR, midiendo en el manómetro que se encuentra en el panel de control.

## **2.3. Estándares de operación del equipo**

Las unidades envolventoras PEWO-250, envuelven la película de material (PET), sobresaliendo una colación lateralmente. Las unidades de producto, deben colocarse correctamente en el espacio adaptado para el ingreso a la banda transportadora. Esta se encuentra integrada en la salida sección del estirador. El transportador de malla se hace cargo de los productos y transporta a través de la unidad de envolvimiento y contracción.

Cabe mencionar que hay aditamentos al equipo, en los que se sopla aire a través de chorros ajustables que proporcionan mejores resultados, ya que dan una pequeña reducción del material. Los calentadores se montan lateralmente y, si es necesario, se pueden cambiar fácilmente.

### **2.3.1. Procedimiento: secuencia de arranque de máquina**

Se procederá al arranque del equipo y a los procesos que son parte del mismo de la forma siguiente:

- Encender codificadora.
- Revisión de guías.

- Encender *clutch* o embrague.
- Encender fotocelda.
- Encender pirómetro.
- Ajustar la temperatura de los pirómetros según los parámetros de operación como se ve en el panel de instrumentos.

Figura 23. **Panel de instrumentos**



Fuente: elaboración propia.

- Abrir las válvulas de aire de la máquina hasta la presión de operación

Figura 24. **Instrumentación neumática del equipo**



Fuente: elaboración propia.

- Presionar el botón de arranque de motor y arranque de banda, simultáneamente.

### **2.3.1.1. Consideraciones al operar la máquina**

- Revisar el funcionamiento de la máquina.
- Revisar que no se encuentre producto atascado en la máquina.
- Revisar que no se encuentre la bobina atascada en la máquina.
- Revisar que la banda transportadora esté en buen estado, sin material o cualquier objeto que interfiera su libre circulación.
- Revisar que las resistencias tengan teflón.

### **2.3.2. Procedimiento: secuencia de arranque de máquina**

- Presionar el botón paro de motor
- Presionar el hongo de seguridad (si es un paro obligatorio o no rutinario)
- Apagar la codificadora

### **2.3.3. Procedimiento: actividades previas a la operación de la máquina envolvente *flowpack***

- Limpiar el área de trabajo al iniciar labores y cada vez que lo requiera el encargado.
- Llenar el instrumento definido para operación de máquina.
- Reportar cualquiera de los siguientes casos de paro no planificado.
- Atasco en la máquina.
- Falla de guías.
- Mal ajustado.
- Fallo de la fotocelda.
- Problema mecánico.
- Problema eléctrico.
- Problema con la codificadora.
- Falta de producto y materiales.
- Proceder al arranque de la máquina.

#### **2.3.4. Procedimiento: verificaciones antes y durante la operación**

- Verificar que la codificadora esté operando correctamente.
- Verificar que el código de *batch* sea legible y correspondiente al día y turno de operación.
- Verificar que la fecha de expiración sea la que corresponde según la fecha de producción del producto terminado.
- Realizar la inspección de calidad.

#### **2.3.5. Procedimiento: operación de la máquina**

- Colocar la bobina de material de empaque en la máquina.
- Colocar y mantener producto terminado en el alimentador de la máquina.
- Empacar el producto en su respectiva caja con las unidades correctas y completas.
- Entarimar las cajas transportadoras del producto.

### **2.4. Requerimientos de operación correcta de la maquina**

Como parte integral del sistema de mantenimiento del equipo se deben considerar los elementos de operación o estándares, para el correcto desempeño del equipo.

Una vez se revise esta documentación y requerimientos, se procederá al diseño del mantenimiento productivo total.

### **2.4.1. Requerimientos del sistema de gestión de calidad**

Luego del proceso de diagnóstico y análisis, se determina que es necesario cumplir con los elementos del sistema de gestión de calidad, tales como parámetros y tolerancias.

#### **2.4.1.1. Parámetros de operación**

Los parámetros de operación se determinan, revisando documentación y cualquier tipo de contrato o compromiso de la forma siguiente:

- Cumplir con los estándares de calidad, establecidos por el cliente. Para ello se revisó la documentación pertinente como punto de partida, para verificar que no existiera algún criterio que estuviera fuera del análisis inicial.
- Se revisó el cumplimiento de los estándares contenidos por el contrato de técnico de calidad firmado con el cliente, que requería tolerancias de no menos de 5mm de diferencia entre la medida del paquete y el producto terminado.
- Se revisó el cumplimiento del Reglamento Técnico Centroamericano, en su apartado de Normativas de Producción para la industria Cosmética, que requiere que la máquina opere con un nivel de cumplimiento de los estándares de calidad en al menos un 95 %. Este se verificó con el cumplimiento del instrumento de medición de calidad o *Quality Rating*.
- Se revisó los fundamentos establecidos en los criterios de documentación y calidad basados en la Norma ISO: 9001-2015. Para ello se dejará un

apartado que revisará al finalizar, el diseño del programa de mantenimiento productivo total, su cumplimiento.

#### **2.4.1.2. Criterios de operación**

Para este apartado se revisó la especificación de producto terminado que el cliente emite, revisando los parámetros críticos que la máquina debe cumplir al ejecutar la operación.

- Especificaciones de producto terminado: se revisó la especificación evidenciando que la máquina deberá cumplir al menos en superar las diferencias en las mediciones de empaque que se definieron en al menos 5mm. Las mediciones de empaque se revisaron en el apartado de diagnóstico en la primera parte del estudio. Por lo cual la máquina está en la capacidad de operar cumpliendo este criterio, siempre que se encuentre trabajando en las condiciones óptimas.
- El criterio que se ha examinado también es la apariencia del producto, sin embargo, al ser únicamente un proceso de empaque no se cuenta con más criterios que los identificados anteriormente en las especificaciones y reglamentos.

#### **2.5. Fundamentos previos al programa de confiabilidad**

El mantenimiento es una rutina característica, definida como las acciones que tienen como objetivo preservar un equipo a un estado de funcionamiento u operación, para llevar a cabo alguna función requerida de forma satisfactoria.

Estas acciones incluyen la combinación de las acciones técnicas y administrativas correspondientes.

Este tipo de mantenimiento, preventivo, se diseñó con el concepto de prevención y como valor agregado, el anticiparse a los fallos de las máquinas y equipos, utilizando para ello una serie de datos sobre los distintos sistemas, rutinas, reemplazo de partes y lubricación.

Bajo esa premisa se diseña el programa con frecuencias planificadas, para realizar cambio de partes, reparaciones, ajustes, cambios de lubricantes y otras actividades concernientes a la máquina, que se considera importante realizar para evitar fallos.

### **2.5.1. Mantenimiento predictivo**

Este tipo de mantenimiento se basa en una serie de acciones que se toman en cuanto a las predicciones, mediante la aplicación de técnicas con el objetivo de detectar posibles fallas y defectos de evitando que existan problemas que luego se manifiesten en un paro del funcionamiento.

Pretende conservar un nivel de servicio del equipo, aunque este no presente fallos aparentes, programando las revisiones en el momento más oportuno. Este programa evita que se ocasionen paros de emergencia y tiempos muertos, causando improductividad.

La técnica predictiva se basa en cuanto a la anticipación del fallo incipiente, y esta se logra mediante el análisis de señales o síntomas de la

probable existencia del fallo, se miden variables como temperatura, ruido, ultrasonido, vibración, partículas de desgaste, alto amperaje o consumo de recursos.

### **2.5.2. Análisis de Ishikawa y las 6M**

Las 6M de Ishikawa, se definen como variables que forman parte de las posibles fuentes de variación de los procesos productivos o fuentes de fallos. Tradicionalmente eran las primeras 5M que se enlistan, pero una sexta se agregó al cobrar fuerza los programas de ISO y Lean Six Sigma.

La confiabilidad se basa en el control de las variables externas que puedan influir en la operación correcta. Se definen de la forma siguiente:

- 1M: materiales o materia prima como su nombre lo indica, se relacionan todos los elementos de materiales o materia prima en el estudio.
- 2M: mano de obra aquí se estudian las posibles fuentes de variación relacionada con el personal involucrado.
- 3M: método. es la forma de trabajo, en que los procesos quedan definidos y la forma de operación.
- 4M: equipo o maquinaria en esta variable se estudian los equipos y las fuentes de variación y fallos en los que incurren, dando como resultado falta de confianza operativa en un equipo. Aquí se concentrará el estudio a realizar.
- 5M: medio ambiente o área de trabajo aquí se evalúa el área de trabajo y su influencia con el problema analizado, se debe observar y evaluar el espacio, delimitaciones, instalaciones, distribución de planta, tipo y calidad

de las instalaciones, así como cualquier variable externa relacionada con este rubro. Para fines de este estudio no se tomó en consideración, ya que al instaurar un programa de 5S, se controla esta variable en su mayor parte.

- 6M: medición esta nueva variable se incluyó dentro de las 5 tradicionales definidas por Ishikawa en la espina de causa-efecto. Debido a que está considerada como variable en los problemas metrológicos derivados, que exige ISO:9001, desde su versión 2015, como parte de los procesos productivos de clase mundial al cual pertenece el TPM. En este caso no hay variables con controles de medición.

### **2.5.3. Desperdicios identificados en el método**

Se identificaron todos los desperdicios observados en el proyecto, sin embargo, debido al alcance del mismo no se eliminaron en su totalidad. En este caso la forma de eliminarlos sería al implementar un proceso que tenga las características de manufactura esbelta. Para fines del programa de confiabilidad, por mantenimiento solo se consideraron los primeros dos incisos, defectos y paros de maquinaria.

- Defectos: los defectos son producto fuera de especificación, el programa pretende devolver esta confianza a la máquina, ya que la cantidad de producto terminado con defectos es alta debido a los problemas del equipo. Esto conlleva a repeticiones o corrección de un trabajo.
- Paros de maquinaria o esperas: se tienen demoras debido a que no se cuenta con un plan que mejore estas improductividades. Estos paros de

maquinaria o la falta de confiabilidad, genere cuellos de botella que impactan en el tiempo de continuidad a la operación.

- Sobreproducción: es producir más de lo solicitado por distintas razones, como una mala planificación o problemas con los equipos.
- No permite el desarrollo del personal líder: la creatividad, liderazgo y realización desaprovechada del recurso humano impacta negativamente.
- Transportes: generar largos recorridos para trasladar mercancía, producto terminado o procesos internos, genera rezago y costos adicionales.
- Inventarios: problemas que se encuentran con exceso de inventarios, que ocupan espacio y por lo tanto generan costos adicionales.
- Movimientos: falta de organización en la empresa y supervisión efectiva, implica que se generen movimientos innecesarios de personal, equipos y procesos.
- Procesos adicionales o que no generan valor: son políticas y procedimientos engorrosos que no generan valor, generan burocracia y costos adicionales.

## **2.6. Elaboración del programa de mantenimiento predictivo total**

A partir de este inciso se desarrolla el programa de mantenimiento productivo total, este consiste en cumplir con los pilares y las fases que se inician a trabajar a partir de este punto. El programa va a consistir en una serie de tareas rutinarias que deben cumplirse para poder aportar valor a la operación y devolver la confiabilidad al equipo a través del mantenimiento. Esto es indispensable para que se considere que el equipo mantiene su nivel de operación mínimo aceptado para que se cumpla el objetivo de su uso. Se debe considerar como parte del mantenimiento productivo total, todas las actividades relacionadas con el mismo,

sin caer en ser selectivo o en tomar en consideración actividades más relevantes, aparentemente.

El programa de implementación consistiría en las actividades detalladas a continuación, dividiéndose en tres partes de implementación. La primera parte, consiste básicamente en la planeación de cómo se llevará a cabo. La segunda parte, consiste en el acondicionamiento previo a la implementación. Aquí se toma en cuenta todos los elementos previos tales como, la limpieza inicial del equipo, que permite identificar las causas de deterioro, suciedad y alguna fuga o problemas de empaques o lubricantes. Aquí se identifican las causas menores de fallos, las que muchas veces se convierten en problemas mayores. Se ejecuta la lubricación y se reemplazan piezas desgastadas o deterioradas dejando el equipo a punto. Ya que se tiene la máquina en condiciones favorables para su correcta operación, se desarrollarán las inspecciones y las directrices de las tareas que hará el personal, las guías y los documentos, que soporten este estado “óptimo” de la máquina y con el cual se deberá mantener de ahora en adelante, para que se mantenga una operación correcta y confiable. La tercera parte de la implementación, es el desarrollo del programa de mantenimiento productivo total TPM, este consiste en la integración de los 8 pilares que soportan el programa.

### **2.6.1. Partes del programa TPM**

El programa está constituido en los 8 pilares del TPM los cuales se complementan y forman parte del programa. Se presentarán de la siguiente forma, sin confundir que todos los pilares son parte vital e inseparable, no puede

solo darse la importancia a los pilares que forman el mantenimiento preventivo tradicional solamente, sino a todo el conjunto propio y detallado.

- Mantenimiento autónomo (pilar 2), aquí se detallarán las actividades que el personal de operación de la máquina debe ejecutar de forma propia, este es quizás el corazón del programa, ya que aquí se deberá realizar, según el cronograma que se establecerá, las actividades de limpieza y lubricación que el equipo debe mantener como parte misma de la operación rutinaria.
- Mantenimiento planeado (pilar 4), aquí se detallarán las actividades que están fuera de la capacidad de los operarios del equipo. Se ejecuta de forma planificada como un mantenimiento preventivo, por parte de los electricistas y mecánicos que se encuentran asignados, estos se encargaran de desarmar el equipo y según la planificación, el envío de piezas a talleres externos, reemplazo de piezas que presenten desgastes propios de la operación de la máquina, así como alguna reparación menor del equipo. Las reparaciones mayores planeadas se realizan según el cronograma que se detalla en este pilar.
- Mejora continua (pilar 3), aquí se detallarán las actividades que permitirán una mejora continua del programa de mantenimiento, debido a que este pilar permite que se cuenten con herramientas de diagnóstico que identifican alguna mejora que se pueda realizar en futuro o que se identifique alguna fuente de variación o fallo, se da con reuniones del grupo de mantenimiento autónomo, a través de reportes de fallos y las sugerencias de los operarios para poder tomarse en cuenta para mantener la confiabilidad de la máquina.
- Aspectos de cuidado del personal y mejoras (pilares 1 y 7), en estos pilares se vela por la seguridad industrial que debe tener la máquina como

requisito de operación segura y confiable, condiciones de manejo de la máquina y la capacitación de todo el personal involucrado.

- Aspectos complementarios y de apoyo (pilares 5, 6 y 8), estos aspectos complementan el programa a través de garantizar el apoyo y compromiso administrativo, los cambios que pudieran generarse en la máquina, su personal y el mantenimiento de la calidad, que es el elemento que le da el valor agregado al programa, no solo por hacer del equipo una máquina confiable, sino capaz y que genera su producción con los estándares de operación requeridos.

En esta fase se propondrán las herramientas necesarias para mejorar el proceso, los fallos como problema principal serán eliminadas al implementar un modelo de mantenimiento productivo total, y sus respectivos programas. Como base para el desarrollo del estudio, se tomarán en cuenta los fundamentos teóricos de las metodologías de estudio, así como referencias a los parámetros y normativas internacionales vigentes al momento, se consideró elementos de fabricación, para sustentar la identificación de la problemática que se desea resolver y el planteamiento de la solución propuesta.

### **2.6.2. Confiabilidad del equipo**

El programa de confiabilidad es un método que conlleva la instauración de un sistema de mantenimiento predictivo total, que le devolverá al equipo la confianza para la operación correcta, al definir confianza refiere a que el equipo produzca sin fallos únicamente, sino que opere con los parámetros correctos.

Para ello se utilizan las herramientas de mejora continua adicionales al programa de mantenimiento, evidenciando la capacidad del proceso, las métricas de control y el análisis correspondiente, previendo fallos o incumplimientos en los controles del mismo.

El proceso de mantenimiento predictivo total, devolverá un plan que generará valor al método actual y garantizará la oportuna operación del mismo, a través de indicadores de gestión para su correcta administración. Lo que se busca primordialmente, al instaurar un programa de confiabilidad del equipo es devolver el equipo dentro de una curva de capacidad.

Este, es el indicador de la capacidad potencial del proceso que resulta de la razón del ancho de las especificaciones variación tolerada, entre la amplitud de la variación natural del proceso. Es decir, que está dentro de la capacidad de operar confiablemente. Para que el proceso sea considerado potencialmente capaz de cumplir con especificaciones, se requiere que la variación real siempre sea menor que la variación tolerada. El objetivo del programa es reducir la variación de los fallos de manera que el intervalo de tolerancia fuera igual a  $6\sigma$ , o sea  $3\sigma$  en cada lado de la media.

Se define como confiabilidad del equipo a la función de la razón de fallas del mismo. Tomando como base los principios siguientes, para poder construir los indicadores más apropiados.

- Se toma como un indicador primario a la razón del incremento o disminución de la proporción del mantenimiento planificado. Es decir, la eficacia de la planificación del mantenimiento ( $E_p$ ), definido en la ecuación número uno.

$$Ep = \text{Cantidad OM planificadas} / \text{Cantidad Total de OM ejecutadas} \quad \text{Ec. (01)}$$

Donde:

OM: Ordenes de mantenimiento (expresadas en horas o costos)

- Indicadores propios del mantenimiento preventivo, tales como horas perdidas o algún otro indicador como la ejecución del mantenimiento en el tiempo establecido, la no incurrancia de paros no programados o alguna otra variable.

Por lo tanto, para este equipo el cálculo es el siguiente, en el mes abril a julio, porque se planificó un total de 20 horas al mes. Es necesario destacar que las horas de limpieza y ajustes se contabilizaron como horas de mantenimiento no planeado, con el fin de tomarlos dentro del programa.

$$Ep <abr> = 20 / 63,48 = 0,3150$$

$$Ep <may> = 20 / 60,77 = 0,3291$$

$$Ep <jun> = 20 / 60,75 = 0,3292$$

$$Ep <jul> = 20 / 63,75 = 0,3137$$

Se evidencia que el equipo es confiable en  $\pm 70\%$ . Es necesario que este indicador sea llevado lo más cercano al 100 %, siendo así indicativo de mejor confiabilidad y por ende una buena calidad de mantenimiento y utilización de los recursos.

### **2.6.3. Alcance y definición del target de estudio**

Este equipo es una envolvedora horizontal *flowpack bundler*, es una máquina semiautomática con equipo codificador. En la siguiente sección se detallará los componentes críticos para definir el programa de mantenimiento, con el fin de establecer de forma correcta el programa.

La máquina envolvedora *flowpack*, es una máquina de modelo Pester-Pac PEWO 250, cuya función es envolver de forma continua y de forma horizontal, paquetes de producto, en este caso son pastillas de jabón de 110 g. Es alimentada por la parte lateral de la máquina, el material es un film de PET, que está colocado por bobinas de material de empaque de acuerdo a la tipología de producción que está programada.

La máquina es semiautomática por lo que hay cuatro operarios, dos de ellos en la parte de alimentación, uno en la parte de empackado y otro que se encarga de operarla. Los que están en el alimentador se ubican al principio de la línea para dosificar la cantidad de producto según sea el requerimiento, así como el operario empackador que esta al final del proceso, cuya función es inspeccionar el producto terminado, luego de su aprobación empaca en las cajas de producto terminado.

La codificación se realiza de forma simultánea y automáticamente, esta es utilizada para marcar el lote o *batch* y la fecha de expiración del producto empackado, a través de un sistema de proyección de tinta sobre el film del empaque.

## **2.7. Plan de mantenimiento productivo total TPM**

El mantenimiento productivo total, es una filosofía originaria de Japón, y se enfoca en reducción en corto plazo, hasta conseguir la eliminación, de pérdidas asociadas con paros no programados, eliminación de desperdicios, problemas de calidad y costos en los reprocesos de producción.

El proyecto se dividió en tres partes.

- La primera es la fase de planeamiento, donde se realizaron las actividades previas a instaurar el programa.
- luego la fase de acondicionamiento, en este apartado se desarrollaron las actividades de ejecución.
- Por último, la fase de implementación y mejora, donde se deja el plan de cómo mantener el programa y seguirlo mejorando, es aquí donde se desarrollaron los estudios para comprobar la mejoría de la máquina.

### **2.7.1. Objetivos del TPM**

Los objetivos del programa son los siguientes:

- Cero averías, se esperan alcanzar o minimizar los paros gradualmente hasta prácticamente desaparecerlos del equipo.
- Cero tiempos muertos, se espera no tener más tiempos muertos por paro de la máquina.
- Cero defectos, se espera eliminar los defectos atribuidos al mal estado del equipo.

- Cero pérdidas del rendimiento, se espera no tener más pérdidas de capacidad productiva debido al mal estado del equipo.

La filosofía del TPM, es una metodología de mejora, que permite asegurar la confiabilidad del equipo, aplicando el principio de prevención y conservación, es necesaria la participación de todos los operarios y personal involucrado en el equipo, adicional de la administración.

Debido a esto, es necesario integrar las actividades de mantenimiento, con la administración de la calidad y el planeamiento de producción, con el fin de integrar un bloque integral.

Recordando el principio de Donde se implementa un programa de mantenimiento productivo total, es necesario que toda la organización participe en la mejora.

## **2.8. Primera parte: planeamiento del proceso de TPM**

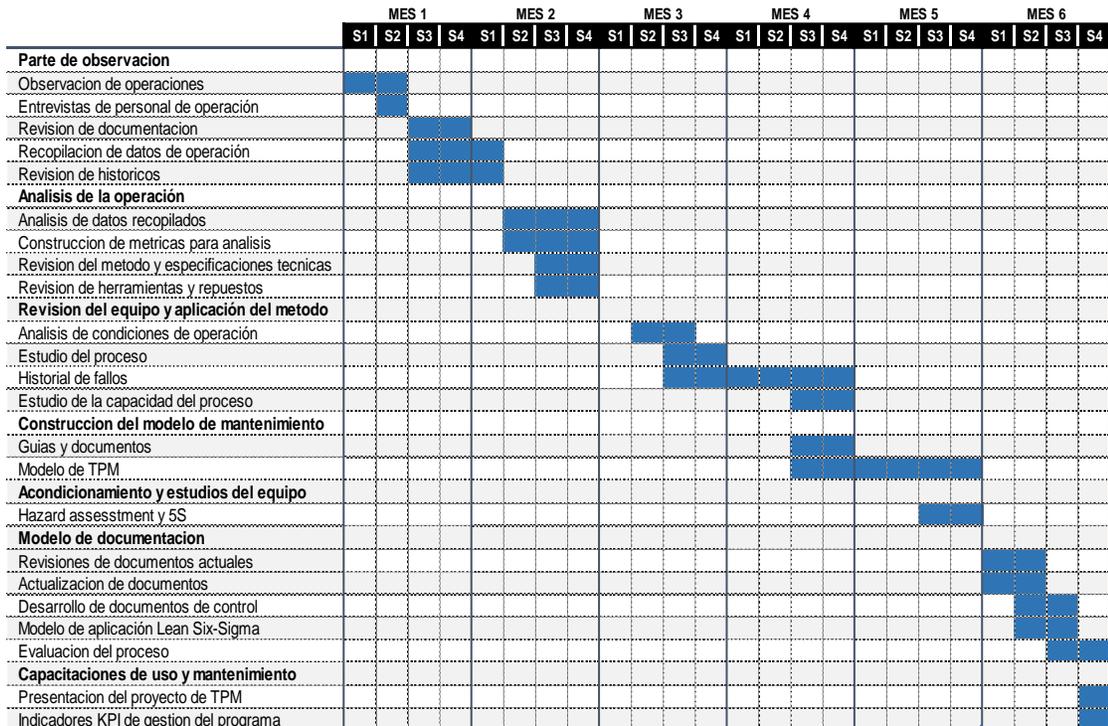
La teoría japonesa del Mantenimiento Productivo Total, se basa en el desarrollo de los pilares como se estructurará a continuación.

Estos denominados pilares son fundamentales dentro de la filosofía, su objetivo es optimizar la productividad y confiabilidad del equipo, su alcance es tan amplio, que al instaurar el programa actuando únicamente en el equipo y atacando puntualmente las variables o *CTQ's* definidos anteriormente, se espera que sea eliminado el resto de los problemas que interferían en menor escala.

## 2.8.1. Planeamiento

Los siguientes son los apartados que se utilizaron para el cronograma de implementación en la construcción del modelo de mantenimiento productivo total, para la máquina *flowpack* Pester-Pac objeto de este estudio.

Figura 25. Cronograma de implementación de las fases



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Project 2019.

Se realizó acorde al cronograma detallado, tomando en consideración capacitación, actividades adicionales y la fase de implementación. Se consideró el periodo de limpieza y el correspondiente mantenimiento inicial. Es importante

considerar que los tiempos después de la implementación compensaron los de la implementación porque fue más efectiva la operación.

### **2.8.2. Trabajo con 5S**

Es un método de trabajo, que se ha establecido como una filosofía, desarrollado en Japón y denominado por la primera letra del nombre japonés que designa cada una de sus cinco etapas, actualmente se ha evolucionado incluso en 9S.

Su objetivo es lograr que los lugares de trabajo estén organizados de acuerdo con las necesidades y agregándole valor, tener los espacios más ordenados, limpios de forma permanente y continua, de modo que este proceso sea una filosofía de trabajo en todos los aspectos. Este es el cimiento principal del programa de mantenimiento TPM.

- Clasificación (*Seiri*): todo acomodado y en orden. Su concepto está basado en la separación de lo innecesario. Su objetivo es eliminar de todo el espacio de trabajo, los elementos que sean inútiles o que no agreguen valor a la operación.
- Orden (*Seiton*): cada cosa en su lugar y un lugar para cada cosa. Su concepto es definido como el orden, debido a que busca principalmente situar los elementos necesarios en las áreas de trabajo, a través de la organización del espacio de trabajo de forma lógica y funcional, de forma eficiente y productiva.
- Limpieza (*Seiso*): ¡hasta que brille! Su concepto es definido en suprimir la suciedad como elemento principal del paso definido. Busca principalmente

la mejora del nivel de limpieza de los lugares, utilizando herramientas como controles visuales, reglas de *housekeeping* y estándares de limpieza.

- Estandarización (*Seiketsu*): ¡no más anomalías! Su concepto está basado en señalar las anomalías detectadas cuyo objetivo consiste en la prevención de suciedad y desorden nuevamente en el área de trabajo, Aquí se establecen las normas y los procedimientos, así como detecciones e indicios de mejora.
- Disciplina (*Shitsuke*): sostenimiento y autodisciplina. Es la filosofía japonesa de seguir mejorando continuamente, porque considera que todo proceso puede y debe ser mejorado.

Figura 26. **Limpieza previa al turno de producción**



Fuente: elaboración propia.

Figura 27. **Estándar de limpieza del equipo antes de la operación**



Fuente: elaboración propia.

## **2.9. Segunda parte: acondicionamiento previo a la implementación del TPM**

Previo a la implementación del mantenimiento productivo total, se debe realizar un acondicionamiento del equipo y del personal involucrado. Para este momento, ya se está contemplando perfectamente integrar en la producción los pasos necesarios para preparar la máquina y el personal que se hará cargo del grupo de mantenimiento autónomo. Por lo tanto, se estarán definiendo determinadas actividades de mantenimiento, al personal de producción.

El trabajo en la máquina, es inicialmente identificar todo lo referente a la necesidad del equipo de llevarlo a un estado de confiabilidad. Los procesos de

mantenimiento y limpieza propios y lo referente al personal que ahora será el que se encargue del mantenimiento autónomo. Lo que se buscó con ellos, en este apartado fue el concientizar a los operarios de la máquina, a apropiarse de ella. Se debe eliminar el sentimiento que el equipo es una máquina ajena y que reparan en cada fallo, que lo atienden otros, y que ellos solo deben reportar y esperar, Se busca una integración del operario con el fin de dejar el equipo a su cargo, como algo propio, al cual tiene que cuidar y darle el debido tratamiento. En resumen, el operador debe sentir el equipo como suyo. Se buscó este sentido de pertenencia a través de esta parte, con el fin de cumplir este objeto. El mantenimiento productivo total, segmenta en tres niveles el estudio que se hizo previo a la implementación del mismo.

- Nivel operativo: en este nivel los operarios de la máquina se ocuparán de las tareas de limpieza y mantenimiento operativo sencillas, como ajustes, monitoreo y vigilancia de parámetros y la reparación de pequeñas averías. Para ello se capacito al personal a través de talleres y documentos práctico. Adicional se colocó en el área de trabajo, la documentación que respalda estas actividades.
- Niveles técnicos, mecánicos y electricistas: se conformó dentro del equipo de operación, a al menos una persona por turno, para ejecutar algún mantenimiento más detallado y que trabaje conjuntamente con el personal que se encarga de los mantenimientos mayores. Esta persona resuelve problemas más complicados, pero no debe perderse el espíritu que todos los operarios participen en las actividades de mantenimiento y limpieza. Al contrario, el hecho de tener en el propio equipo de producción una persona con mayores conocimientos, no quiere decir que él sea el único responsable. La gran ventaja de que se encuentre cercano al equipo y operarios, es que no será necesario avisar a nadie o esperar. El repuesto

también está descentralizado: cada línea productiva, incluso cada máquina, tiene cerca lo que requiere.

- Nivel de mantenimiento: esto se efectúa en caso de que las intervenciones sean de un mayor nivel de complejidad, como revisiones y reparaciones programadas, situaciones que impliquen desmontajes complejos o ajustes de la máquina, se deberá referir al departamento de mantenimiento.

### **2.9.1. Acondicionamiento de la máquina**

El instituto de mantenimiento de plantas de Japón, (*Japan Institute of Plant Maintenance: JIPM*), desarrolló un método en siete pasos, que debe ejecutarse previo a la implementación del mantenimiento productivo total. Su objetivo es lograr a través de estas fases el cambio de actitud en el personal. Conforme estos pasos se fueron dando, se iban logrando cumplir los objetivos propios en cada uno, y esto permitiría que al momento de la implementación se lograra realizar exitosamente.

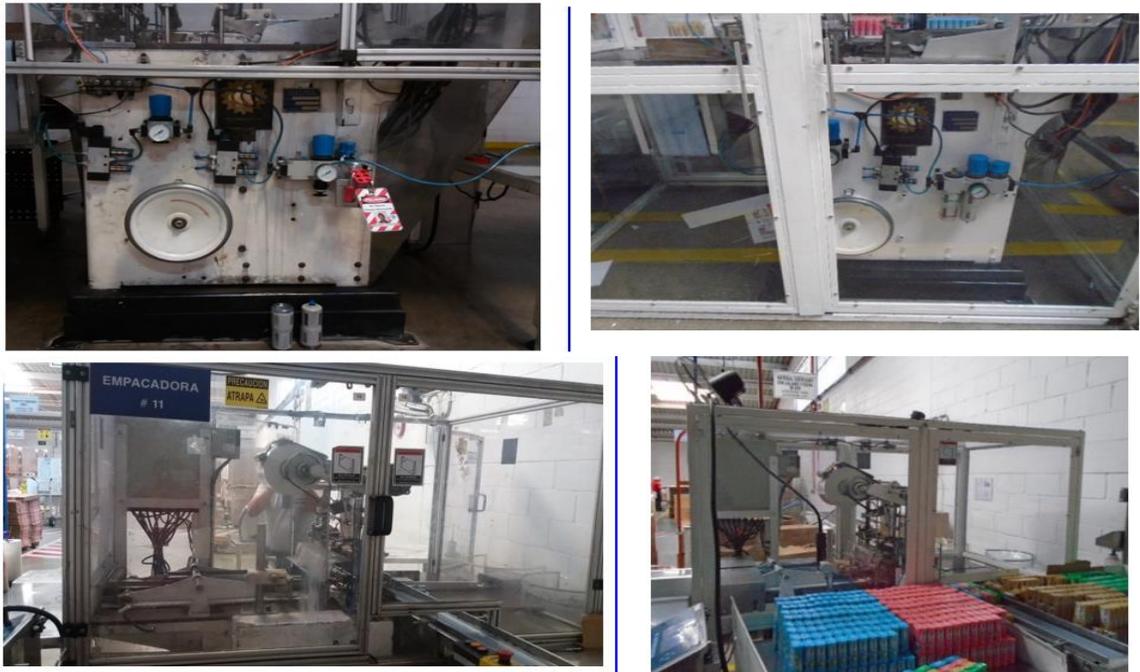
Para que se logre un cambio real en el personal, se trabajó en talleres de capacitación enfocados directamente en la concientización y el cambio de paradigmas mentales, en las que se creía que el operario estaba destinado o contratado, únicamente para operar la máquina y que las actividades de limpieza, cuidado y mantenimiento eran propiamente de los mecánicos y electricistas. Este detalle es indispensable para el éxito del programa. Se trabajó propiamente con la parte operaria en conjunto con los mecánicos y electricistas destinados para las actividades de mantenimiento mayores o programados. La implementación se desarrolló tomando como base estos elementos de la forma siguiente.

### 2.9.1.1. Fase 1. Limpieza inicial

En esta fase se realizó una limpieza de la máquina y el área de producción, eliminando el polvo y suciedad. Su objeto fue dejar todas sus partes perfectamente visibles, con el fin de desarrollar todos los indicios del programa de lubricación.

Este programa se desarrolló y se detallara en los pilares del mantenimiento productivo total. En esta fase se realizó una limpieza profunda, se ajustó componentes, con el objetivo de dejar puesto a punto el equipo. Se aprovechó para reparar todos los defectos conocidos, detectados e identificados.

Figura 28. Limpieza profunda de maquina



Fuente: elaboración propia.

### **2.9.1.2. Fase 2. Identificación de causas de suciedad y fallas menores**

Seguidamente de la limpieza profunda de la máquina se procedió a revisar el área de trabajo. Es indispensable que no vuelva a incurrir en ensuciarse.

Lo que se busca es evitar que la máquina vuelva al mismo estado de suciedad y descuido. Como se observa en las fotografías tomadas de los componentes del equipo, se ve el estado sucio y descuidado. Se deben evitar las causas de la suciedad, el polvo y fugas de lubricante.

**Figura 29. Limpieza de componentes internos**



Fuente: elaboración propia.

El objetivo en esta fase, adicional a la limpieza, ajustes, lubricación y reemplazo de piezas dañados, es mejorar el acceso a los lugares difíciles de limpiar y de lubricar, en medida de lo posible.

También se hizo una reducción del tiempo necesario para la limpieza y lubricación ya que no se debe permitir que la máquina caiga nuevamente en un estado de abandono, suciedad y deterioro.

#### **2.9.1.3. Fase 3. Preparación de los procedimientos de limpieza y lubricación**

Luego de realizar las limpiezas profundas en componentes, ajustar la máquina, y realizar una limpieza e identificación de los elementos que puedan hacer que la máquina caiga nuevamente en problemas de suciedad. En esta fase se prepararon los procedimientos de mantenimiento primario, las cuales fueron asignados al personal de producción y operarios.

Se desarrollaron los procedimientos estándar de operación o SOP, con el objeto de instruir en las actividades de limpieza, lubricación y ajustes menores. Los procedimientos serán presentados en el apartado dedicado a la documentación generada para este programa de mantenimiento productivo total.

#### **2.9.1.4. Fase 4. Inspecciones generales**

Aquí se determinó la periodicidad de las inspecciones en base a dos criterios. La experiencia que se tuvo por los fallos que se han presentado en la

máquina y el manual de fabricante. En este manual no se indica exactamente cada cuanto debe realizarse un mantenimiento preventivo, ya que es en gran dependencia con las horas de utilización del equipo y en base a análisis tempranos de fallos.

Por lo tanto, se tomó los dos elementos anteriormente descritos, adicional de la documentación general que el programa de mantenimiento productivo total dicta como sugerencias hacia el diseño y periodicidad de las inspecciones.

Estos elementos, se consideraron fundamentalmente para el desarrollo del documento, que se integrara al momento de diseñar el mantenimiento autónomo, que es uno de los pilares del TPM.

La sugerencia que da el programa es que se consideren elementos a inspeccionar de forma general todos los días al inicio de cada turno, de forma corta y puntual. Es importante mencionar que el objetivo buscado en esta fase fue, que el personal operativo y de producción, se responsabilice de la limpieza, la lubricación y los ajustes menores.

Las inspecciones se realizarán al inicio de cada turno de producción, con tópicos puntuales y se entrenó al personal operativo y de producción para que este inspeccione y realice los chequeos del equipo, en busca de fallos menores.

#### **2.9.1.5. Fase 5. Inspecciones autónomas**

Para complementar lo aprendido en las cuatro fases anteriores se desarrollan los pasos para las inspecciones autónomas. Cabe mencionar que

este mantenimiento operativo es el fundamento del pilar de mantenimiento autónomo.

En esta fase se prepararon todos los elementos que deberían llevar las listas de chequeo de la máquina, las cuales deberán realizar los operarios al inicio de cada turno de producción y cuando se ejecuten las rutinas de limpieza profunda y lubricación No rutinaria, poniéndolo en práctica a partir de la implementación que se realizaría un mes después.

Es aquí el punto de partida y donde se produciría la verdadera implantación del mantenimiento productivo total, realizado por el personal que opera la máquina.

#### **2.9.1.6. Fase 6. Orden en la distribución y estandarización**

En esta fase se realizó una redistribución del equipo y sus componentes, se buscó la manera de posicionar la máquina y sus elementos, de forma óptima, ergonómica y eficiente.

Adicional se buscó la mejor colocación de los elementos que serán parte del mantenimiento autónomo del equipo, tales como utensilios de limpieza, rotulación e identificación de los elementos más importantes e indispensables para la realización del mantenimiento productivo total.

Es importante considerar que la estandarización de estas actividades, como lo es limpieza, operación y mantenimiento, es parte importante de uno de

los pilares del TPM, y de la Gestión de la Calidad Total (*Total Quality Management, TQM*), que es la filosofía inspiracional del TPM y parte del JIT (*Just in time*, justo a tiempo).

Elementos principales de la manufactura de clase mundial, a la que se aspira alcanzar en determinado tiempo. Se busca la creación de los procedimientos estándares de operación SOP para la limpieza del equipo.

Adicional se tomó toda la información necesaria para establecerla en el pilar de mantenimiento autónomo, considerando inspecciones y lubricación, la creación de los registros en los que se reflejarán todas las actividades de mantenimiento y limpieza, así como la correcta gestión de repuestos y cualquier insumo a utilizar.

Se establecieron los elementos del denominado "*Housekeeping*" o sea el proceso de manutención del programa de limpieza. Este proceso lleva a detalle los registros que deben llenarse, la periodicidad con la que se debería ejecutar las tareas de limpieza, el método de limpieza y el estándar de limpieza que debe llevar este programa.

Se colocó rotulación y documentación informativa con los elementos esenciales de la limpieza y los estándares de cómo debe dejarse el equipo cada vez que se ejecute la misma.

Para los estándares propios del equipo, se realizará al tener el diseño del programa en el apartado correspondiente, al instaurar los pilares del TPM.

Figura 30. Programa de limpieza de la maquina

<b>House-Keeping Program.</b>	
<b>PASO I:</b> Limpieza Inicial / Orden / Tarjeta Roja	
<b>Área General:</b> Maquina e involucra Flowpack	
<b>AREA ESPECIFICA</b>	<b>ACTIVIDAD</b>
Guardas, áreas de maquina. Mueble de utensilios de limpieza.	Limpieza de estanterías, puertas y utensilios.
<b>REGISTRO</b>	
R-MT-009	
<b>PERIODICIDAD</b>	
Diario por cada turno. (Se debe hacer limpieza profunda semanalmente).	
<b>RESPONSABLE</b>	
Encargado de limpieza de maquina. Los encargados de línea deben mantener los muebles de utensilios ordenados de acuerdo al mapa de control visual del área.	
<b>HORARIO DE TRABAJO SU GERIDO</b>	
En el horario de limpieza de planta. La limpieza profunda debe realizarse semanalmente. La limpieza de la maquina se hace al inicio del turno.	
<b>METODO DE TRABAJO/LIMPIEZA/PROCESO</b>	
✓ Limpieza y correcto almacenaje.	
<b>ESTANDAR DE LIMPIEZA</b>	
Deberá removerse polvo y suciedad de los muebles, estanterías y puertas.	
Los implementos deberán limpiarse en la parte externa, sacudiendo del polvo.	
Deberá limpiarse con un paño húmedo con desinfectante, la parte de la estructura externa y puertas, removiendo polvo y suciedad.	
Deberá removerse el polvo de la parte superior del mueble. Al final barrer toda el área y trapear.	
<b>ELEMENTOS Y UTENSILIOS DE LIMPIEZA</b>	
Paño de limpieza o gusano	
Desinfectante	
Escoba	
Mopa	

Fuente: elaboración propia.

### **2.9.1.7. Fase 7. Optimización y autonomía en la actividad**

Esta última fase, cuyo objetivo es desarrollar una cultura hacia la mejora continua, es un punto a tratar que se realizó hasta el final de todo el proyecto. Se tratará una parte en la mejora continua del proyecto y en la fase de docencia del estudio.

## **2.10. Tercera parte: programa de mantenimiento productivo total: instauración de los 8 pilares del TPM**

Como se mencionó anteriormente, los 8 pilares del TPM son la base fundamental de esta metodología, cada uno indica determinados procesos para lograr los objetivos de su instauración.

Se busca devolver la confiabilidad de la máquina a través de eliminar o reducir al mínimo las pérdidas de todo tipo, minimizar las paradas programadas, pérdidas de producción innecesarias, defectos de calidad y reprocesamiento. Un problema fuerte que se debe eliminar es el desperdicio, ya que este elemento no solo coincide en desperdicios de material o producto que sea dañado, sino de tiempo, que es un recurso muy valioso.

### **2.10.1. Pilar 1: seguridad industrial y ambiente**

Este pilar es quizás el más importante. Trata lo referente a las políticas medioambientales, su cumplimiento y ejecución; y las políticas de seguridad

industrial. La seguridad industrial y ambiente, a pesar de estar estudiadas de forma adyacente, se enfocan en puntos distintos. Se busca que el ambiente, principalmente de trabajo, sea confortable, con el mínimo de riesgos y seguro. Si se consideran las 5S como el pilar que fundamental del mantenimiento productivo total, ocurre que la contaminación en el ambiente de trabajo es producto del mal funcionamiento del equipo, lo que se minimizaría al implementar correctamente estos fundamentos.

Al instaurar de forma correcta estos principios se minimizarían los accidentes que puedan ser ocasionados por la mala distribución de los equipos, poca limpieza, orden de herramientas en el área de trabajo y cualquier variable de contaminación.

La seguridad industrial se basa en eliminar en medida de lo posible las condiciones inseguras de operación de la máquina, a través de ingeniería, mantenimiento y por último a través de equipo de protección personal EPP.

#### **2.10.1.1. Hazard Assessment**

Es un estudio del riesgo de darle mantenimiento a la máquina y lo que pueda influir en su correcto desempeño. El mantenimiento productivo total, lo considera uno de sus pilares fundamentales, por lo que es necesario realizar inicialmente un análisis de riesgos, para eliminar las condiciones inseguras de la máquina y su área de operación.

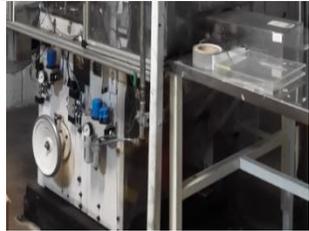
Debe tomarse en cuenta que para los mantenimientos programados debe bloquearse la máquina según lo delimitado en este punto. Luego de ello, se

procederá a realizar un estudio que proponga mejorar dichas condiciones y sugerir su aplicación, en dependencia de la gravedad, impacto o importancia del mismo, y si es necesario la utilización de EPP.

Figura 31. Análisis de riesgos de máquina Flowpack

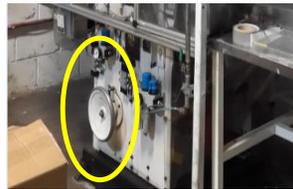
ANÁLISIS DE RIESGO ENVOLVEDORA FLOWPACK		FORMATO:															
		SI-TPM-01															
HAZARD ASSESSMENT		Status: Implementado															
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;"> <p><i>Documento tipo: Administrativo</i>  <i>Distribución: Confidencial</i>  <i>Programa de Apoyo: Mantenimiento y Seguridad Industrial</i>  <i>Alcance: Planta de Producción GT</i>  <i>Objetivo: Control de Producción e Historial de Fallos</i>  <i>Emisión: Julio de 2019</i>  <i>Soporte: P-OP-003</i>  <i>Versión: 1.0</i></p> </td> <td style="width: 50%; border: none;"> <p><i>Emitido por: QA Analista de Documentación</i>  <i>Actualizado por: Ingeniero de Aseguramiento</i>  <i>Revisado por: Ingeniero de Procesos</i>  <i>Autorizado por: Gerente de Planta</i>  <i>Vigencia: Activo</i>  <i>Última Actualización: Agosto 2019</i>  <i>Frecuencia: Hasta algún cambio</i>  <i>Control: BPM</i></p> </td> </tr> </table>			<p><i>Documento tipo: Administrativo</i>  <i>Distribución: Confidencial</i>  <i>Programa de Apoyo: Mantenimiento y Seguridad Industrial</i>  <i>Alcance: Planta de Producción GT</i>  <i>Objetivo: Control de Producción e Historial de Fallos</i>  <i>Emisión: Julio de 2019</i>  <i>Soporte: P-OP-003</i>  <i>Versión: 1.0</i></p>	<p><i>Emitido por: QA Analista de Documentación</i>  <i>Actualizado por: Ingeniero de Aseguramiento</i>  <i>Revisado por: Ingeniero de Procesos</i>  <i>Autorizado por: Gerente de Planta</i>  <i>Vigencia: Activo</i>  <i>Última Actualización: Agosto 2019</i>  <i>Frecuencia: Hasta algún cambio</i>  <i>Control: BPM</i></p>													
<p><i>Documento tipo: Administrativo</i>  <i>Distribución: Confidencial</i>  <i>Programa de Apoyo: Mantenimiento y Seguridad Industrial</i>  <i>Alcance: Planta de Producción GT</i>  <i>Objetivo: Control de Producción e Historial de Fallos</i>  <i>Emisión: Julio de 2019</i>  <i>Soporte: P-OP-003</i>  <i>Versión: 1.0</i></p>	<p><i>Emitido por: QA Analista de Documentación</i>  <i>Actualizado por: Ingeniero de Aseguramiento</i>  <i>Revisado por: Ingeniero de Procesos</i>  <i>Autorizado por: Gerente de Planta</i>  <i>Vigencia: Activo</i>  <i>Última Actualización: Agosto 2019</i>  <i>Frecuencia: Hasta algún cambio</i>  <i>Control: BPM</i></p>																
																	
<p><b>Paso de Programa 5s:</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Fase I</th> <th>5'S - Clasificación 整理, Seiri</th> <th>Separar innecesarios, Ordenamiento</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fase II</td> <td>5'S - Orden 整頓, Seiton</td> <td>Situar necesarios</td> </tr> <tr> <td>Fase III</td> <td>5'S - Limpieza 清掃, Seisō</td> <td>Suprimir suciedad y desorden</td> </tr> <tr> <td>Fase IV</td> <td>5'S - Estandarización 清潔, Seiketsu</td> <td>Señalar anomalías</td> </tr> <tr> <td>Fase V</td> <td>5'S - Disciplina 躰, Shitsuke</td> <td>Seguir mejorando</td> </tr> </tbody> </table>			Fase I	5'S - Clasificación 整理, Seiri	Separar innecesarios, Ordenamiento	Fase II	5'S - Orden 整頓, Seiton	Situar necesarios	Fase III	5'S - Limpieza 清掃, Seisō	Suprimir suciedad y desorden	Fase IV	5'S - Estandarización 清潔, Seiketsu	Señalar anomalías	Fase V	5'S - Disciplina 躰, Shitsuke	Seguir mejorando
Fase I	5'S - Clasificación 整理, Seiri	Separar innecesarios, Ordenamiento															
Fase II	5'S - Orden 整頓, Seiton	Situar necesarios															
Fase III	5'S - Limpieza 清掃, Seisō	Suprimir suciedad y desorden															
Fase IV	5'S - Estandarización 清潔, Seiketsu	Señalar anomalías															
Fase V	5'S - Disciplina 躰, Shitsuke	Seguir mejorando															
		<p><b>Objetivo</b></p> <p>El objetivo de la evaluación de riesgos es determinar las exposiciones a riesgos potenciales en el equipo</p>															
		<p><b>Equipo:</b> Envolvedora flowpack bundler  <b>Fecha:</b> 15/07/2019</p>															
<p><b>Reglas básicas:</b></p> <p>Las guardas deben prevenir que cualquier parte del cuerpo pueda estar en contacto con partes que estén en movimiento          Las Guardas Perimetrales son el método preferido para prevenir exposiciones al punto de peligro          Las Guardas deben fabricarse de un material resistente          Las Guardas deben estar firmemente aseguradas a los equipos y contar con <b>interlocks</b> que garanticen la seguridad.          Los <b>interlocks</b> de las guardas no deben permitir que estas abran hasta que la máquina esté completamente detenida.          Todo el equipo, guardas y máquina, debe tener rótulos de prevención que identifiquen el riesgo potencial.</p>																	
<p><b>Código de Colores</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="background-color: red; color: white; text-align: center;">ROJO:</td> </tr> <tr> <td style="background-color: orange; color: black; text-align: center;">(A) URGENTE</td> </tr> <tr> <td style="background-color: yellow; color: black; text-align: center;">(B) SERIO</td> </tr> <tr> <td style="background-color: lightyellow; color: black; text-align: center;">AMARILLO:</td> </tr> <tr> <td style="background-color: yellow; color: black; text-align: center;">(C) LEVE</td> </tr> </table>			ROJO:	(A) URGENTE	(B) SERIO	AMARILLO:	(C) LEVE										
ROJO:																	
(A) URGENTE																	
(B) SERIO																	
AMARILLO:																	
(C) LEVE																	
<p><b>1. Análisis del equipo</b></p>																	
<p><b>1 Punto de Operación</b></p>																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>SI</th> <th>NO</th> <th>N/A</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1. ¿Los dedos o mano de una persona pueden entrar en cualquier área peligrosa de la máquina?</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				SI	NO	N/A	1. ¿Los dedos o mano de una persona pueden entrar en cualquier área peligrosa de la máquina?	X									
	SI	NO	N/A														
1. ¿Los dedos o mano de una persona pueden entrar en cualquier área peligrosa de la máquina?	X																
																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Descripción</th> <th>Acciones</th> <th>Responsable / Area</th> <th>Fecha propuesta para Cierre:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: orange;">Rodillo de banda transportadora transversal</td> <td>Modificar la guarda</td> <td>Mantenimiento</td> <td>1/08/2019</td> </tr> </tbody> </table>			Descripción	Acciones	Responsable / Area	Fecha propuesta para Cierre:	Rodillo de banda transportadora transversal	Modificar la guarda	Mantenimiento	1/08/2019							
Descripción	Acciones	Responsable / Area	Fecha propuesta para Cierre:														
Rodillo de banda transportadora transversal	Modificar la guarda	Mantenimiento	1/08/2019														

Continuación de la figura 31.

II Punto de empaque				SI	NO	N/A
2. ¿Los dedos o mano de una persona pueden entrar en cualquier área peligrosa de la máquina?				X		
Descripción	Acciones	Responsable / Área	Fecha propuesta para Cierre:			
Guarda sin tornillos de andaje. Se necesita mas distancia entre el punto de pellizco mecanico y la apertura	Modificar la guarda	Mantenimiento	1/08/2019			
						
III Apertura de puertas				SI	NO	N/A
3. ¿Algunas de las guardas / Interlocks actuales del equipo en esas áreas han sido removidos o manipulados?					X	
Descripción	Acciones	Responsable / Área	Fecha propuesta para Cierre:			
Compuerta principal con sus micros o interlocks funcionando en la prueba	Pruebas de micros con equipo encendido y con energía "0"					
						
2 Interlocks de Guardas						
I Alimentador de entrada / Operación / Area de empaque				SI	NO	N/A
4. ¿Están todas las fuentes de energía completamente deshabilitadas cuando las guardas están abiertas?				X		
5. ¿Cuándo las guardas se abren, se detiene la maquina inmediatamente? (no permitir que la maquina complete su ciclo después de abrirla.)				X		
6. ¿Las guardas abiertas crean cualquier riesgo secundario (restricción en la altura, caída de objetos, etc.)?					X	
7. ¿Hay guardas monitoreadas y supervisadas a través de un PLC para que den una alarma cuando algún circuito se abre?						X
8. ¿El equipo necesita ser reseteado para arrancar, después de que un bloqueo ha sido abierto?				X		
3 Áreas de Transmisión de Potencia						
I Alimentador de entrada / Operación / Area de empaque				SI	NO	N/A
9. ¿Hay engranajes, cadenas, ruedas dentadas (sprockets), fajas, poleas o volantes expuestos?				X		
Descripción	Acciones	Responsable / Área	Fecha propuesta para Cierre:			
Volante frontal de ajuste	Colocar guarda corrediza para aislar el volante	Mantenimiento	1/08/2019			
						

Continuación de la figura 31.

4. Exposición de Tipo No-Mecánico				
Alimentador de entrada / Operación / Area de empaque		SI	NO	N/A
10. ¿Hay exposición a superficies calientes?				X
Descripción	Acciones	Responsable / Area	Fecha propuesta para Cierre:	
Alimentador de entrada / Operación / Area de empaque		SI	NO	N/A
11. ¿Hay exposición a salpicaduras ocasionadas por líquidos?		X		
Descripción	Acciones	Responsable / Area	Fecha propuesta para Cierre:	
Cable que transporta la tinta del codificador remendado	Cambiar el cable y buscar la mejor ubicación en el equipo	Mantenimiento	1/08/2019	
Alimentador de entrada / Operación / Area de empaque		SI	NO	N/A
12. ¿Hay exposición a partículas en suspensión?			X	
Descripción	Acciones	Responsable / Area	Fecha propuesta para Cierre:	
Alimentador de entrada / Operación / Area de empaque		SI	NO	N/A
13. ¿Hay exposición a polvos?			X	
Descripción	Acciones	Responsable / Area	Fecha propuesta para Cierre:	
Alimentador de entrada / Operación / Area de empaque		SI	NO	N/A
14. ¿Hay exposición algun tipo de rayo láser, radiación o emisor de calor?			X	
Descripción	Acciones	Responsable / Area	Fecha propuesta para Cierre:	
Se tienen las resistencias de calor aisladas. No representan riesgo				
Alimentador de entrada / Operación / Area de empaque		SI	NO	N/A
15. ¿Hay exposición a ruido excesivo?			X	
Descripción	Acciones	Responsable / Area	Fecha propuesta para Cierre:	
No es excesivo pero si continuo. Se evaluara un estudio de ruido	EPP	Mantenimiento / Seguridad Industrial	Implementado	



Continuación de la figura 31.

5. Paradas de Emergencia				
I Alimentador de entrada / Operación / Area de empaque	SI	NO	N/A	
16. ¿Hay botones de "paro de emergencia" en el equipo, localizados en lugares de fácil acceso al operario?	X			
17. ¿Los botones de "paro de emergencia" aseguran una parada inmediata del equipo?	X			
18. ¿Los botones de "paro de emergencia" son visibles, de color rojo y resaltado?	X			
19. ¿Es necesario resetear la máquina después de haber pulsado el botón de "paro de emergencia" previo al arranque?	X			
6. Limpieza de obstrucciones, Lubricación y Cambios de Formato				
I Alimentador de entrada / Operación / Area de empaque	SI	NO	N/A	
20. ¿Hay un procedimiento escrito para cuando sea o no sea requerido el bloqueo y etiquetado, en caso de limpieza de obstrucciones, lubricación y cambios de formato?	X			
7. Condiciones de Cambio de Formato y Ajustes				
I Alimentador de entrada / Operación / Area de empaque	SI	NO	N/A	
21. ¿Puede la máquina operar a pulsos (jog), con sistema de avance paso a paso o ponerlos en un modo de velocidad lenta?		X		
22. ¿Esta todo el sistema de pulsos (jog), el sistema de avance paso a paso o el sistema de velocidad lenta bajo el control exclusivo del operador cuyas manos pudieran estar dentro del equipo durante un cambio o ajuste?		X		
23. ¿Está la máquina equipada con interruptores para hacer bypass a las guardas?	X			
24. Si la respuesta es sí, ¿Está la operación limitada a pulsos (jog), avance paso a paso o velocidad lenta?		X		
8. Bloqueo y Etiquetado				
I Alimentador de entrada / Operación / Area de empaque	SI	NO	N/A	
25. ¿Está la maquina equipada con un interruptor para desconectarla / apagarla sin tener que ir hasta el centro de control de motores?	X			
Descripción	Acciones	Responsable / Area	Fecha propuesta para Cierre:	
El panel del interruptor es insuficiente para contener los variadores ubicados dentro de la maquina.	Cambia el Panel por uno de mayor tamaño para colocar los variadores dentro	Mantenimiento	1/08/2019	
I Alimentador de entrada / Operación / Area de empaque	SI	NO	N/A	
26. ¿Existe y está disponible un procedimiento escrito de bloqueo / etiquetado específico para esta máquina?	X			
Descripción	Acciones	Responsable / Area	Fecha propuesta para Cierre:	



Continuación de la figura 31.

I Alimentador de entrada / Operación / Area de empaque		SI	NO	N/A
27. El equipo tiene seleccionador para colocar candado LOTO		X		
Descripcion	Acciones	Responsable / Area	Fecha propuesta para Cierre:	
9. Transferencia de conocimiento				
I Alimentador de entrada / Operación / Area de empaque		SI	NO	N/A
28. ¿Está el grupo de ingenieros enterado de los requerimientos del estándar de guardas?		X		
29. ¿Está el grupo de ingenieros enterado de los requerimientos del estándar de guardas?		X		
30. ¿Han recibido los operadores entrenamiento para operar el equipo de manera segura?		X		
31. ¿Han recibido los operadores y los técnicos de mantenimiento entrenamiento sobre los fundamentos de guardas de maquinaria?		X		
32. ¿Han recibido los operadores entrenamiento sobre cómo bloquear / etiquetar la máquina correctamente?		X		

Fuente: elaboración propia.

Los cambios se realizaron en la fecha pactada, ya que no eran problemas con demasiada complejidad o incidencia, pero necesarios para cumplir el requisito principal del requerimiento de seguridad industrial requerido por el programa de mantenimiento productivo total.

### 2.10.1.2. Procedimiento y documentación de bloqueo y etiquetado

De la misma forma como parte del programa de mantenimiento productivo total, se instauró un programa de bloqueo y etiquetado de la máquina objeto de

estudio y el mapa de proceso. La máquina debe bloquearse siempre que se ejecute el mantenimiento programado o que se realicen actividades no rutinarias. El mantenimiento productivo total TPM lo considera como el pilar principal de su programa.

- Prechequeos
  - Verificar que el personal este entrenado y capacitado en el procedimiento de Bloqueo y Etiquetado (LOTO).
  - Verificar que los equipos y herramientas a utilizar estén en buen estado.
  - Todo el personal que esté inscrito en el Permiso de Trabajo Seguro PTS, debe de realizar el procedimiento LOTO en todos los puntos de energía.
  - El personal debe de contar con sus propios candados y etiquetas.
  - El candado de bloqueo solo debe poseer una sola llave.
  - Si se realizara un bloqueo dentro de un panel eléctrico, el candado debe ser dieléctrico, para reducir el riesgo de un arco eléctrico.
  - La prueba de energía "0", es comprobar que el procedimiento LOTO se realizó con éxito, ya que el equipo no enciende al tratar de accionarlo.
  
- Instrucciones mandatorias en el bloqueo del equipo
  - Identificación de fuentes de energía y apagado de equipos
    - Identifique las fuentes de energías asociadas al equipo (Eléctrica y Neumática).

- Notificar al personal que se realizara un procedimiento de bloqueo y etiquetado.
- Apagar el equipo en el *Bracker* especificado en panel.
- Apagado en panel de control, girando el interruptor de bloqueo.

Figura 32. **Seleccionador de bloqueo de máquina Flowpack**



Fuente: elaboración propia.

- Aplicación de bloqueo y etiquetado
  - Colocar los dispositivos en el interruptor de bloqueo.
  - Coloque candados y etiquetas.
  - Luego efectuar el procedimiento de bloqueo en grupo en caja de bloqueo, en caso de trabajo en grupo o con personal adicional.
  - Realizar la prueba de energía “0” tanto en el panel de control como en la botonera.

Figura 33. Colocación de etiqueta LOTO



Fuente: elaboración propia.

- Realice Permiso de trabajo seguro (PTS) llenado el *check-list* de mantenimiento y limpieza no rutinaria.
- Obtener la aprobación de PTS y colocarlo en un área visible.
- Remoción de bloqueo y etiquetado/arranque de equipo
  - Verifique que el equipo haya quedado bien ensamblado.
  - Retire todos los equipos y herramientas ajenas al mismo.
  - Retire los dispositivos de Bloqueo y Etiquetado.
  - Restablezca la energía colocando en ON el seccionador.
  - Cerrar el PTS.

Figura 34. SOP de bloqueo y etiquetado del equipo

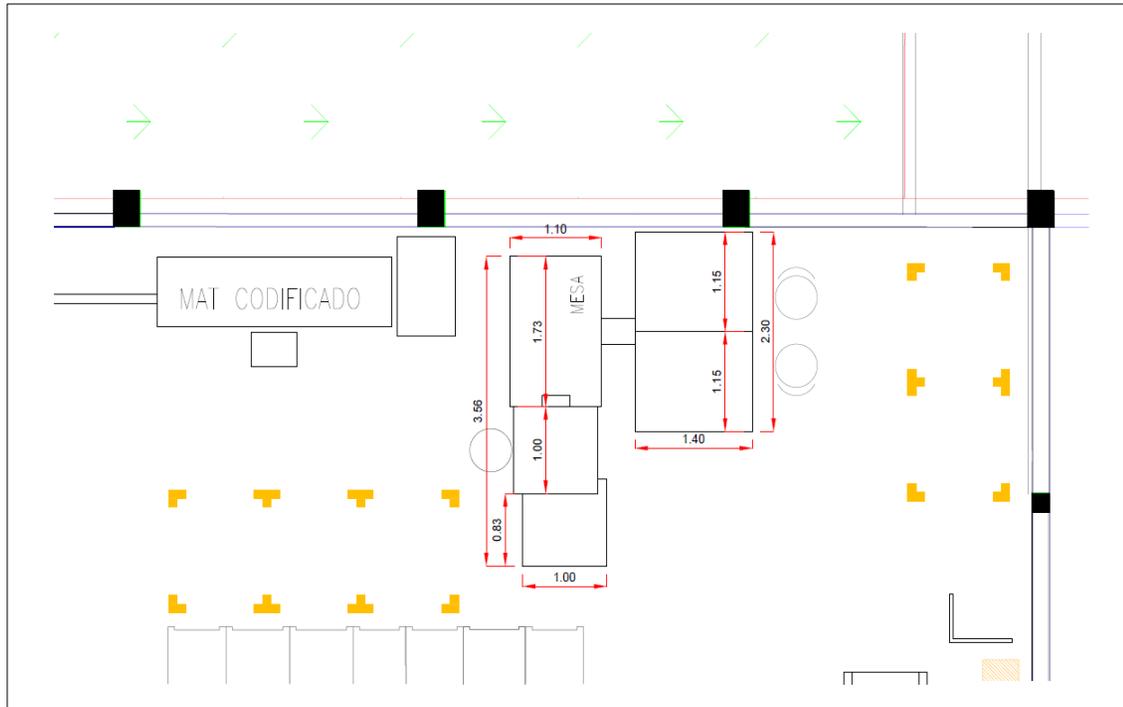
Metodología e Instrucciones		EOHS	I-SI-001									
 <p><b>Bloqueo y Etiquetado Máquina Flowpack</b></p> <p>Documento Tipo: Operativo                      Distribución: Copia Controlada                      Programa de Aprobación: EOHS                      Alianza: Centro Regional de Ofertas</p> <p>Objetivo: LOTO &amp; EOHS</p> <p>Emisión: 2019                      Soporte: P-OP-005                      Versión: 2.0</p> <p>Fecha de Elaboración: Agosto/2019                      Tiempo estimado: 15 a 20 minutos</p> <p>Aprobado para su uso por: STAFF de Ingeniería en Centro de procesamiento y empaque</p>		<p>Emisión por: <i>On Analista de Documentación</i>                      Actualizado por: <i>On Ingeniero de Aseguramiento</i>                      Revisado por: <i>Ingeniero de Procesos</i>                      Autorizado por: <i>Gerente de Planta</i></p> <p>Status: Activo                      Última Actualización: Septiembre 2019                      Frecuencia: Previsión a Producción                      Control: EPMS</p>										
<p><b>Pre-Checks</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Verificar que el personal este entrenado y capacitado en el procedimiento de Bloqueo y Etiquetado (LOTO).</li> <li>Verificar que los equipos y herramientas a utilizar estén en buen estado.</li> </ul>		<p><b>Herramientas y Materiales Requeridos</b></p> <table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>Equipo de Bloqueo</td> <td>2.1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Candado</td> <td>2.2</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Etiqueta</td> <td>2.2</td> </tr> </table>		1	Equipo de Bloqueo	2.1	1	Candado	2.2	1	Etiqueta	2.2
1	Equipo de Bloqueo	2.1										
1	Candado	2.2										
1	Etiqueta	2.2										
<p><b>Recordatorias Claves</b></p> <p>Todo el personal que entienda el procedimiento de Bloqueo y Etiquetado (LOTO) debe de realizar el procedimiento LOTO en todos los puntos de energía.</p> <p>El personal debe de contar con sus propios candados y etiquetas.</p>		<p>El candado de bloqueo solo debe poseer un año de vida.</p> <p>Si se realiza un bloqueo desde un panel eléctrico, el candado debe ser eléctrico, para reducir el riesgo de un arco eléctrico.</p> <p>La prueba de energía "0", es para comprobar que el procedimiento LOTO se realizó con éxito, ya que el equipo no es energizado al ser activado.</p> <p>Este procedimiento tiene el alcance para personal eléctrico de CP y personal de control y empaque de los puntos de energía previos y conectivos de estos equipos.</p>										
<p><b>Pasos e Instrucciones.</b></p> <p><b>1. Identificación de fuentes de energía y apagado de equipos.</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Identifique las fuentes de energía asociadas al equipo (Eléctrica y Mecánica).</li> <li>Identificar el personal que se involucra en el procedimiento de bloqueo y etiquetado.</li> <li>Apague el equipo en el Breaker respectivo de energía.</li> <li>Apagado en panel de control, cuando el interruptor de bloqueo.</li> </ol>		<p>1.3 Apagado y aislamiento de energías.</p> 										
<p><b>2. Aplicación de Bloqueo y Etiquetado.</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Coloque los dispositivos en el interruptor de bloqueo.</li> <li>Coloque candados y etiquetas.</li> <li>Una vez se haya completado el procedimiento de bloqueo asegure en copia de Bloqueo, en caso de trabajo en grupo o con personal externo.</li> <li>Realice la prueba de energía "0" tanto en el panel de control como en la botanera.</li> <li>Realice Pruebas de trabajo según PDS (tanto al inicio de la LOTO).</li> <li>Obtenga la aprobación de PDS y coloque etiquetas visibles.</li> </ol>		<p>2.1 y 2.2 Aplicación de Bloqueo y Etiquetado</p> 										
<p><b>3. Remoción de Bloqueo y Etiquetado/Arranque de equipo.</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Verifique que el equipo haya quedado bien ensamblado.</li> <li>Retire todos los equipos y herramientas que estén al mismo.</li> <li>Retire los dispositivos de Bloqueo y Etiquetado.</li> <li>Restablezca la energía colocados en ON el interruptor.</li> <li>Comience el PDS.</li> </ol>												
<p><b>Información Suplementaria</b></p> <p>Después de finalizar este procedimiento revisar guardas.</p> <table border="1"> <tr> <td>TRABAJO NO RUTINARIO</td> <td>TRABAJO RUTINARIO</td> <td>PLAN DE EMERGENCIAS:</td> </tr> <tr> <td>Todo proceso con tareas diferentes a las diarias, y riesgos desconocidos.</td> <td>Procedimiento regular, conocidos y practicados.</td> <td>Llamar a la extensión 911 buscar a un brigadista e informar a un técnico de seguridad.</td> </tr> </table>		TRABAJO NO RUTINARIO	TRABAJO RUTINARIO	PLAN DE EMERGENCIAS:	Todo proceso con tareas diferentes a las diarias, y riesgos desconocidos.	Procedimiento regular, conocidos y practicados.	Llamar a la extensión 911 buscar a un brigadista e informar a un técnico de seguridad.					
TRABAJO NO RUTINARIO	TRABAJO RUTINARIO	PLAN DE EMERGENCIAS:										
Todo proceso con tareas diferentes a las diarias, y riesgos desconocidos.	Procedimiento regular, conocidos y practicados.	Llamar a la extensión 911 buscar a un brigadista e informar a un técnico de seguridad.										
<p>Firmas y Registros:</p> <table border="1"> <tr> <td>Actualizado por:</td> <td>Revisado por:</td> <td>Aprobado por:</td> </tr> <tr> <td>Ingeniero de Aseguramiento Centro de Procesamiento y empaque</td> <td>Ingeniero de Procesos Centro de Procesamiento y empaque</td> <td>Gerente de Planta Centro de Procesamiento y empaque</td> </tr> </table>		Actualizado por:	Revisado por:	Aprobado por:	Ingeniero de Aseguramiento Centro de Procesamiento y empaque	Ingeniero de Procesos Centro de Procesamiento y empaque	Gerente de Planta Centro de Procesamiento y empaque					
Actualizado por:	Revisado por:	Aprobado por:										
Ingeniero de Aseguramiento Centro de Procesamiento y empaque	Ingeniero de Procesos Centro de Procesamiento y empaque	Gerente de Planta Centro de Procesamiento y empaque										

Fuente: elaboración propia.

### 2.10.1.3. Distribución física del equipo y estudio ambiental

Para la validación del proceso, se obtuvo resultados una vez instaurado el programa de mantenimiento productivo total. Luego de la ejecución del mismo se tienen lecturas de dos meses, una vez se hizo efectivo el programa.

Figura 35. **Diseño del equipo instalado**



Fuente: elaboración propia, empleando CorelCAD 2018.

También se hizo un ordenamiento de acuerdo con el programa de 5S, que exigía en el apartado de ambiente, que se distribuyera de una forma propicia el área de trabajo.

El equipo quedó distribuido de esa forma luego del estudio y del programa de confiabilidad.

## 2.10.1.4. Hojas de seguridad MSDS

Estos documentos son hojas de seguridad que se desarrollaron para cada uno de los elementos, suministros y cualquier sustancia química industrial utilizada, tanto en la operación como en el mantenimiento. Aquí se indican las propiedades de determinada sustancia para su uso más adecuado. El principal objetivo de esta hoja es proteger la integridad física del operador durante la manipulación de la sustancia.

Figura 36. Listado de elementos almacenados y sus MSDS

LISTADO DE MSDS							L-MT-001			
General Compliance of GMPs & EOHs							Status: Implementado			
<b>Paso de Programa 5s:</b>										
Fase I	5'S - Clasificación 整理, Seiri	Separar innecesarios, Ordenamiento								
Fase II	5'S - Orden 整頓, Seiton	Situar necesarios								
Fase III	5'S - Limpieza 清掃, Seisō	Suprimir suciedad y desorden								
Fase IV	5'S - Estandarización 清潔, Seiketsu	Señalar anomalías								
Fase V	5'S - Disciplina 躰, Shitsuke	Seguir mejorando								
<b>Listado de Productos para mantenimiento, limpieza y lubricación</b>										
Ubicación: Área de inflamables										
Gabinete de Inflamables	No.	Descripción	Marca	Fabricante	Cantidad Mensual (Prom)	Unidad de Medida	Nivel de Riesgos			
							Salud	Flamabilidad	Reactividad	Especiales
	1	Make Up Cartridge MC-2BK009i	Domino	Domino	5	Lt	1	3	0	-
	2	Solvente 2301I-SLTC 1 G1-MEK	MakeUp Fluid MEK	PrintJet	5	Gal	1	3	0	-
	3	PJ-K114-WL Printjet	PJ-K114	PrintJet	5	Lt	2	3	0	-
	4	Free Molding	Genesis	Genesis Co.	15	mL	0	2	0	-
	5	Lubricante Penetrante	Citrus Power	CTS	3	Gr	2	0	0	-
	6	Ink Cartridge IC-2BK009i	Domino	Domino	8	Lt	2	3	0	-
	7	WL-200 WASH	Domino	Domino	5	Lt	1	4	0	-
	8	Tinta S8 Master IMA801i Ink	801i INK	InkJet, Ltda	10	Lt	1	3	0	-
9	Mobilgrease XHP 222	XHP	Mobil	1	Gr	2	3	0	-	
10	Pure Guard XL GEAR OIL 220	XL 220	Pure Guard	1	mL	2	3	0	-	
Ubicación: Área de Mueble de Limpieza										
Gabinete de Limpieza	No.	Descripción	Marca	Fabricante	Cantidad Mensual (Prom)	Unidad de Medida	Nivel de Riesgos			
							Salud	Flamabilidad	Reactividad	Especiales
	1	Pasta de Limpiar	Easy-Lab	LabCo	4	Gal	1	0	2	-
	2	Limpiavidrios	Don Clin	Grupo H	2	mL	0	0	0	-
	3	Acetate Rojo	Don Clin	Grupo H	1	mL	1	1	0	-
	4	Jabon Liquido Balance	Protex	Colgate-Palmolive	3	mL	2	1	0	-
	5	Desinfectante Liquido	Fabuloso	Colgate-Palmolive	2	mL	0	1	0	-
	6	Aromatizante ambiental	Don Clin	Grupo H	1	mL	1	1	0	-
	7	Recogepolvo	Duster	LabCo	1	mL	0	0	1	-
8	Multicleaner Espuma	SABO	CR-Ecotec	1	mL	1	2	0	-	
9	Polvo limpiador / detergente	Ajax	Colgate-Palmolive	1	Gr	0	0	1	-	

Fuente: elaboración propia.

Se desarrolló también para cada sustancia que se utiliza en la limpieza, lubricación y mantenimiento, para indicar los procedimientos para trabajar de una manera segura. Las hojas MSDS contienen información del producto, su rombo de seguridad y elementos propios de la sustancia como, punto de fusión, ebullición, toxicidad, efectos a la salud, reactividad, correcto almacenaje, disposición, equipo de protección EPP y cualquier otra información concerniente.

Figura 37. Documento MSDS



Product Name: MOBILGREASE HP 222  
 Revision Date: 25Apr2007  
 Page 1 of 6

---

### MATERIAL SAFETY DATA SHEET

**SECTION 1 PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION**

**PRODUCT**  
 Product Name: MOBILGREASE HP 222  
 Product Description: Base Oil and Additive  
 Product Code: 2015A0104030, 530311-00, 877504  
 Intended Use: Grease

**COMPANY IDENTIFICATION**  
 Supplier: EXXON MOBIL CORPORATION  
 3925 GALLOWS RD.  
 FARRIS, VA, 22607 USA  
 24 Hour Health Emergency: 800-737-4411  
 Transportation Emergency Phone: 800-424-8300  
 Emergency Transportation No: 281-634-2500  
 MSDS Requests: 713-913-3881  
 Product Technical Information: 800-892-4325, 800-947-8147  
 MSDS Internet Address: <http://www.exxon.com>, <http://www.mobil.com>

---

**SECTION 2 COMPOSITION / INFORMATION ON INGREDIENTS**

Reportable Hazardous Substance(s) or Complex Substance(s)		
Name	CAS#	Concentration*
ZINC DIALKYL DITHIOPHOSPHATE	82-67-2-4	1-5%

\* All concentrations are percent by weight unless material is a gas. Gas concentrations are in percent by volume.

---

**SECTION 3 HAZARDS IDENTIFICATION**

This material is not considered to be hazardous according to regulatory guidelines (see (M)SDS Section 15).

**POTENTIAL HEALTH EFFECTS**  
 Low order of toxicity. Excessive exposure may result in eye, skin, or respiratory irritation. High-pressure injection under skin may cause serious damage.

**ENVIRONMENTAL HAZARDS**  
 Harmful to aquatic organisms, may cause long-term adverse effects in the aquatic environment.

NFPA Hazard ID:	Health: 0	Flammability: 1	Reactivity: 0
HMS Hazard ID:	Health: 0	Flammability: 1	Reactivity: 0

**NOTE:** This material should not be used for any other purpose than the intended use in Section 1 without expert advice. Health studies have shown that chemical exposure may cause potential human health risks which may vary from person to person.

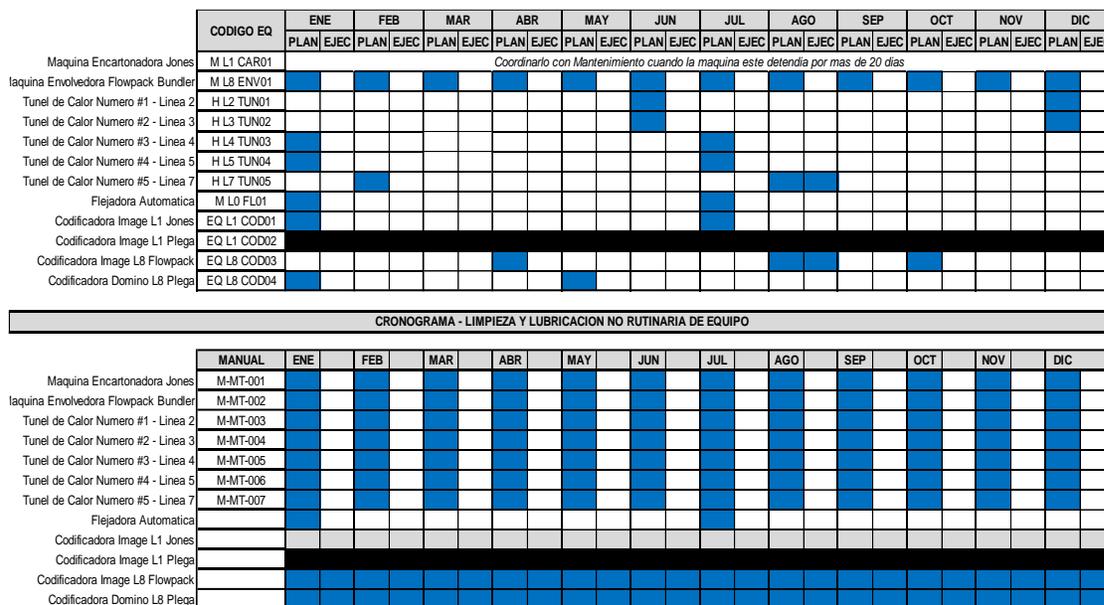
Fuente: ExxonMobil MSDS. Mobilgrease XHP 222. Hoja de seguridad de productos (MSDS). <https://idoc.pub/download/mobilgrease-xhp-222-msdspdf-1d47zy9ejjn2>. Consulta: septiembre de 2019.

Cabe mencionar que, en estos procesos para esta máquina, los niveles son prácticamente muy bajos, por lo que no se requiere una brigada de seguridad, únicamente el cumplimiento a cabalidad de estos requerimientos.

### 2.10.2. Pilar 2: mantenimiento autónomo

El mantenimiento autónomo es una filosofía de trabajo que está enfocada por actividades que se realizan diariamente por el operario del equipo. Estas actividades incluyen la inspección de la maquinaria, su lubricación, la limpieza tanto del área de trabajo como del equipo mismo y cualquier intervención menor, como el reemplazo de piezas o ajustes. Para la realización de los mantenimientos autónomos y los programados, se desarrolló el cronograma a continuación.

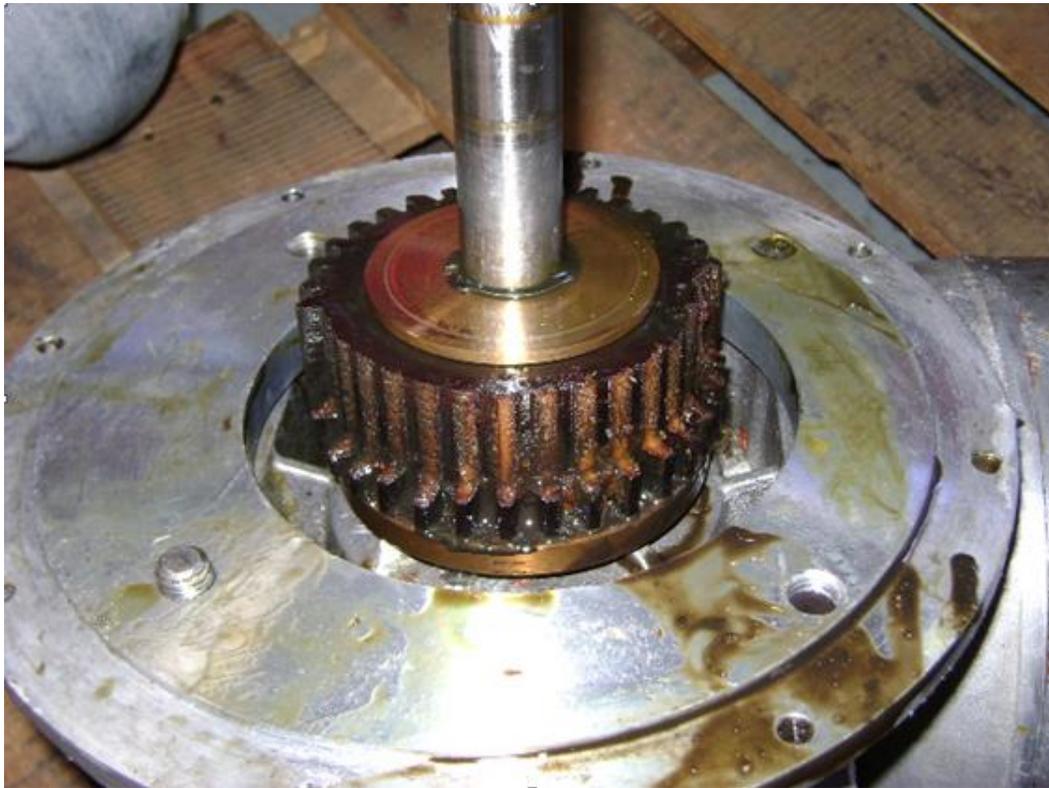
Figura 38. Cronograma de actividades de mantenimiento



Fuente: elaboración propia.

Está enfocado directamente con la operación del equipo, y debido a que son los operarios los que más interactúan, ellos son quienes lo ejecutan. Se ejecuta antes de cada turno una limpieza rutinaria del equipo y cada mes la limpieza no rutinaria del equipo.

Figura 39. **Pieza del eje en limpieza y lubricación antes de la instalación**



Fuente: elaboración propia.

La ejecución de las tareas de lubricación está acorde a las tablas y fichas de lubricación que se emitieron a continuación. Los documentos se detallan en el apartado dedicado a documentación.

### **2.10.2.1. Limpieza rutinaria del equipo**

Su objetivo es la limpieza del equipo diariamente antes de cada turno de operación de producción. También debe aplicarse lubricante en los puntos de lubricación donde se indique que es quincenal.

- Limpiar la superficie de las mesas de trabajo, con un *wipe* limpio y humedecido con desinfectante.
- Sacudir de polvo los equipos, máquina y superficies de trabajo.
- Limpiar el piso con una escoba y sacar basura y polvo del área de trabajo.
- Cuando aplique, cambiar las bolsas con la basura previamente clasificada para su reciclado y llevarlas al área asignada.

Para el equipo codificador, se ejecuta de la forma siguiente:

- Colocar codificadora en modo “mantenimiento”.
- Parar chorro.
- Cerrar llave.
- Colocar cabezal en posición vertical.
- Rosear solvente en el cabezal mediante la piseta.
- Soplar el cabezal con la perilla para secar solvente.
- Arrancar chorro.

- Verificar que el chorro de tinta esté alineado en el recuperador.
- Parar chorro.
- Colocar cabezal en su lugar.
- Abrir la llave.

Para la limpieza y desobturación del cabezal de impresión

- Colocar codificadora en modo “mantenimiento.”
- Limpiar el cabezal.
- En la opción estado de chorro, validar la función “desobturación de bus”.
- Validar la función “Introducir solvente” durante 3 minutos.
- Validar la función “desobturación de bus” nuevamente.
- Secar con una perilla.
- Arrancar chorro. Repetir los pasos anteriores si aún existen problemas de obturación.

#### **2.10.2.2. Limpieza NO rutinaria del equipo**

Su objetivo es mensualmente una limpieza más profunda del equipo completo, para su correcto mantenimiento. Se dispone del primer lunes de cada mes para su ejecución. El tiempo es nominalmente de 2 horas entre la finalización del primer turno y el inicio del segundo.

- Bloquear el equipo
- Sacar el material que se encuentre en el interior de la máquina
- Limpiar parte interior y exterior de la máquina con un *wipe* humedecido

- Limpiar guardas con un *wipe* humedecido
- Limpiar banda transportadora con un pedazo de *wipe* humedecido con desinfectante.
- Limpiar la codificadora, con un trozo de wipe seco, no utilizar ningún tipo de líquido para evitar dañar los componentes electrónicos. La limpieza de la codificadora se ejecuta de forma separada.
- Colocar el engrasante lubricante en los puntos de lubricación definidos e identificados en la máquina, de acuerdo con las cartas de lubricación.
- Cerrar y asegurar guardas.

Figura 40. SOP Limpieza no rutinaria del equipo

Standard Work Instructions		FP&R	I-OP-001									
		<b>Limpieza NO rutinaria/ordinaria de Máquina Flowpack</b> Documento tipo: Operativo Emisión por: QM Análisis de Documentación Actualizado por: QM Ingeniería de Asesoramiento Programa de Apoyo: FP&R Revisado por: Ingeniero de Procesos Alcanza: Centro Regional de Ofertas Objetivo: Manuales Prácticos de Manufactura Emisión: 2019 Última Actualización: Septiembre 2019 Estado: Activo Soporte: P-OP-005 Frecuencia: Previsión a Producción Versión: 2.0 Control: EPM										
Fecha de liberación: Agosto/2019 Tiempo estimado: 5 a 10 minutos		Fecha de liberación: Agosto/2019 Tiempo estimado: 5 a 10 minutos										
Aprobado para su uso por: STAFF de Ingeniería en Centro de procesamiento y empaque												
<b>Pre-Checks</b> <input type="checkbox"/> Verificar que el equipo se encuentre correctamente bloqueado.		<b>Herramientas y Materiales Requeridos</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Cantidad</th> <th>Descripción</th> <th>Peso</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>Wipe</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Desinfectante</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Cantidad	Descripción	Peso		Wipe			Desinfectante	
Cantidad	Descripción	Peso										
	Wipe											
	Desinfectante											
<b>Recordatorios Claves</b> EPP necesario para la operación:  No debe utilizarse teléfono celular durante la operación de la máquina. Usar checklist de limpieza o diagrama máquina envolvedora Flowpack. Seguir los procedimientos de bloqueo y etiquetado máquina envolvedora Flowpack.												
<b>Pases e Instrucciones.</b>		<b>1. Limpieza ordinaria de máquina</b>										
1.1 Bloquear el equipo. 1.2 Sacar el material que se encuentre en el interior de la máquina. 1.3 Limpiar parte interior y exterior de la máquina con un wipe humedecido. 1.4 Limpiar guardas con un wipe humedecido. 1.5 Limpiar banda transportadora con un pedazo de wipe humedecido con desinfectante. 1.6 Limpiar la codificadora y UPC con un trozo de wipe seco, no utilizar ningún tipo de líquido para evitar dañar los componentes electrónicos.		1. Limpieza ordinaria Flowpack 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 Limpieza de envolvedora Flowpack  1.5 Limpieza de banda transportadora 										
<b>Información Suplementaria</b> Después de finalizar este procedimiento revisar guardas. TRABAJO NO RUTINARIO: Todo proceso con tareas diferentes a las diarias y riesgos desconocidos. TRABAJO RUTINARIO: Procedimiento regular, conocido y practicado. PLAN DE EMERGENCIAS: Llamar a la extensión 911 buscar a un brigadista e informar a un técnico de seguridad.												
<b>Firmas y Registros:</b> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Actualizado por:</th> <th>Revisado por:</th> <th>Aprobado por:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ingeniero de Asesoramiento Centro de Procesamiento y empaque</td> <td>Ingeniero de Procesos Centro de Procesamiento y empaque</td> <td>Gerente de Planta Centro de Procesamiento y empaque</td> </tr> </tbody> </table>				Actualizado por:	Revisado por:	Aprobado por:	Ingeniero de Asesoramiento Centro de Procesamiento y empaque	Ingeniero de Procesos Centro de Procesamiento y empaque	Gerente de Planta Centro de Procesamiento y empaque			
Actualizado por:	Revisado por:	Aprobado por:										
Ingeniero de Asesoramiento Centro de Procesamiento y empaque	Ingeniero de Procesos Centro de Procesamiento y empaque	Gerente de Planta Centro de Procesamiento y empaque										

Fuente: elaboración propia.

### **2.10.2.3. Herramientas para ejecución del mantenimiento autónomo**

Para el mantenimiento autónomo del equipo *flowpack bundler* se incluyen las siguientes herramientas y utensilios, las cuales deberán permanecer dentro del gabinete de utensilios de forma ordenada, identificada y en buen estado:

- Llaves hexagonales en pulgadas
- Llaves de cola en pulgadas
- Llaves de cola-corona
- Llaves Allen
- Llave inglesa
- Pistola para lubricar
- Utensilios generales de limpieza
- Piceta de limpieza de codificadora
- Perilla de secado

Existen algunas actividades del cuidado y mantenimiento de la máquina que, si bien no son parte propio del programa, si se deben ejecutar para el cuidado preventivo del equipo, como la aplicación de pintura o reemplazo de partes.

Figura 41. Pintura de la máquina para su mantenimiento y cuidado



Fuente: elaboración propia.

#### **2.10.2.4. Stock de repuestos y suministros**

Es necesario contar con un stock de suministros y consumibles para la realización del mantenimiento autónomo, es importante considerar de la misma forma, repuestos de recambio rápido y que no requieren mayor complejidad en cambio a su reemplazo en la máquina. Por lo tanto, se identificó la lista siguiente

de suministros y el stock sugerido para su almacenamiento y uso en los mantenimientos autónomos del equipo.

Tabla IX. Detalle de suministros para mantenimiento autónomo

**Utilizacion aproximado de suministros para operación y mantenimiento autonomo**

Marca **Pester-Pac**  
Modelo **PEWO-250**  
Cantidad **1**

Codigo de Equipo  
**M-L18-EN01**

Codigo	Tipo	Descripcion	Periodicidad	Cantidad aprox/mes	Unidades	Stock
Suministros	Grasa	Mobilgrease XHP 222	Quincenal	0.50	Tubo	2.00
Servicio cuchillas	Afilamiento	Servicios de mantenimiento AÑO	Anual	1.00	N/A	N/A
Repuestos	Rodamiento	Rodamientos SEMESTRAL	Semestral	15.00	Unidades	15.00
Repuestos	Lubricante	Pure Guard XL GEAR OIL 220	Quincenal	1.00	Lata	2.00
Repuestos	Resistencias	Resistencias electricas	Semestral	4.00	Unidades	4.00
Suministros	Aislante	Teflon	Quincenal	1.00	Rollo	1.00
Suministros	Limpieza	Wipe	Quincenal	1.00	Paquete	1.00
Suministros	Limpieza	Desinfectante	Quincenal	0.50	Galon	1.00

Marca **Image**  
Modelo **S8 Master**  
Cantidad **1**

Codigo de Equipo  
**C-L18-CO08**

Codigo	Tipo	Descripcion	Periodicidad	Cantidad aprox/mes	Unidades	Stock
2301I-SLTC 161-MEK	Solvente	MakeUp Fluid MEK	Mensual	3.00	Contenedor	4.00
WASH	Solvente	MakeUp Fluid MEK	Mensual	1.00	Contenedor	2.00
801i INK	Tinta	Tinta S8 Master IMA801i Ink	Mensual	0.50	Contenedor	1.00

Fuente: elaboración propia.

Cabe mencionar, que es los elementos de uso para limpieza, como lo son desinfectante o limpiadores químicos, no se contemplan en este stock, ya que estos se utilizarán diariamente y deberán reponerse conforme su uso. Adicional que no representa un riesgo para el equipo ni los trabajadores, el mantenerlos dentro del mueble de equipo de limpieza. Se considerará la revisión y buen estado de las hojas de seguridad o MSDS para los químicos y sustancias que puedan representar un riesgo para los operarios. Las MSDS son hojas de

seguridad que indican el rombo de seguridad, el nivel de toxicidad de la sustancia y el tratamiento que podría hacerse como medida de mitigación de primeros auxilios en caso de un incidente.

#### **2.10.2.5. Cartas de lubricación**

Se desarrollaron cartas de lubricación acorde a los requerimientos del fabricante, de igual forma se hizo un diagnóstico de la grasa utilizada y su influencia en el desempeño de la máquina.

Figura 42. **Eje y cadenas del mecanismo principal previo a lubricación**



Fuente: elaboración propia.

Esto debe considerarse para el correcto desempeño del mantenimiento de la máquina. Se identificó los puntos de lubricación, y adicional se les coloco una etiqueta con la forma y color de la tarea, para facilitar a los encargados del mantenimiento su correcta aplicación y que la utilización sea intuitiva y fácil de entender.

Figura 43. Carta de lubricación máquina PEWO-250

<b>CARTA DE LUBRICACION</b>		<b>FORMATO:</b>	<b>R-MT-010</b>				
<i>CLEANING AND NON-ROUTINE LUBRICATION OF EQUIPMENT</i>		<i>Status: Implementado</i>					
<b>Paso de Programa 5s:</b>							
<b>Fase I</b>	5'S - Clasificación 整理, Seiri	Separar innecesarios, Ordenamiento					
<b>Fase II</b>	5'S - Orden 整頓, Seiton	Situar necesarios					
<b>Fase III</b>	5'S - Limpieza 清掃, Seisō	Suprimir suciedad y desorden					
<b>Fase IV</b>	5'S - Estandarización 清潔, Seiketsu	Señalar anomalías					
<b>Fase V</b>	5'S - Disciplina 躰, Shitsuke	Seguir mejorando					
		<b>Codigo de Equipo</b>	M-L18-EN01				
		<b>Tarjeta Naranja No.:</b>					
		<b>Registro de Equipo:</b>					
<b>Documento tipo:</b> Operativo <b>Distribucion:</b> Controlada <b>Programa de Apoyo:</b> EOHS, FP&R <b>Alcance:</b> Maquina flowpack bundler <b>Objetivo:</b> Registros de Mantenimiento <b>Emission:</b> Agosto de 2019 <b>Soporte:</b> P-MT-003 <b>Version:</b> 1.0		<b>Emitido por:</b> QA Analista de Documentacion <b>Actualizado por:</b> QA Ingeniero de Aseguramiento <b>Revisado por:</b> Ingeniero de Procesos <b>Autorizado por:</b> Gerente de Planta <b>Vigencia:</b> Activo <b>Ultima Actualizacion:</b> Agosto de 2019 <b>Frecuencia:</b> Acorde a cronograma <b>Control:</b> BPM					
No.	Parte	Cantidad de Componentes	Lubricante	Frecuencia	Cantidad aplicada	VISCOSIDAD (ISO)	Tipo de Lubricante
1	Levas	5	Mobilgrease XHP 222	Quincenal	1 película	220	Complejo de Litio
2	Cadenas de contrapeso	1	Lubricante en aerosol Kem	Quincenal	1 película	----	----
3	Cadenas de rodos que jalan la bobina	1	Lubricante en aerosol Kem	Quincenal	1 película	----	----

Fuente: elaboración propia.



#### **2.10.2.6. Jornada de tarjeta problema**

Durante la ejecución de las actividades NO rutinarias de limpieza y lubricación del equipo, se identifican piezas, equipos, guardas, herramientas, mobiliario o cualquier pieza de la máquina que se encuentre defectuosa o que sea susceptible a ocasionar algún fallo o complicación al equipo. El objetivo del programa autónomo es alargar la vida útil de la máquina, a través de operaciones prácticas y sencillas, en este programa se pretende identificar las posibles mejoras en las condiciones y operación de la máquina, es por eso que se debe identificar con una etiqueta problema, cualquier posible fuente de variación de la operación del equipo.

Durante las jornadas de limpieza y lubricación NO rutinarias, mientras el equipo está bloqueado, o en situaciones extraordinarias, como por ejemplo un daño al equipo o parte del mismo, se coloca una etiqueta problema, la cual es llenada por el encargado del equipo, regularmente. Esta etiqueta no es más que una identificación correlativa de los fallos detectados o reportados, colocando encima o en alguna parte del elemento reportado, para que este sea identificado. Esto permite que a una inspección visual se vea que hay un reporte, para mejora de la máquina, en el lugar mismo donde ha sido reportado. Con el fin de mantener presente el seguimiento del mismo.

La diferencia con la tarjeta problema es que se utiliza para situaciones que requieren de urgencia o que deben ser atendidas con mayor prioridad por parte de los encargados de mantenimiento. Esta tarjeta se administra a través del ingeniero de procesos de la planta, que es el padrino del área, concepto que fue definido en el pilar 3. La tarjeta problema se coloca en la máquina donde se

reporta el problema y administrativamente se lleva una lista con el numero correlativo correspondiente, esto con el fin de mantener un seguimiento de las tarjetas abiertas, en proceso o cerradas, permitiendo así, tener un seguimiento real de las condiciones de la máquina.

Figura 45. Tarjeta problema de TPM

<b>TARJETA PROBLEMA TPM</b>		<b>No.: 00001</b>									
<i>PROBLEM REPORT</i>		<i>Status: Implementado</i>									
<b>Paso de Programa 5s:</b>		Encargado de Maquina:									
<b>Fase I</b>	5'S - Clasificación 整理 Seiri	Separar innecesarios, Ordenamiento	<input type="text"/>								
<b>Fase II</b>	5'S - Orden 整頓 Seiton	Situar necesarios	Reportado por:								
<b>Fase III</b>	5'S - Limpieza 清掃 Seisō	Suprimir suciedad y desorden	<input type="text"/>								
<b>Fase IV</b>	5'S - Estandarización 清潔 Seiketsu	Señalar anomalías	Fecha:								
<b>Fase V</b>	5'S - Disciplina 躰 Shitsuke	Seguir mejorando	<input type="text"/>								
<input type="checkbox"/> Cero Averías <input type="checkbox"/> Cero Accidentes <input type="checkbox"/> Cero Defectos			Turno:								
		Pilar de TPM:	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td> </tr> </table>	1	2	3	4	5	6	7	8
1	2	3	4	5	6	7	8				
<b>PRIORIDAD DEL REPORTE</b>											
<b>A</b>	Prioridad A - Urgente: Debera solucionarse en 24 horas										
<b>B</b>	Prioridad B - Media: Debera solucionarse como maxima en quince días										
<b>C</b>	Prioridad C - No urgente: Debera solucionarse como maxima en treinta días										
<b>TIPO DE ANORMALIDAD</b>		<b>LUGAR DEL REPORTE</b>									
Derrame de Lubricante, suciedad atípica <input type="checkbox"/> Ruidos o rozamientos entre metales <input type="checkbox"/> Vibraciones <input type="checkbox"/> Piezas quebradas o con desgaste inesperado <input type="checkbox"/> Parte de la maquina deteriorada, pintura o ruptura <input type="checkbox"/> Temperatura elevada <input type="checkbox"/> Otras condiciones anormales <input type="checkbox"/>		<input type="text"/>									
		<b>RECIBIDO POR</b>									
		<input type="text"/>									
<b>DESCRIPCION DEL PROBLEMA DETALLADO</b>											
<input type="text"/>											

Fuente: elaboración propia.

### 2.10.2.7. Evaluación de la grasa utilizada en el mantenimiento

En este apartado se detectó una variable que posiblemente influía en el fallo 4, ya que, al realizar la limpieza inicial de la jornada de implementación, se detectó que los operarios y mecánicos de la máquina utilizaban una grasa genérica para la lubricación de los equipos.

Se hizo una corrida de dos meses, después de la implementación del mantenimiento autónomo utilizando la grasa sugerida por el fabricante, para ver si es determinante en la contribución de los fallos registrados por la máquina.

Cabe destacar también, que el equipo funcionó luego de una limpieza profunda, ajustes de las piezas mecánicas y reemplazo de piezas desgastadas, adicional de la aplicación de la grasa sugerida.

Tabla X. **Identificación de los tratamientos evaluados**

Tratamiento A							
No.	PARTE	CANTIDAD COMPONENTES	LUBRICANTE	FRECUENCIA	CANTIDAD	VISCOSIDAD (ISO)	TIPO LUBRICANTE
1	Levas	5	Grasa grafitada generica base aceite recuperado	Mes	1 película		Grasa grafitada base calcica
Tratamiento B							
No.	PARTE	CANTIDAD COMPONENTES	LUBRICANTE	FRECUENCIA	CANTIDAD	VISCOSIDAD (ISO)	TIPO LUBRICANTE
1	Levas	5	Mobilgrease XHP 222	Quincenal	1 película	220	Complejo de Litio

Fuente: elaboración propia.

Las grasas grafitadas, cuando son de alta calidad, regularmente se realizan con base cálcica (jabón de 12 hidroxistearato de calcio), aceites minerales y un agregado de grafito, lo que incrementa la resistencia a la extrema presión.

El equipo no está sometido a presiones y temperaturas con condiciones fuertes, por lo que se asumió que este tipo de grasa presta buenas características, además de reducir la fricción y el desgaste.

Cuando el tipo de aceite que se utiliza, está realizado con productos formulados con aceites recuperados, las condiciones cambian en cuanto a que puede provocar diversos problemas en las piezas, desde corrosión hasta fallas tempranas en la lubricación, debido a que la base de la grasa, presenta un avanzado estado de oxidación. Sin embargo, en la máquina se utiliza porque se asume que no presta mayor diferencia en cuanto al desempeño, por costos y porque aparentemente no está sometida a condiciones extremas en la operación. Su color es de un negro oscuro.

Esta es la grasa que se utilizaba antes de la prueba, se le definirá como tratamiento A. El fabricante recomienda que se utilice grasa de base litio, ya que proporciona mejor estabilidad y poder lubricante. Adicional a ello, presta un desempeño mejor y posee características de insolubilidad.

Esta grasa se caracteriza por su excelente propiedad antioxidante y características anti herrumbres, lo que provoca una protección adicional al equipo. Un factor adicional es que, para el proyecto de mantenimiento productivo total, se utilizó grasa de pigmento verde azulado, lo que permite apoyar a las revisiones visuales periódicas que el programa contempla, ya que al observar

que la grasa se ha tornado a un color oscuro, es un indicador que hay que tomar en cuenta para la lubricación del equipo y comprobar su periodicidad.

Para el tratamiento B, se consideró la grasa Mobilgrease XHP-220 Que es la que se recomienda por el fabricante. Estas son una serie de grasas para servicio prolongado fabricadas a base de un complejo de litio y están diseñadas para una amplia gama de aplicaciones industriales, tanto complejas como de operación o esfuerzo menos riguroso, incluso en condiciones operativas severas.

Este tipo de grasas están formuladas en forma tal, que proporcionan un desempeño excelente a altas temperaturas con una adherencia, estabilidad estructural y resistencia a la contaminación por agua superiores al tipo convencional.

Sus características de desempeño hacen de este tipo de grasas, una opción en condiciones de operación con cambios y altas temperaturas, incluso si se tiene contaminación por agua, cargas de impacto y operaciones con intervalos prolongados de re-lubricación.

“Estas grasas poseen un alto nivel de estabilidad química, y además ofrecen una excelente protección contra la herrumbre temprana de los equipos y la corrosión que se pueda presentar a causa de una lubricación incorrecta. Las condiciones de operación de estas grasas oscilan los 140 °C (284 °F), según la hoja de información de productos del fabricante.”<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Mobilgrease XHP 222. Hoja de información de productos (PDS). <https://www.mobil.com.mx/esMX/lubricantes/commercial-products/mobilgrease-xhp-222/>.

- Análisis de varianza para dos tratamientos

La prueba de hipótesis con el diseño de diferencia para la media de datos pareados, es el modelo estadístico que se utilizó para comprobar si existe diferencia entre las dos varianzas.

Este análisis permite establecer si dos tratamientos son significativamente diferentes entre sí.

Tabla XI. **Prueba de *t-student* para la diferencia de tratamientos**

Two-Sample T-Test and CI: A; B

Method

$\mu_1$ : mean of A

$\mu_2$ : mean of B

Difference:  $\mu_1 - \mu_2$

*Equal variances are assumed for this analysis.*

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
A	92	21,2	12,2	1,3
B	92	12,9	11	1,1

Estimation for Difference

Difference	Pooled StDev	95% CI for Difference
8,22	11,62	(4,84; 11,60)

Test

Null hypothesis  $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Alternative hypothesis  $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

T-Value	DF	P-Value
4,8	182	0

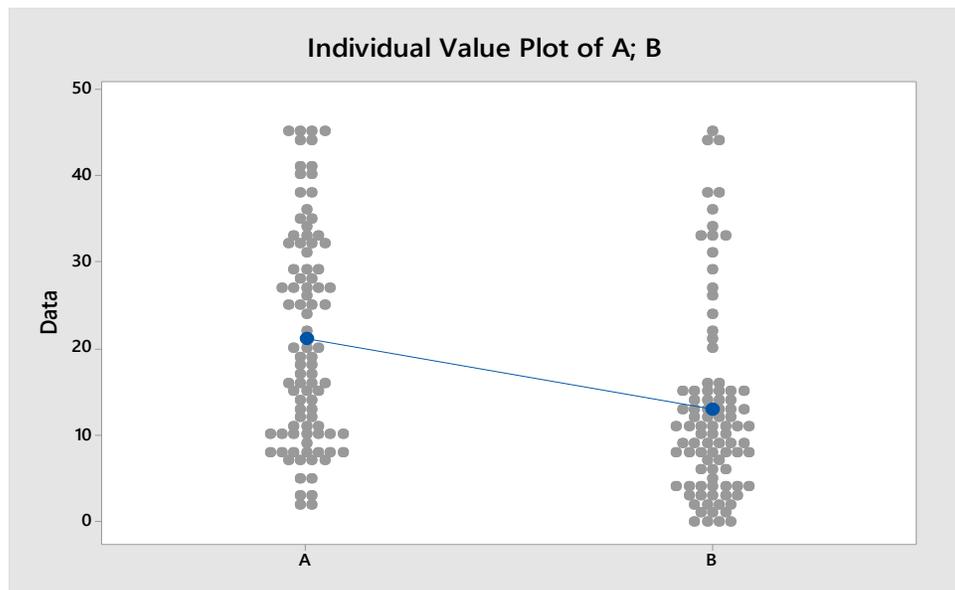
Individual Value Plot of A; B

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

A un nivel de confianza del 95 %, se puede concluir lo siguiente:

- Si existe una diferencia entre el tratamiento A y B. Por lo que estadísticamente se concluye que la hipótesis nula se rechaza.
- Se acepta que la grasa B, es mejor asumiendo un nivel del 5 % de cometer el error  $\alpha$  del experimento.
- Se acepta la hipótesis alternativa, que dicta que  $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$ .
- Dado que el valor P es menor al nivel de significancia del experimento, se considera que, si hay diferencia entre el tratamiento B y que es mejor utilizar la grasa propuesta por el fabricante y continua con el mantenimiento productivo total, para el mejoramiento del desempeño de la máquina.

Figura 46. **Gráfico de la dispersión de datos para ambos tratamientos**



Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

### **2.10.3. Pilar 3: mejoras enfocadas (*kobetsu kaizen*)**

Este pilar desarrolla el proceso de mejora a través de identificar y eliminar la causa raíz de los problemas que puedan surgir en el equipo. Este pilar aporta la metodología que busca llegar a la raíz de los problemas identificados y que permita a su vez, identificar cualquier elemento o factor a mejorar. Se hace a través de definir estos elementos o factores de mejora como metas y contemplar el tiempo para lograrlo. Un valor agregado es que busca transferir el conocimiento adquirido, durante la ejecución de acciones de mejora, hacia los demás operadores.

Estas son actividades que se desarrollan con la intervención de todas las áreas comprometidas en el proceso productivo, tanto mantenimiento, planificación, ingeniería y por supuesto operaciones. Su objeto es maximizar la efectividad global, inicialmente del equipo involucrado *flowpack bundler* Pewo-250, que es el target de estudio, los demás equipos, todos los procesos involucrados y finalmente la planta.

El proyecto abarco únicamente el equipo de estudio, sin embargo, es necesario que se integre toda la planta de producción, ya que esto se complementa y perfecciona a través de un trabajo organizado en equipos funcionales e interfuncionales, de hecho, se emplea la metodología específica y su fin es centrar la atención en la eliminación de cualquiera de las seis pérdidas existentes en la planta.

Cabe mencionar que estas son las bases para una metodología “*Just in Time*” en los procesos de producción, mantenimiento, inventarios y compras, tiempos de entrega y muchos otros beneficios integrados.

### **2.10.3.1. Estudio continuo de las seis pérdidas existentes del proceso por fallos**

La metodología exige que se revisen continuamente las seis pérdidas existentes del proceso productivo, que se da principalmente por fallos del equipo y que seguramente repercute en los demás procesos involucrados o interrelacionados con el equipo de estudio. La mejora de la efectividad del equipo, tiempos de respuesta, costos involucrados y tiempo, se obtiene eliminando las denominadas “Seis Grandes Pérdidas” que interfieren con la operación y que busca eliminar el Mantenimiento Productivo Total, es de suma importancia considerar de forma continua, los puntos que se identificaron durante el análisis que se dio en el equipo de estudio.

- Perdida 1: fallos o paros del equipo, esto produce pérdidas de tiempo inesperadas, no planificadas y que interfieren directamente con planificación.
- Perdida 2: puesta a punto y ajustes de la máquina no planificados, esto también produce pérdidas de tiempo, sobre todo se da al iniciar una nueva operación, cambio de formato o turno.
- Perdida 3: tiempos de espera y detenciones menores durante la operación, de hecho, la máquina en operación y condiciones normales debería producir de forma continua, y estos problemas producen pérdidas de tiempo, ya sea por falta de producto, materiales o por problemas con el

personal. Este paro no debería suscitarse de ninguna forma, ya que el encargado de la máquina debe percatarse que se den todas las condiciones favorables para que el equipo opere con normalidad.

- Perdida 4: velocidad de operación reducida o con limitantes, esto produce pérdidas de tiempo y baja eficiencia, al no obtenerse la velocidad operativa que el equipo tiene por diseño del proceso. Se da debido a que no se cuenta con las condiciones de limpieza correctas.
- Perdida 5: defectos en el proceso, al considerar los reprocesos como parte del mismo, y el tener que aceptar que el desarmar producciones rechazadas, mal procesadas o defectuosas, para su reproceso como parte de la “solución” que se daba, este apartado pretende que se elimine esta opción o se reduzca al mínimo, ya que al producir defectuosamente, no solo se obtienen pérdidas de tiempo, al tener que volver a producir las piezas rechazadas, sino se incurre en desperdicio de materiales, gastos adicionales de energía, consumibles, horas hombre y también el tener que completar actividades no terminadas.
- Pérdida 6: pérdidas de tiempo propias del proceso con personal nuevo o cambio de formato productivo, estos paros se daban debido a la puesta en marcha de un proceso nuevo, una prueba o ajuste de la máquina al cambio de formato, en este caso del tamaño de la pieza, o por personal mal entrenado o con poca capacidad y expertíz. En el entrenamiento se solvento este problema, pero es importante que la continuidad del mismo se dé indefinidamente, los entrenamientos constantes y que se mantenga la documentación que respalda la operación de la máquina.

El programa de mantenimiento productivo total TPM, consideró e identificó las seis fuentes de pérdidas, que disminuyen la eficiencia por fallos y falta de confianza operativa del equipo. Para evitar estas pérdidas es preciso que se

realicen las actividades que el programa definió, y que se mantenga continuamente un análisis cuidadoso y detallado, de cada una de estas causas de reducción de la productividad. Esto permite encontrar las soluciones convenientes durante el proceso productivo, para eliminarlas o reducirlas al mínimo, e identificar los medios para implementar las medidas correctivas, de ser necesario. Para ello fue de suma importancia, que el análisis se haga siempre con el personal entrenado, en el mismo equipo y que esté involucrado, tanto por el personal de producción como por el de mantenimiento, la identificación futura de problemas que puedan causar una disminución en la productividad, son generales y las soluciones que se propongan deben ser adoptadas en forma integral para que sean exitosas.

#### **2.10.3.2. Reuniones de grupos autónomos de trabajo para mejora y seguimiento**

Se calendarizo de forma mensual, en este caso tercer viernes de cada mes, para que se realice de forma continua una reunión que permita al equipo autónomo de trabajo y mantenimiento de la máquina, revisar el seguimiento de las mejoras, propuestas de mejora continua y cualquier tópico adicional que se requiera para el desempeño correcto del equipo. Se diseñó una herramienta para que se ejecute esta reunión, utilizando no más de 15 minutos para su ejecución. Para esto se diseñó el equipo con roles y responsabilidades, definidas para su correcta ejecución de la forma siguiente.

- Rol 1: gerencia / administración, su rol principal es el seguimiento de avances, realizar auditorías para comprobar su ejecución, revisión de los KPIs de cumplimiento. Su principal aporte es implantar el liderazgo y

empoderamiento del equipo, la obtención inmediata de presupuesto y recursos adicionales y sobre todo demostrar el compromiso que se tiene para alcanzar los objetivos del programa.

- Rol 2: padrino de área, el concepto de padrino de área, es que esta persona, regularmente del staff administrativo, se encarga de vincular entre la parte administrativa y la gerencia. Para el proyecto se designó al ingeniero de procesos, como padrino del área y se espera que el concepto sea trasladado al resto de equipo y a la planta completa. Su rol y responsabilidad se centran en canalizar, filtrar y detallar todas las propuestas de mejora propuestas por el grupo autónomo de trabajo, a través del líder, y su responsabilidad se basa en asegurar el cumplimiento de la ejecución de las reuniones. Su labor en el grupo autónomo, es el informar sobre progresos, resultados, desarrollar y publicar los KPIs y sugerir las actividades que sean necesarias. Quizás la labor más importante del padrino de área es de darle el tratamiento a todas las etiquetas problema reportadas en su jurisdicción.
- Rol 3: líder, regularmente es el encargado de la máquina o encargado del personal del turno. Se dio este rol a esta persona ya que es responsable de las tareas específicas, como la producción y la responsabilidad del turno. Para el grupo autónomo, es la pieza fundamental en la ejecución del mismo, y son las personas que se destacan, no solo por su puesto, sino por su compromiso, capacidad técnica, liderazgo y conocimientos propios del equipo. Él es quien asigna a un secretario o la persona que llevara la minuta de reunión, dentro del equipo. Este secretario deberá ser rotativo en cada reunión del grupo. Esta persona también se encarga de la ejecución y la delegación de tareas. Se responsabiliza del llenado de tarjetas problema, aporta ideas y propone soluciones. Se encarga también del reporte de problemas a su padrino de área.

- Rol 4: apoyo, este es un rol rotativo para cada uno de los miembros del grupo autónomo. Cabe mencionar que todos y cada uno de los operarios pueden y deben estar en algún momento en este desempeño. El apoyo es la persona que está en el grupo autónomo, para realizar cualquier tarea asignada. Aporta información sobre problemas e ideas para mejorar. Adicional que es quien ejecuta las operaciones de limpieza y lubricación de la máquina, en las formas rutinarias y no rutinarias. Cuando un operario es apoyo, no solo ejecuta todas las tareas como el resto sino también vela porque se realicen correctamente. Esto incluye la ejecución de limpieza y lubricación, mantener las áreas ordenadas, uso correcto de instalaciones y de su EPP, depositar correctamente los desechos y cuando sea asignado ser el secretario y llevar la minuta de la reunión de grupo.

### **2.10.3.3. Herramientas para el apoyo del personal**

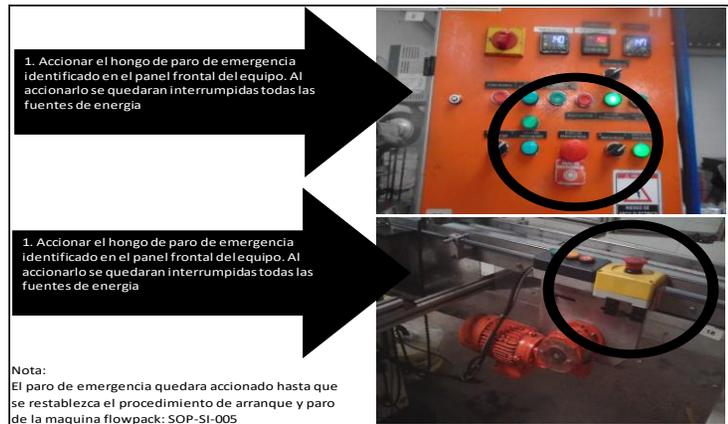
Para este caso, también se dejó una herramienta muy útil en el área de trabajo, con el fin de poder transmitir los conocimientos de operación, mantenimiento autónomo y cualquier otra necesidad que se tenga en los puntos de producción. La herramienta seleccionada es lecciones de un punto o LUP.

- Lecciones de un punto LUP: esta útil herramienta se definió para el uso en las líneas de producción, específicamente en la máquina *flowpack bundler*, que es el target de estudio del proyecto. Se desarrollaron seis herramientas LUP, y se detallan a continuación.
  - LUP para recambio de tinta en codificadora: este se hizo para que, en cinco sencillos pasos, se logre recambiar la tinta o colocar el cartucho. Se tiene un SOP específico y detallado de este proceso,

sin embargo, el LUP lo que busca es la practicidad en el área de operación para un proceso rutinario del equipo.

- LUP para cambio de fecha y lote automático: en la codificadora se realizó para tener la noción del cambio de fecha y lote (el cual cambia automáticamente), con el fin de corregir, de ser necesario, cualquiera de los datos mencionados.
- LUP para cambio de bobin: el cambio de bobina se efectúa de tres a cuatro veces por turno, es importante que todos tengan el conocimiento a la mano, de cómo hacer una tarea rutinaria de la operación.
- LUP para limpieza ordinaria de máquina: contrario al SOP que se tiene definido para este proceso, el LUP lo que indica es el proceso practico para la limpieza de la superficie de la máquina. El SOP define directrices y documentos para completar esta tarea rutinaria.
- LUP para cierre de guardas: este paso es de suma importancia en el proceso de operación de la máquina, debe definirse como se cierran las guardas, ya que, de lo contrario, la máquina no operara por cuestiones de seguridad.
- LUP para paro de emergencia: quizás el más importante en relación a los aspectos de seguridad y excelencia operacional, como accionar el paro intuitivo de emergencia de la máquina.

Figura 47. **Lecciones de un punto para máquina flowpack**



Fuente: elaboración propia.

Esta herramienta, “Lección de Un Punto” (LUP), es también conocida por las siglas en ingles OPL que refiere al término de “*One Point Lesson*”, la cual es básicamente una herramienta de comunicación y transferencia de un conocimiento puntual, utilizada para la transferencia de las habilidades simples o breves necesarias, en este caso para operar la máquina.

#### **2.10.4. Pilar 4: mantenimiento planeado**

Su objetivo es las reparaciones de la máquina de forma planeada. Se constituye como un conjunto sistemático de actividades programadas, entendiendo la situación que se presenta o pueda presentar a futuro, y buscando las oportunidades identificadas, con la finalidad de acercar progresivamente el objetivo de cero averías, cero defectos, cero desperdicios, cero accidentes, cero paros no programados y cero contaminaciones. Las piezas que no pertenecen al

mantenimiento autónomo, están en el cronograma de ejecución del mantenimiento planeado o preventivo, de acuerdo al cronograma presentado en anteriormente, como parte del programa productivo total, con los respectivos talleres y proveedores. Tales componentes son:

- Cuchillas.
- Motorreductores.
- Bandas transportadoras.
- Rectificación de ejes y piezas móviles.
- Codificadora y sus componentes.
- Piezas específicas o componentes eléctricos, como paneles, variadores de frecuencia, potenciómetros y suministros eléctricos.

Todos estos equipos se revisan semestralmente y se envían a mantenimiento cada año, como parte de los servicios externos adicionales al equipo.

#### **2.10.5. Pilar 5: control de cambios**

El pilar del control de cambios, pretende reducir el deterioro del equipo actual, mejorando los aspectos innecesarios del mantenimiento. Se basa en implementar las lecciones aprendidas en las máquinas y procesos nuevos. Al incluir este conocimiento en un *Know-How* de mantenimiento, se permite obtener una transferencia de tecnología y conocimientos previos, al incluirlo en los equipos que se adquieran, para que su mantenimiento sea el mínimo. Deben hacerse pruebas de comprobación y verificación, de los equipos nuevos al proceso, con el fin de eliminar los riesgos asociados, asegurando que los equipos

de producción sean fiables, con un mantenimiento fácil de operar y que sean seguros al operador y ambiente.

#### **2.10.6. Pilar 6: mantenimiento de la calidad**

Este pilar se basa más en una estrategia de mantenimiento, la cual tiene como propósito establecer las condiciones del equipo en un punto donde el cero defectos es factible. El pilar busca las acciones de verificar y medir las condiciones del equipo para buscar los cero defectos regularmente, a través de la observación de las variaciones, para prevenir defectos y tomar acciones en las situaciones de anormalidad, aunque estas no se estén presentando aparentemente. Se busca facilitar la operación del equipo, con el mínimo de riesgos de variación en una situación donde no se generen defectos de calidad, eliminando las fuentes de variación. El mantenimiento de calidad, en resumen, busca garantizar las acciones del programa de mantenimiento, a través del cuidado del equipo y sus posibles fuentes de variación, para que este no genere defectos de calidad.

Se considera los componentes del sistema de calidad. En él se incluye el plan de calidad que debe tener el equipo y los programas que lo sustentan, que asegura el cumplimiento de los estándares de calidad. El plan de calidad toma en cuenta aspectos como los roles y responsabilidades y establece el manejo de los demás estándares de calidad, abarcando aspectos como la documentación, auditorías externas e internas, control de cambios, manejo y almacenaje, por mencionar algunas.

Estas son actividades de apoyo para el pilar siguiente, en relación con el sistema de gestión de calidad y su relevancia con el equipo de estudio, debido a su importancia en relación a que es la máquina que se utiliza para producción y el pilar del mantenimiento productivo total lo exige en su metodología.

#### **2.10.7. Pilar 7: capacitaciones**

Mantener la instrucción de los operarios de forma correcta, detallada y acorde a la búsqueda de la conservación de la máquina y su posible eliminación de las fuentes de variación o de fallos relacionados, con los operarios con capacidades, competencias y habilidades convenientes.

Todo el personal debe ser capacitado para el conocimiento de los estándares con el objetivo de, no comprometer la calidad, en la realización de sus labores diarias.

Es importante que todo el personal conozca el impacto de su trabajo en la calidad del producto final, instalaciones y procesos de la máquina, así como el involucramiento en las actividades de mantenimiento autónomo, tareas de lubricación y limpieza, así como el *know-how* de operación del equipo.

Para el cumplimiento del pilar, se desarrolló un programa de capacitación con los elementos esenciales y se definió el perfil que se busca en cuanto al personal, este se desarrolló a lo largo de la tercera fase de este estudio.

### **2.10.8. Pilar 8: apoyo de la administración**

Es transmitir e incorporar toda la política de mejoramiento y mantenimiento, hacia el manejo administrativo. Su objetivo es concientizar y llevar los programas de mejora y que estos lleguen a la gerencia. Es importante destacar que las actividades y programas de mejora no se limitan a ser únicamente en la planta de producción o en la máquina propiamente, sino deber ser un programa integral y completo en todos los ámbitos administrativos.

El sistema debe mantener una correcta documentación y debe cumplir con los requerimientos mínimos del estándar, así como abarca los procedimientos realizados. Durante el desarrollo del proyecto, se incorporó al personal de Staff de ingeniería, para que fuera parte del proceso de implementación, el seguimiento y asegurar la mejora continua del mismo, ya que hubo elementos que quedaron fuera del alcance del estudio por motivos de presupuesto, tiempo y conocimientos técnicos. Todos los documentos, manuales de operación y mantenimiento, cronogramas y cartas técnicas, deben estar ordenadas, disponibles y con una controlada distribución de los documentos y el historial de cambios de los mismos. Todos los procesos deben estar documentados y asegurar la consistencia de los mismos.

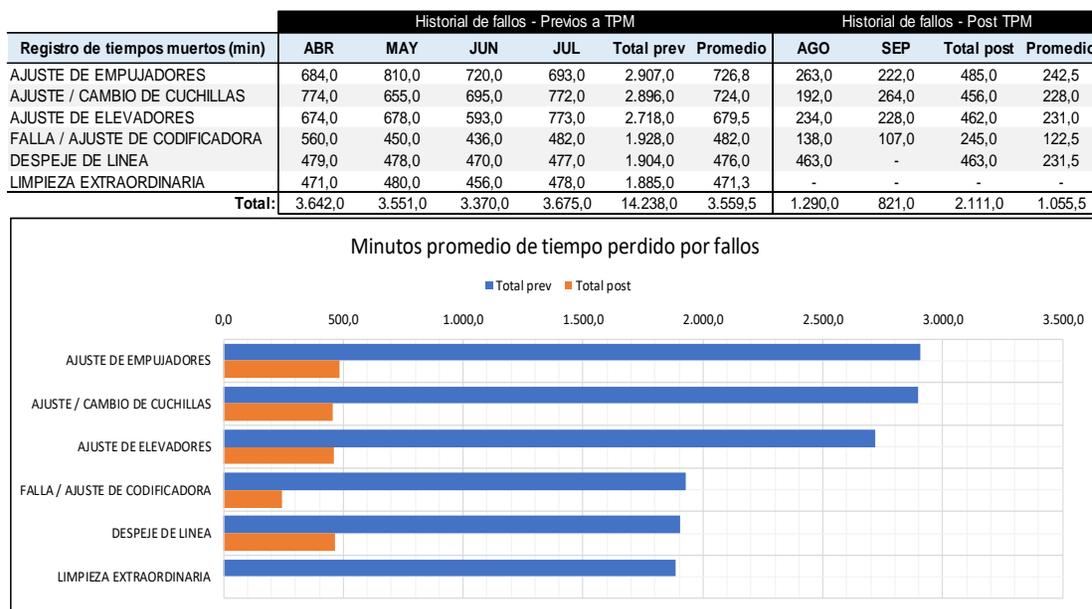
### **2.11. Validación del programa TPM implementado**

Luego de dos meses en ejecución, se considera que el proceso de mantenimiento productivo total, logro el objetivo de mejorar el desempeño y la confiabilidad del equipo de estudio, logrando reducir considerablemente los fallos del mismo de una forma muy alentadora.

Se tienen lecturas de dos meses de operación de la máquina y los resultados obtenidos del mismo. Se puede comprobar según el histograma de los fallos acumulados, en horas perdidas, como lo indican los gráficos siguientes, una disminución considerable.

Es necesario tomar en cuenta que este es un programa de mejora continua, y que por ningún motivo debe darse por terminada la implementación, siempre debe continuar el proceso de mejoramiento (pilar 3), y por ende la máquina ira recuperando su valor de confiabilidad gradualmente.

Figura 48. **Análisis comparativo del tiempo perdido por fallos acumulados**



Fuente: elaboración propia.

Aún hay fallos y tiempos perdidos, ya que la máquina sufrió desgastes, debido a la operación defectuosa y al sometimiento de esfuerzos operacionales previos.

### **2.11.1. Análisis Yield combinado post proyecto**

Se realizará un análisis YIELD, para identificar y validar que el programa de mantenimiento productivo total, resulto en mejoras a la confiabilidad del equipo de estudio.

#### **2.11.1.1. Método Rolled Troughput Yield post proyecto**

Como se puede observar, dos meses después de la implementación del mantenimiento productivo total de la máquina, se observa en el grafico la mejora de la confiabilidad del mismo.

- Cálculo del Yield

Unidades producidas por la maquina:

$N = 21,700 \text{ cs} \times 12 \text{ uds/cs}$

$N = 271,235 \text{ uds}$

$DPO = 0,05456$

$DPMO = 54,550 \text{ unidades defectuosas por millón de oportunidades}$

$YIELD = (1 - 0,05456)$

$YIELD = 94,55$

Nivel de Sigma = 3,1  $\sigma$

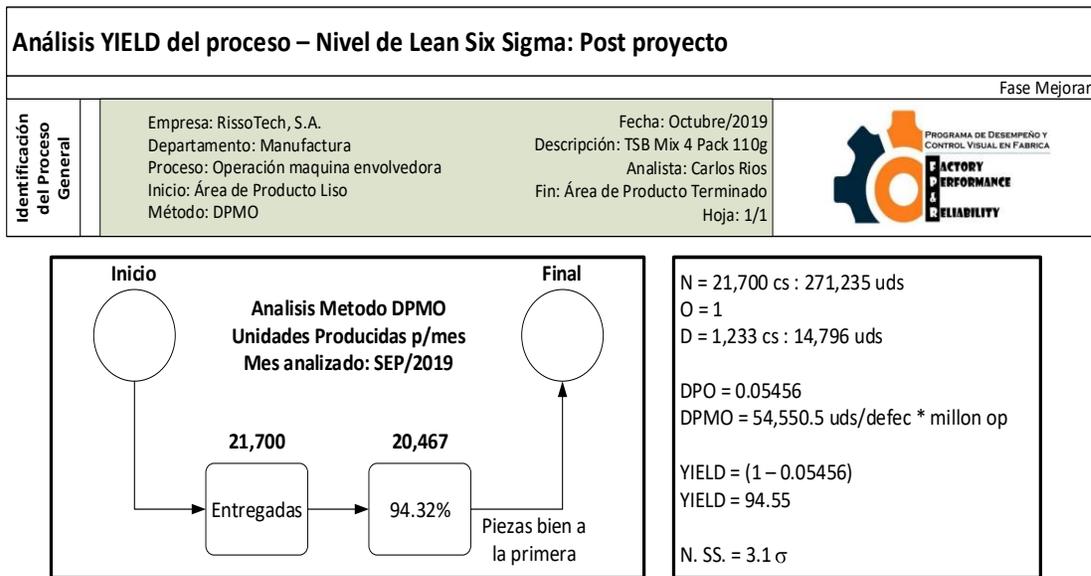
Significa que el proceso ya se encuentra en el mínimo aceptable para corto plazo que es 3  $\sigma$ . Al tomar en cuenta el desgaste del equipo y someterse a trabajos de desgaste por utilización, el nivel de sigma teórico que se sugiere es (-1,5  $\sigma$ ) lo que sugiere lo siguiente:

Nivel de Sigma a largo plazo

N.S. = 3,1 $\sigma$  – 1,5  $\sigma$

N.S.= 1,6  $\sigma$

Figura 49. Cálculo del nivel de Sigma post proyecto de la maquina



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2019.

### 2.11.1.2. Conclusiones de la prueba

- La máquina a corto plazo, se encuentra en el nivel de confiabilidad deseado para la operación.
- A largo plazo, por el desgaste del equipo, el proceso se sale de control, por lo que el programa de mantenimiento productivo total, no puede en lo más mínimo detenerse en su mejora continua, para subir o al menos mantener el nivel de  $\sigma$  deseado.
- Es importante mencionar que, aunque el proceso esté en un nivel de confiabilidad mínimo aceptado, no debe continuarse con el proceso de mejora por mantenimiento productivo total.
- Cabe mencionar que el programa de mantenimiento productivo total, elevo el nivel de confiabilidad a corto plazo.

### 2.11.2. Prueba de diferencia de rendimiento del equipo con datos pareados

La prueba de hipótesis con el diseño de *t-student*, permite establecer si dos tratamientos son significativamente diferentes entre sí. Esta prueba se realiza para determinar si existe diferencias entre dos varianzas muestrales. Se utilizará el modelo de prueba *t-student*, de las dos muestras, para examinar diferencias significativas entre los dos tratamientos independientes entre sí.

Esta prueba se realiza para determinar si existe diferencias entre dos varianzas muestrales. Se utilizará el modelo de prueba normal, de las dos muestras, para examinar diferencias significativas entre los dos tratamientos independientes y pareados entre sí.

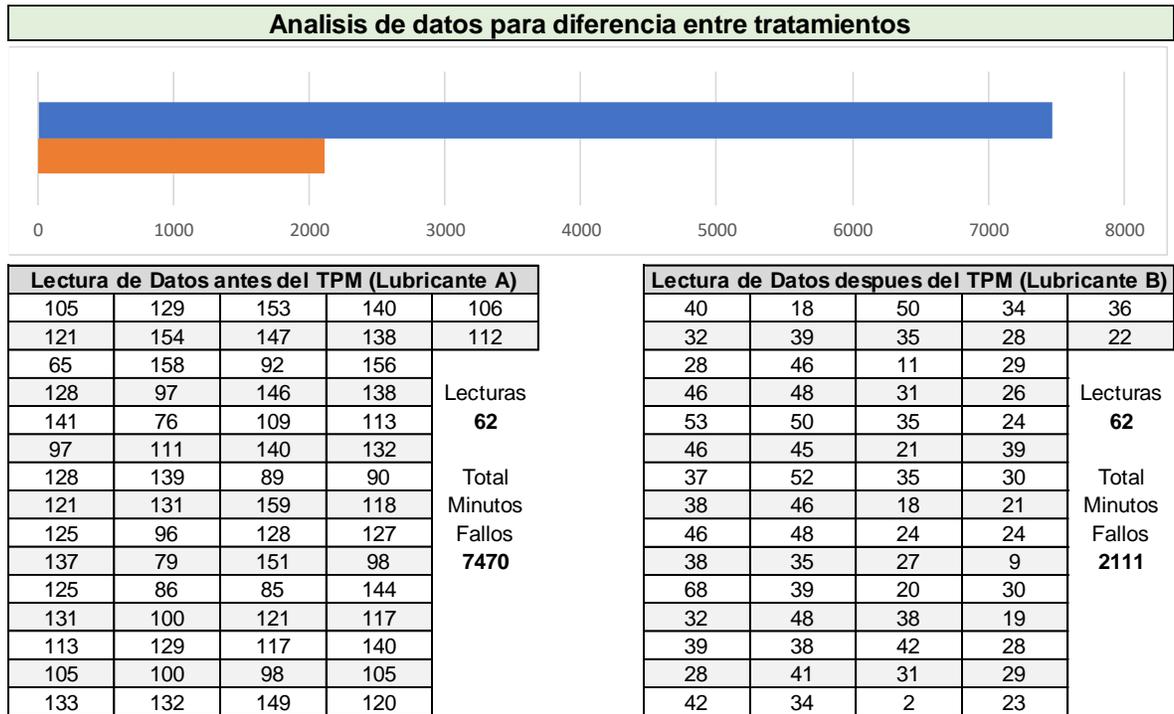
Se realizó de acuerdo a la metodología estadística que compete a este tipo de estudios, de hecho, el rendimiento y la cantidad de fallos del equipo se evaluó de acuerdo a los minutos diarios por turno perdidos, por fallas y se constató de la forma siguiente:

- Diseño del estudio.
  - Muestra n: 62 datos pareados
  - Equipo: máquina envolvente *Flowpack* Pewo-250
  
- Tratamientos evaluados.
  - Tratamiento 1: A (Equipo sin TPM)
  - Tratamiento 2: B (Equipo con TPM)

Lecturas mayores que 30 observaciones pareadas: se asume normalidad estadística.

Estadístico de prueba: prueba de *t-Student*.

Figura 50. Lectura de minutos acumulados reportados de fallos



Fuente: elaboración propia.

Tratamiento A:  $T_A = X_1$

Tratamiento B:  $T_B = X_2$

Hipótesis Nula: No hay diferencia entre los tratamientos

$H_0 = T_A = T_B$

$H_a = T_A \neq T_B$

$v = n - 1$

$v = 62 - 1 = 61$

$$d_i = X_1 - X_2$$

$$\sum d_i = \sum (x_1 - X_2)$$

$$\sum d_i = 5359$$

$$d_i^2 = (X_1 - X_2)^2$$

$$\sum d_i^2 = \sum (x_1 - X_2)^2$$

$$\sum d_i^2 = 503217$$

$$\bar{d}_i = \sum d_i / n$$

$$\bar{d}_i = 5359/62$$

$$\bar{d}_i = 86,4354$$

$$\sigma \bar{d}_i = 25,6103$$

$$\sum X_1 = 120,4839$$

$$\sigma X_1 = 22,4322$$

$$\sum X_2 = 34,0483$$

$$\sigma X_2 = 11,8424$$

$$\hat{S}_d = \sqrt{\frac{n(\sum d_i^2) - (\sum d_i)^2}{n(n-1)}}$$

$$\hat{S}_d = \sqrt{\frac{62(503217) - (5359)^2}{(61)(62)}}$$

$$\hat{S}_d = 25,6103$$

Tabla XII. Estadística descriptiva para la prueba

**Descriptive Statistics**

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
Trat A	62,0	120,5	22,4	2,9
Trat B	62,0	34,1	11,8	1,5

**Estimation for Paired Difference**

Mean	StDev	SE Mean	95 CI for $\mu$ difference
86,4	25,6	3,3	(79,93 ; 92,94)

$\mu$  difference; mean of (Trat A - Trat B)

**Test**

Null hypothesis

Ho:  $\mu$  difference = 0

Alternative hypothesis

H1:  $\mu$  difference  $\neq$  0

T-Value	P-Value
26,6	0,0

Fuente: elaboración propia, empleando Minitab 19.

Estadístico de prueba:

N.C. = 95 %

$\alpha = 0,05$

$t_{(\alpha/2, v)} = 2,2980$

Intervalo de confianza para la prueba:

$$\mu_d = \bar{d} \pm t_{(\alpha/2, v)} \frac{S_{\bar{d}}}{\sqrt{n}}$$

$$86,4354 \pm (2,2980) (25,6103/2\sqrt{(61)})$$

$$86,4354 \pm 7,5352$$

$$\mu_d = 93,9707, 79,9001$$

$$\mu_d = A > B$$

$$p\text{-Value} < \alpha/2$$

Se observa que los datos observados en el antes del tratamiento, son mayores que los después del tratamiento. A un nivel de confianza del 95 %, se puede concluir lo siguiente:

- Si existe una diferencia entre el tratamiento A y B. Por lo que estadísticamente se concluye que la hipótesis nula se rechaza.
- Se acepta que el tratamiento B, es mejor asumiendo un nivel del 5 % de cometer el error  $\alpha$  del experimento.
- Se acepta la hipótesis alternativa, que dicta que  $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$ .
- Dado que el valor P es menor al nivel de significancia del experimento, se considera que, si hay diferencia entre el tratamiento B y que es mejor continuar con el mantenimiento productivo total, para el mejoramiento del desempeño de la máquina.

## **2.12. Mejora continua del proceso de mantenimiento productivo total**

Es de suma importancia considerar la mejora continua en el proceso de mantenimiento productivo total que se ha instaurado en la máquina objetivo. Este concepto es la actitud base que permitirá asegurar la estabilización del proceso

de mantenimiento y la posibilidad de mejora. La mejor manera de incrementar la eficiencia y confiabilidad del equipo, es considerar que el proceso debe mejorarse continuamente, sin excepción, y no dar el programa como algo estático, sino debe ser un programa que tenga una dinámica de cambio constante, ágil y permanente. Se consideró los siguientes apartados.

### **2.12.1. Detalle de herramientas de mejora continua**

Es necesario considerar los elementos que quedaron fuera del alcance inicial del proyecto, como los son el análisis de vibraciones y temperatura. Estos elementos como parte del mantenimiento productivo total, en los pilares de mantenimiento planeado y en el de mejoras enfocadas, se enmarca la necesidad del mantenimiento predictivo, que debe incluir los aspectos que se mencionan a continuación, como parte del proyecto de mejora continua del programa de mantenimiento productivo total, deben instaurarse a la menor brevedad posible.

#### **2.12.1.1. Análisis de vibraciones**

El interés del control de las vibraciones mecánicas es un estudio que debe instaurarse con el monitoreo y control de los elementos de transmisión de potencia del equipo, o de cualquier elemento vibrante en la máquina. Es necesario llevarlo a cabo para tener el control y la prevención de las averías que conllevan las vibraciones, y como un indicador que es necesario considerar cualquier elemento de la máquina.

Para esto se identificó áreas de control en la PEWO-25, sistema de levas, rodamientos y el sistema de los elevadores (*clutch* y mecanismo de elevación).

#### **2.12.1.2. Visitas y observación técnica de desgastes**

Estas revisiones de la maquinaria, deberán realizarse con mayor frecuencia por personal con mayor conocimiento técnico. Tiene la ventaja que no se requiere de mayor tiempo ni de mucha complejidad, más si del conocimiento.

En este caso es necesario considerar que durante las visitas no se desarma la máquina ni es necesario interrumpir la operación, sino únicamente se observa y monitorea sin quitar las cubiertas ni guardas. Se puede considerar como una visita y observación técnica, con el fin de chequear la máquina con aparatos infrarrojos, escuchando su característico ruido normal de operación y observando los puntos de control, limpieza, orden y lubricación acorde al control visual del equipo.

#### **2.12.1.3. Termografía**

El análisis de la temperatura, debe realizarse de forma periódica durante las visitas. El uso de una cámara infrarroja para poder capturar lecturas de la energía térmica emitida puntos de control de la máquina, como los mecanismos, motores, reductores, rodamientos y elementos sometidos a fricción. La energía infrarroja que emite el equipo es un haz de luz no visible con una longitud de onda extensa, emitido sobre los puntos de control del equipo.

Bajo la premisa que todo aquello que se encuentre por encima de la temperatura del cero absoluto emite calor, detecta la energía infrarroja o calor del objeto monitoreado en la máquina, convirtiéndolo en una señal electrónica, la cual es procesada, cuantificando así, lecturas que permiten monitorear térmicamente los puntos de control, permitiendo evaluar la severidad relativa y anticipando cualquier fallo que pueda presentarse.

### **2.13. Importancia del mantenimiento TPM**

A pesar que ya se evidencio la gran ventaja de un programa de mantenimiento productivo total, para un equipo en cuestión, y que se sugiere que sea trasladado a la brevedad al resto de la planta, se enmarcara la importancia del programa, en los términos siguientes.

- Impacto en la calidad: el impacto en esta variable es quizás, el más significativo, puesto que la mejora de la calidad de la producción de la máquina, se traduce en que luego del programa de mantenimiento productivo total, se tiene producto terminado con menos variación.
- Impacto en la productividad: el impacto generado por esta variable se evidencia en una mejora al aumentar la disponibilidad del equipo.
- Impacto en la operación y confiabilidad: al tener el equipo con mejor confiabilidad, se da continuidad en las operaciones de la máquina, ya que no hay interrupciones bruscas o no planificadas.
- Impacto en la ocupación: se obtiene una mejora en el uso y aprovechamiento del equipo, pudiendo incluso, con una buena planificación, reducir las horas de uso y turnos de operarios.

- Impacto en costos por mantenimiento: esta variable indica también una reducción significativamente mayor, de los gastos por mantenimiento correctivo y paros no programados.
- Impacto en defectos: el impacto en esta variable demuestra que se obtuvo una reducción del número de piezas con defectos y productos rechazados, que son generados por la máquina en mal estado.
- Impacto en costos operativos: el programa logro que los costos operativos relacionados con los fallos, incluidos reprocesos, desperdicios, turnos adicionales, gastos por reparaciones, tiempos y por incumplimientos en entregas planificadas de producto terminado; se redujeran hasta en un 30 %.
- Impacto en desperdicios: de la misma forma que los gastos adicionales por reparaciones, los desperdicios y desechos se han reducido significativamente, debido al programa de mantenimiento productivo total.

### **3. FASE DE DOCENCIA**

Parte del éxito en la implementación de un programa de mantenimiento productivo total, es un correcto programa de adiestramiento. Como parte complementaria al proceso, es necesario considerar la correcta capacitación de los operarios y técnicos. El programa de entrenamiento deberá considerar los puntos siguientes:

- Brindar conocimientos al equipo de operativo y de mantenimiento, de la implementación del programa, para que se obtenga una mayor eficiencia.
- Brindar los indicios y fundamentos del programa de capacitación que permita tener los perfiles correctos del personal operativo. Esto también permite identificar las necesidades de capacitación.
- Mantener un nivel operativo correcto, con los conocimientos adecuados.
- Entregar al cuerpo técnico el estudio y su respectivo entrenamiento.

Su objetivo deberá ser, contar con el personal operativo de la máquina, con los conocimientos y documentos que apoyen su correcto desempeño al operar el equipo. Brindar a la empresa un programa de confiabilidad por mantenimiento, que permita garantizar la operación correcta del equipo.

Se realizó capacitaciones al personal donde se trasladó la información de cómo llenar los documentos, como utilizar correctamente el equipo, la limpieza y lubricación y como reportar los fallos que pudieran suscitarse o que se hayan presentado durante los turnos de producción.

Figura 51. **Capacitación del personal acerca de la documentación y reportería**



Fuente: elaboración propia.

De igual forma se realizaron talleres con personal de operación, mecánicos, operarios, empacadores y todo el personal involucrado en el equipo. Se dio importancia a los temas del programa y se hizo adiestramientos en el área de trabajo y la máquina propiamente, debido a que se necesitaba transmitir los conocimientos a todo el personal involucrado.

Figura 52. **Capacitación del personal en uno de los talleres del área de trabajo**



Fuente: elaboración propia.

### **3.1. Fundamentos para el programa de capacitación operativo**

Es de primordial importancia que se cuente con el personal capacitado en la parte técnica y documental. Para que el programa sea exitoso debe mantenerse al personal concientizado con el uso correcto del equipo, calidad en la operación y mantenimiento del programa. Uno de los elementos clave del

programa es que se mantenga y se generen las condiciones de pertenencia, y una conciencia de participación e involucramiento en la correcta operación y mantenimiento de la máquina. Por lo que se consideran tres aspectos que se desarrollaron en el programa de capacitación del personal involucrado en el mantenimiento productivo total.

### **3.1.1. Perfil del operario**

No solo es suficiente contar con personal técnicamente capaz y con la experiencia acumulada necesaria, también fue necesario crear e incentivar al desarrollo de ciertas competencias que se dejaron detalladas, para que sean aspectos a desarrollar en los programas de capacitación e incremento de talentos.

#### **3.1.1.1. Habilidades esperadas del operador**

El programa de mantenimiento productivo total, requiere que el personal haya desarrollado habilidades y competencias específicas, que son necesarias para el correcto desempeño de las actividades. Adicional a ello la buena actitud es la condición clave para el éxito del programa, por lo que se desarrolló un listado de los tópicos que deben evaluarse y ajustarse entre el personal.

- **Habilidad para identificar y detectar problemas en la máquina:** esta competencia es clave para el correcto desarrollo del programa, las personas deben tener la habilidad para poder ser agentes de cambio en el

equipo, deben conocer la máquina y poder detectar o sugerir algún cambio de mejora.

- Comprender el funcionamiento de la máquina: el funcionamiento de la máquina debe ser entendido por el personal que la opera, a tal nivel que la mínima diferencia con el correcto funcionamiento de la máquina, pueda ser detectada por el operario, anticipándose a cualquier eventualidad.
- Entender la relación entre la operación y las características de calidad del producto: la concientización del operario en este punto es, que comprenda la importancia que conlleva la operación de la máquina de forma correcta y como esta influye en la calidad del producto. Si no se comprende la importancia tan fuerte que tiene la calidad del producto terminado y su relación con el buen funcionamiento de la máquina, no se podrá crear ese vínculo de conciencia y pertenencia con la misma.
- Resolver problemas de funcionamiento y operaciones de los procesos: el personal debe tener la capacidad de resolver problemas de funcionamiento de la máquina. Al conocer los procesos y la máquina en sí, también podrá adquirir la capacidad de resolver los problemas que se presenten en la misma.
- Capacidad para conservar el conocimiento y enseñarlo: no solo es necesario conocer el equipo y tener las habilidades de repararlo, o de predecir sus fallas, muchas veces asintomáticas, es necesario también que dicho conocimiento sea transmitido y compartido. Una persona que no desea enseñar a sus compañeros no puede formar parte del equipo de trabajo. Las condiciones de la empresa deberán cumplir también la premisa de un buen ambiente laboral, que cree seguridad y que permita que las personas se sientan parte de la misma y que adicional a ello, no tengan el temor que pueden ser reemplazados por otros.

- Habilidad para trabajar en equipo y cooperar: cómo se mencionó inicialmente, la capacidad del empleado de comprometerse al equipo de trabajo, la buena actitud y la cooperación que puedan demostrar, es la clave vital del proyecto. Sin gente que cumpla estas características no sería posible empoderar y esto tampoco permitiría la autonomía de los grupos de trabajo y mantenimiento.

### **3.1.1.2. Entrenamiento en manejo de desechos**

Es de mucha importancia el establecer el procedimiento que servirá como guía para la clasificación de desechos. Ya que uno de los fundamentos del mantenimiento productivo total, son las 5S y el programa de buenas prácticas de manufactura exige también que los desechos sean manejados correctamente. Cuando se entrene al personal, se debe considerar.

- Es responsabilidad del operador clasificar correctamente los desechos generados en la máquina.
- Es responsabilidad del operador mantener libre de desechos su área de trabajo.
- Es responsabilidad del encargado de la máquina, verificar que se esté cumpliendo con lo establecido. Cabe mencionar, que la responsabilidad de la ejecución de la limpieza, la clasificación y disposición de los desechos es responsabilidad de todos y cada uno de los operarios, personal de supervisión, staff administrativo, ingenieros y administradores de la planta.

Los desechos por su naturaleza y disposición deben clasificarse de la forma siguiente. El proceso del manejo de los desechos se divide en dos partes, como se describe.

Retiro de desechos peligrosos y no peligrosos, con el respectivo equipo de protección personal EPP a utilizar y las medidas de seguridad correspondientes. Esta información aparece detallada en las hojas de seguridad MSDS que están disponibles en el área de trabajo.

### **3.1.1.3. Desechos peligrosos**

Los operadores deberán solicitar un permiso de trabajo seguro, para realizar el reciclaje de los desechos de líquidos tóxicos e inflamables. Los únicos elementos que se consideran como peligrosos en el mantenimiento es la disposición de grasas sobrantes o eliminadas en los procedimientos de limpieza profunda del equipo y el solvente acumulado en la limpieza del equipo codificador.

Para estas disposiciones se tiene un procedimiento SOP específico en el área de trabajo.

### **3.1.1.4. Desechos no peligrosos**

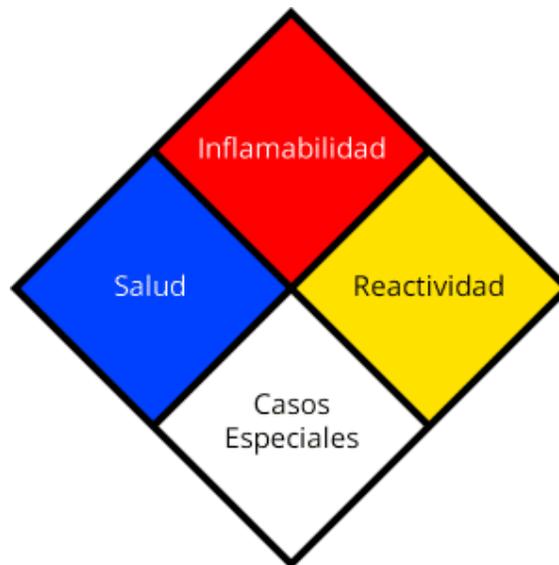
Denominado a los desechos comunes que se generan en el área de trabajo. A cumplimiento de los programas de mantenimiento productivo total, se detallan los desechos más comunes detectados en la operación de la máquina,

así como en las actividades propias de la limpieza, lubricación y mantenimiento autónomo, para su correcto manejo.

- **Cartón/papel:** se coloca en el recipiente que se identificó con color azul. El cartón corrugado se clasifica, apila y ordena desde la línea, para luego ser retirado fuera de la planta. Este debe ser depositado en un carretón de basura, que está identificado según su clasificación, en la parte externa de la planta.
- **Plásticos:** los desechos plásticos deberán colocarse en el recipiente amarillo, en este depósito se coloca *stretch-film*, fleje, esquineros plásticos.
- **Generación de energía:** parte de los desechos puede ser aprovechado para que sea utilizado en incineradores industriales para la generación de energía. Existe un depósito identificado para generación de energía, identificando para estos desechos de esta forma: cajillas/dispensadores rotos, termoencogible, *wipe*, desechos de *sticker*, cinchos plásticos, mangas PVC, desechos de etiquetas y papel mantequilla (la parte de atrás de las etiquetas). Esto se deposita en estos contenedores, para luego ser enviados a empresas que se dedican a la generación de energía.
- **Otros desechos:** existe un depósito que está identificado para estos desechos, que no son clasificados de la forma anterior. No pueden reutilizarse o reciclarse. Como estos no se pueden clasificar, se depositan en una bolsa y se lleva a dicho contenedor. Se desechan en el depósito negro.

La forma visible de identificar los riesgos a los que se pueda incurrir, están definidos por el rombo de seguridad, cuyo código internacional es NFPA 704, según esta normado por la normativa de seguridad y salud ocupacional.

Figura 53. **Rombo de seguridad y del peligro NFPA 704**



Fuente: elaboración propia.

Debe tenerse siempre en cuenta el rombo de seguridad, NFPA 704 con la que están identificadas todas las sustancias empleadas y con las MSDS. Aquí se identifica a simple vista, el diamante de materiales peligrosos, establecido por norma internacional utilizado para comunicar los peligros de los diferentes materiales.

### **3.1.2. Aspectos relevantes a verificar**

Destacar el compromiso del personal del área, operarios, mecánicos, electricistas, grupo autónomo y clientes internos, quienes se unen para

desarrollar un proceso de alto sentido de responsabilidad y cumplimiento, con un enfoque en la mejora de la productividad y eficiencia, para el logro de los objetivos propuestos. Este compromiso lo debe tener la administración de la empresa. Dichos objetivos son:

- Cero fallos
- Cero accidentes
- Cero reprocesos o errores

Figura 54. **Reuniones con administrativos para seguimiento del programa**



Fuente: elaboración propia.

## CONCLUSIONES

1. Se realizó la implementación de un programa de confiabilidad en el equipo, a través del uso de un programa de mantenimiento productivo total, y se obtuvo como resultado una mejora significativa en la reducción de fallos del equipo. Se recomendó que sea necesario contar con un programa de mejora continua y un estudio profundo que incluya los elementos que estaban fuera del alcance, para que los cambios sean más significativos y los resultados muestren un incremento mayor del desempeño del mismo.
2. Se aplicó un estudio de ingeniería, cuyo objetivo fue anticipar fallos al equipo, el cual permitió tener un mejor control en los mismos, pudiendo sistemáticamente eliminarlos de la máquina para obtener un incremento en la capacidad de operación. Se obtuvieron los resultados esperados, pero es necesario que se continúe con su desarrollo y mejoramiento continuo, ya que la máquina se encuentra en los límites mínimos óptimos esperados, para una operación confiable.
3. Se desarrolló un programa de mantenimiento productivo total, con las bases necesarias para poder diseñar un plan que permitiera, cumplir los requerimientos mínimos para poder devolver la confiabilidad operativa al equipo. Se hizo un estudio que permitió tomar mejores decisiones en cuanto a las características operativas, un rediseño de los procesos, documentación y análisis de capacidad. Estos elementos en conjunto fueron trascendentales para el incremento de la confiabilidad del equipo.

en los dos meses evaluados, esperando un incremento en este nivel de confiabilidad.

4. El programa de mantenimiento productivo total que se desarrolló y que permitió la devolución de la capacidad productiva, incremento la confiabilidad del equipo y redujo los fallos significativamente. El estudio sugiere que es necesario la mejora continua, que no es suficiente únicamente con mantener el proceso estable y bajo control, sino que es necesario la implementación de procedimientos que quedaron fuera del alcance del programa y que son necesarios para que no se pierda lo que se alcanzó en este tiempo de implementación.
5. Las metodologías japonesas de clase mundial, como el programa de Mantenimiento Productivo Total, permitieron desarrollar un plan que permite prevenir fallos en el equipo, a través de técnicas de anticipación de fallos, programas de gestión y confiabilidad. Se pudo evidenciar a través de los resultados obtenidos en las lecturas de los dos meses consecuentes al programa de implementación, que las herramientas cuando son correctamente implementadas y se les da el seguimiento, funcionan de manera adecuada.
6. Se desarrolló un programa de mantenimiento productivo total, en el que se incluye dentro del mismo al mantenimiento preventivo. Este tipo de metodología de mantenimiento permite englobar los métodos tradicionales y llevarlos a un nivel más avanzado. Se hizo uso de todos sus lineamientos mínimos, se hizo un plan y ejecuto una capacitación. Se desarrolló la documentación concerniente a los requerimientos del programa, Esto

permitió garantizar la operación, mejorando el desempeño y la confiabilidad de forma considerable.

7. El programa de confiabilidad, permitió desarrollar herramientas para analizar convenientemente al equipo, permitiendo tener un control a tiempo real del desempeño del mismo. Las herramientas estadísticas, metodológicas y los estudios de fallos, permitieron tener un mejor panorama del equipo y su comportamiento con el fin de prevenir las fallas y reducir las probabilidades de ocurrencia.



## RECOMENDACIONES

1. Debido a que el estudio demostró que la máquina, a corto plazo, se encuentra en el nivel de confiabilidad mínimo deseado para la operación, no es posible predecir a largo plazo o al someterla al desgaste normal de la operación, que continúe en un nivel de confiabilidad deseado. Es necesario continuar con el proceso de mejora de forma indefinida y mandatoria.
2. Según el análisis de las métricas a largo plazo, por el desgaste del equipo, el proceso se puede salir de control, por lo que el programa de mantenimiento productivo total, no puede en lo más mínimo detenerse en su mejora continua.
3. Al implementar el programa de mantenimiento productivo total, se elevó efectivamente el nivel de confiabilidad, como se pudo demostrar en los experimentos y análisis de datos, pero como no debe existir un acomodamiento de parte de la administración, sino que tiene que ser factor determinante en el impulso de la evolución del programa, hacia un proceso de clase mundial, lo que permitirá tener un equipo con un nivel de confiabilidad elevado y poder así comprometer producciones y tiempos de forma efectiva.

4. Como se mencionó anteriormente, los elementos del mantenimiento predictivo deben instaurarse en la mayor brevedad, adquirir las herramientas y los equipos necesarios, asignar los recursos y el tiempo correspondiente para que el programa logre su objetivo principal. Es imperativo incluir los aspectos de análisis de vibraciones, análisis y monitoreo térmico y preparar al personal correcto para ejecutar las visitas técnicas a la máquina. Se tiene que considerar que es necesario tomar en cuenta, además, todos los elementos que pudieron quedar fuera del alcance inicial del proyecto ya que las metodologías de mejora continua siempre están evolucionando y creciendo de forma constante.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ACUÑA, Jorge. *Ingeniería de la confiabilidad*. 1a ed. Costa Rica: Tecnología de Costa Rica, 2003. 280 p.
2. BESTERFIELD, Dare. *Control de calidad*. 8a ed. México: Pearson Prentice-Hall, 2009. 552 p.
3. CRUZ, Johny. *Manual para la implementación sostenible de las 5S*. 2a ed. República Dominicana: Infotep editor, 2010. 56 p.
4. CUATRECASAS, Luis. *Diseño avanzado de procesos y plantas de producción flexibles*. 1a ed. España: Profit Editorial, 2009. 589 p.
5. DUFFUAA, Salih y otros. *Sistemas de mantenimiento. Planeación y control*. 1a ed. México: Limusa, 2000. 404 p.
6. GARCÍA, Santiago. *Organización y gestión integral del mantenimiento*. 1a ed. España: Díaz de Santos, 2003. 321 p.
7. GONZALES, Francisco. *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado*. 2a ed. España: Artegraf, S.A., 2005. 468 p.
8. GUTIÉRREZ, Humberto. y DE LA VARA, Román. *Control estadístico de la calidad y Six Sigma*. 3a ed. México: McGraw-Hill, 2013. 490 p.

9. IMAI, Masaaki. *Kaizen, la clave de la ventaja competitiva japonesa*. 13a ed. México: Compañía editorial Continental, 2001. 299 p.
10. SACRISTÁN, Francisco. *Manual del mantenimiento integral de la empresa*. 1a ed. España: FC Editorial, 2001. 404 p.
11. SÁNCHEZ, Acedo. *Control avanzado de procesos*. 1a ed. España: Díaz de Santos, 2003. 574 p.
12. SCHEAFFER, Richard y otros. *Elementos de muestreo*. 3a ed. México: Grupo Editorial Iberoamérica, 1987. 332 p.

# APÉNDICES

## Apéndice 1. Control de fallos de envolvedora

REGISTRO DE ACTIVIDADES REALIZADAS - PAROS PROGRAMADOS												
Registro de Actividad / Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	TOTAL
TIEMPO DE COMIDA												
MANTENIMIENTO PREVENTIVO												
ENTRENAMIENTO / REUNIONES												
LIMPIEZA												
PRUEBAS / AJUSTES												
<b>TOTAL</b>												

REGISTRO DE ACTIVIDADES REALIZADAS - PAROS NO PLANIFICADOS												
Registro de Actividad / Hora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	TOTAL
AJUSTE / CAMBIO DE BOBINA												
AJUSTE / CAMBIO DE GUIAS												
AJUSTE / CAMBIO DE CUCHILLAS												
AJUSTE / LIMPIEZA DE FLAUTAS												
AJUSTE DEL LARGO DE PAPEL												
AJUSTE DE ELEVADORES / EMPUJADORES												
FALLA / AJUSTE DE FOTOCELDAS												
PROBLEMAS CON SENSORES												
FALLA / AJUSTE DE RESISTENCIAS												
FALLOS CON TERMOCOPLAS												
PROBLEMAS CON PIROMETROS												
FALLA / AJUSTE DE CODIFICADORA												
FALLA / AJUSTE DE CAIDA DE JABON												
FALTA DE FLUIDEZ EN BANDA / ALIMENTADOR												
PROBLEMA / CURLING DE BOBINA												
EMPAQUE FUERA DE ESPECIFICACION												
JABONES CON PROBLEMAS DE SELLO												
FALTA DE MATERIA PRIMA / PRODUCTO LISO												
FALTA DE MATERIAL DE EMPAQUE												
FALLA DE ENERGIA ELECTRICA												
FALLA DE SUMINISTRO NEUMATICO												
FALTA DE PERSONAL												
DESPEJE DE LINEA												
LIMPIEZA EXTRAORDINARIA												
PREPARACION DE ARRANQUE												
<b>TOTAL</b>												

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. Registro de limpieza y lubricación no rutinaria

Actividades Previas a Limpieza y lubricacion no rutinaria de Maquinas					
EOHS	SI	NO	Area de Apoyo	Observaciones	Responsable
Actividades de LOTO			Grupo de Mantenimiento		
Llenar Permiso de Trabajo Seguro y utilizar EPP			EOHS		
EPP Completo y en buen estado			Grupo de Mantenimiento		
Herramientas completas y en buen estado			Grupo de Mantenimiento		
Inventario de Equipo y utensilios	SI	NO	Area de Apoyo	Observaciones	Responsable
Desinfectante			Encargado de Mantenimiento		
Llaves cola corona			Encargado de Mantenimiento		
Desatornilladores			Encargado de Mantenimiento		
Wipe			Encargado de Mantenimiento		
Grasa (Depende de las fichas tecnicas)			Encargado de Mantenimiento		
Indicar el Tipo de Grasa utilizada					
Otros			Encargado de Mantenimiento		
Actividades de Limpieza y lubricacion no rutinaria de Maquinas					
Limpieza y Lubricacion	SI	NO	Area de Apoyo	Observaciones	Responsable
Colocacion de lubricantes en los puntos controlados			Grupo de Mantenimiento		
Limpieza y lubricacion de elevadores			Grupo de Mantenimiento		
Limpieza de cadenas transportadoras			Grupo de Mantenimiento		
Lubricacion externa/interna de levas			Grupo de Mantenimiento		
Limpieza y lubricacion del empujador de producto			Grupo de Mantenimiento		
Limpieza y lubricacion de los ejes de los brazos de empuje pleg			Grupo de Mantenimiento		
Tinta y solvente en los depositos de las coders			Grupo de Mantenimiento		
Lubricacion de la cadena general del mecanismo			Grupo de Mantenimiento		
Revision y limpieza de cuchillas			Grupo de Mantenimiento		
Revision y limpieza de bandas transportadoras			Grupo de Mantenimiento		
Limpieza profunda de estructura y guardas			Grupo de Mantenimiento		
Lubricacion general del mecanismo de elevacion			Grupo de Mantenimiento		
Existe un desperfecto en los instrumentos			Grupo de Mantenimiento		
Estan colocadas correctamente todas las guardas			Grupo de Mantenimiento		
Están apretados los tornillos y tuercas			Grupo de Mantenimiento		
Etiquetado e identificacion / Calibracion de equipo			FP&R		
Actividades al finalizar la Limpieza y lubricacion no rutinaria de Maquina					
Verificacion	SI	NO	Area de Apoyo	Observaciones	Responsable
Se realizo una prueba del equipo en funcionamiento			Encargado de Mantenimiento		
Están limpias y en orden las herramientas utilizadas			Encargado de Mantenimiento		
Verificacion de los paros de emergencia			Encargado de Mantenimiento		
Se ha depositado la basura en su lugar			Encargado de Mantenimiento		
Ha firmado y entregado el Permiso de Trabajo Seguro			Encargado de Mantenimiento		

Fuente: elaboración propia.

### Apéndice 3. Registro de limpieza profunda

FORMATO:														R-MT-009			
REGISTRO DE ACCIONES DE LIMPIEZA PROFUNDA EN AREA DE MAQUINA FLOWPACK														Status: Implementado			
GENERAL CLEANING SYSTEM CHECK OF FACILITIES																	
<b>Paso de Programa 5s:</b>																	
Fase I	5'S - Clasificación 整理, Seiri	Separar innecesarios, Ordenamiento															
Fase II	5'S - Orden 整頓, Seiton	Situat necesarios															
Fase III	5'S - Limpieza 清掃, Seisō	Suprimir suciedad y desorden															
Fase IV	5'S - Estandarización 清潔, Seiketsu	Señalar anomalías															
Fase V	5'S - Disciplina 躰, Shitsuke	Seguir mejorando															
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p><b>Documento tipo:</b> Operativo  <b>Distribución:</b> Controlada  <b>Programa de Apoyo:</b> EOH5, FP&amp;R  <b>Alcance:</b> Equipos de Planta  <b>Objetivo:</b> Registro de Acciones de Limpieza  <b>Emisión:</b> 2019  <b>Soporte:</b> P-MT-003  <b>Version:</b> 3.0</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><b>Emitida por:</b>  <b>Actualizada por:</b>  <b>Revisada por:</b>  <b>Autorizada por:</b>  <b>Vigencia:</b> Activo  <b>Ultima Actualización:</b> Septiembre 2019  <b>Frecuencia:</b> Semanal  <b>Control:</b> BPM</p> </div> </div>																	
Registro de Actividades de Limpieza Profunda																	
SEMANA	AREA DE CARGA DE PRODUCTO		GUARDAS		BANDA TRANSPORTE		MECANISMO PRINCIPAL		EJE DE LEVAS		CADENAS DE EMPUJADORES		SISTEMA DE CUCHILLAS		PUNTOS DE LUBRICACION		Encargado de Revision
	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	
Semana 1																	
Semana 2																	
Semana 3																	
Semana 4																	
Semana 5																	
Semana 6																	
Semana 7																	
Semana 8																	
Semana 9																	
Semana 10																	
Semana 11																	
Semana 12																	
Semana 13																	
Semana 14																	
Semana 15																	
Semana 16																	
Semana 17																	
Semana 18																	
Semana 19																	
Semana 20																	
Semana 21																	
Semana 22																	
Semana 23																	
Semana 24																	
Semana 25																	
Semana 26																	
Semana 27																	
Semana 28																	
Semana 29																	
Semana 30																	
Semana 31																	
Semana 32																	
Semana 33																	
Semana 34																	
Semana 35																	
Semana 36																	
Semana 37																	
Semana 38																	
Semana 39																	
Semana 40																	
Semana 41																	
Semana 42																	
Semana 43																	
Semana 44																	
Semana 45																	
Semana 46																	
Semana 47																	
Semana 48																	
Semana 49																	
Semana 50																	
Semana 51																	
Semana 52																	
OBSERVACIONES																	
Ingeniero de Procesos																	

Fuente: elaboración propia.



# ANEXOS

## Anexo 1. Tabla de t-student

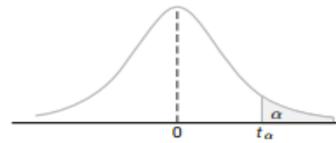


Tabla A.4 Valores críticos de la distribución  $t$

$\nu$	$\alpha$						
	0.40	0.30	0.20	0.15	0.10	0.05	0.025
1	0.325	0.727	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706
2	0.289	0.617	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303
3	0.277	0.584	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182
4	0.271	0.569	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776
5	0.267	0.559	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571
6	0.265	0.553	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447
7	0.263	0.549	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365
8	0.262	0.546	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306
9	0.261	0.543	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262
10	0.260	0.542	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228
11	0.260	0.540	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201
12	0.259	0.539	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179
13	0.259	0.538	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160
14	0.258	0.537	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145
15	0.258	0.536	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131
16	0.258	0.535	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120
17	0.257	0.534	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110
18	0.257	0.534	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101
19	0.257	0.533	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093
20	0.257	0.533	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086
21	0.257	0.532	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080
22	0.256	0.532	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074
23	0.256	0.532	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069
24	0.256	0.531	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064
25	0.256	0.531	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060
26	0.256	0.531	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056
27	0.256	0.531	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052
28	0.256	0.530	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048
29	0.256	0.530	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045
30	0.256	0.530	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042
40	0.255	0.529	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021
60	0.254	0.527	0.848	1.045	1.296	1.671	2.000
120	0.254	0.526	0.845	1.041	1.289	1.658	1.980
$\infty$	0.253	0.524	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960

Fuente: WALPOLE, Ronald., MYERS, Raymond. y otros. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. p. 737 - 738.

## Anexo 2. Tabla de conversión del nivel de Sigma - DPMO

<b>PPM / SIGMA / Cpk Conversion Table</b>			
RECALL: PPM may or may not = DPMO. Only if each part has one defect type will they be the same value. If one PART has >1 defect opportunity then these values can be drastically different.			
*Converting to Cpk from a sigma level is an estimation since Cpk uses the USL or LSL, whichever is closest to the process mean. The opposite side that is not accounted for may have a tail that is unaccounted for.			
<b>SIGMA LIMITS (long-term)</b>	<b>% POPULATION WITHIN LIMITS</b>	<b>PPM DEFECTIVE OUTSIDE LIMITS</b>	<b>Cpk*</b>
+/- .6745 Sigma	50.00%	500,000	
<b>+/- 1.00 Sigma</b>	<b>68.27 %</b>	<b>317,300</b>	<b>0.33</b>
<b>+/- 2.00 Sigma</b>	<b>95.45 %</b>	<b>45,500</b>	<b>0.67</b>
+/- 2.36 Sigma	98.00%	20,000	0.79
<b>+/- 3.00 Sigma</b>	<b>99.73 %</b>	<b>2,700</b>	<b>1.00</b>
+/- 3.12 Sigma	99.82%	1,800	1.04
+/- 3.19 Sigma	99.86%	1,400	1.06
+/- 3.23 Sigma	99.88%	1,200	1.08
+/- 3.29 Sigma	99.90%	1,000	1.10
+/- 3.35 Sigma	99.92%	800	1.12
+/- 3.54 Sigma	99.96%	400	1.18
+/- 3.71 Sigma	99.98%	200	1.24
+/- 3.89 Sigma	99.99%	100	1.30
<b>+/- 4.00 Sigma</b>	<b>99.9937 %</b>	<b>63</b>	<b>1.33</b>
+/- 4.26 Sigma	99.9980%	20	1.42
+/- 4.42 Sigma	99.9990%	10	1.47
<b>+/- 4.50 Sigma</b>	<b>99.99966 %</b>	<b>3.4</b>	<b>1.50</b>
+/- 4.75 Sigma	99.9998%	2	1.58
+/- 4.89 Sigma	99.9999%	1	1.63
<b>+/- 5.00 Sigma</b>	<b>99.99994 %</b>	<b>0.6</b>	<b>1.67</b>
+/- 5.20 Sigma	99.99998%	0.2	1.73
+/- 5.32 Sigma	99.99999%	0.1	1.77
+/- 5.61 Sigma	99.999998%	0.02	1.87
+/- 5.73 Sigma	99.999999%	0.01	1.91
<b>+/- 6.00 Sigma</b>	<b>99.9999998 %</b>	<b>0.002</b>	<b>2.00</b>

Six-Sigma-Material.com. *Tabla de conversión del nivel de Sigma - DPMO.* <https://www.six-sigma-material.com/tables.html>. Consulta: septiembre de 2019.