



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

**AUMENTO DE LA EFICIENCIA EN LOS MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS
Y CORRECTIVOS A TRAVÉS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y
APOYO EN SOFTWARE**

Sergio Antonio Samayoa Cruz

Asesorado por el Ing. Axel Oswaldo Higueros Avendaño

Guatemala, mayo de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**AUMENTO DE LA EFICIENCIA EN LOS MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS
Y CORRECTIVOS A TRAVÉS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y
APOYO EN SOFTWARE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

SERGIO ANTONIO SAMAYOA CRUZ

ASESORADO POR EL ING. AXEL OSWALDO HIGUEROS AVENDAÑO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, MAYO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Ángel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magali Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

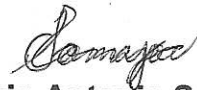
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR(A)	Ing. Sergio Fernando Pérez Rivera
EXAMINADOR(A)	Inga. Priscila Yohana Sandoval Barrios
EXAMINADOR(A)	Ing. Saulo Moisés Méndez Garza
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

AUMENTO DE LA EFICIENCIA EN LOS MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS Y CORRECTIVOS A TRAVÉS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y APOYO EN SOFTWARE

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial con fecha 05 de mayo del 2016.



Sergio Antonio Samayoa Cruz

Ingeniero

José Francisco Gómez Rivera

Director

Escuela Mecánica Industrial

Facultad de Ingeniería

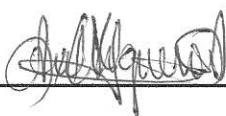
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Gómez:

Me dirijo a usted para informarle que el estudiante Sergio Antonio Samayoa Cruz, de la carrera de Ingeniería Mecánica Industrial quien se identifica con número de carné universitario 200722237, ha concluido el Trabajo de Graduación titulado: **"AUMENTO DE LA EFICIENCIA EN LOS MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS Y CORRECTIVOS A TRAVÉS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y APOYO EN SOFTWARE"**.

Después de asesorar y efectuar las revisiones correspondientes, considero que dicho trabajo llena satisfactoriamente los requisitos en la Facultad de Ingeniería, procediendo por este medio a su aprobación.

Agradeciendo su atención a la presente, me suscribo a usted.



Ing. Axel Higueros
C.C. 8476



Ing. Axel Oswaldo Higueros Avendaño

Asesor



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **AUMENTO DE LA EFICIENCIA EN LOS MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS Y CORRECTIVOS A TRAVÉS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y APOYO EN SOFTWARE**, presentado por el estudiante universitario **Sergio Antonio Samayoa Cruz**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Hugo Leonel Alvarado de León 
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Ing. Hugo Leonel Alvarado de León
Colegiado No. 5,334
Ingeniero Industrial

Guatemala, agosto de 2017.

/mgp



REF.DIR.EMI.054.018

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **AUMENTO DE LA EFICIENCIA EN LOS MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS Y CORRECTIVOS A TRAVÉS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y APOYO EN SOFTWARE**, presentado por el estudiante universitario **Sergio Antonio Samayoa Cruz**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Cesar Ernesto Urquiza Rodas
DIRECTOR a.i.

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, mayo de 2018.

/mgp

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 158.2018

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **AUMENTO DE LA EFICIENCIA EN LOS MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS Y CORRECTIVOS A TRAVÉS DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO Y APOYO EN SOFTWARE**, presentado por el estudiante universitario: **Sergio Antonio Samayoa Cruz**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, mayo de 2018

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser fuente importante de vida y sabiduría en las diferentes etapas de mi vida y decisiones.
Mis padres	María Cruz de Samayoa y Víctor Samayoa, por su paciencia, consejos y ayuda incondicional durante mi trayectoria.
Mis tíos	Por su apoyo e influencia en diferentes formas para mi superación personal y profesional.
Hermanos	Quienes a través de su sacrificio han estado ahí para apoyarme constantemente.
Amigos	Por estar ahí apoyándome constantemente de diferente forma para que pueda alcanzar mis metas.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser una importante influencia y fuente de conocimiento para ser un excelente profesional.
Facultad de Ingeniería	Por ser un gran apoyo en los diversos aspectos para desarrollo profesional.
Mis padres	Por su apoyo incondicional, moral y económico, para que alcance una meta más en mi vida.
La empresa	Por permitirme realizar el estudio dentro de sus instalaciones.
Ing. Axel Higueros	Por compartir su tiempo, paciencia y conocimientos en el desarrollo del presente trabajo de graduación.
Amigos y familia	Por ser una importante influencia en mi carrera, a través de la ayuda aportada en diferentes formas para permitirme continuar.
Mi tío	Mario Samayoa, quien a través de sus consejos me instó a continuar adelante.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	I
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XI
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
Hipótesis.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. ANTECEDENTES.....	1
1.1. La empresa.....	1
1.2. Historia.....	2
1.3. Ubicación.....	3
1.4. Organización.....	3
1.4.1. Organigrama.....	4
1.5. Misión.....	4
1.6. Visión.....	5
1.7. Valores.....	5
1.7.1. Servicio.....	5
1.7.2. Calidad.....	5
1.8. Producto.....	6
1.8.1. Cajas.....	6
1.9. Mantenimiento.....	6
1.9.1. Mantenimiento preventivo.....	7
1.9.2. Mantenimiento predictivo.....	7

1.9.3.	Mantenimiento correctivo	7
1.10.	Software	8
1.10.1.	Definición.....	8
1.10.2.	Diferentes tipos de usos	9
1.11.	Cámara termográfica.....	11
1.11.1.	Definición.....	12
1.11.2.	Función.....	12
1.11.3.	Campos de aplicación	13
1.11.4.	Algunos software para cámara termográfica	14
1.12.	Ultrasonido	15
1.12.1.	Definición.....	16
1.12.2.	Función.....	17
1.12.3.	Campos de aplicación	18
1.12.4.	Algunos software para ultrasonido	19
1.13.	Tensiómetro	20
1.13.1.	Definición.....	21
1.13.2.	Función.....	21
1.13.3.	Campos de aplicación	21
2.	CAPÍTULO DOS-DIAGNÓSTICO SITUACIONAL	23
2.1.	Eficiencias de mantenimiento.....	23
2.1.1.	Relación de tiempo para mantenimiento preventivo.....	24
2.1.2.	Relación de tiempo para mantenimiento correctivo.....	26
2.2.	Diagnóstico	27
2.2.1.	Indicadores históricos de mantenimiento	27
2.2.2.	Lluvia de ideas	29
2.2.3.	FODA de la situación actual	30

2.2.4.	Estrategias basadas en FODA	32
2.3.	Participación de departamentos en los mantenimientos	35
2.3.1.	Departamentos que participan de forma directa en los ajustes.....	35
2.3.2.	Departamentos que participan de forma indirecta en los ajustes.....	36
2.4.	Personal encargado de mantenimiento	37
2.4.1.	Requerimientos para asignar equipos al personal..	38
2.5.	Equipo	39
2.5.1.	Nomenclatura del equipo.....	40
2.5.2.	Puntos a analizar para el mantenimiento predictivo	41
3.	CAPÍTULO TRES-PROPUESTA PARA MANTENIMIENTO PREDICTIVO	43
3.1.	Cámara termográfica.....	43
3.1.1.	Personal a cargo.....	43
3.1.2.	Capacitación del personal.....	46
3.1.3.	Puntos de equipo a estudiar	47
3.1.4.	Plan piloto.....	48
3.1.4.1.	Plan piloto	50
3.1.4.2.	Cronograma.....	54
3.1.4.3.	Recopilación de datos	55
3.1.5.	Análisis por software.....	55
3.1.5.1.	Determinación de tipo de mantenimiento	56
3.1.5.1.1.	Mantenimiento preventivo	56

	3.1.5.1.2.	Mantenimiento correctivo.....	58
3.2.		Ultrasonido	59
	3.2.1.	Personal a cargo	59
	3.2.2.	Capacitación de personal	60
	3.2.3.	Puntos de equipo a estudiar.....	61
	3.2.4.	Plan piloto.....	63
	3.2.4.1.	Recopilación de datos	64
	3.2.5.	Análisis por software	65
	3.2.5.1.	Determinación de tipo de mantenimiento.....	70
	3.2.5.1.1.	Mantenimiento preventivo.....	70
	3.2.5.2.	Mantenimiento correctivo	73
3.3.		Tensiómetro	76
	3.3.1.	Personal a cargo	78
	3.3.2.	Capacitación de personal.....	79
	3.3.3.	Puntos de equipo a estudiar.....	81
	3.3.4.	Plan piloto.....	82
	3.3.4.1.	Cronograma	82
	3.3.4.2.	Recopilación de datos	83
	3.3.5.	Análisis por software	84
	3.3.5.1.	Determinación de tipo de mantenimiento.....	85
	3.3.5.1.1.	Mantenimiento preventivo.....	85
	3.3.5.2.	Mantenimiento correctivo	86
	3.3.6.	Reducción de averías.....	86
	3.3.6.1.	Planteamiento de averías.....	87

	3.3.6.2.	Causas que las provocan	88
	3.3.6.3.	Propuestas de soluciones.....	91
4.		CAPÍTULO CUATRO- IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA.....	93
4.1.		Lista de verificación u hoja de control.....	93
	4.1.1.	Cámara termográfica	94
	4.1.2.	Ultrasonido.....	95
	4.1.3.	Tensiómetro.....	96
4.2.		Solicitud de repuestos e insumos	97
	4.2.1.	Determinación de tipo de mantenimiento	98
	4.2.1.1.	Mantenimiento preventivo.....	98
		4.2.1.1.1. Cámara termográfica....	98
		4.2.1.1.2. Ultrasonido	100
		4.2.1.1.3. Tensiómetro.....	102
	4.2.1.2.	Mantenimiento correctivo.....	102
		4.2.1.2.1. Cámara termográfica..	103
		4.2.1.2.2. Ultrasonido	104
		4.2.1.2.3. Tensiómetro.....	107
	4.2.2.	Mantenimiento preventivo.....	108
	4.2.2.1.	Aceites.....	108
	4.2.2.2.	Grasas	110
	4.2.2.3.	Otros insumos.....	111
	4.2.3.	Mantenimiento correctivo.....	113
	4.2.3.1.	Repuestos.....	113
		4.2.3.1.1. Cámara termográfica..	114
		4.2.3.1.2. Ultrasonido	116
		4.2.3.1.3. Tensiómetro.....	118
4.3.		Inventario.....	119
	4.3.1.	Proveedores	119

4.3.2.	Inventario de seguridad	121
4.3.2.1.	Costo de inventario	123
4.4.	Estrategias para ajustes	124
4.4.1.1.	Departamento de calidad	126
4.4.1.2.	Departamento de electrónica	127
4.4.1.3.	Departamento de mantenimiento mecánico	130
5.	CAPÍTULO CINCO-SEGUIMIENTO	133
5.1.	Resultados obtenidos.....	133
5.1.1.	Interpretación	136
5.1.2.	Mejoras obtenidas	139
5.1.3.	Ventajas y beneficios	141
5.2.	Acciones correctivas	142
5.2.1.	Principales razones para aplicar correcciones	143
5.2.2.	Puntos donde se aplicaron las correcciones	144
	CONCLUSIONES.....	145
	RECOMENDACIONES	147
	BIBLIOGRAFÍA.....	149
	APÉNDICES.....	153

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama	4
2.	Imagen tomada desde un <i>dron</i> con cámara termográfica.....	11
3.	Algunos ejemplos de accesorios en su empaque	16
4.	Correas con guardas.....	20
5.	Proceso para asignar una máquina en mantenimiento	44
6.	Nueva propuesta para la asignación de equipo	45
7.	Hoja de reporte	51
8.	Reporte impreso.....	52
9.	Hoja de control	53
10.	Cronograma	55
11.	Nueva propuesta para asignación de personal	60
12.	Plan piloto para ultrasonido.....	63
13.	Comportamiento de trampas de vapor, antes de descargar	66
14.	Descarga de condensado de una trampa de vapor	67
15.	Problema de corona.....	68
16.	Gráfica en escala de tiempo real.....	69
17.	Determinar si es necesario un mantenimiento preventivo.....	71
18.	Mantenimiento preventivo de cojinetes	72
19.	Mantenimiento correctivo de trampa de vapor	74
20.	Tensiómetro	78
21.	Frecuencia perpendicular al movimiento de la correa	80
22.	Cronograma de tensiómetro.....	83
23.	Causas de desgaste prematuro de correas	89

24.	Deslizamiento de correas	90
25.	Correas que se rompen	91
26.	Lista de verificación para cámara termográfica	94
27.	Hoja de control de ultrasonido	95
28.	Lista de verificación para bandas de transmisión	96
29.	Solicitud de repuestos.....	97
30.	Solicitud de repuestos electrónica	99
31.	Menú desplegable de la hoja de solicitud	100
32.	Correcto funcionamiento y mantenimiento preventivo	101
33.	Mantenimiento correctivo.....	105
34.	Ruta de inspección. Línea 1	128
35.	Ruta de inspección. Línea 2	129
36.	Inspección de línea dos en la parte mecánica	132
37.	Representación gráfica de reducción de inventario	137
38.	Representación gráfica de rotación de inventario.....	138
39.	Representación gráfica de disponibilidad de equipo.....	138
40.	Paros no programados	139

TABLAS

I.	Indicadores del departamento de mantenimiento mecánico.....	28
II.	Lluvia de ideas para uso de ideas de equipo predictivo.....	30
III.	Matriz FODA de situación actual	31
IV.	Tabla de estrategias FO	33
V.	Estrategias DO	34
VI.	Estrategias FA	34
VII.	Tabla de estrategias DA	34
VIII.	Descripción de nomenclatura	40
IX.	Hoja de control de equipos	49

X.	Clasificación de las grasas.....	111
XI.	Nomenclatura de electrodo	112
XII.	Reducción de inventario.....	134
XIII.	Rotación de inventario.....	134
XIV.	Disponibilidad de maquinaria	135
XV.	Paros no programados.....	135
XVI.	Confiabilidad de los equipos	136
XVII.	Oportunidad de reducción de paros no programados	143

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Db	Decibeles, unidad de magnitud de sonido
ΔT	Diferencia de temperatura
$^{\circ}\text{C}$	Grado centígrado, medida de temperatura
lbf	Libra fuerza, unidad de fuerza
P/seg	Pies por segundos, velocidad
T₁,T₂	Tensiones
Hz	Unidad de frecuencia eléctrica y de onda
V	Velocidad

GLOSARIO

Aire comprimido	Aire sometido a alta presión.
Eficiencia	Mejora en la relación producción-inversión, en la que se incrementa el coeficiente de la división entre producción e inversión.
Emisividad	Radiación térmica emitida por un cuerpo debido a su temperatura.
Espectro de luz	Rango de ondas electromagnéticas visible para el ojo humano.
Golpe de ariete	Falla causada en tubería de vapor debido a resistencia del condensado o en flujo líquido por el cierre repentino de una válvula.
Gráfica FFT	Gráfica de transformación rápida de Fourier.
Paneles eléctricos	Tableros de distribución eléctrica con dispositivos de seguridad y controladores para las máquinas.
Subestaciones	Instalación dedicada a establecer los valores de tensión adecuados.

Ultrasonido

Ondas sonoras de alta frecuencia que superan los 20 000 Hz.

RESUMEN

En cualquier empresa se busca la forma de reducir los paros de producción, por cualquier causa que sea, bien sea por materia prima, reparaciones de maquinaria, ajustes, etc. Este estudio se ha realizado con el fin de mejorar la eficiencia en lo que respecta a los paros preventivos y correctivos que siempre son necesarios e imposibles de eliminar.

La empresa ya contaba con un excelente sistema de mantenimiento preventivo, sin embargo el jefe del departamento de mantenimiento tenía claro que existen mejores formas de determinar fallas de las máquinas o mediciones que pueden ayudar a establecer un problema que pueda ser corregido en un mantenimiento preventivo, sin tener la necesidad siquiera de desarmar las máquinas. Los equipos que, sin lugar a duda, fueron de mucha ayuda, son los equipos de mantenimiento predictivo, existiendo mucha variedad de estos. Se tomó la decisión de comprar la cámara termográfica, el ultrasonido y el tensiómetro para realizar las diferentes mediciones y tener una mejor visión de cómo se comportaban los equipos y realizar rápidamente cualquier reparación.

La cámara termográfica da una imagen de las emisiones de rayos infrarrojos. A través de esta imagen se puede apreciar el estado de las máquinas. Es sabido que todo equipo antes de fallar libera calor, esto puede ser visto en los elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos, sin excepción, y al generar una imagen es más fácil de interpretar por cualquier persona.

El ultrasonido es un equipo que se basa en ondas sonoras de alta frecuencia. Este tipo de sonidos no pueden ser percibidos por el oído humano.

Es un equipo que requiere más análisis que la cámara termográfica, debido a que, aparte de tener una buena interpretación del sonido, también es necesario conocer muy bien la maquinaria, para asegurar qué es lo que el usuario espera escuchar y qué es lo que escucha.

Este equipo cuenta con dos software, uno sirve para ver una gráfica en la cual, si se interpreta adecuadamente, se puede observar la falla que existe en el equipo a través del comportamiento gráfico de la misma; y otro programa que es un excelente medio para llevar un control de los variados mantenimientos que se realizan a los largo del tiempo, ingresando toda la información con las circunstancias en que se realizó una medición.

El tensiómetro es, sin lugar a duda, entre los tres equipos, el más fácil de utilizar. Es sobre todo una base de comparación de frecuencias, se hace énfasis en que es para el caso de esta empresa, ya que existen diversos tipos de tensiómetros. El fabricante de tensiómetro aporta una tabla con la cual se comparan los valores obtenidos de la medición. En todos los casos se utilizan diferentes hojas de control electrónico, con las que se podrá, en el futuro, obtener datos de cómo se comportan los equipos y, si es posible, realizar una mejora en el sistema de mantenimiento de los equipos o detectar una falla que cause un acortamiento del tiempo de vida de los mismos.

Se logró obtener mejoras que, con el tiempo, se irán afianzando, a medida que los usuarios de los equipos adquieran más experiencia en el uso de los mismos, retornando lo invertido.

OBJETIVOS

General

Mejorar el sistema actual de mantenimiento con base en un mantenimiento predictivo.

Específicos

1. Reducir costos por mantenimiento por exceso o falta del mismo.
2. Reducir paros por mantenimiento preventivo para tener un mayor tiempo de producción de la máquina.
3. Determinar períodos para realizar el mantenimiento predictivo en cada equipo, para tener un mejor uso del equipo de medición.
4. Reducir el inventario de repuestos para evitar posibles daños a los repuestos por almacenamiento.
5. Capacitar al personal de mantenimiento en el uso de los instrumentos para que, al momento de existir rotación de personal, se encuentren capacitados para usar el equipo.
6. Aplicar software para el mantenimiento predictivo para mejorar la toma de decisiones.

7. Optimizar la solicitud de repuestos para tener una mejor repuesta a los requerimientos por parte de los proveedores.

HIPÓTESIS

Hipótesis nula:

Aplicando un mantenimiento predictivo mejorará la eficiencia de los mantenimientos.

Hipótesis alternativa:

Aplicando un mantenimiento predictivo no mejorará la eficiencia de los mantenimientos.

INTRODUCCIÓN

En la empresa en la que se realizará el trabajo de investigación se producen cajas de cartón con diferentes características. Este producto se realiza con base en las especificaciones que el cliente da a la empresa, razón por la que existen diferentes diseños y tamaños de caja, respecto a los cuales la empresa tiene la capacidad de responder en los tiempos estipulados según la producción de lo requerido y con la calidad que el producto debe tener.

El estudio se llevará a cabo en la planta de producción, en donde se controla que la calidad de la caja cumpla con las expectativas del cliente, cumpliendo también con las normas de calidad que el cliente necesita para lo que será el medio que transportará el producto con varias unidades dentro, y protegerá el mismo al momento de ser transportado entre bodegas o hacia los clientes, reduciendo el impacto perjudicial, ya sea por el movimiento que se produzca en los vehículos o el que sea necesario para el almacenaje.

El estudio se llevará a cabo en la planta de producción, en la que se busca que los tiempos de mantenimiento preventivo y correctivo sean menores y, a su vez, reducir los paros que se dan por fallas en los equipos a través de un nuevo sistema que se implementará dentro de la planta, para alcanzar una mejor eficiencia y eficacia.

La eficiencia para el departamento de mantenimiento se mide con base en la cantidad de horas disponibles de una máquina, esto quiere decir que es el tiempo que la máquina se encuentra trabajando. El departamento realiza una

constante mejor en estos indicadores y es lo que se desarrollará en el transcurso de este trabajo de graduación.

La persona a cargo del departamento solicitó instrumentos de medición para realizar un mantenimiento predictivo y lograr así la mejora de eficiencia, convirtiendo algunos mantenimientos correctivos en preventivos, y los preventivos realizarlos en un tiempo menor y con una mejor certeza de que el equipo no fallará después de realizado el mantenimiento correspondiente.

El mantenimiento predictivo será el medio por el que se asegurará que se reducirán estos casos en los que se realiza un mantenimiento preventivo y, posteriormente, se debe realizar un paro, debido a que se desconoce cómo se encuentran internamente los equipos, siendo necesario en ese momento realizar un mantenimiento correctivo. Los equipos que se utilizarán para estos casos facilitarán el trabajo a realizar al obtener mejores inspecciones, debido a que se pueden aprovechar las horas que se dan para mantenimiento preventivo para realizar un mantenimiento correctivo con anticipación, antes de que el problema se haga presente y se requiera parar la producción para corregir el problema.

Las medidas tomadas con los instrumentos de medición serán ingresadas en software, para tomar una mejor decisión respecto a las condiciones en las que se encuentran los equipos y realizar los mantenimientos en el momento preciso, sin que se vea afectada la productividad en la planta de producción, aparte de tener un historial con el cual será más fácil determinar futuras fallas.

1. ANTECEDENTES

En este apartado se conocerán aspectos básicos de la empresa y aspectos generales sobre el tema de este trabajo de investigación, de donde se partirá para realizar el proyecto.

1.1. La empresa

La empresa donde se realizará el trabajo de graduación es una empresa en crecimiento que, a través de su política de calidad y mejora continua, aumenta su participación en el mercado, fabricando productos de calidad y cumpliendo con las especificaciones que el cliente solicita, para facilitar el transporte y almacenaje de los productos que serán protegidos por las cajas de cartón que se producen dentro de las instalaciones.

Las políticas y metas trazadas por esta empresa aseguran al cliente que el producto que se fabrica dentro de las instalaciones mantendrá a sus productos protegidos ante los diferentes agentes que se encuentran en los diferentes lugares de almacenaje y durante el transporte, por lo que el cliente final recibirá el producto contenido dentro de las cajas en buenas condiciones, siempre que se maneje adecuadamente.

La empresa cuenta con un buen sistema de logística para asegurar que a los clientes les será entregado en el momento acordado el producto, con diferentes medios de transporte, para tener una mejor flexibilidad en la entrega, no solo dentro de la ciudad sino también afuera de esta, lo que da seguridad al cliente, que no se será afectado al momento de querer continuar el proceso por

falta de empaque, que es la etapa final de su producto, para ser transportado al proveedor o cliente final.

1.2. Historia

La empresa surgió de la necesidad y la visión de sus accionistas de abastecer la demanda del mercado que cada vez es más exigente y amplio, dando oportunidades de inversión y rentabilidad debido al tipo de producto que se fabrica y a la variedad de características que se requieren. Los inversionistas vieron la necesidad de una empresa que abarcara este mercado no solo a nivel nacional sino a nivel internacional, donde muchas empresas suelen necesitar cajas de diferente estilos y diseños, teniendo como variantes el tamaño y los colores de impresión, según la diversificación con que la empresa cuente en sus productos, con lo que todos buscan ser más competitivos no solo a través del diseño sino también del empaque, que es una forma de hacer diferenciar el producto en el mercado con respecto al de la competencia.

La empresa arrancó con dos líneas de producción, con las que se inició a abastecer el mercado, logrando satisfacer las necesidades de sus clientes, llevando a cabo planes de mejora continua y cumpliéndolos, haciendo que sus procesos sean más eficientes y creando un incremento en las ventas, en la producción y reduciendo costos, para aumentar su competitividad a nivel nacional e internacional, teniendo una mayor participación en el mercado.

La empresa, gracias a los esfuerzos continuos de su personal y las estrategias implementadas en la producción, ventas y calidad, ha crecido y actualmente cuenta con otras dos líneas de producción, comprando equipo más moderno, asegurando que tendrá una mayor producción y que su producto será de la misma calidad de siempre, y obteniéndolo en menor tiempo.

La empresa cuenta con un departamento de logística que se encarga de asegurar que el producto llegará al cliente en la fecha que ha sido acordado, ya que en ocasiones los clientes cuentan con un espacio limitado y no pueden tener un inventario de seguridad muy elevado.

1.3. Ubicación

La empresa se encuentra ubicada en el Departamento de Guatemala, en el lado sur de la Ciudad Capital, desde donde tiene fácil acceso a los servicios necesarios y a la materia prima para que se lleve a cabo la producción, y la facilidad para el transporte público en las cercanías, que es necesario para que los trabajadores puedan movilizarse y el producto pueda ser transportado al cliente con facilidad, ya sea dentro del territorio nacional o fuera de este.

1.4. Organización

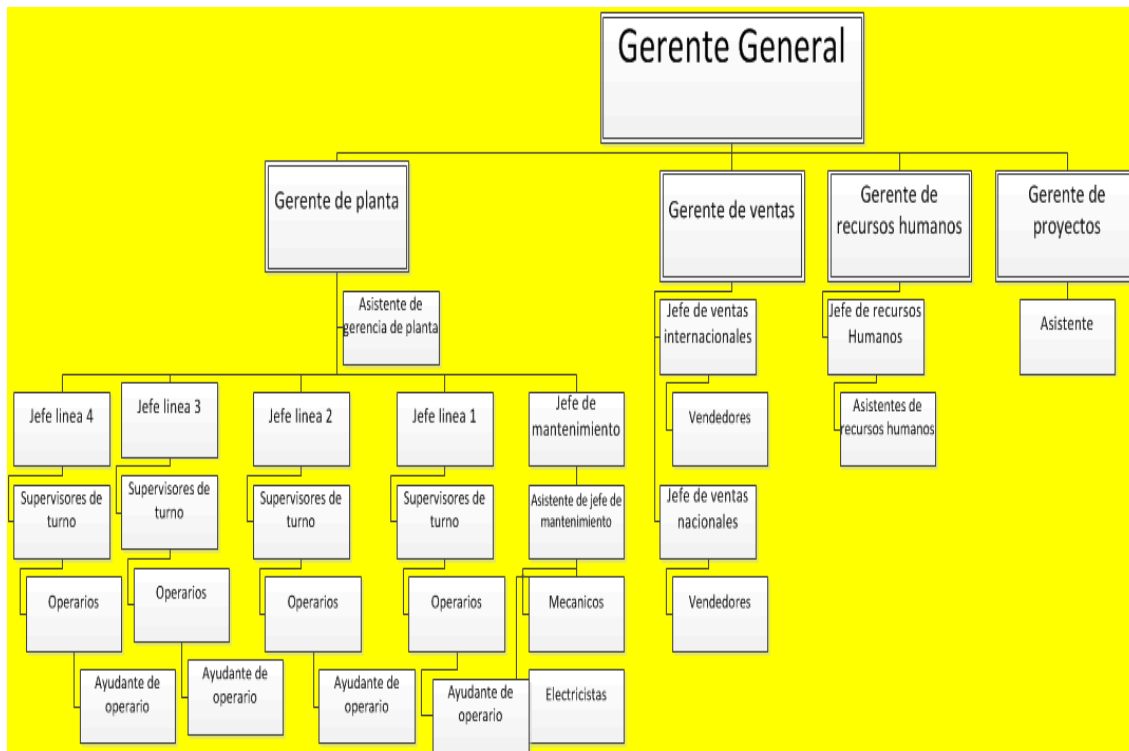
Como cualquier otra empresa, esta tiene una jerarquía a través de la cual se asegura que las metas de la empresa se lleven a cabo, realizando una división de trabajo óptima y asegurando que la calidad y la satisfacción del cliente sea el compromiso a todos los niveles, para que la empresa no solo se mantenga en el mercado sino también continúe en crecimiento, abarcando nuevos mercados dentro y fuera del país.

La organización de las empresas puede variar una de otra, según la necesidad o el tipo proceso que se realice, por ese motivo es necesario conocer la jerarquía de una empresa, para que cada persona sepa quién le notifica a quién, y no que la información se encuentre dispersa o nunca llegue a la persona indicada.

1.4.1. Organigrama

La estructura jerárquica de la empresa es la siguiente:

Figura 1. Organigrama



Fuente: datos facilitados por la empresa.

1.5. Misión

“Satisfacer la demanda del mercado actual, con productos corrugados que cumplan con las expectativas del cliente a través del cumplimiento de las especificaciones y calidad en nuestros procesos de producción y servicio”¹.

¹ Productos de cartón S. A.

1.6. Visión

“Ser la empresa líder a nivel Centroamérica en la elaboración de productos corrugados, a través de mejora continua y la implementación de nuevos proyectos para el desarrollo de la empresa y los trabajadores”².

1.7. Valores

“Los valores son parte de la cultura organizacional por medio de los cuales la empresa llega a cumplir sus metas, y estos deben formar parte de la cultura de la persona para que pueda adaptarse a las normas de las empresas y que pueda formar parte activa en la realización de la visión y las metas de la empresa”³.

1.7.1. Servicio

“Nuestra organización reconoce que para entregar un producto de calidad, este debe ser acompañado por un excelente servicio al cliente, porque el cliente es nuestra razón de ser”⁴.

1.7.2. Calidad

“Elaborar nuestros productos con las especificaciones que nos indica el cliente, para que el cliente pueda asegurar que la calidad de sus productos no será afectada y haya facilidad para transportar su producto”⁵.

² Productos de cartón S. A.

³ Ibíd.

⁴ Ibíd.

⁵ Ibíd.

1.8. Producto

La empresa se especializa en producto con base en corrugados, más conocidos como cartones para la fabricación de cajas.

1.8.1. Cajas

Los productos que se fabrican tienen especificaciones que el cliente solicita, pudiendo existir variedad de tamaños y estilos que se producen en las instalaciones. En cuanto a diseño de impresión, es otro caso más en el que es necesario variar según la necesidad, esto debido a que cada cliente tiene su propio diseño o logotipo, teniendo un máximo de 4 colores para caja de cartón.

La tonalidad de los colores es inspeccionada cuidadosamente, para asegurar que se cumpla con las especificaciones y para evitar que, por un color de menor o mayor intensidad, hayan variaciones con los diseños originales y las ventas de la empresa se vean afectadas, ya que la variación en la tonalidad de las cajas puede hacer que una caja aparente ser vieja, aun cuando el producto se encuentre recién fabricado, ya que eso puede provocar desconfianza en el consumidor final.

1.9. Mantenimiento

Conjunto de acciones a través de las cuales se realizan reparaciones para restaurar los equipos a su estado inicial o de operación normal, para que no existan daños más complejos que puedan afectar la seguridad del personal y de la máquina o instalaciones donde estas operan. El mantenimiento también puede ser aplicado a los edificios y diferentes instalaciones dentro de la

empresa, aun cuando estos no sean máquinas para la transformación de la materia.

1.9.1. Mantenimiento preventivo

Es el mantenimiento que se lleva a cabo antes de que la máquina presente alguna falla, el objetivo es evitar paros inesperados y daños que ocasionen tener que realizar cambios de piezas, mejorando las condiciones de la máquina y su respuesta óptima. Dentro de las actividades más comunes que cabe mencionar dentro del mantenimiento preventivo se encuentra la lubricación, y también es considerado como un mantenimiento preventivo el cambio de piezas o accesorios de los equipos antes de que estos fallen.

1.9.2. Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo consiste en realizar un control a través de variables de medición físicas, que no son perceptibles por ninguno de los sentidos humanos, anticipando cualquier tipo de falla existente para determinar un mantenimiento preventivo o un mantenimiento correctivo, según sea el caso, y programar el mantenimiento sin perjudicar la producción causando atrasos y posibles demandas a la empresa.

1.9.3. Mantenimiento correctivo

Este tipo de mantenimiento es el que se busca reducir al máximo. Se da cuando la máquina ya ha fallado, debido a que alguna de sus piezas ha dejado de cumplir con su función, por consiguiente se tiene un paro no planeado provocando retrasos en la producción y un daño mayor en la máquina según sea el caso. Este tipo de mantenimiento no siempre es posible evitarlo, pero sí

reducirlo a través del mantenimiento preventivo y con apoyo en el mantenimiento predictivo para pronosticar posibles fallas. Lo que puede provocar que una máquina falle puede ser la falta de mantenimiento preventivo, una situación de mala operación o el desgaste causado por el mismo trabajo realizado por la máquina en su operación normal.

Es recomendable mantener un *stock* de repuestos, pues en el caso en que los repuestos deben ser importados o conseguir los repuestos de los equipos es muy difícil. Otra solución a la que se acude es la fabricación de las piezas por medio de maquinaria especializada o a la reparación de las piezas dañadas.

1.10. Software

El software suele ser un concepto muy confuso, debido a que en muchas ocasiones no se conoce el alcance o límite de este, lo que dificulta en todos los casos determinar qué es un software o tener solo una idea básica de lo que puede ser.

1.10.1. Definición

Es la parte lógica de la computadora, la que da las instrucciones al hardware, consiste en los archivos, programas y diseños de programas. También es la parte ejecutable de la computadora, es el medio por el que el usuario puede trabajar con esta. Existen diferentes tipos que ayudan a los usuarios de las computadoras a realizar diferentes operaciones.

1.10.2. Diferentes tipos de usos

El software tiene diferentes y variados usos, en la vida de cualquier persona se suele utilizar desde que las personas despiertan, de forma inconsciente, hasta que duermen. Es tal la adaptación que el software ha tenido que nadie lo nota, a continuación algunos ejemplos:

- Software de sistema: cualquier equipo de computadora está conformado por diversos dispositivos internos, para que estos trabajen de forma automática y correcta, sin que el usuario tenga participación. Existe software que es el encargado de controlar todas las funciones básicas del equipo como:
 - Controladores gráficos
 - Herramientas de diagnóstico
 - Herramientas de corrección y optimización
 - Controladores de sonido
 - Controladores de impresora

- Software de programación: este software es un medio por el cual se pueden desarrollar otros tipos de programas que pueden facilitar diversos trabajos. Este tipo de programa se encuentra bajo un lenguaje estandarizado por medio del cual se le da órdenes al software, para que este le indique al programa qué es lo que debe hacer y cómo hacerlo, haciendo que una orden muy compleja sea muy sencilla de realizar para el usuario. Algunos ejemplos son:
 - Editores de texto
 - Traductores

- Interpretes
- Depuradores

- Entornos de desarrollo integrados (IDE): es una conglomeración de algunos, tales como los editores de texto, depuradores, traductores en conjunto, que facilitan el trabajo de los desarrolladores y desarrollo de diferente software, con el fin de obtener programas más completos y sencillos de entender.

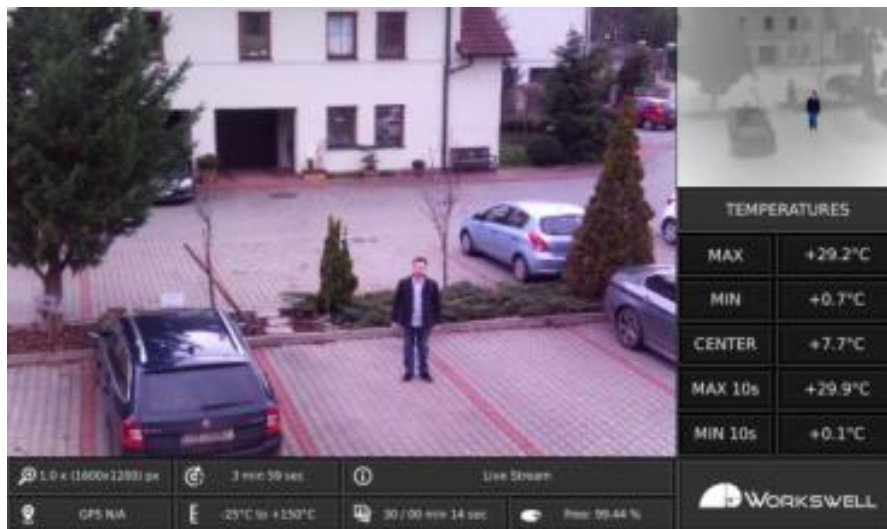
- Software de aplicación: este tipo de software es con el que la actualidad está más familiarizado, lo usamos diariamente de forma inconsciente, ya que desde que una persona despierta y revisa su teléfono utiliza este tipo de software, al utilizar la computadora y en los trabajos, como se mencionan a continuación:
 - Aplicaciones para control de sistemas y automatización industrial
 - Aplicaciones ofimáticas
 - Software educativo
 - Software empresarial
 - Base de datos
 - Telecomunicaciones
 - Videojuegos
 - Software médico
 - Software de cálculo numérico y simbólico
 - Software de Diseño Asistido (CAD)
 - Software de Control Numérico (CAM)

1.11. Cámara termográfica

La cámara termográfica es un instrumento que facilita mucho el análisis de condiciones de trabajo de los equipos, tanto en lo mecánico como en lo eléctrico en la industria, aunque puede tener diferentes usos, siendo de importante ayuda para el mantenimiento predictivo necesario en muchas empresas, debido a que permite visualizar cambios de temperaturas que los sentidos humanos no pueden percibir y a que puede ser una oportunidad para obtener un mejor resultado de los mantenimientos que se les da a los equipos.

Existen otros tipos de cámaras termográficas que no solo pueden tomar temperaturas infrarrojas, sino que también las temperaturas en espectro visible, como lo haría un termómetro *laser*, solo que en este caso con el apoyo de una imagen más clara de lo que sucede.

Figura 2. Imagen tomada desde un *dron* con cámara termográfica



Fuente: Workswell. *Cámara termográfica*. <https://www.drone-thermal-camera.com/es/workswell-wiris-camara-de-imagen-termica-para-drone/>. Consulta: 5 de junio de 2017.

1.11.1. Definición

Dispositivo electrónico a través del cual se puede visualizar, por medio de una fotografía o videos, los cambios de temperatura que existen en dos puntos cercanos que emiten luz infrarroja y que se dan en diferentes dispositivos mecánicos, eléctricos o electrónicos, así como en otras aplicaciones en las que pueden existir diferencias de temperatura infrarroja como en medicina o construcción. En la industria facilitan la determinación de posibles fallas que se den en el sistema previo a que este falle o se ocasione un problema mayor, lo cual provocaría un costo mayor en el mantenimiento de la máquina o un daño de una magnitud superior si esto no se soluciona inmediatamente.

1.11.2. Función

La cámara tiene la función de tomar una fotografía del lugar en el que se requiere tomar la lectura de la variación de temperatura, hace visibles las ondas electromagnéticas que no son visibles por el ojo humano, ayudando no solo con medidas físicas de temperatura a determinar la variación de temperaturas, sino también de manera visual, para comprender de forma más sencilla la situación de los equipos y así poder intervenir a tiempo en la solución del problema.

La cámara tiene la capacidad de guardar fotografías del equipo, para posteriormente ser analizadas o llevar un historial del mismo, permite también agregar un comentario u observación que considere oportuna el usuario del equipo, para una futura reparación o solicitud en caso de que esta deba esperar por diferentes causas necesarias, o para la creación de reportes en caso de que estos sean solicitados o requeridos como parte del historial de mantenimiento.

1.11.3. Campos de aplicación

Los campos de aplicaciones para la cámara termográfica son muy amplios, ya que da una percepción de las condiciones en las que las máquinas operan, pero no solo en las máquinas, también en otras aplicaciones que pueden ayudar a reducir gastos, costos de mantenimiento y daños a las instalaciones o al personal. A continuación se presenta un desglose de algunas aplicaciones específicas:

- Estructuras de edificios
- Sistemas de techado
- Sistemas mecánicos
- Aplicaciones ambientales
- Aplicaciones aéreas
- Biología y medicina
- Radiometría
- En ensayos no destructivos, mecánica del estado sólido, mecánica de fluidos
- Conservación y restauración
- Mantenimientos eléctricos
- Papel y pulpa
- Revisión de cuartos fríos y aislamiento térmico
- Intercambiadores de calor

Esto hace evidente los aportes que este equipo puede dar no solo en el mantenimiento sino también en diferentes procesos de producción y de mantenimiento dentro de la empresa.

1.11.4. Algunos software para cámara termográfica

Cada fabricante de cámara crea su propio software, creando a su vez la exclusividad para las funciones de la cámara como se hace para una computadora. En lo que los software del sistema son diferentes entre uno y otro, aun cuando todos sean computadoras, es en lo mismo que hace posible el funcionamiento del sistema, aunque solo se puede limitar a una descripción del software. Dentro de las funciones principales que tiene este software están los ajustes necesarios para poder tomar las fotografías requeridas y con la amplitud o delimitación que se considere conveniente, para determinar el punto donde se encuentra la causa del problema y cómo solucionarlo según sea el caso.

El software propio de la cámara da la posibilidad de tomar una imagen que traslada de rayos infrarrojos a un espectro visible en forma de fotografía, con colores de tonalidades azules o rojas, para notar la variación de las temperaturas no solo con los valores de temperatura aportados por el software. Se hace la aclaración de que estos colores son solo para tener una mejor visualización y no quiere decir que sean esos los colores naturales.

También tiene la función de tomar fotografías con vista normal, en la cual se aprecia cómo se ve el equipo en esos instantes bajo las condiciones normales del usuario, es decir sin que exista la capacidad de sensor infrarrojo, o bien, para llevar una imagen de placa del equipo al que se le realiza el estudio o reporte necesario. Por mencionar algunos ejemplos de software que no son de un fabricante de cámaras termográficas se puede mencionar:

- Nec NS 9500
- IRmotion Professional
- IRmotion Enterprise Industrial

- Software Reporter
- Software Thermal Control

Cada programa, como en cualquier aplicación, tendrá ventajas y desventajas, y de igual forma existirán de diferentes desarrolladores. Podrán ser utilizados los que mejor se adapten a la necesidad de la empresa y condiciones en las que el equipo trabaja, para sacar una mejor ventaja de estos instrumentos. En otras ocasiones los desarrolladores de los software son específicos de la empresa, creando programas que sacan lo mejor del equipo según el diseño de los fabricantes.

1.12. Ultrasonido

El ultrasonido es un equipo que puede ser de mucha utilidad en diferentes aspectos del mantenimiento predictivo, facilitando los mantenimientos de los equipos y ayudando a mantener el correcto funcionamiento y la seguridad de los operadores. El ultrasonido es un equipo que cuenta con diferentes accesorios, para asegurar que bajo las diferentes condiciones que se dan dentro de la planta puedan llevarse a cabo mediciones más precisas, o en sitios a los que es difícil llegar por lo arriesgado en cuestiones de seguridad, tanto para el usuario del equipo como para el equipo que se encuentra en ese momento tomando las mediciones que son necesarias para llevar el control. Otros accesorios son de utilidad para delimitar un espacio en el que se quiere tomar la medición y en otras zonas en las que se usan aplicaciones muy especiales para el control de fugas.

Figura 3. **Algunos ejemplos de accesorios en su empaque**



Fuente: *Accesorios*. <https://www.terapeak.com/worth/ue-systems-ultraprobe-10000-digital-ultrasonic-inspection-system/272423296091/>. Consulta: 6 de junio de 2017.

En el caso de la imagen anterior, los accesorios pueden variar en su diseño según el fabricante de los mismos y el uso para el que fueron desarrollados.

1.12.1. Definición

Instrumento de medición física, las ondas del ultrasonido son de baja frecuencia, lo que provoca que el sonido no sea capaz de atravesar objetos como lo harían ondas de baja frecuencia, que son capaces de atravesar objetos sólidos. Este instrumento, al medir este tipo de frecuencia, no se ve afectado por el resto de sonidos, pues dispone de diferentes accesorios que son aplicados para escuchar sonidos bajo diferentes emisiones que pueden darse en los equipos de producción y equipos varios, que es necesario eliminar para tener una alta productividad y eficiencia, pero que normalmente no son tomados

en cuenta por el costo del equipo para desarrollar esta medición, incrementando los costos de producción.

Este es un equipo que, dependiendo del estado en el que se encuentre la planta, así puede ser el retorno de la inversión, pero cabe mencionar que toda empresa tiene siempre algún tipo de problema que no es perceptible por los sentidos del ser humano y tampoco por algunos instrumentos de medición, causando diferentes pérdidas de energía de forma variada, lo que provoca pérdidas de energía que representan trabajo y un costo para producir esa energía, generando un consumo que no aporta nada al proceso.

1.12.2. Función

El equipo tiene la función de ayudar a escuchar diferentes sonidos que no son perceptibles para el oído humano, así como la capacidad de amplificar los sonidos a través de diferentes elementos electrónicos para determinar fallas en los equipos de forma temprana, y que pueda ayudar a determinar si existe una falla y solucionarla de forma temprana, ya sea a través de un mantenimiento preventivo o un mantenimiento correctivo. En muchas ocasiones las razones de los mantenimientos correctivos se dan a causa de falta de mantenimientos preventivos.

En muchas ocasiones los equipos cuentan con un plan de mantenimiento preventivo, pero esto puede caer en un exceso de mantenimiento preventivo o falta del mismo, debido a diferentes razones, como puede ser un incremento o reducción en la cantidad de horas de producción, provocando una reducción de vida de muchos elementos de la maquinaria. Este equipo también tiene la función de ser de apoyo para otros equipos de mantenimiento predictivo, como

lo es en el caso de cualquier equipo que no puede tomar todas las variables por sí mismo.

1.12.3. Campos de aplicación

Este equipo, debido a la función de amplificar los sonidos y convertirlos a un sonido que puede ser escuchado por el ser humano, puede ser aplicado a los siguientes casos:

- **Electricidad:** puede detectar diferentes fallas eléctricas, debido a que el aire no es un buen conductor de la electricidad y, al existir una fricción por el paso de los electrones por el aire, causa sonidos que, según el tipo de falla, pueden o no pueden ser audibles por el ser humano.
- **Mecánica:** en la mecánica el objetivo principal en muchos de los elementos es que la fricción sea cero, pero al no ser posible evitar la fricción se busca reducir al máximo posible, pero por ser tan pequeña, no es posible escucharla; pero eso no indica que no afecte a los elementos provocando daños y que esta no se pueda reducir con un mantenimiento preventivo aplicado, que es en lo que este equipo puede apoyar.
- **En fugas y pasos de flujos por tubería:** en ocasiones existen fugas que normalmente no pueden ser escuchadas por el ser humano, pero representan un costo, ya que es trabajo hecho por una máquina que se va al ambiente, esto para el caso de fugas de gases que al salir generan turbulencias, también es de apoyo para la prueba del correcto funcionamiento de válvulas y trampas de vapor.

1.12.4. Algunos software para ultrasonido

La mayoría de los fabricantes de estos equipos suelen producir sus propios software, con lo que aseguran que el equipo cumpla con las especificaciones dadas por ellos y solicitadas por el cliente, con base en la función que es requerida que este realice dentro de la planta y las condiciones en las que se debe desarrollar para cumplir con sus objetivos. Cabe mencionar que el software mismo se hace cargo del funcionamiento, creando los ajustes necesarios para la toma de datos en el instrumento, tales como la sensibilidad, la opciones de guardar en la memoria interna del instrumento, y otras opciones que son dadas según el fabricante y el software desarrollado, el cual puede ser leído en los manuales y las capacitaciones necesarias para la utilización del producto.

Por otra parte, existen tipos de software que son para utilizarse en computadora, a través de los cuales se puede llevar un control histórico de cómo se ha comportado la máquina y ajustar alarmas que sirven de recordatorio tanto para llevar a cabo cualquier mantenimiento preventivo como para realizar cualquier toma de datos que sea necesaria para darle continuidad al mantenimiento preventivo, aparte de tener un centro de archivo en donde se puede realizar comparaciones entre el estado anterior de la máquina y el momento en que se realiza la nueva toma de datos, para poder anticipar si existe un motivo que pueda provocar un paro, para solucionarlo con anticipación en un paro programado y que no haga un daño mayor, provocando una reducción en el tiempo de operación efectivo de la máquina durante la producción.

1.13. Tensiómetro

Este instrumento de medición brinda apoyo en el mantenimiento predictivo debido a que mucha maquinaria cuenta con poleas y fajas, en muchas ocasiones suelen tensarse las fajas sin siquiera haber seguridad de si la tensión a la que se encuentra la faja es la correcta, provocando que el tiempo de vida de las fajas sea más corto de aquel para el que en realidad han sido diseñadas. Esta circunstancia puede provocar que existan paros inesperados y una reducción en la productividad; no siempre las fajas se encuentran en un punto fácil de acceso, en ocasiones estas se encuentran cubiertas por guardas y puede existir un nuevo error al tensar, provocando que sea necesario un paro más extenso.

En la siguiente imagen se muestra una correa con su respectiva guarda, estas son necesarias por motivos de seguridad, se deben instalar en máquinas con equipos de rotación de altas revoluciones, para evitar que la persona por descuido coloque la mano o que alguna parte de su equipo de seguridad o vestimenta quede atrapada, provocando daños físicos.

Figura 4. **Correas con guardas**



Fuente: *Correas con guardas.*

<http://2.bp.blogspot.com/oHdLsNcjZqw/UPF9bITyy9I/AAAAAAAAABw/D5hsHVF1ook/s1600/protecci%C3%B3n+tambor+de+cola.jpg>. Consulta: 6 de agosto de 2017.

1.13.1. Definición

Instrumento de medición que se utiliza para determinar la tensión de las bandas. Puede variar la forma en que se toma la medición, puede ser a través de contacto directo a las fajas o a través de un sensor midiendo los Hz, en ambos casos las correas se deben encontrar completamente paradas, ya que, de no ser así, se puede causar daño o tener un dato incorrecto que afecte la medición, provocando que se tense más de lo que realmente se necesita y reduciendo el tiempo de vida de las correas.

1.13.2. Función

La función del tensiómetro es asegurar que la tensión con la que se deja la correa es la tensión indicada y que, al momento de la puesta en marcha, no se provocará que esta se deslice o que se encuentre con exceso de tensión, provocando daños en los diferentes elementos de la máquina. Las unidades de medida para determinar la tensión según el tipo de tensiómetro son Newton (N) o Hertz (Hz), en ambos casos son datos que pueden darse según recomendaciones del proveedor o según fabricante de las fajas.

1.13.3. Campos de aplicación

Debido al uso tan extenso de las correas, que no son solo un medio para transmitir potencia y movimiento, sino también un medio por el cual se transporta materia prima o producto terminado como bandas transportadoras, puede este instrumento ser utilizado en diferentes industrias, debido a que todas las máquinas cuentan con un sistema de correas. Se puede creer que en general realizar un reemplazo de una correa puede consumir poco tiempo, pero tener que remover algunas guardas o protectores de las máquinas es

complicado, y si esto se da continuamente es porque existe otro problema y, si no se soluciona a fondo, se volverá un problema repetitivo creando pérdidas para la empresa. Esto ocurre por la sencillez de este tipo de instrumento, porque se comporta como un instrumento de comparación entre si se cumple o no con el rango de tensión que las correas deberían tener.

2. CAPÍTULO DOS-DIAGNÓSTICO SITUACIONAL

Para realizar cualquier trabajo de investigación es importante saber cómo se encuentra el objeto de estudio, esto para determinar con qué se cuenta, tanto ventajas como desventajas, hacia dónde se quiere ir y generar las directrices que faciliten cumplir los objetivos. Para realizar esto es posible apoyarse en diferentes herramientas de ingeniería, que cada investigador determinará para que se ajuste a sus necesidades.

2.1. Eficiencias de mantenimiento

Cada empresa mide las eficiencias con base en diferentes aspectos, se puede mencionar algunos como el servicio, tiempo de producción, producción física y costos de inversión, lo cual provoca que cada empresa tome sus indicadores basados en diferentes aspectos para que todos tengan validez según sea el caso del tipo de producto. La medición de las eficiencias puede variar de un departamento a otro, según las funciones que realice cada departamento. Es a través de la medición de sus objetivos y metas que cada departamento aporta de forma diferente un valor agregado a la empresa, y a través de estas puede realizarse una mejora continua en los procesos propios de cada departamento, para generar mayores ganancias a la empresa, realizando una mejor administración de sus recursos.

El diagnóstico se realiza de forma sencilla gracias al programa SAP, al cual toda la empresa se encuentra conectada entre departamentos, y cualquier situación cargada al sistema es firmada previamente por los departamentos involucrados. Por ejemplo, los tiempos de paros o retrasos por diferentes

aspectos como la compra de materia prima, averías, fallas en suministros varios, etc., son ingresados en el sistema. Gracias a las funciones variadas del software se puede obtener estadísticas en las que se examinan las fallas más recurrentes a través del diagrama de Pareto. Posterior a esto se identifica qué provocó el problema con una lluvia de ideas, en diversas reuniones en las que cada persona aporta su idea de lo que pudo provocar el retraso, con base en diferentes diagramas y herramientas estadísticas, así como en información obtenida del programa SAP, revisada nuevamente y comparada con las ideas que el personal de cada departamento aportó en una reunión general.

El departamento de mantenimiento en la empresa no es ajeno a este proceso, en el cual en muchas ocasiones la proactividad del personal ayuda a que muchos problemas sean solucionados de forma inmediata, pero esto suele ser con base en la experiencia de las personas y en el conocimiento que adquieren en diferentes capacitaciones que son repartidas por diferentes proveedores y fabricantes de maquinaria, quienes dan a conocer algunos comportamientos anómalos que pueden facilitar el diagnosticar la falla de la máquina. Pero esto suele suceder hasta que la falla ya se hace evidente y en muchas ocasiones es necesario realizar un paro para darle una solución. Este tipo de diagnóstico es necesario mejorarlo para obtener mejores resultados. Esto no quiere decir que el trabajo realizado por el personal de mantenimiento no sea correcto, tan solo se hace notar que esto es una oportunidad de mejora para el departamento.

2.1.1. Relación de tiempo para mantenimiento preventivo

Cada línea de producción tiene determinada velocidad para llevar a cabo la producción, esta diferencia de velocidades se da debido a la diferencia de diseño de cada línea, así como a lo moderno que pueda ser cada equipo en

cada línea de producción. Otro aspecto que puede influir en la velocidad del producto es el diseño de este según el tamaño y el tipo de impresión que este lleve y que puede influir significativamente.

Para llevar a cabo este mantenimiento en los equipos de cada línea de producción se realiza un paro programado con anticipación, sin afectar los tiempos en que el producto debe ser entregado a cada cliente, llevando a cabo una planeación entre el departamento de producción y el departamento de mantenimiento, para coordinar en qué día se debe realizar las reparaciones necesarias. Las personas encargadas del mantenimiento preventivo procuran terminar en el menor tiempo posible el mantenimiento de los equipos para que la línea inicie nuevamente con la producción. La forma en que relacionan el tiempo con la eficiencia de un mantenimiento preventivo es a través de la cantidad de cajas de cartón que se producirían en ese intervalo de tiempo, tomando como referencia el tamaño de caja en espera, para determinar la eficiencia del mantenimiento. La fórmula para determinar la eficiencia de la máquina es:

$$\text{Laminas dejadas de producir} = V_{de\ equipo} * t_{de\ paro}$$

Por tanto, observando que el tiempo es directamente proporcional a las laminadas que se dejan de producir, se obtiene la eficiencia de la siguiente manera:

$$Eficiencia_{del\ mantenimiento} = 1 - \frac{t_{de\ mantenimiento}}{t_{ideal\ de\ pedido}}$$

La eficiencia global es el promedio de las eficiencias de los mantenimientos preventivos, esto se debe a que, según el diseño de cada caja, varía la velocidad con que el equipo trabaja.

2.1.2. Relación de tiempo para mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo es un mantenimiento que en muchas ocasiones no se puede predecir porque lo pueden afectar diferentes factores, que pueden ser el cuidado que los operarios le den a los equipos en uso, los factores ambientales, la vida útil de los componentes del equipo, entre otros.

Por diferentes razones, la relación de tiempo del mantenimiento correctivo para determinar la eficiencia se vuelve más complicada, porque un problema puede ocasionar fallas no solo en un equipo sino en varios, provocando una reducción de productividad muy grande. Estos fallos, en que un sistema de alimentación afecta a muchos equipos, no son comunes, suele darse muy rara vez que un problema de este tipo afecte a la producción. Más bien, suelen darse las fallas más por equipo, pero no por ello no se creará una forma tal que se pueda medir en caso de que este tipo de fallas se presenten. Por ese motivo se utiliza la siguiente fórmula para tomar la medida por equipo:

$$\text{Laminas dejadas de producir} = V_{de\ equipo} * t_{de\ paro}$$

Por consiguiente, la forma de obtener la eficiencia individual de cada máquina es la siguiente:

$$Eficiencia_{por\ equipo} = 1 - \frac{t_{de\ mantenimiento}}{t_{ideal\ de\ pedido}}$$

Para obtener la eficiencia global de la planta se calcula el promedio de las máquinas, como se muestra a continuación:

$$Eficiencia_{global} = \frac{\sum de\ eficiencias}{No.\ de\ equipos\ parados}$$

De esta forma se obtiene la eficiencia global en la que una falla afecta a diferentes equipos, y es posible concluir una forma más fácil de obtener un indicador global para determinar el estado en que se encuentra el departamento en ese momento, para tener en cuenta planes de acción que ayuden a minimizar los paros aplicando diagramas de Pareto, que se dan a través de la disponibilidad de la máquina. Esto facilitará, con base en la producción planeada, tener un indicador más real de la eficiencia con la que se ha desarrollado los mantenimientos.

2.2. Diagnóstico

Se realizará un diagnóstico para determinar qué puntos se debe atacar para obtener un buen resultado de la investigación e implementar de forma adecuada el mantenimiento predictivo, para que existan buenos resultados para el departamento de mantenimiento y, por consiguiente, para la empresa, en cuanto a la reducción de los tiempos de paros que se están dando por diferentes causas y que es necesario eliminar para mejorar los tiempos.

2.2.1. Indicadores históricos de mantenimiento

El departamento de mantenimiento mecánico calcula sus indicadores para la medición del desempeño y metas alcanzadas, para el desarrollo de las mejoras y a su vez para conocer dónde se tuvieron problemas, para tomar

acciones correctivas y eliminar esas causas que pueden provocar que la eficiencia del mantenimiento se vea afectada a causa de circunstancias que pueden ser evitadas a través de una correcta planeación. Estos datos son guardados por un período de tiempo, razón por la que se utilizarán los datos de un período anterior, para analizar cómo se comportan con la introducción del mantenimiento predictivo y si existe una mejora, determinando si el mantenimiento predictivo provoca un cambio en los indicadores, siendo los que se manejan dentro del departamento aquellos que se presentan en la siguiente tabla, en la que se puede observar cómo se comportan los indicadores a lo largo del tiempo:

Tabla I. **Indicadores del departamento de mantenimiento mecánico**

No	Indicadores del departamento de mantenimiento
1	Inventario de repuestos
2	Rotación de inventarios
3	Cumplimiento del plan de mantenimiento preventivo
4	Porcentaje de mantenimiento preventivo
5	Disponibilidad del equipo por mantenimiento
6	Confiabilidad del equipo
7	Mantenimiento no planeado
8	Cumplimiento del presupuesto de mantenimiento
9	Cumplimiento del presupuesto de mantenimiento
10	Eficacia del mantenimiento programado

Fuente: elaboración propia.

Estos son los indicadores por los que se mide el departamento de mantenimiento mecánico, no todos serán tomados en cuenta, pero sí la mayoría

de ellos para efectos del presente estudio. No quiere decir que por no tomarlos en cuenta sean valores sin importancia, es tan solo que, como se mencionó anteriormente, se toman las mediciones que sirven para medir el objetivo que cada área quiere alcanzar.

2.2.2. Lluvia de ideas

La lluvia de ideas es una técnica a través de la cual se obtienen ideas de diferentes puntos de vista de las personas involucradas, para la solución a un problema o mejora a un proceso determinado. Cada persona da su opinión con respecto a lo que puede ser la causa del problema, esto da la ventaja de tener diferentes puntos de vista y una amplitud de factores que una persona por sí sola difícilmente tiene la visión para observar.

Al aplicar esta técnica se debe buscar que las personas se encuentren en lugares tranquilos, donde no existan sonidos que distraigan, ya que esto colabora a que puedan concentrarse y puedan aportar con más confianza cualquier idea y, previo a iniciar la sesión, hacer la observación de que no importa cuál sea la idea, sino que la aporten, siempre que esta se encuentre dentro del contexto del problema a solucionar, ya que en ocasiones la idea menos pensada puede ser la solución a un problema determinado. Esto con el fin de evitar que el resto de personas se burlen ante cualquier idea y puedan provocar el temor del resto de las personas de aportar las ideas que puedan ser la fuente de solución.

En la siguiente tabla se muestran las ideas aportadas por el personal del departamento de mantenimiento mecánico para obtener un correcto uso del equipo de mantenimiento predictivo:

Tabla II. **Lluvia de ideas para uso de ideas de equipo predictivo**

Lluvia de ideas	
• Conocer aplicaciones del equipo.	• Determinar parámetros de medición.
• Capacitar para el uso del equipo.	• Explicar cómo se llevará a cabo los registros.
• Conocer períodos de aplicaciones.	• Explicar los cuidados del equipo predictivo.
• Realizar un plan para el mantenimiento predictivo.	• Especificar la forma de dar nomenclatura a los puntos de estudio.
• Designar una máquina a cada persona.	• Definir cómo proceder cuando alguien se valla de vacaciones.
• Designar días para cada máquina, para que no existan dos personas a la vez con la intención de usar el equipo.	• Crear un registro de los cambios que se realizan en los equipos.

Fuente: elaboración propia.

2.2.3. FODA de la situación actual

El FODA es una matriz que ayuda a determinar las causas externas e internas que pueden afectar o facilitar la realización de un proyecto o empresa para conocer sus ventajas y desventajas y hacer que estas últimas se mejoren para que la realización de cualquier proyecto sea efectuada de una mejor

manera y con base en la información obtenida, para desarrollar estrategias aprovechando las ventajas que se tienen.

Para realizar este FODA se aprovechó la lluvia de ideas y se realizó una segunda reunión. Para realizar el análisis de la situación actual con base en esta matriz será de mucha de ayuda crear estrategias que aporten mejoras al diseño del sistema de mantenimiento, lo cual es necesario para introducir el mantenimiento predictivo al sistema ya existente y realizar mejoras que sean favorables en costos para la empresa y para los trabajadores, en cuanto la determinación de fallas que existen en la máquina. El resultado de este análisis se mostrará en la tabla siguiente. Es el resultado del esfuerzo de las personas que aportan sus ideas para aprovechamiento de los diferentes procesos de mejora, aplicando una herramienta tan útil como esta:

Tabla III. **Matriz FODA de situación actual**

FORTALEZA	OPORTUNIDADES
<ol style="list-style-type: none"> 1. Equipo de trabajo dispuesto a apoyar. 2. Conocimiento de la maquinaria por parte del personal técnico. 3. Disponen de herramienta de trabajo. 4. Existe trabajo en equipo. 5. Apoyo interno por parte del jefe de departamento. 6. Se cuenta con máquinas asignadas a diferentes personas del equipo. 7. Los mantenimientos preventivos se realizan en la fecha planificada 8. Se responde a los paros de forma inmediata. 9. Se puede fabricar algunos repuestos dentro de la planta. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se cuenta con el apoyo de gerencia para la inversión en repuestos. 2. Se puede contratar un servicio técnico externo. 3. Se facilitan capacitaciones para el personal de mantenimiento por recursos humanos. 4. Los operadores de los equipos reportan cualquier falla para solucionarla en los mantenimientos preventivos.

Continuación de la tabla III.

DEBILIDADES	AMENAZAS
<ol style="list-style-type: none"> 1. La mayoría del personal de mantenimiento desconoce cómo utilizar el equipo predictivo. 2. No se conocen los parámetros para las mediciones necesarias. 3. No se tiene un plan para mantenimiento predictivo. 4. Fallas por parte de las máquinas difíciles de predecir. 5. No existe ningún registro de los cambios u observaciones hechas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Repuestos que tardan mucho en llegar por ser importados. 2. Personal a cargo de algunos equipos se enferma. 3. Pedidos de último momento que provocan que el paro para mantenimiento preventivo sea más tardado.

Fuente: elaboración propia.

2.2.4. Estrategias basadas en FODA

A partir de una matriz FODA se pueden desarrollar estrategias, las cuales son de mucho apoyo para realizar un proyecto a través de directrices que no son fáciles de observar si no se aplica ninguna herramienta de apoyo. En la matriz se muestra lo que internamente y externamente afecta.

La forma de desarrollar las estrategias es obtener una debilidad o amenaza y una fortaleza u oportunidad, para determinar cómo aprovechar las ventajas y volver las desventajas en algo aprovechable y con una dirección para mejorar o, dicho de otra forma, el objetivo es buscar cómo aprovechar las ventajas que se tienen para eliminar lo que se encuentra en contra o aprovecharlas a través de lo que se tiene a favor. Las estrategias se presentan en las próximas tablas:

Tabla IV. **Tabla de estrategias FO**

Estrategias FO
<ul style="list-style-type: none">• La inversión en repuestos será la necesaria, gracias al apoyo del equipo de trabajo que velará porque los repuestos sean colocados correctamente y sin ningún tipo de daño.• Con la finalidad de que los repuestos sean colocados correctamente, se comprará la herramienta correcta para la instalación de los repuestos necesarios.• Gracias a la planeación de los mantenimientos preventivos se puede planear de forma oportuna la compra de los repuestos necesarios para cambiar en caso de ser necesario. Esta podrá ser iniciada con equipo de mantenimiento predictivo previo al paro programado.• Cuando existe una emergencia y se requiere la compra de repuestos, estos se compran inmediatamente, quedando en espera el tiempo de transporte.• Se facilitan materiales para que repuestos que puedan tardar demasiado en llegar puedan ser fabricados, para reducir el tiempo de paro de las máquinas y cumplir con la fecha de entrega para los clientes. Con el apoyo del mantenimiento predictivo este paro se podrá reducir.• Se planearán capacitaciones para los trabajadores, para que ellos puedan tener más conocimientos de los diferentes procesos que se pueden aplicar para los diversos mantenimientos.• El personal de mantenimiento le da seguimiento inmediato a cualquier reporte dado por los operadores de los equipos, anticipando la solicitud de repuestos en caso de ser necesario y estando en constante comunicación.• El jefe del departamento evaluará oportunamente si es necesario realizar contratación de servicio externo para agilizar cualquier reparación en caso de que esta sea demasiado extensa.• Al contratar servicios de mantenimiento externo como apoyo al personal interno, este puede ser mejor aprovechado por la fluidez de comunicación para llevar a cabo las reparaciones.• Al existir un encargado de cada máquina, facilita que el operador sepa a quién dirigirse para comunicar sus observaciones o que las bitácoras que deje puedan ser revisadas con mayor frecuencia.• Cuando un operador indique una acción anómala por parte del equipo se le dará seguimiento y se apoyará en la aplicación de equipo de mantenimiento predictivo para realizar una mejor evaluación.

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Estrategias DO**

Estrategias DO
<ul style="list-style-type: none">• Con el apoyo de gerencia se gestionará la compra de repuestos necesarios para cuando ocurran los paros correspondientes.• Cuando existen fallas muy difíciles de solucionar, se puede contratar el servicio técnico de los fabricantes de los equipos, esto debido a que son casos muy especiales.• Con el apoyo de los operarios de máquinas se puede conocer cualquier falla y tratarla en un mantenimiento preventivo, para no realizar paros no programados y atender la falla en un paro programado.

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Estrategias FA**

Estrategias FA
<ul style="list-style-type: none">• En cada mantenimiento preventivo se realizará una inspección para determinar si existen elementos de la máquina a punto de fallar, para solicitarlos en caso de que no existan en inventario.• Cuando sea posible fabricar algunas piezas de máquinas, se fabricarán para que el equipo empiece a trabajar de inmediato.• En caso de que, por falta de tiempo para realizar los paros de máquinas, no se realice el mantenimiento preventivo, el personal estará dispuesto a responder a cualquier emergencia, esto no suele suceder continuamente, pero existen casos aislados en los que se vuelve necesario.

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Tabla de estrategias DA**

Estrategias DA
<ul style="list-style-type: none">• Se capacitará al personal en el uso del mantenimiento predictivo, para determinar repuestos necesarios con un mayor tiempo de planificación.• En el caso de algunas partes de las máquinas en las que aún no se cuenta con el equipo de mantenimiento predictivo necesario, se tendrá un inventario para solucionar cualquier falla existente.• Se llevará a cabo registros para que, en caso de que el encargado de la máquina se enferme o tenga que presentarse a capacitación, otra persona pueda delegarlo.

Fuente: elaboración propia.

2.3. Participación de departamentos en los mantenimientos

Siempre existen diferentes departamentos que participan en el mantenimiento de forma directa o indirecta, brindando su apoyo para que el equipo se encuentre en óptimas condiciones y así reducir el riesgo de fallas durante la producción y evitar que existan problemas de calidad, para que el cliente se encuentre satisfecho con el producto que reciba.

Conocer qué departamentos participan en los mantenimientos es de mucha utilidad, con estos se debe coordinar cada mantenimiento que sea necesario y requerido para el desarrollo de los mantenimientos, tanto preventivos como correctivos, esto debido a que, de no tener claras las atribuciones pueden causarse retrasos por no tener la claridad de a quién consultar o realizar observaciones que pueden facilitar la solución al inconveniente. Esto sucede más cuando una persona acaba de empezar a laborar dentro de la empresa y no sabe a quién avocarse.

2.3.1. Departamentos que participan de forma directa en los ajustes

Los departamentos que participan de forma directa en los ajustes de máquina son los departamentos que se encuentran presentes al momento de la intervención. Su participación para realizar los mantenimientos es de mucha importancia, se debe tomar en cuenta que estos departamentos que solicitan de forma directa el mantenimiento son los clientes internos del departamento de mantenimiento, pero no son ellos quienes los realizan. Para este caso, los departamentos son los siguientes:

- Departamento de producción (supervisores y personal operativo): este departamento es el que da aviso de las averías de las máquinas, su personal interactúa de forma directa con las máquinas y es responsable de la producción física, siempre que las máquinas se encuentren en operación normal y con un trabajo asignado.
- Gerencia de producción: por medio de gerencia de producción se conocen las diferentes causas que provocan los paros y a través de quién se puede obtener diferentes datos para la determinación de muchas fallas.
- Departamento de calidad: este departamento es el encargado de verificar que se cumple con las especificaciones solicitadas por el cliente, también notifica cualquier problema existente al departamento de mantenimiento, puede ser a través del departamento de calidad o de forma directa, para dar solución al problema y así evitar pérdidas para la empresa.

Cabe mencionar que estos departamentos no son los encargados de realizar el respectivo mantenimiento, pero es sumamente necesario cualquier reporte que hagan sobre cómo se encuentra el comportamiento de las máquinas para determinar qué se debe corregir.

2.3.2. Departamentos que participan de forma indirecta en los ajustes

Los departamentos en este apartado son los que participan en el proceso de mantenimiento sin estar presentes en el momento en que se lleva a cabo el mismo, pero que son de mucha importancia para el desarrollo normal de este, ya que sin ellos no se podría realizar los mantenimientos de forma adecuada.

Los departamentos que apoyan de forma indirecta son los siguientes:

- Planeación: este departamento es el encargado de desarrollar los planes de producción, se hace cargo de determinar qué días se realizará el paro para que se pueda proceder con el mantenimiento preventivo.
- Compras: este departamento es el encargado de realizar la compra de repuestos, autoriza no solo la compra sino también las visitas de los técnicos para algunos casos especiales.
- Bodega: son los encargados de controlar el *stock* de inventarios de repuestos de uso frecuente, porque son los repuestos en común para diferentes máquinas. Solicita la compra en el momento que el inventario de los diferentes insumos es reducido.
- Departamento de norma ISO: este departamento es el encargado de verificar que todos los instrumentos de medición se encuentren en el rango adecuado, para que todo se mantenga estandarizado, incluyendo las herramientas de medición que el departamento utiliza para los mantenimientos.
- Seguridad industrial: este departamento verifica que cualquier reparación que se realice sea siempre bajo las normas de seguridad e higiene industrial, para que no exista riesgo de enfermedades o accidentes.

2.4. Personal encargado de mantenimiento

El personal encargado de mantenimiento son las personas que realizan todas las acciones correctivas y preventivas, y quienes realizarán las acciones

predictivas. Las personas que realizan estos tipos de mantenimientos en este departamento son electricistas, mecánicos y especialistas en electrónica.

Sumados al equipo del departamento de mantenimiento mecánico se encuentran los operadores de máquinas, quienes apoyan dando mantenimiento a la maquinaria, a través de la limpieza, evitando que el polvo que se encuentra en el ambiente se acumule y provoque daños a los diferentes sistemas de la máquina, realizando además pequeños cambios que no requieren de herramienta especial y que se encuentran dentro de las posibilidades. También se encuentran las personas contratadas para mantenimientos muy especiales como los técnicos del equipo y empresas contratadas para fabricaciones particulares.

2.4.1. Requerimientos para asignar equipos al personal

Para asignar equipos al personal, tomando de referencia desde el momento en que son contratados con los conocimientos necesarios sobre mantenimiento mecánico o eléctrico, las personas deben pasar por una inducción de normas de seguridad y cuidado de las máquinas, así como sobre el reglamento de la empresa, para que se apeguen a este y eviten accidentes en los que las personas y equipos puedan sufrir un percance.

En el caso de los operadores, reciben capacitación del personal del departamento de mantenimiento mecánico y de los operadores de máquina, iniciando como ayudantes. A estos se les explica acerca del mantenimiento autónomo en el que cada operador puede realizar pequeñas reparaciones relacionadas con el mantenimiento, haciendo que sean parte activa del mantenimiento preventivo.

En el caso de los mecánicos, electrónicos y eléctricos, se les brinda capacitación sobre la maquinaria, se les asigna a una persona que les enseña sobre el equipo, normalmente estas personas inician ayudando a las personas con experiencia, en lubricación o instalaciones eléctricas, siempre supervisados por alguien, por motivos de seguridad industrial mientras se van desarrollando y aprendiendo sobre la reparación de los equipos, que es tan necesaria para el desarrollo de sus labores. Después de seis meses de evaluar su desempeño y al saber que se encuentran en capacidad de desarrollar mantenimientos por sí mismos, se les asigna trabajos para que los desarrollen solos, siendo supervisados por el jefe de mantenimiento al finalizar la tarea. En caso de haber cometido un error, el jefe les hace las observaciones necesarias para evitar que vuelvan cometer el mismo error. Al año y medio de haber sido contratados, después de haber pasado todo el proceso anterior, se les asigna una máquina para que sean responsables de verificar que se encuentre en buen estado y a la vez le den seguimiento en caso de que exista un paro no programado.

2.5. Equipo

Para efectos de este trabajo de investigación los equipos forman la diferente maquinaria que existe, que de forma directa o indirecta aporta para la transformación de la materia prima en producto terminado, o que son parte del equipo de medición. En algunas ocasiones también pueden aparecer como máquinas en el transcurso de la investigación, son los instrumentos de mantenimiento predictivo que serán de utilidad para alcanzar los objetivos deseados.

2.5.1. Nomenclatura del equipo

Los equipos se encuentran bajo nomenclatura, por diferentes factores, entre ellos, para determinar rutas de flujo de la materia prima, mantener un control de inventario de los diferentes equipos y una referencia para cualquier persona en caso de que, por algún motivo, quisiera asignarse un trabajo o buscarse un máquina a una persona que es nueva dentro de la planta de producción, para que la pueda localizar con facilidad. La siguiente tabla es un ejemplo de cómo se lee la nomenclatura dentro de la empresa:

Tabla VIII. Descripción de nomenclatura

Línea	Orden de proceso	División de la línea	Numero de equipo
XX	XX	XX	XX

Fuente: departamento de mantenimiento mecánico.

Cada parte de la nomenclatura consiste en dos dígitos, siendo el primero el que indica la línea de producción dentro de la planta de producción, de tratamiento, o cualquier otra posición. En el caso del orden del proceso, sirve para identificar qué parte del proceso corresponde, esto ayuda para la planificación y tener una mejor visualización de hacia qué línea o equipo se puede mover la materia prima. La línea es el conjunto de equipos que sirve para iniciar a identificar cuál es la posición en la que se encuentra, dentro de la planta de producción, la división de la línea, que es la que sirve para identificar el lugar dentro de la línea en la que se encuentra el equipo y, por último, el número de máquina, que identifica a la máquina en sí.

2.5.2. Puntos a analizar para el mantenimiento predictivo

Dentro de los puntos que se tomarán en cuenta para la toma de datos con el equipo de mantenimiento predictivo están:

- Trampas de vapor: debido al sonido que emiten, pueden ser detectadas por el ultrasonido.
- Cojinete: este será revisado a través de la cámara termográfica y el ultrasonido, ya que ambos son capaces de detectar fallas de diferentes formas.
- Fallas eléctricas: estos puntos serán revisados a través del ultrasonido y cámara termográfica, ya que este tipo de fallas generan calor y sonido.
- Tensión en fajas: estas pueden ser revisadas a través del tensiómetro y la cámara termográfica.
- Fugas de aire: estas pueden ser revisadas a través del ultrasonido, ya que las fugas de aire pequeñas generan un sonido que no es perceptible por los seres humanos pero sí por el ultrasonido.
- Trampas de vapor: debido a la sensibilidad que tiene el equipo es posible escuchar con facilidad que las trampas de vapor trabajen adecuadamente.

3. CAPÍTULO TRES-PROPUESTA PARA MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Con base en las estrategias trazadas, y siempre con el apoyo de los colaboradores de la empresa, se determinará cómo se realizará el trabajo y las mediciones necesarias para obtener mejores resultados en la eficiencia de los mantenimientos preventivos y correctivos.

3.1. Cámara termográfica

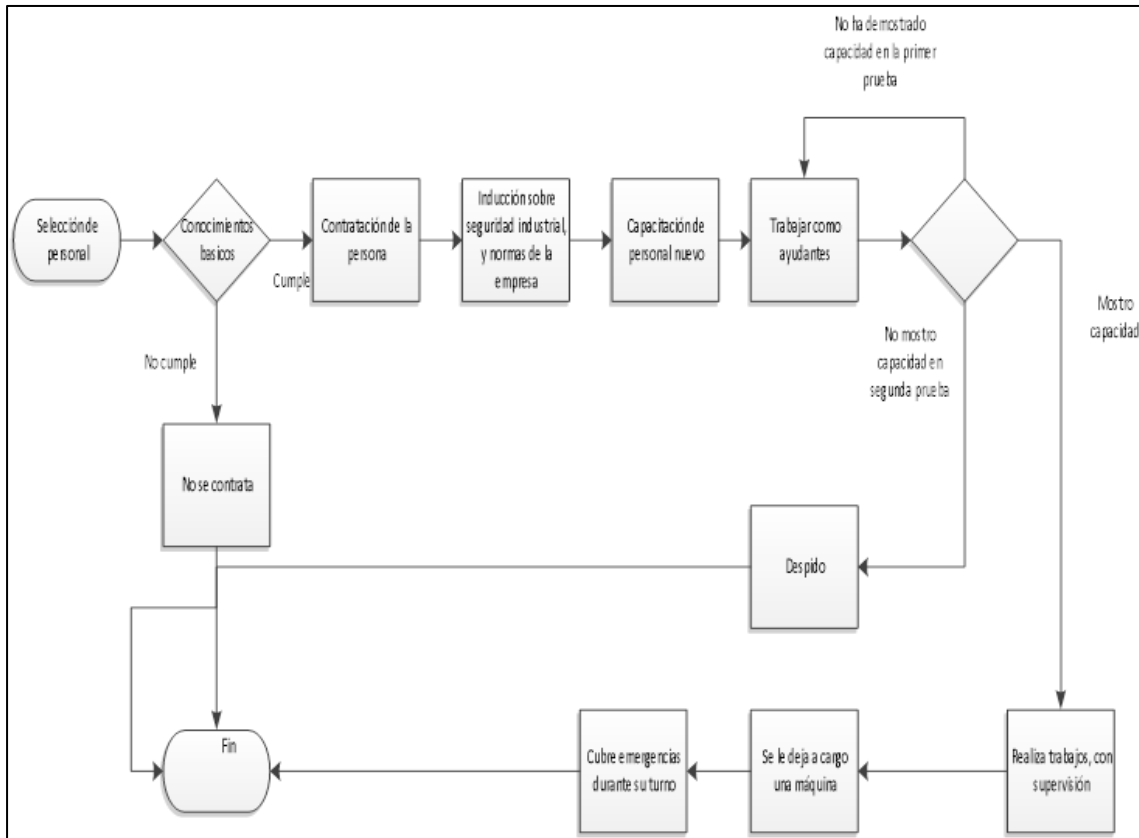
La cámara termográfica es un instrumento de medición predictivo que, por medio de los rayos infrarrojos que todos los cuerpos irradian y que son invisibles al ojo humano, genera una imagen a través de la cual es posible apreciar la variación de temperatura que estos tienen. La imagen que se aprecia a través del software que es parte del mismo instrumento es la reflexión de ondas electromagnéticas que todos los cuerpos liberan al generar energía. La cámara termográfica asigna colores a la imagen, estos colores se asignan para apreciar la diferencia de temperatura que existe, ya que los rayos infrarrojos no tienen un color como tal, siendo el color blanco el que representa la mayor temperatura, siguiendo por el amarillo y rojo como temperaturas medias y, por último, el color azul como la menor temperatura.

3.1.1. Personal a cargo

Actualmente existe un proceso por medio del cual se asigna una línea de producción a cada persona, para desarrollar cualquier tipo de mantenimiento dentro de la planta, esto con el objetivo de asegurar que siempre una persona

apoye en la respectiva inspección de los trabajos realizados al jefe del departamento, ya que en muchas ocasiones el trabajo necesita ser delegado en caso de que el jefe se encuentre ausente por diferentes razones, como reuniones, por ejemplo. El proceso para selección de personal es el que se muestra a continuación:

Figura 5. **Proceso para asignar una máquina en mantenimiento**



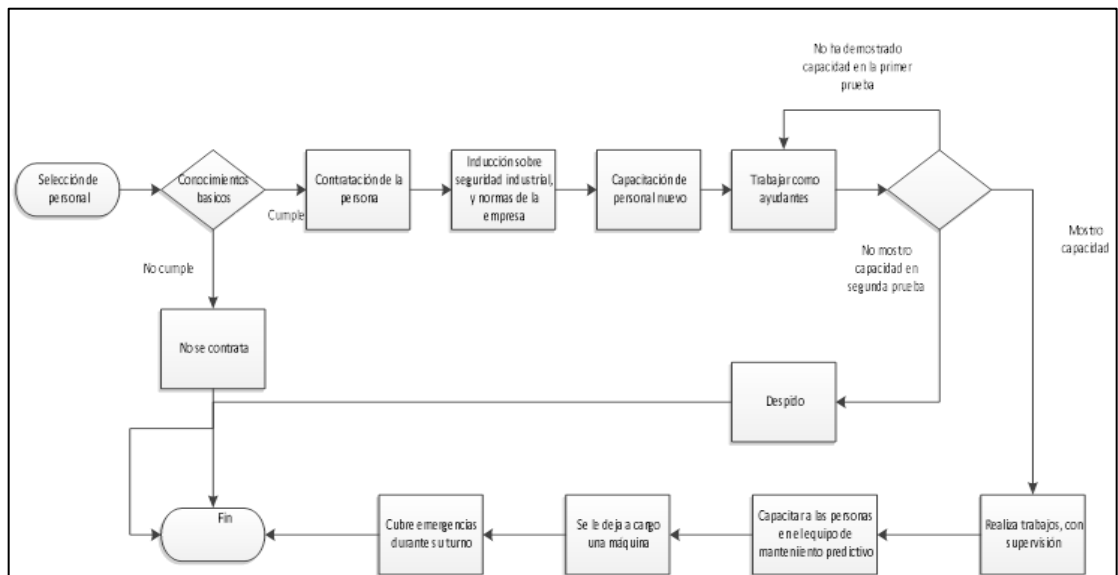
Fuente: elaboración propia.

Se propone realizar una modificación a este proceso, en la que a todo el personal se le proporcione un entrenamiento previo a que se les asigne una línea de producción sobre el equipo de mantenimiento predictivo que será

utilizado. Este equipo puede ser de mucho apoyo en el mantenimiento correctivo y en el preventivo. Una de las características principales es que antes de que una parte mecánica o eléctrica falle, estos equipos se calientan, por ello la cámara termográfica puede ser de mucha ayuda para prevenir desperfectos que pueden ocasionar paros y reducir la productividad de la empresa, debido a que no es necesario que se encuentre en contacto directo con los elementos a ser analizados, reduciendo la necesidad de realizar paros para tomar mediciones, ya que es posible tomar las mediciones con la máquina en movimiento.

Esta nueva propuesta es solo para asignar la respectiva línea de producción al personal de mantenimiento, no es como se procederá en caso de que, por circunstancias especiales, no se encuentre el encargado de la respectiva línea.

Figura 6. Nueva propuesta para la asignación de equipo



Fuente: elaboración propia.

Se propone que la capacitación del mantenimiento predictivo sea después de realizar los mantenimientos supervisados, esto para asegurar que la persona a quien se le den los equipos de medición para mantenimiento predictivo, comprenda la importancia y el cuidado que debe tomar al momento de realizar cualquier medición, debido a su elevado costo y la importancia que este tendrá para mejorar el mantenimiento de las máquinas, así como para reducir el tiempo para determinar el problema que esté causando el inconveniente en la máquina.

Para lograr que cualquier persona de la empresa esté capacitada para el uso del equipo de mantenimiento predictivo se asignará una nomenclatura a los puntos en los que se realice los estudios, para que cualquier persona sea capaz de localizar los puntos, en cualquier línea, aun cuando esta no sea la línea de producción asignada. De esta forma se asegurará que todos los equipos sean evaluados en todos los puntos que sea necesarios, por conveniencia y en relación al tiempo que es requerido para las mediciones. Se realizará el mantenimiento predictivo en las líneas principales y aquellas que puedan afectar a la producción de forma directa.

3.1.2. Capacitación del personal

Dado el caso que no todo el personal tiene el conocimiento para la utilización del equipo, se les debe capacitar para su uso, así como para el manejo de los parámetros. En el apéndice se adjuntará la presentación que será utilizada para la capacitación, y aquí se tratarán los parámetros y aspectos que son necesarios para el uso de la cámara termográfica.

El equipo debe ser calibrado según las indicaciones del fabricante, para poder llevar a cabo las calibraciones se requiere que estas sean realizadas por

personal certificado. Regularmente son realizadas por el mismo proveedor del equipo, pero para este caso se recomienda que sea cada tres años, siempre que se manipule el equipo con el cuidado necesario.

3.1.3. Puntos de equipo a estudiar

La cámara termográfica, con la facilidad que tiene para realizar la medición sin tener contacto directo con la máquina a medir, es muy útil en mediciones de diferentes puntos para realizar las mediciones de lugares peligrosos o de difícil acceso, siendo los puntos a estudiar:

- Subestaciones: estos puntos a los que no es recomendable acercarse mucho por los riesgos de una descarga sobre la persona que realiza las mediciones. La cámara termográfica tiene la ventaja de que, con base en el calor liberado por las líneas de producción, se puede determinar si la carga de la línea no se encuentra balanceada, o se encuentra floja, provocando que exista un incremento de temperatura y un mayor consumo de energía.
- Paneles eléctricos: en estos se puede llevar un control y determinar posibles fallas en la máquina, para realizar la reparación correspondiente y así evitar paros durante la producción.
- Vapor: debido a que el vapor se encuentra a una alta temperatura, aun cuando este es liberado al ambiente lleva una temperatura elevada, lo que ayuda a que sea detectado por la cámara termográfica, así como detectada es también cualquier fuga, aunque sea pequeña por la diferencia de temperatura entre el ambiente y el vapor liberado.

- Aire acondicionado: la empresa cuenta con varias oficinas con aire acondicionado. Si la oficina térmicamente no se encuentra aislada, se genera calor como consecuencia de la temperatura del ambiente.
- Partes mecánicas: antes de existir una falla, suele haber un incremento de calor, esto sucede porque la fricción entre piezas se incrementa, bien sea por falta de lubricación o por desgaste en las piezas.
- Motores eléctricos: en los motores eléctricos existe una temperatura de trabajo, la cual no se debe exceder para el correcto funcionamiento de los mismos y así evitar daños mayores al motor o a otra pieza de la máquina por sobrecargas.

3.1.4. Plan piloto

Con el plan piloto se llevarán a cabo pruebas para determinar fallas o problemas que se pueden encontrar. Al realizar las mediciones necesarias para llevar a cabo mejoras en los mantenimientos, se determina si es necesario realizar más investigación sobre los parámetros y lugares de los equipos en los que es difícil el acceso o se encontraron problemas para realizar las mejoras que sean necesarias.

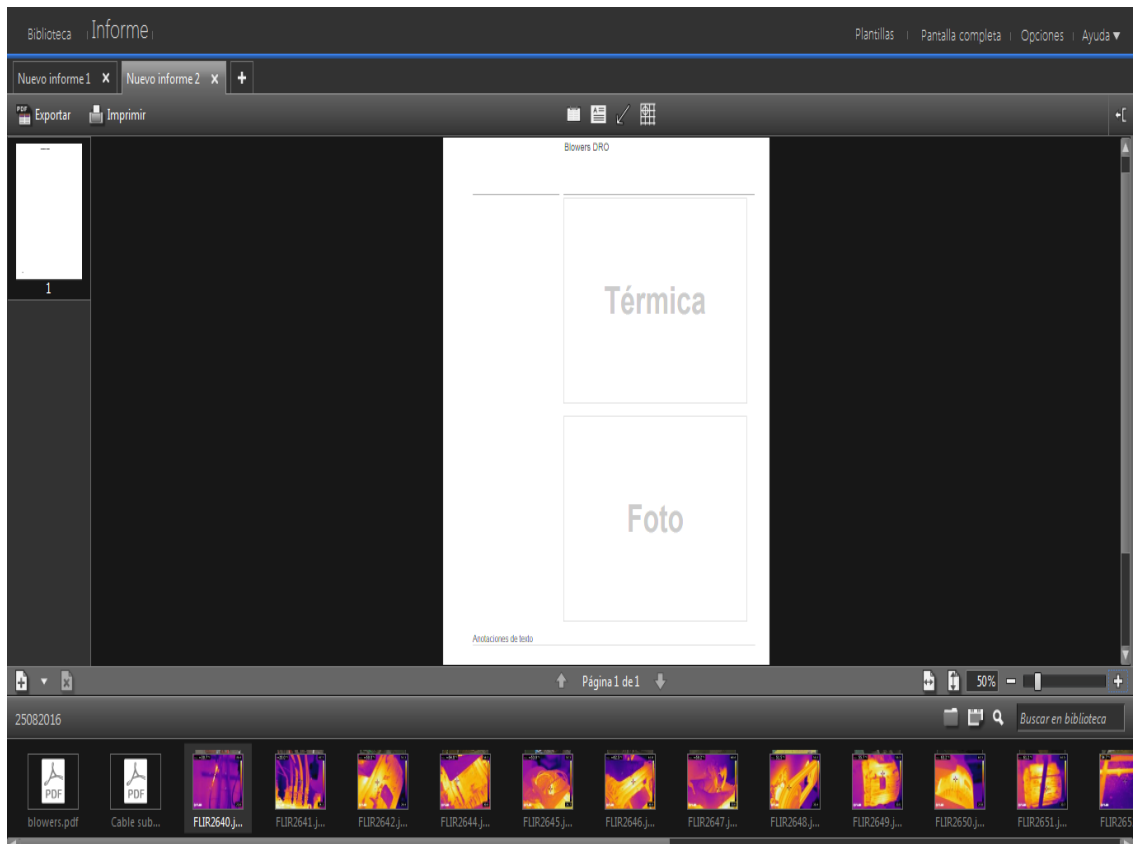
Para el desarrollo del plan piloto se hace necesaria la participación de las personas encargadas de realizar el mantenimiento preventivo y correctivo de la maquinaria, porque ellos serán los que en el futuro se harán cargo de realizar las mediciones necesarias para desarrollar este mantenimiento y quienes le darán seguimiento. Se realizó un formato esto para llevar un mejor control del progreso del mantenimiento preventivo en el transcurrir del tiempo, y cómo se comportan los dispositivos de las máquinas para realizar cada vez un mejor

3.1.4.1. Plan piloto

Con este plan se iniciarán las pruebas necesarias para crear mejoras en la eficiencia de los mantenimientos en los diferentes equipos, a través del conocimiento obtenido con base en las mediciones que serán tomadas con el apoyo de todo el personal involucrado. Se iniciará a determinar qué se debe mejorar, tanto en los parámetros iniciales como en los tiempos en los que se deberá realizar la toma de las mediciones necesarias para no exceder los tiempos, pero que tampoco deje de cumplirse con el objetivo al que se quiere llegar.

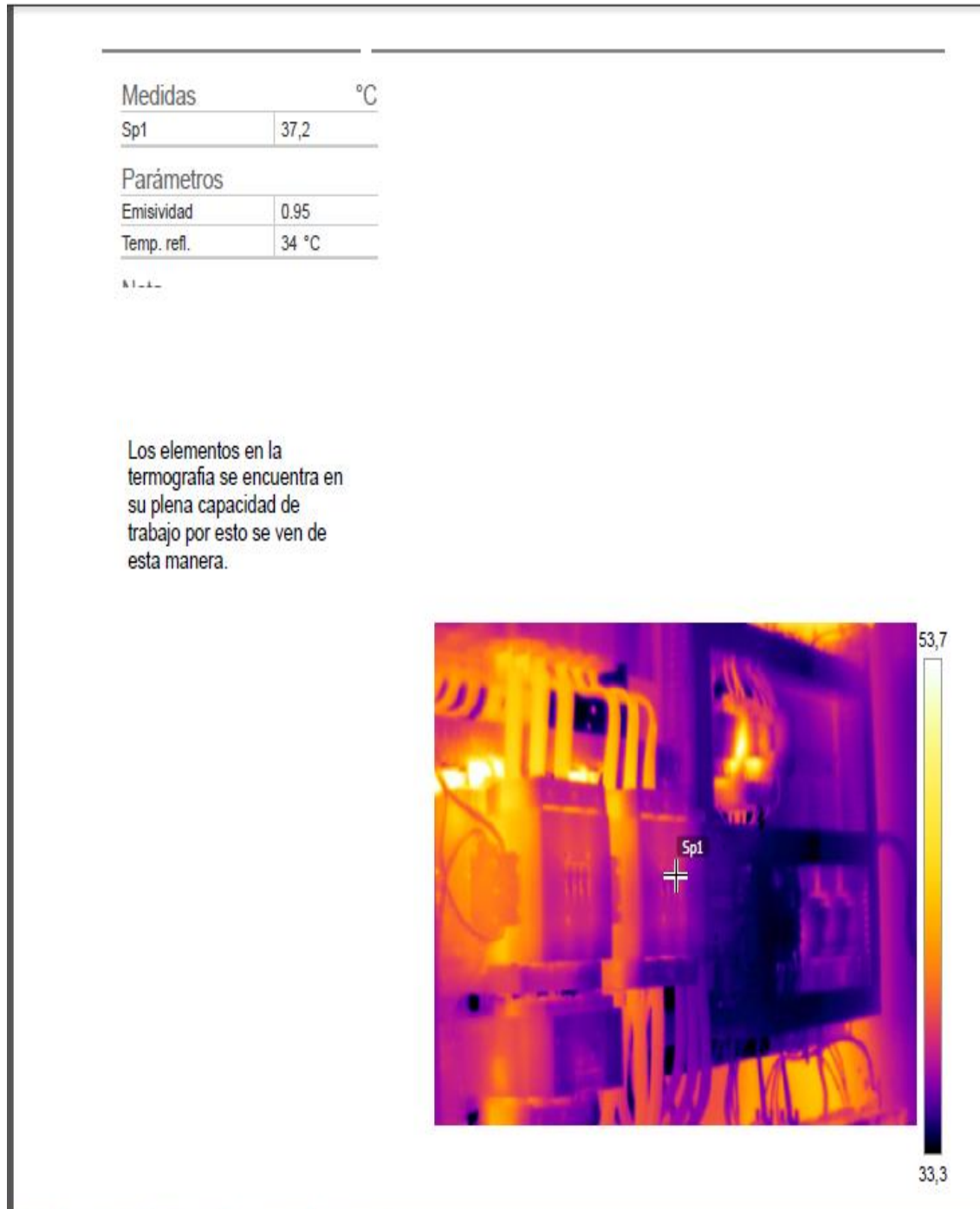
Todos los datos necesarios para continuar con el estudio y determinar qué problemas se pueden tener durante el transcurso de la toma de datos, serán basados en el formato de reporte que fue elaborado para este equipo, obteniendo un registro de los eventos que pueden ayudar a mejorar en el trabajo que se realizará continuamente por todas las personas que participarán en el mantenimiento. Los formatos a utilizar contendrán la información que es necesaria, para obtener un mejor control de lo que es necesario medir para realizar mejoras en los mantenimientos preventivos y correctivos y mejorar su eficiencia. Con las mediciones más exactas que se realizan con este tipo de equipo, que aparte de aportar a la medición, aporta una imagen que será colocada como parte del reporte, los formatos a utilizar para esto serán:

Figura 7. Hoja de reporte



Fuente: FLIR Tools.

Figura 8. Reporte impreso



Fuente: reporte de software Flix.

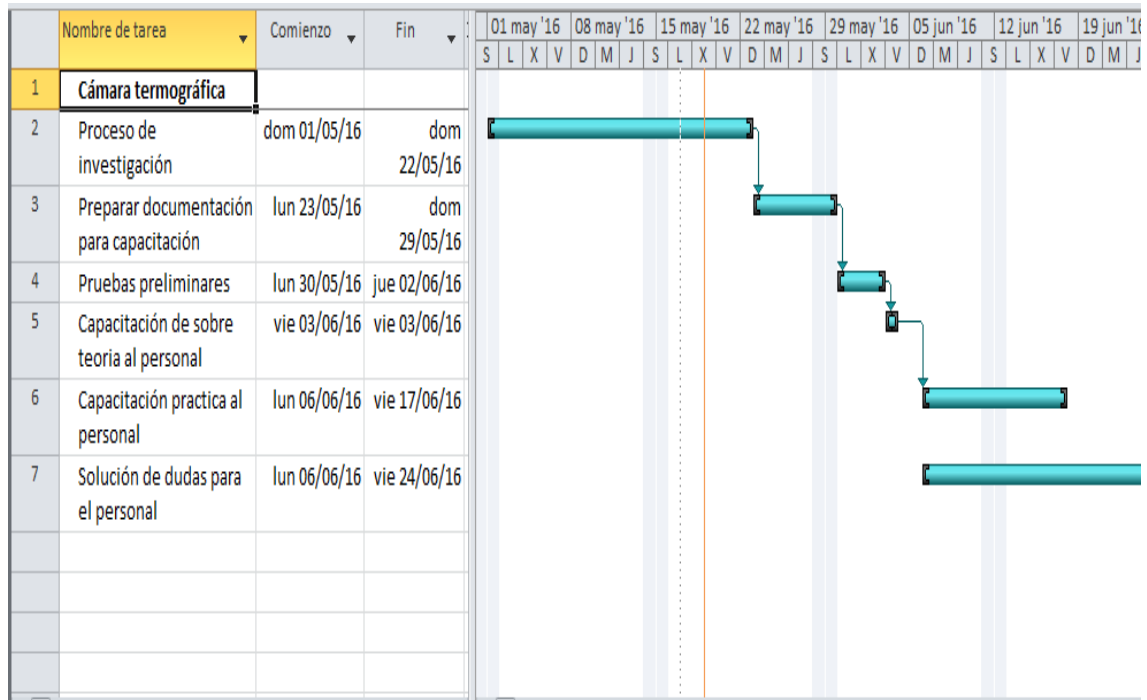
3.1.4.2. Cronograma

Los cronogramas son una base fundamental para realizar cualquier tipo de proyectos o plan, ya que estos hacen tener un mejor control sobre el tiempo que se requerirá para llevar a cabo las tareas que se deben realizar, asignándolo según la necesidad que requiera la tarea a desarrollar. Con base en los tiempos que se pronostican se realizará cada fase del proyecto, esto para asegurar que este no se extenderá más de lo que realmente se necesita para iniciarlo, que será de mucho beneficio a la empresa y al departamento de mantenimiento mecánico, ya que se tendrán mejores resultados en todos los sentidos que se encuentra involucrado el mantenimiento dentro de la planta.

Dentro del plan se iniciará con una simulación en la que los mecánicos se apoyarán mutuamente para realizar la toma de medidas en otras líneas de producción, para facilitar la toma de datos en caso de que otra persona falte. Será parte de la práctica que todos los involucrados aporten ideas para asignar una nomenclatura a los puntos de estudio y estandarizarlos, para que para cualquier persona sea fácil tomar los datos, aun cuando no sea la línea que le corresponda o se encuentre empezando en la toma de datos cuando esto ya se encuentre implementado.

Las fases del proyecto se presentan en el siguiente cronograma, en el que se especifica cómo se desarrollará a lo largo del tiempo el trabajo de preparación necesario para llevar a cabo la investigación requerida:

Figura 10. Cronograma



Fuente: elaboración propia.

3.1.4.3. Recopilación de datos

Se ha reunido información sobre los diferentes problemas o dificultades que se han encontrado durante la puesta en marcha del plan, de lo cual se obtuvieron las siguientes observaciones:

3.1.5. Análisis por software

Desde el momento en que se realiza la toma de mediciones esta se apoya en software, usando el que el equipo trae de fábrica para su correcto

funcionamiento, ya que este es el que se encarga de los ajustes del equipo, previo a realizar las mediciones.

3.1.5.1. Determinación de tipo de mantenimiento

Determinar el tipo de mantenimiento a realizar es una de las funciones importantes de la implementación de este tipo de equipos, ya que en ocasiones se realiza un mantenimiento preventivo y la máquina suele fallar, debido a que no se logró diagnosticar que ya era necesario un mantenimiento correctivo, o viceversa, que al momento de remover la pieza esta aún tenía suficiente tiempo de vida, y ya no se puede volver a colocar, debido a que al removerla se daña y es obligatorio realizar el cambio de una vez.

3.1.5.1.1. Mantenimiento preventivo

El uso de la cámara termográfica es muy sencillo, debido a la imagen que genera la cámara, es más fácil analizar algo que se muestre visualmente a algo que entre por otro de los sentidos. El software que es parte del fabricante de la cámara termográfica da las características básicas, tales como el rango de temperatura y una escala de colores que es decidida por el propio usuario.

La interrogante de la que se parte luego de entender el funcionamiento básico es cómo saber si algo que ha sido captado por la cámara termográfica se encuentra trabajando correctamente o si se encuentra trabajando fuera de rango. La manera de determinarlo puede ser a través de la información técnica entregada por el fabricante del producto, quien indica qué temperatura es la adecuada para trabajar y, posteriormente, realiza una comparación con lo que se visualiza en el programa. Es necesario mencionar que el programa tiene

funciones a través de las cuales se pueden deducir las siguientes características:

- Temperatura en tres puntos
- Punto más caliente
- Punto más frío
- Diferencia de temperaturas entre dos puntos

El otro método es utilizar un control histórico en el que se lleve un registro de las temperaturas. Esto es muy útil para máquinas en las que no se cuenta con un manual de fabricante sobre las características o cuando se han realizado modificaciones a una máquina porque algunos repuestos ya no se encuentran en el mercado, haciendo necesario sustituirlos por un repuesto con características similares, pero que pueden variar con respecto al anterior.

En el caso de la cámara termográfica se puede utilizar como apoyo el software del equipo de ultrasonido para llevar el registro, en hojas de Excel diseñadas para cada parte de la máquina o en algún programa con el que cuente la empresa para que los datos se tengan en un mismo sistema y no se encuentren dispersos en diferentes medios electrónicos. Para lugares en los que es necesaria la lubricación, puede dar muchos detalles, debido a que si no se encuentra una buena lubricación es normal que la fricción aumente y esto provoque un incremento de temperatura en algunos puntos, lo cual será una clara señal de que no existe lubricación y, en caso de ser lubricada por un sistema, se puede anticipar un taponamiento, y realizar el trabajo necesario para que el sistema de lubricación continúe trabajando normalmente y no se provoquen daños más graves.

3.1.5.1.2. Mantenimiento correctivo

Para determinar si es necesario un mantenimiento correctivo se tomarán en cuenta los siguientes parámetros:

A través de una prueba en la que se tomó la decisión de permitir a dos motores eléctricos trabajar hasta el punto en que fallaran, se determinó que estos tienen altas probabilidades de fallar a una temperatura de 25°C arriba de las especificaciones del fabricante, por lo que se decidió tomar como un mantenimiento correctivo una temperatura de 20°C y un mantenimiento preventivo una temperatura de 10 °C, esto con el fin de tener suficiente tiempo para proceder con la planificación del paro de la máquina y no afectar la producción.

En los sistemas eléctricos se considera automáticamente un mantenimiento correctivo, debido al alto grado de riesgo que presenta trabajar con un sistema eléctrico que tiene fallas. Para determinar si un sistema eléctrico tiene fallas se puede llevar a cabo un control histórico, aunque es bien sabido que realizar un control histórico sobre el sistema eléctrico de la maquinaria es muy complicado, debido a que también se cuenta con los paneles de control y se detalla la temperatura de un circuito, lo cual puede ser relativamente complicado, por lo que se considera como mejor opción basarse en la diferencia de temperatura entre las dos conexiones. Si en una parte del circuito las cargas se encuentran balanceadas, la temperatura debe ser la misma para todos los cables de conexión y, de no ser la misma, algunas de las causas que provocan la falla pueden ser cargas desbalanceadas, que los conectores se encuentran flojos, cables quebrados internamente o conexiones sucias.

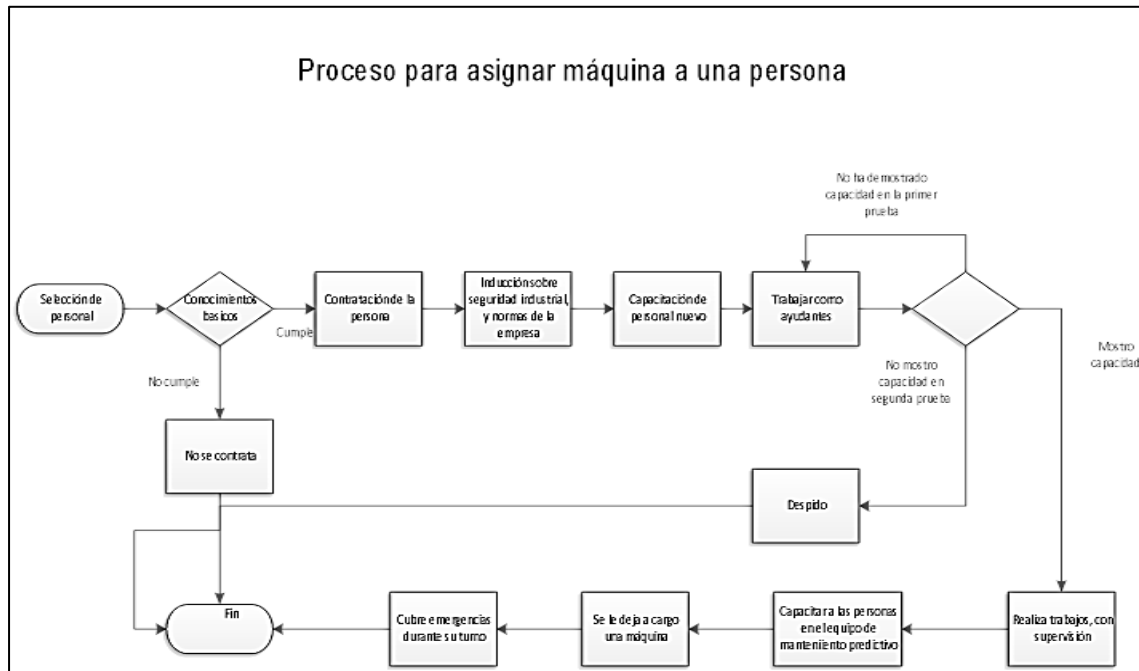
3.2. Ultrasonido

El ultrasonido es un equipo de medición que capta señales sonoras que no son percibidas por los oídos de los seres humanos. Este tipo de sonidos puede anticipar fallas que, al ser corregidas oportunamente, pueden tener una reducción considerable en los costos de mantenimiento. Detectar este tipo de fallas puede evitar daños graves a la máquina y al personal que labora dentro de las instalaciones. Muchas de estas fallas, al ser detectadas a tiempo, pueden ser tan simples como lubricar o cambiar una pieza de la máquina, lo cual, al no realizarse en su momento, puede llevar a un daño mayor en otros mecanismos y dispositivos de operación de la máquina.

3.2.1. Personal a cargo

Para el ultrasonido el proceso de selección de personal es el mismo que para la cámara termográfica. Debe tenerse en cuenta lo costosos que pueden ser los equipos por su utilidad dentro de la planta, así como los cuidados necesarios que se debe tener para no dañarlos.

Figura 11. Nueva propuesta para asignación de personal



Fuente: elaboración propia.

3.2.2. Capacitación de personal

Es realmente necesario capacitar al personal sobre el uso de este equipo, explicando lugares en los que es posible realizar mediciones, formas de realizarlos y condiciones, así como las precauciones que se deben tomar para el cuidado del personal, del equipo y los accesorios. Se realizará una capacitación con base en una presentación en la que se le explicará a cada persona de forma práctica lo necesario para que pueda definir el correcto uso del equipo y le sea más fácil su manejo. Se explicará también acerca de los programas que se utilizarán para llevar a cabo los controles, debido a la dificultad de algunas personas para la utilización de computadora por diferentes motivos, ya sea porque nunca han utilizado una computadora o porque no

comprenden el funcionamiento del programa. Se explicará dentro de la presentación, paso a paso, a cada persona cómo utilizar el programa, y se dará seguimiento para asegurar que puedan realizar todos los registros necesarios para que el mantenimiento predictivo funcione correctamente.

Con la ayuda de estos programas se pueden generar los reportes respectivos, en los se puede llevar un mejor control por parte del jefe de mantenimiento, quien podrá realizar un control estadístico del comportamiento de los puntos, aparte de la información aportada por los instrumentos para poder realizar un mejor plan para solicitar los repuestos necesarios, lo cual es una parte fundamental que debe comprender no solo el encargado sino también el resto del equipo.

3.2.3. Puntos de equipo a estudiar

Para realizar las mediciones con el ultrasonido se puede no solo realizar las mediciones en los diferentes equipos sino también en diferentes conexiones como tuberías de vapor y aire comprimido, que son sistemas de alimentación para las diferentes líneas de producción. Esto da la ventaja de asegurar que la energía que se utiliza para generar el vapor y el aire comprimido sea el mayor porcentaje utilizado para la producción del producto terminado. Los principales puntos a medir en las diferentes máquinas de la línea son los cojinetes, conexiones eléctricas, trampas de vapor, conexiones de aire comprimido, motores eléctricos y otras aplicaciones que son requeridas para realizar un trabajo en las diferentes máquinas de las líneas de producción.

Con este equipo se puede determinar el momento adecuado para realizar el engrase de diferentes equipos, determinando fallas por medio del sonido que estos provocan, reduciendo el número de veces que estas se lubrican y, a su

vez, el consumo de grasa en estas partes de la máquina, como también la necesidad de detener la producción a causa de falta de lubricación, o bien, el momento adecuado para realizar los cambios correspondientes de los cojinetes para evitar que diferentes partes de la máquina generen esfuerzos adicionales a los necesarios.

En las conexiones eléctricas, antes de ser revisadas por la cámara termográfica, se puede dar apoyo con el ultrasonido y, en caso de que este evidencie una anomalía, se puede apoyarse también en la cámara termográfica, para obtener un panorama completo de la causa de la avería en las instalaciones eléctricas de las máquinas. Todo esto también es de mucha utilidad en las subestaciones en donde existe el efecto corona, que no es visible por la cámara termográfica pero que sí puede ser escuchado a través del equipo del ultrasonido.

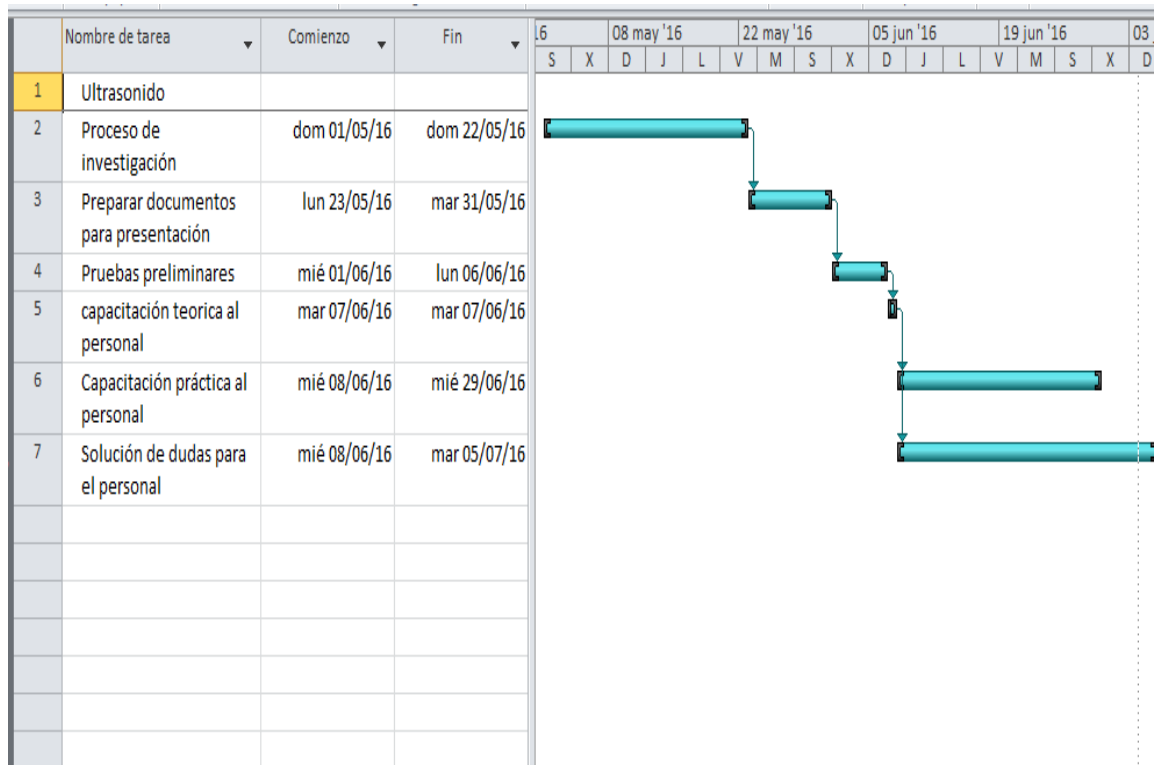
Las trampas de vapor, pese a ser accesorios que se encuentran a altas temperaturas, pueden ser escuchadas a través del ultrasonido, utilizándose este como un estetoscopio, y conocer si realizan su funcionamiento de forma adecuada realizando las descargas de condensado que se debe eliminar del sistema, ya que se puede escuchar con una mejor precisión. También se tiene la ventaja de poder detectar las fugas de vapor que se puedan encontrar en los diferentes puntos del sistema, aun cuando estas fugas sean muy pequeñas.

En la alimentación y conexiones de aire comprimido en muchas ocasiones existen fugas de aire que no son percibidas por los sentidos humanos, causando pérdidas económicas por el desperdicio que se da en el sistema de alimentación y puntos de conexión o mangueras rotas, o con pequeñas perforaciones debidas a que un sistema ha cumplido con su tiempo de vida estimada.

3.2.4. Plan piloto

Con este plan se pondrá fechas límites para realizar cada parte del proyecto correspondiente a este equipo, a través de las cuales se quiere lograr que las personas encargadas tengan un mejor concepto y conocimiento acerca de cómo emplear el equipo para el mantenimiento de las máquinas, para obtener mejores resultados de la prueba y puesta en marcha del mantenimiento predictivo. El plan piloto es el que se muestra a continuación, con las fechas correspondientes para llevar a cabo las capacitaciones y pruebas necesarias:

Figura 12. Plan piloto para ultrasonido



Fuente: elaboración propia.

3.2.4.1. Recopilación de datos

Durante la aplicación del ultrasonido se presentaron reacciones positivas y negativas con respecto al uso de este equipo, que fueron dadas a conocer por parte de las mismas personas que participaron en el proceso de prueba. Para determinar qué mejoras son necesarias para implementar el respectivo plan las observaciones son las siguientes:

- El equipo, al momento de realizar la toma de medidas, es muy fácil de usar, en casos en los que con solo escuchar las condiciones en las que trabaja el accesorio se puede determinar con facilidad que medida tomar.
 - Algunos ejemplos: válvulas, trampas de vapor y fugas.
- En los casos en los que no es fácil determinar con tan solo escuchar cómo se encuentra funcionando se debe aplicar el software, aunque presenta mucha dificultad debido al uso de la gráfica FFT, que no es fácil de interpretar.
 - Este tipo de problema se presentó al momento de escuchar los rodamientos y los sistemas eléctricos, esto debido a que son sonidos nuevos a partir de los que, a causa de la falta de experiencia, es difícil determinar las fallas. Se explicará cada caso en que las gráficas indiquen fallas, ya que el 84 % de las personas que hicieron uso del equipo mostraron esta dificultad.
- Con el apoyo del programa DMS es más sencillo llevar un registro de las reparaciones que se realizan en las máquinas y determinar cuál es el

tiempo de duración de los repuestos y un comportamiento gráfico de los equipos.

- Existen cojinetes que por haber sido colocados sin previamente haber sido analizados por el ultrasonido, no tienen una base para establecer las alarmas de cambios, por lo que deberá esperarse a que estos fallen para realizar los mismos.
 - En estos casos específicos será necesario esperar a que el mantenimiento predictivo indique realizar los cambios de estos cojinetes y realizar las mediciones en el momento en que se realicen los cambios correspondientes.
- Existen puntos en los que no es posible realizar las mediciones, por motivo de seguridad de los equipos y del personal que los opera, así como del personal de mantenimiento.
 - Se realizará un análisis estadístico, a través de una hoja de Excel que se creará para facilitar los cambios que se vayan realizando, además se debe determinar el tiempo recomendado para realizar los cambios de estos cojinetes; en otros casos se tendrá el apoyo de la cámara termográfica.

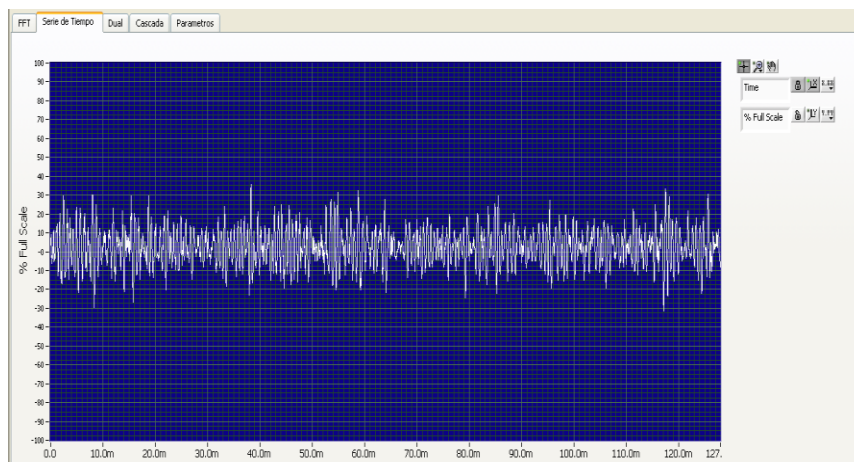
3.2.5. Análisis por software

El software es una herramienta que facilita mucho el estudio de los diferentes problemas que se presentan en las máquinas, a través del estudio del sonido, y con facilidad se puede obtener avisos de los diferentes tipos de mantenimiento que son requeridos para el correcto funcionamiento y que son

establecidos por el usuario. Agregada a estas ventajas, se tiene la de tener un amplio historial en cada estudio que se realice, pero se debe ser muy cuidadoso, tomando en cuenta las condiciones de trabajo de la máquina a ser estudiada, es por ello que se recomienda que sean tomadas las mediciones en las mismas condiciones de velocidad, y dimensiones según el caso, todo esto si los puntos de estudio se ven afectados.

Se debe realizar un cuidadoso análisis en lo que a gráficos se refiere, de no tenerse un análisis correcto se puede dejar de pronosticar problemas que deben ser solucionados inmediatamente, o realizar reparaciones que realmente no eran necesarias provocando un incremento en los costos y desarrollando un efecto contrario al deseado con el apoyo de estos equipos. Se tomaron como ejemplo algunas fallas que pudieron ser tomadas para fines de ejemplificación, para que sea más sencilla la solución de los problemas. A continuación se muestran algunas de las grabaciones realizadas y el respectivo análisis sobre las mismas, lo cual facilitará la comprensión y la mejor interpretación.

Figura 13. **Comportamiento de trampas de vapor, antes de descargar**

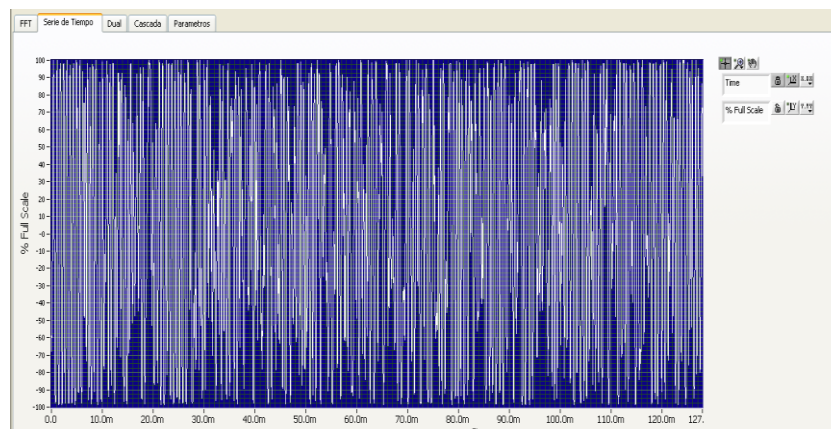


Fuente: elaboración propia.

En la figura mostrada arriba se puede observar el comportamiento de una trampa de vapor en funcionamiento normal, previo a realizar la descarga. En esta fase la trampa de vapor captura el condensado que se encuentra en el sistema. Eliminar el condensado en un sistema de vapor es muy importante, ya que de no eliminarse provoca deficiencias y daño a los equipos, por lo que es muy importante que se encuentren en buenas condiciones las trampas de vapor. También debe tomarse en cuenta que, si esta gráfica se mantiene constante, indica que el dispositivo que abre y cierra para la descarga de condensado se ha atascado y no permite que se lleve a cabo la descarga, por lo que se hace necesario realizar el cambio inmediato de la trampa de vapor.

La próxima imagen muestra la siguiente etapa de la trampa de vapor:

Figura 14. **Descarga de condensado de una trampa de vapor**



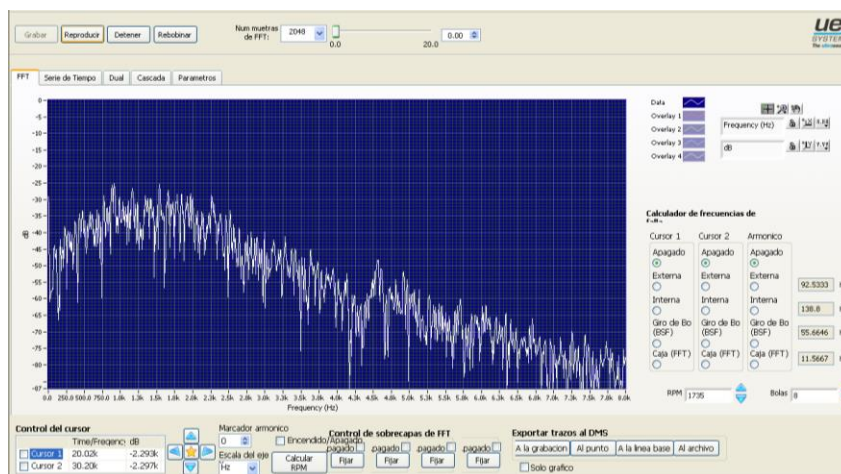
Fuente: elaboración propia.

Esta gráfica puede interpretarse de dos formas diferentes, aunque en ambos casos es el mismo proceso de la trampa de vapor. Las dos causas que pueden generar una gráfica como la mostrada arriba son:

- Operación de descarga de la trampa de vapor, en el momento en que la trampa de vapor descarga el condensado para que este sea tratado y retornado como vapor al sistema, esta base es necesario que se dé, pues de no llevarse a cabo indica que la trampa de vapor ha sufrido daño, por causas variadas, tales como óxido en el dispositivo que abre o cierra.
- La otra opción por la que se puede dar este tipo de gráficas es atascamiento, y la válvula se mantiene abierta, si este caso se da, el vapor está pasando libremente hacia el retorno de condensado, provocando pérdidas de eficiencia y económicas por el desperdicio de vapor.

En la próxima imagen se puede apreciar el problema de una subestación eléctrica:

Figura 15. Problema de corona

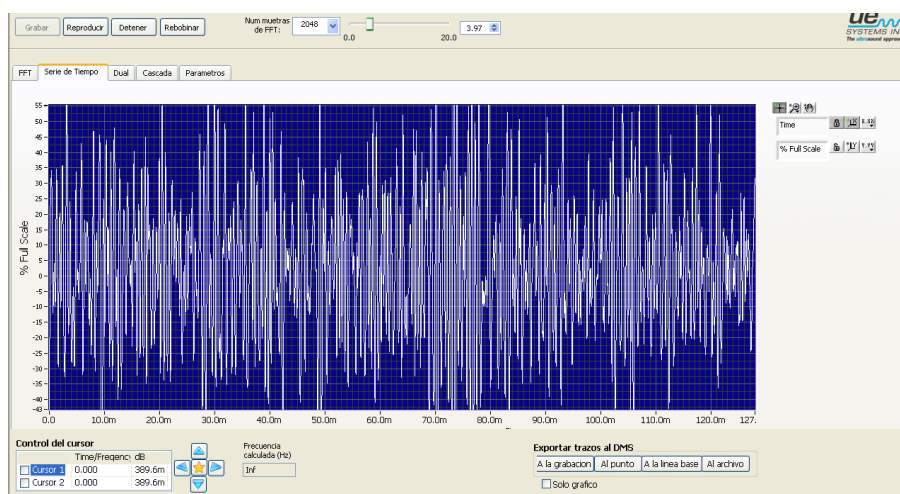


Fuente: elaboración propia.

En el gráfico anterior se puede observar una curva en las variaciones, esta puede ayudar a determinar que existe un efecto corona, que se da por diferentes causas, entre las que se pueden encontrar problema de aislamiento, cables flojos, suciedad u óxido.

El efecto corona tiene un fuerte impacto en el consumo de energía eléctrica, provocando enormes pérdidas para la empresa, la que debe pagar la energía que no ha sido utilizada en los diferentes procesos de producción o administrativos, debido a que esta energía ha sido enviada a tierra. Este tipo de problemas puede afectar también la seguridad de las personas, debido a que estas descargas pueden dañar a una persona que pase por el lugar (sufrir graves quemaduras, por ejemplo). Si una descarga es transmitida a través del aire, este no es un buen conductor de electricidad, provocando una elevada temperatura. La imagen del efecto corona se presenta en la figura 12, en una gráfica FFT de escala de tiempo:

Figura 16. Gráfica en escala de tiempo real



Fuente: elaboración propia.

Como se puede apreciar en la figura anterior, se presenta un problema serio que debe ser revisado y corregido inmediatamente. Este tipo de fallas no se puede apreciar fácilmente, debido a que el paso de la corriente hacia tierra no es fácil de detectar, en caso contrario las pérdidas por consumo eléctrico para la empresa continuarían aumentando a causa de que parte de la energía será enviada a tierra, sin ser parte de uno de los procesos de transformación del producto.

3.2.5.1. Determinación de tipo de mantenimiento

Como se pudo observar en los gráficos del apartado anterior, a través de los equipos de análisis se puede determinar algunas causas que no son fáciles de localizar sin la ayuda de estos equipos, prolongando los daños hasta que se causen fallas y paros de producción no planeados, causando una reducción en la productividad y teniendo que aumentar los costos por horas extraordinarias y el consumo de diferentes insumos y servicios necesarios para mantener el correcto funcionamiento de la planta de producción. A continuación se analizará qué circunstancias se pueden tomar como un mantenimiento correctivo o un mantenimiento preventivo.

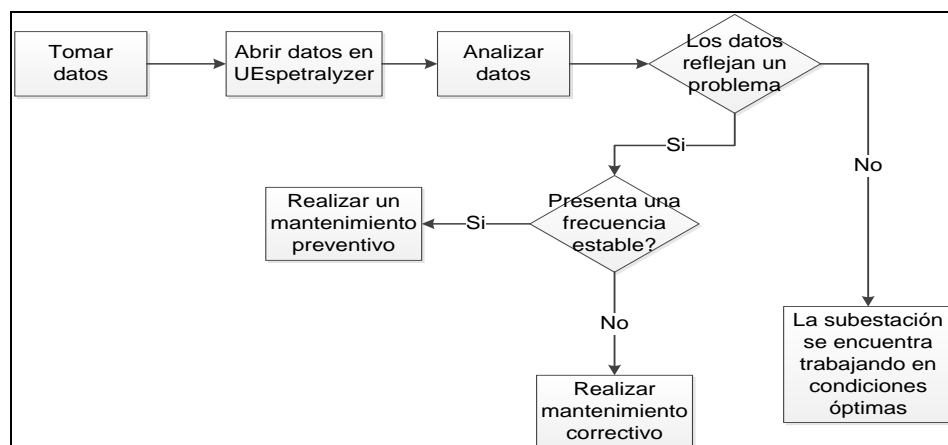
3.2.5.1.1. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo es el medio a través del cual se prolonga la vida útil de la maquinaria, a través de diferentes medios. Para determinar si se requiere un mantenimiento preventivo con el apoyo de estos equipos dependerá de las especificaciones del fabricante, y en otras ocasiones del historial de control de cambios que se ha realizado, pero gracias a nuevas tecnologías que se han desarrollado es posible mejorar la determinación del momento ideal de

los mantenimientos preventivos que a continuación se explicarán con base en esta nueva tecnología.

Para el problema de corona se debe realizar una inspección en la que se debe asegurar que no se encuentren flojos los contactos, y que el aislamiento se encuentre colocado de forma correcta, para evitar que el polvo y otros agentes externos entren en contacto con las conexiones eléctricas, provocando que existan pérdidas de energía hacia el ambiente. Para ello se debe tomar en cuenta que es necesario realizar un paro para realizar el estudio, por motivo de seguridad industrial, en el que las personas y el equipo pueden estar expuestos a descargas, provocando así pérdidas humanas y materiales. Al personal se le debe dar la herramienta y el equipo de seguridad industrial necesarios para realizar el trabajo.

Figura 17. **Determinar si es necesario un mantenimiento preventivo**



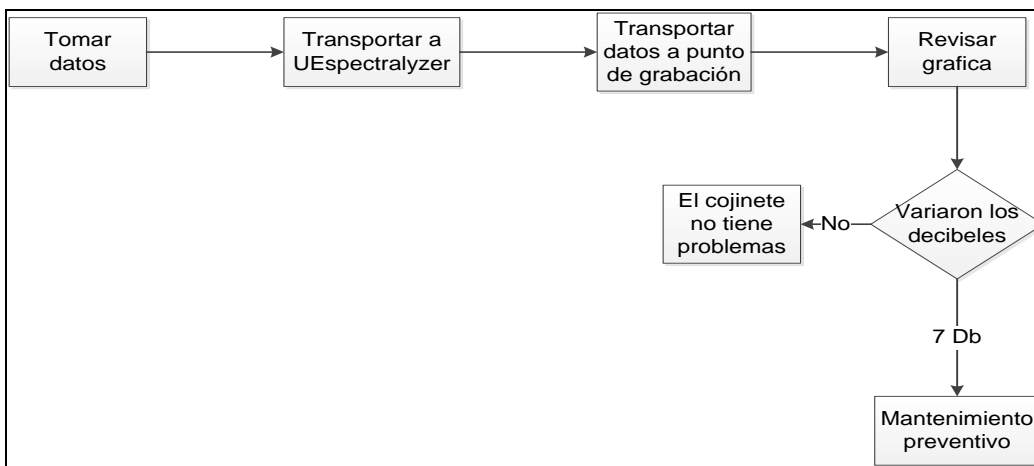
Fuente: elaboración propia.

Para los cojinetes se tiene una base de apoyo con el programa DMS, que es un software aportado por la empresa encargada de la fabricación de este

equipo, en el que se lleva un control sobre el comportamiento de los equipos en el tiempo, tanto de los mantenimientos preventivos como de los correctivos, facilitando el uso de estadísticas para determinar la frecuencia de fallo, según las recomendaciones del fabricante. Al tener un aumento de siete decibeles es necesario un mantenimiento preventivo, que consiste en la lubricación de los cojinetes. Existe un accesorio adicional con el que se puede llevar un control de la cantidad de grasa necesaria para la lubricación de cada cojinete. Dado el costo para la empresa y el inicio de la aplicación de este equipo, no se ha invertido hasta iniciar a tener resultados.

Los datos que son tomados por el equipo de ultrasonido deben ser transportados al programa con que se analizará la curva FFT de sonido, para posteriormente trasladarlos al programa de registro, en el que se lleva el control respectivo de los mantenimientos que se hacen a los diferentes accesorios. A continuación se muestra un diagrama en que se indica cómo determinar si se requiere de mantenimiento preventivo:

Figura 18. **Mantenimiento preventivo de cojinetes**



Fuente: elaboración propia.

El programa anteriormente mencionado tiene la ventaja de realizar una gráfica de la variación de Db con respecto del tiempo, lo que hace fácil aplicar una ecuación para determinar el comportamiento del cojinete en un intervalo de tiempo y estandarizar las fechas de cambios para comparar para un futuro si hay variación con respecto a la función establecida, y determinar además si hay una causa que provoque esa variación. Con este equipo se puede inspeccionar el correcto funcionamiento de las diferentes válvulas situadas a lo largo de las tuberías a través del sonido que están provocando por la turbulencia que pueden ocasionar, en caso de no abrir bien o de falta de sonido, o en caso de permanecer cerradas por fallas internas que son ocasionadas por óxidos y otros posibles daños que son normales por el tiempo de vida.

3.2.5.2. Mantenimiento correctivo

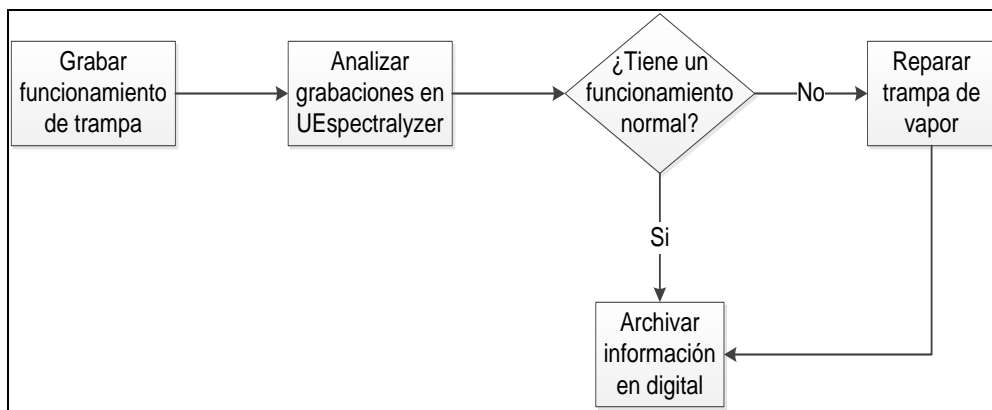
El mantenimiento correctivo normalmente afecta a la producción por paros no programados. A través de la aplicación del sistema de mantenimiento predictivo se espera reducir estos paros no programados, sin embargo, es inevitable tener la necesidad de realizar este tipo de mantenimiento porque todo objeto tiene una vida útil.

Para lo cojinetes se puede determinar que se requiere de un mantenimiento correctivo a través del programa DMS. Se puede concluir que un cojinete requiere de mantenimiento correctivo debido a una diferencia de 16 Db en el sonido. Según el fabricante, a esta magnitud de daño aún se puede trabajar, llegando a un máximo de variación de 32 decibeles, pero en este punto ya se requiere de un paro no programado, debido a que el riesgo de que los rodamientos de los cojinetes se fundan por el calor es mayor, provocando un paro no planeado y afectando la productividad, que es lo que se busca evitar que suceda. Por tal motivo dentro de la empresa se establecerá que se

planifique el cambio a los 16 Db, debido a que realizar un paro requiere de cierto tiempo de planificación y debido a la entrega de pedidos de producto terminado.

En el caso de las trampas de vapor, cuya función es descargar el condensado, se pueden tener únicamente dos opciones: cumple o no cumple con la descarga de condensado. En caso de no cumplir, se desmonta la trampa de vapor del sistema para repararla y volver a desmontarla. Esto se realiza durante el domingo, cuando la máquina suele encontrarse parada. En el próximo diagrama se muestra cómo tomar la decisión para realizar el mantenimiento:

Figura 19. **Mantenimiento correctivo de trampa de vapor**



Fuente: elaboración propia.

Archivando la información de forma digital se puede llevar un registro sobre las reparaciones de las trampas de vapor, para tener un mejor control al momento de realizar el presupuesto anual que es solicitado. Desde el punto de vista de las trampas de vapor este es un mantenimiento correctivo, pero si es visto desde el resto de equipos y el sistema de vapor en general, es un

mantenimiento preventivo porque de esta forma se evita que se dañe por causas de golpeteo, o que ingrese condensado a los equipos provocando algún daño al producto terminado.

Para lo cojinetes se puede determinar que se requiere de un mantenimiento correctivo a través del programa DMS. Se puede concluir que un cojinete requiere de mantenimiento correctivo debido a una diferencia de 16 Db en el sonido. Según el fabricante, a esta magnitud de daño aún se puede trabajar, llegando a un máximo de variación de 32 decibeles, pero en este punto ya se requiere de un paro no programado debido a que el riesgo de que los rodamientos de los cojinetes se fundan por el calor es mayor, provocando un paro no planeado y afectando la productividad, que es lo que se busca evitar que suceda. Por tal motivo dentro de la empresa se establecerá que se planifique el cambio a los 16 Db, debido a que realizar un paro requiere de cierto tiempo de planificación debido a la entrega de pedidos de producto terminado.

El aire comprimido es una forma de energía almacenada, para la cual se requiere de mucha energía eléctrica para mantener alimentado el sistema, y así crear el trabajo para el que fueron diseñados los diferentes dispositivos de la máquina. Suele pensarse que cualquier fuga de aire provocada debido a la presión que se tiene dentro del sistema es audible, pero existen fugas tan pequeñas que no pueden ser percibidas, por esta razón se hace necesario el ultrasonido.

Cualquier fuga de aire comprimido al ambiente representa una pérdida considerable para la empresa, debido a que reduce la presión dentro del sistema, forzando a los compresores a que trabajen por más tiempo y por consiguiente hay también un aumento en los picos de consumo con respecto a

esta máquina. Este apartado se ha considerado como mantenimiento correctivo, porque la causa no se detecta previo a que ocurre la falla sino hasta que la falla ya se provocó. Para la interpretación del programa basta con utilizar el software mismo del ultrasonido y escuchar, ya que se debe mover con el fin de localizar la fuga en su punto exacto.

Este instrumento también es capaz de detectar fallos en los sistemas de vacío, de existir ingreso de partículas de aire en un punto ajeno al punto de trabajo, con lo cual el vacío se reduciría. En el caso de la empresa el vacío se utiliza como medio de sujeción, con el que se transporta de un punto a otro en las máquinas; si esto fallara, parte de la materia prima se acumularía o no llegaría a la siguiente parte del proceso, retrasando la producción y provocando pérdidas para la empresa.

El mismo principio se aplica para las fugas causadas por el vapor. En ocasiones suele notarse fugas de vapor como resultado de la condensación del vapor. Según la complejidad del sistema, puede que sea difícil localizar el punto de la fuga, pero con la ayuda del ultrasonido puede ser detectada con mayor facilidad. Debido al sonido que genera la fuga se debe tener mucha precaución al momento de realizar este tipo de análisis, por las quemaduras que puede provocar por la elevada temperatura del sistema, a la persona que realiza la medición y al accesorio que se esté utilizando para llevar a cabo esta.

3.3. Tensiómetro

Suele determinarse la tensión de una faja (correa) a través de los sentidos, sin embargo estos no son sensibles a cambios muy pequeños, ni determinan una medición exacta. En ocasiones, para determinar una tensión, se cree que la forma correcta es reducir al máximo la deflexión de la correa,

pero tomar estas características como base para la tensión puede causar que la correa se encuentre muy floja o que se encuentre una tensión demasiado elevada. Es por ello que se utiliza la ayuda de un tensiómetro para no exceder la fuerza necesaria de tensión ni dejar un valor de tensión demasiado bajo.

Se debe tomar en cuenta que las correas, aun cuando se encuentren dentro del rango de tensión recomendada, son utilizadas en mecanismos en los que no se requiere de una sincronización, excepto las correas de sincronización, ya que este deslizamiento provocaría daños en los mecanismos sincronizados. Esto se hace notar porque la tensión de una correa o banda de transmisión es muy importante, y es posible verlo a continuación con base en la siguiente expresión:

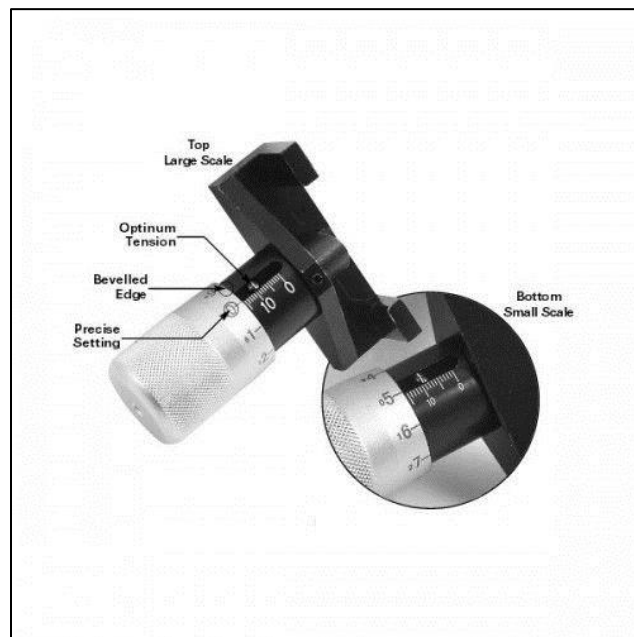
$$P = \frac{(T_1 - T_2)v}{550}$$

En la expresión anterior, T_1 es el lado con mayor tensión en la correa y T_2 es el lugar de la correa donde se refleja la menor tensión, “v” es la velocidad, las unidades para esta fórmula se encuentran en el sistema inglés, sin la tensión en lb_f y la velocidad en p/seg. Existen otras fórmulas que son utilizadas para el diseño de maquinaria y utilizan las bandas de transmisión adecuadas según lo requerido para el diseño.

Existen diferentes tipos de tensiómetros, algunos de contacto directo y a través de sensores. En el primer caso miden la tensión a través de la deflexión máxima que la correa puede alcanzar, y por consiguiente la fuerza de reacción que esta genera sobre el tensiómetro, dando su valor en diferentes unidades de medición comercialmente usadas. Esto da la variable de una forma directa, sin necesidad de realizar un cálculo. Otro tipo de tensiómetro son los láser, que

realizan las mediciones a través de las frecuencias que una correa se reflejan en un intervalo de tiempo. La unidad de medida para este tipo de correas son los Hz, que es el número de veces que un objeto pasa por un punto inicial o punto de referencia por segundo. Esto es introducido en una fórmula o es un valor entregado por el mismo instrumento de medición. A continuación se muestra la imagen de un tensiómetro de contacto directo:

Figura 20. **Tensiómetro**



Fuente: *Tensiómetro de contacto directo*. <http://www.jomafa.com/en/universal/3405-tensiometro-de-correas-de-distribucion.html>. Consulta: 8 de agosto de 2017.

3.3.1. **Personal a cargo**

A diferencia de los equipos anteriores, este instrumento es más sencillo de utilizar y tiene un costo menor al momento de realizar la compra con respecto a los otros equipos, pero es muy necesario para obtener una correcta tensión en

las fajas encargadas de transmitir el movimiento de una polea a otra. Los problemas por no tener una correcta tensión provocan una reducción de vida en las correas que puede terminar afectando el desempeño normal de la máquina, y poner en riesgo los equipos al dejar de trabajar alguna parte de los mismos.

Por consiguiente, este tipo de mediciones pueden ser tomadas por cualquier persona dentro del departamento de mantenimiento, a estas se les debe impartir una inducción de cómo utilizar el instrumento de medición para evitar que al momento de la lectura de la frecuencia tengan dudas y entreguen valores erróneos que puedan provocar fallas posteriores a la medición realizada. Siempre se debe hacer énfasis en las normas de seguridad que deben tomarse para asegurar que las personas se encuentran utilizando este equipo.

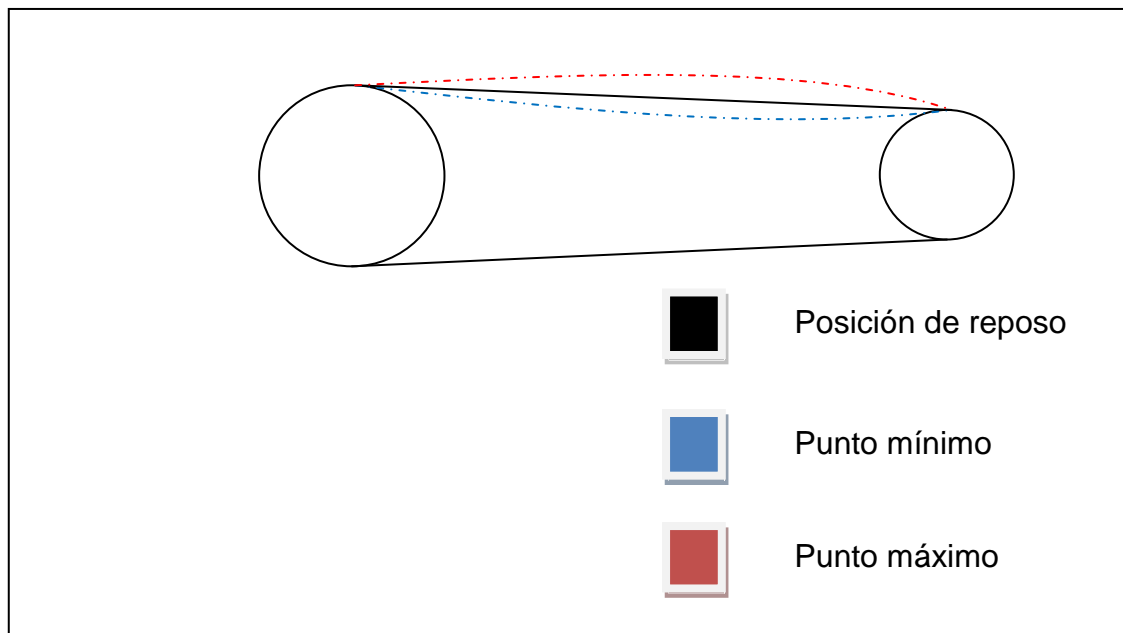
Este trabajo puede ser asignado para las personas que son de nuevo ingreso o que tienen poco tiempo de estar laborando dentro de la empresa, porque normalmente apoyan a las personas que están realizando la reparación de la diferente maquinaria y puede ser como parte de una capacitación de apoyo para el mismo trabajador, porque no se exponen aún a sincronización de las máquinas que puedan provocar daños a los diferentes accesorios de las mismas o al equipo de medición, debido a que se encuentra las máquinas paradas al momento de realizar las mediciones.

3.3.2. Capacitación de personal

El proceso de capacitación para el uso de este equipo es bastante corto y fácil, debido a que más se trata de un instrumento de comparación con respecto a una referencia, lo importante a tomar en cuenta es la seguridad del personal.

Es importante para tomar las mediciones que la máquina se encuentre parada y hacer la observación de que la medición se debe tomar en el lado más tenso de la correa. El instrumento toma la frecuencia de la tensión que es provocada al momento en que se le aplica una fuerza de impacto perpendicular al sentido de movimiento de la correa, dando como resultado una frecuencia con un punto de referencia, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 21. **Frecuencia perpendicular al movimiento de la correa**



Fuente: elaboración propia.

A través de la matemática se sabe que los Hertz (Hz) es el número de repeticiones que pasará la polea por un punto de referencia por segundo. Es normal que la aplicación de este concepto de Hertz es muy frecuente en electricidad y movimientos circulares, pero se da a todo aquello que tiene un comportamiento cíclico.

Como es fácil de notar, el uso de este instrumento es más sencillo que los equipos anteriores, por lo que se puede crear un plan de seguimiento de mantenimiento a personas de nuevo ingreso como una de sus atribuciones para que inicien a tener la cultura de aplicar el mantenimiento predictivo como algo muy importante y con la seriedad que merece.

Este equipo debe ser utilizado al momento de tensar las correas, para asegurar que estas no se dañarán al momento de realizar su arranque, en caso contrario estas se desgastarían inmediatamente quedando inservibles. Es recomendable realizar una segunda tensión de las correas a las tres horas de que la máquina ha empezado a trabajar, esto debido a que, por ser nuevas, suelen estirarse debido a que el módulo de elasticidad y la temperatura que alcanzan a causa de la fricción, provoca cambios físicos por la diferencia de temperatura. Es necesario realizar un tensado más a los tres meses, lo que aumentará el tiempo de vida de las correas. Esto debe estar basado en el comportamiento que adquieren las correas en esa posición de la máquina.

3.3.3. Puntos de equipo a estudiar

Se debe estudiar los puntos donde existen correas. Es necesario reiterar que se debe cuidar la seguridad de la persona, desactivar la máquina para que no existan accidentes al momento de remover las guardas, y es recomendable revisar los manuales de las máquinas para cumplir con la tensión que el fabricante propuso, para que la máquina tenga el funcionamiento normal.

En el caso de no contar con la información facilitada por el fabricante, el instrumento trae adjunta una tabla, la cual se deberá aplicar al momento de realizar las mediciones, para asegurar de esta forma que tendrán el tiempo de vida para el cual fueron diseñadas las correas.

3.3.4. Plan piloto

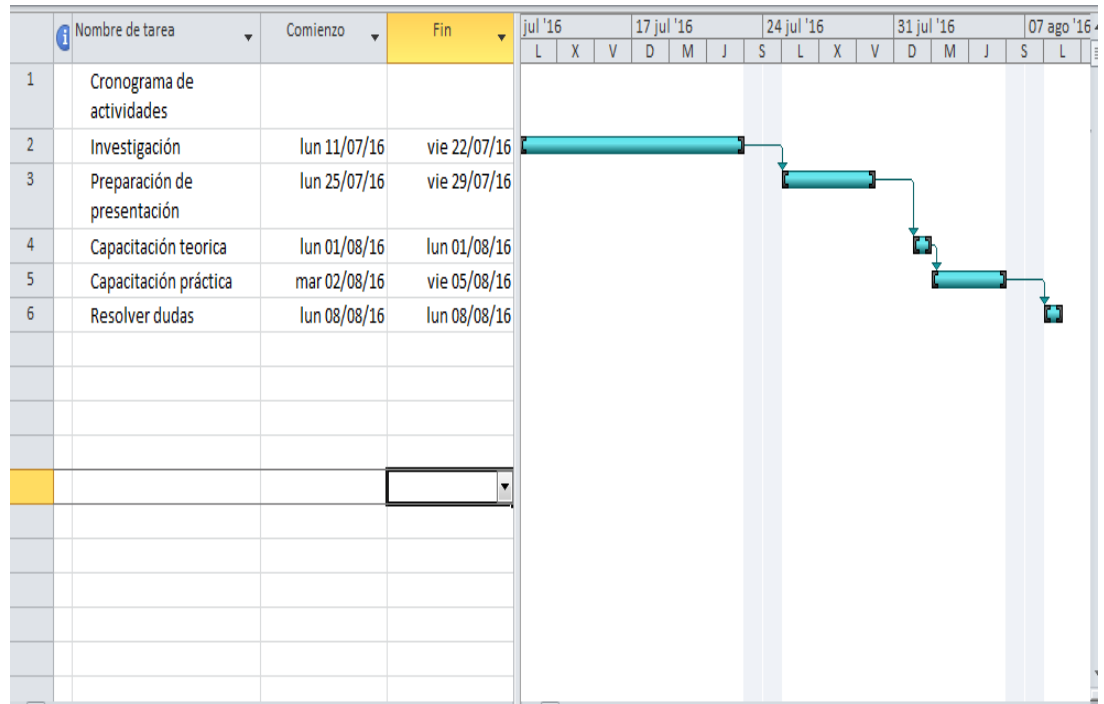
Aun cuando el equipo es fácil de usar e interpretar, es necesario realizar pruebas previas para asegurar que no existirá ninguna duda y observar que las personas tomen las precauciones necesarias. También es necesario determinar el tiempo y las dificultades que se pueden encontrar al realizar las mediciones de las tensiones de las correas, para determinar las máquinas en que se requiere más tiempo para llevar a cabo las mediciones por diferentes razones, tales como quitar las guardas.

Es necesario recordar que aunque el objetivo de este apartado de revisar la tensión de las fajas (correas de transmisión o bandas de transmisión), se debe asegurar también la condición de las mismas, es decir que no se encuentren agrietadas o desgastadas por el esfuerzo que han realizado, pues de nada servirá tener una correa bien tensada si esta ha sobrepasado su vida útil, ya que así siempre causará diferentes fallas como deslizamiento y, por consiguiente, un mayor desgaste en las poleas de contacto. Es necesario revisar también la alineación de las mismas, pues no tener alineada correctamente la polea genera esfuerzos sobre los cojinetes y daños en las poleas, así como reducción en el tiempo de vida de las correas.

3.3.4.1. Cronograma

A continuación se mostrarán los tiempos en los que se llevarán a cabo las pruebas de la toma de datos. Se solicitará el apoyo de las personas que tienen experiencia dentro de la empresa y de las que sean de nuevo ingreso, para que realicen las observaciones necesarias con respecto a la medición.

Figura 22. **Cronograma de tensiómetro**



Fuente: elaboración propia.

3.3.4.2. **Recopilación de datos**

Después de cumplir con el plan piloto se pudo determinar que llevar a cabo la aplicación de este equipo es muy sencillo, debido a que no requiere mucha experiencia. Cada tipo de correa viene determinado con una tensión indicada por el fabricante de las mismas, además el mismo instrumento cuenta con una tabla en la parte posterior, en la que se indica cuál es la frecuencia recomendada para cada correa.

Aun cuando es necesario remover las guardas para tomar la medición, esto no representó ningún inconveniente, debido a que es parte del mantenimiento planeado y esto forma parte de la rutina asignada para el

mantenimiento de cada equipo. No es necesario revisar la tensión cada vez que se realiza el mantenimiento preventivo. En cuanto al tiempo para revisar la tensión, puede que sea necesario cada dos paros programados para mantenimiento preventivo. Todos los involucrados hicieron la observación de que no se cuenta con un sistema de control en el que se revisen los cambios efectuados y el control de tensado que se debe realizar periódicamente para que esta parte del mantenimiento predictivo funcione adecuadamente.

3.3.5. Análisis por software

Como se entiende, en este tipo de problemas es muy fácil determinar qué se debe hacer en caso de que la correa no se encuentre bien tensada, aunque no se tiene un registro aún para determinar en qué momento es necesario realizar las mediciones, por eso es importante llevar un control de en qué momento se realizaron los últimos cambios de estas. Por este motivo se tendrá un control a través de una hoja de Excel, en la que se podrá realizar un plan de mantenimiento de esta parte, además ayudará a determinar si existen otras causas que puedan estar afectando a las correas en cuanto al tiempo de vida para el que fueron diseñadas, para que no se vea reducido ampliamente.

Este tipo de control, aunque puede verse como algo molesto o complicado, debido a que requiere ingresar los datos, los cuales antes no se tomaban en cuenta, puede prevenir paros no planeados, reducir los tiempos de mantenimientos y los costos, al no tener la necesidad de realizar cambios de fajas de transmisión en intervalos de tiempo corto, mejorando de esta forma la disponibilidad de los equipos de trabajo y la fiabilidad de los mantenimientos y siendo un medio a través del cual se puede realizar medición de la cantidad de veces que una correa puede fallar en un intervalo de tiempo.

3.3.5.1. Determinación de tipo de mantenimiento

Es muy importante determinar qué tipo de mantenimiento se requiere realizar, para no correr el riesgo de que, al poco tiempo de la puesta en marcha, falle la máquina reduciendo la disponibilidad para la producción. Tampoco se quiere caer en el error de pensar que basta con un mantenimiento preventivo y se lleva a cabo un mantenimiento correctivo, porque esto también provocaría un aumento en los costos, porque se está removiendo algo que aún tiene disponibilidad de trabajar por más horas y porque en ambas situaciones da un impacto en los costos por un paro o desperdicio que pudo haberse evitado con un criterio correcto al momento de realizar la medición o toma de decisión.

3.3.5.1.1. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo consiste en realizar una medición de tensión y realizar una inspección visual para asegurar que una pieza no se encuentre con un desgaste muy elevado o rajada. Dentro de este también corresponde revisar la alineación de las poleas, para lo cual se llevará un registro a través de hojas de Excel, esto con el fin de reducir la cantidad de papeles que comúnmente se utilizan para los diferentes controles, realizando un bitácora con las observaciones que la persona encargada considere necesario colocar para reducir las causas asignables de paros que suelen darse.

Tener este registro puede ayudar a determinar fallas futuras en los equipos. En muchas ocasiones el daño de las correas no es solo parte del desgaste de las mismas, pueden darse otras circunstancias que causen que la correa se dañe, y a su vez verse involucrados otros elementos mecánicos, razón por la cual se debe reparar inmediatamente.

3.3.5.2. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo consiste en realizar el cambio de correas. En este momento es cuando la correa ya se encuentra en un punto crítico o se ha reventado por diferentes circunstancias, por ejemplo, puede ser que se halla atascado algún eje, provocando que la fricción se incremente y por consiguiente el desgaste se acelere, provocando que la misma falle prematuramente y obligando a detener la producción para reemplazar la misma y bajo esta circunstancia realizar la reparación necesaria. Es necesario mencionar que a las correas se les debe realizar un nuevo tensado después de haber trabajado durante un intervalo de tres horas, esto se debe a la dilatación térmica que todo cuerpo sufre físicamente al encontrarse trabajando por efectos de la fricción, y a un leve deslizamiento que sufren y que incrementa su temperatura. Posterior a esta tensión se debe llevar a cabo el mantenimiento preventivo y la revisión de mantenimiento.

3.3.6. Reducción de averías

En este apartado se analizarán la averías que se pueden dar, provocando que las correas fallen y, por consiguiente, reduzcan la disponibilidad de los equipos. Se tratará de indagar a fondo qué provoca que se den fallas en las correas, para reducirlas o, en su momento, eliminarlas. Es necesario recordar que para cualquier mejora es necesario realizar una inversión, y así como en ocasiones la inversión puede ser pequeña, también puede darse una inversión grande que no sea posible hacer de forma inmediata y se deba desarrollar por fases.

3.3.6.1. Planteamiento de averías

Algunas de las averías más comunes en las bandas de transmisión son fáciles de solucionar, pero debido a lo fácil que es, en algunas ocasiones, dar un mantenimiento a estas, no se les presta la atención correspondiente para dar una solución que asegure que el problema no se volverá a dar, simplemente se cambian las bandas sin verificar si la causa de la falla pudo ser una razón especial, provocando que el tiempo de vida de la correa se redujera de forma significativa y haciendo necesario un nuevo paro no planeado cuando la correa falla nuevamente. Esto reduce, dentro de los indicadores del departamento, su eficiencia en cuanto corresponde a mantenimientos no planeados, confiabilidad del equipo y costos de los mantenimientos, que son los indicadores que se busca mejorar. A continuación se muestran alguna de las fallas más comunes que se obtuvieron gracias a la experiencia de las personas y que serán base de los análisis posteriores:

- Desgaste prematuro de correas
- Deslizamiento de las correas
- Correas que se rompen
- Almacenamiento o manejo inadecuado de las correas
- Diseño de transmisión

En este apartado no se hace mención de las correas de sincronización, esto se debe a que el funcionamiento de la correa en cuanto fricción varía, debido a que en estas el corrimiento es menos tolerado que en el caso de las correas lisas.

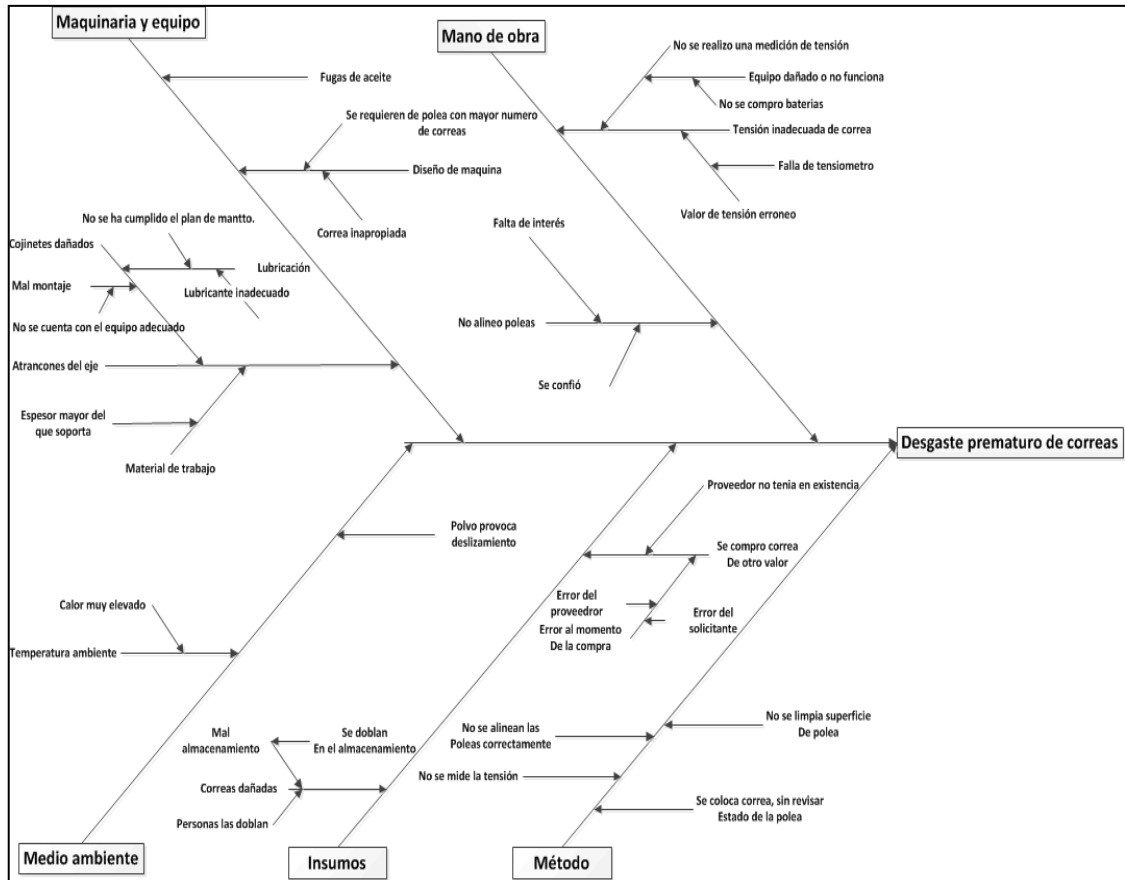
3.3.6.2. Causas que las provocan

Existen diferentes fallas que afectan las horas de trabajo de las bandas de transmisión, mencionadas en el apartado anterior. Para este caso se hará mención de las correas no dentadas. En algunos casos se podrá observar que una de las causas que provoca una falla puede ser responsable de esa y otras fallas, por consiguiente se debe buscar la raíz del problema para asegurar que no empeorará o se repetirá mostrando una frecuencia de falla.

En muchas ocasiones no se suele buscar las causas por las que una banda falla más seguido si anteriormente no ha fallado, simplemente se continúan haciendo los cambios y no se busca la solución al problema, siendo esta posiblemente muy fácil de ejecutar. En este apartado se realizará el análisis a través de un diagrama de causa y efecto, también conocido como un diagrama de Ishikawa. Aunque esta puede ser una forma de realizar el análisis, pueden existir otros métodos que ayudan a visualizar de mejor forma las causas de las diversas fallas.

- El desgaste prematuro de correas es una falla muy común y que normalmente suele ser difícil de determinar su causa, porque no se analiza adecuadamente asumiendo que la razón de las fallas puede localizarse en otro lugar, cuando realmente puede ser la solución algo tan sencillo como ajustar. El siguiente diagrama muestra una ramificación de los diversos problemas que pueden dar lugar a diversas fallas.

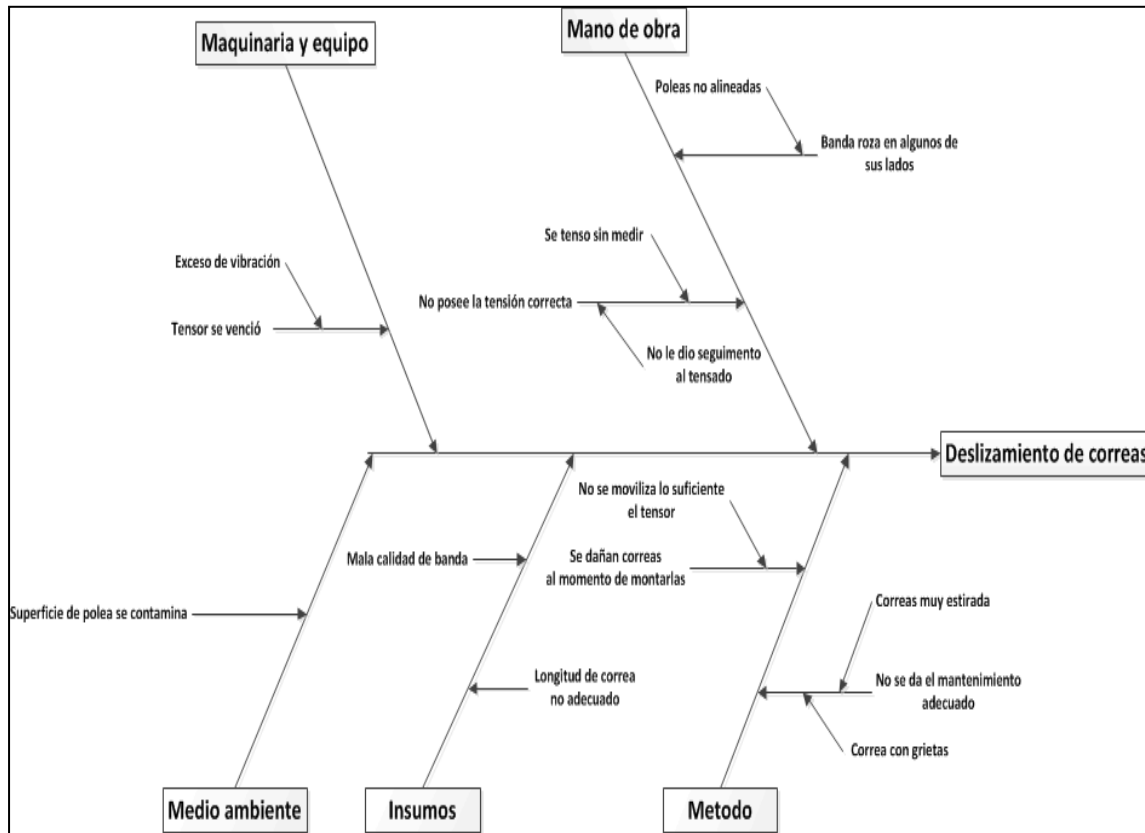
Figura 23. Causas de desgaste prematuro de correas



Fuente: elaboración propia.

- En el siguiente diagrama se representan algunas de las causas por las que se da el deslizamiento de las correas. Este es un análisis muy importante para la que suele ser una falla muy común, por lo que determinar qué puede provocar que una banda o correa se deslice puede ser de mucha ayuda en aclarar el problema.

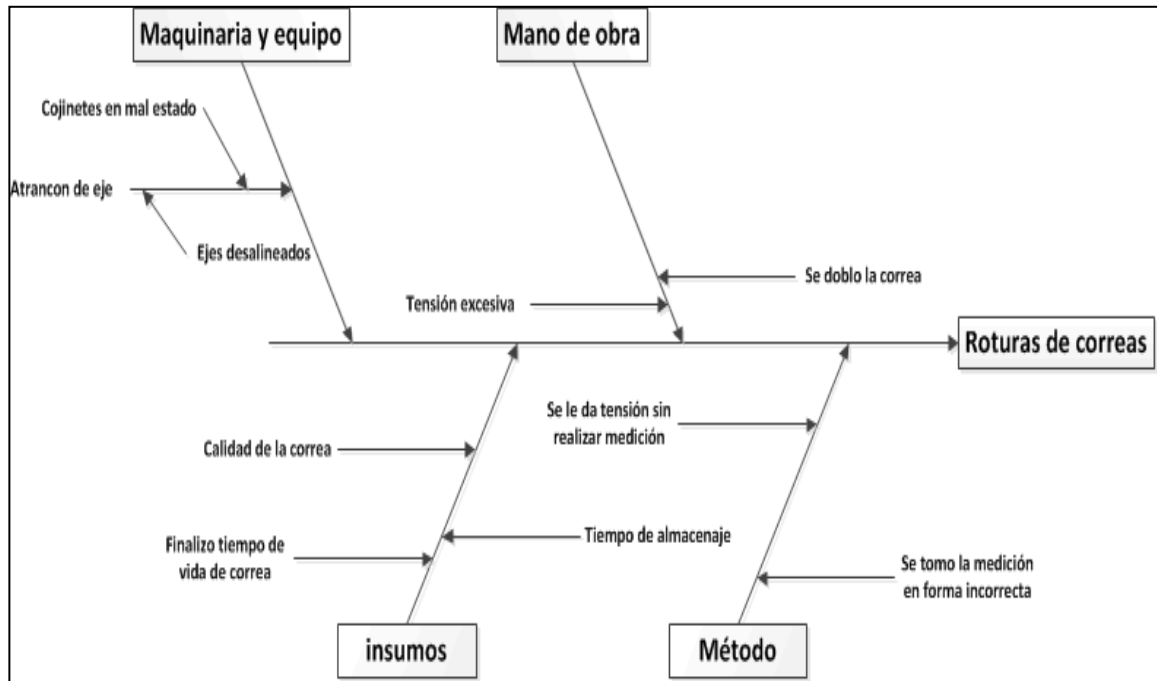
Figura 24. Deslizamiento de correas



Fuente: elaboración propia.

- A continuación se muestran las causas que pueden provocar que las correas se rompan. Se observará que en algunas ocasiones coinciden con fallas anteriores, por lo que se hace evidente que desarrollar los cuidados necesarios al momento de realizar una reparación cualquiera puede ser de mucha ayuda.

Figura 25. **Correas que se rompen**



Fuente: elaboración propia.

- Dentro de las causas que pueden provocar una falla de transmisión se encuentran las siguientes:
 - Tipo de correa inadecuada.
 - Se requiere utilizar un mayor número de bandas de transmisión.
 - Se requiere de otro tipo de mecanismo de transmisión.

3.3.6.3. **Propuestas de soluciones**

En el apartado anterior se determinaron las diferentes causas por las que pueden fallar las bandas de transmisión según el tipo de falla. Aun cuando estas razones pueden parecer muy obvias, en ocasiones es difícil determinarlas

en la vida real, porque, en ocasiones, por corregir una situación se altera otra, y se asume que la causa inicial permanece, cuando realmente esta falla ya ha sido solucionada. Con base en los análisis anteriores, se puede determinar que las causas principales por las que fallan las bandas de transmisión son las siguientes:

- Tensión de correa: la tensión de la correa es sin lugar a dudas la causa principal por la que se ven reducida las horas de trabajo para las que fueron diseñadas las correas, debido a que una tensión muy reducida provoca que estas se deslicen y un exceso de tensión puede provocar que se rompan.
- Alineación de correas: la alineación de las correas es otra de las causas por las que suelen fallar las bandas de transmisión, pues provocan un desgaste mayor en uno de los lados de las correas.
- Cojinetes: es necesario realizar un mantenimiento constante de estos mecanismos, ya que, de quedar pegados por exceso de calor, provocarán fallas en las bandas y en otros mecanismos del sistema.

4. CAPÍTULO CUATRO- IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

En esta parte de la investigación se analizará cómo se apoyará la propuesta, poniendo en práctica los medios de control necesarios para que sea posible llevar a cabo el mantenimiento predictivo, siendo en su mayoría de forma digital. Con esto se espera reducir la cantidad de documentos que suelen ocupar un volumen muy grande y tener mejor accesibilidad a la información, para realizar estudios de los diferentes comportamientos de los equipos.

4.1. Lista de verificación u hoja de control

Para todo proceso de mejoramiento es muy importante llevar un control del comportamiento de la implementación, esto para asegurar que los objetivos planteados son alcanzados. Otra ventaja de este control es la de tener un registro de los comportamientos de los diferentes equipos dentro de la planta, algo que comúnmente no se realiza, y en el momento en que la máquina presenta desperfectos y se da la rotación de personal no se cuenta con esta información tan importante.

Por motivos de cuidado del medio ambiente, se realizarán estas hojas a través de software, lo cual da la ventaja de poder, más adelante, realizar automatización para que sea más fácil determinar cómo proceder.

olvide realizar alguna de las configuraciones y se obtengan mediciones erróneas, provocando que se deje de realizar el mantenimiento adecuado necesario para los equipos de la planta. Se deja un espacio para observaciones, para que la persona encargada de la medición pueda disponer de un espacio para hacer anotaciones que considere necesarias, como desajustes visibles o acciones correctivas que considere prudente hacer en el momento para evitar paros innecesarios en la producción.

4.1.2. Ultrasonido

El ultrasonido es uno de los equipos que ha demostrado más dificultad para su uso, esto debido a que se deben interpretar las gráficas y los sonidos, y algunos de estos pueden causar confusión, pero estos inconvenientes se irán reduciendo a medida que se utilice con mayor frecuencia. A continuación se presenta la hoja de control del ultrasonido.

Figura 27. Hoja de control de ultrasonido

Hoja de control de ultrasonido		
Fecha:	_____	
Módulo utilizado	_____	
KHZ	_____	
Equipo	Número de grabación	Decibeles
Firma		_____

Fuente: elaboración propia.

4.1.3. Tensiómetro

En el caso de una correa basta con una lista de verificación, a través de la cual se lleve a cabo el control del estado en el que se encuentra la misma, para asegurar el correcto funcionamiento de la máquina en la que esta trabaja y evitar que falle, esto para asegurar que la máquina se encuentre disponible el tiempo que sea necesario.

Figura 28. Lista de verificación para bandas de transmisión

Lista de verificación para bandas de transmisión											
Fecha	_____										
Equipo	_____										
	<table border="1"><thead><tr><th>Sí</th><th>No</th></tr></thead><tbody><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr></tbody></table>	Sí	No								
Sí	No										
Se volvió a tensar correa											
Correa presenta rotura											
Correa se encuentra desgastada											
Se realizó cambio de correa											
Observaciones:	_____										
Nombre del responsable _____											
	Firma _____										

Fuente: elaboración propia.

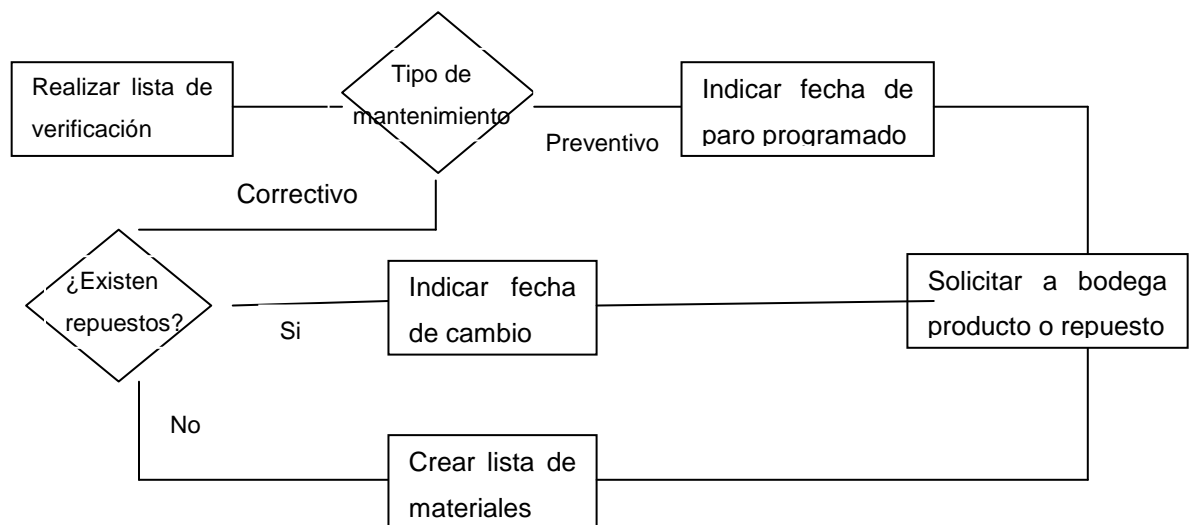
A través de esta lista de verificación quedará registro de los mantenimientos que se realicen y se facilitará al personal llevar un mejor control sobre lo mismo. Para este caso se recomienda imprimir los documentos, para que sea fácil determinar las causas por las que se realizan los cambios. En el caso de las observaciones pueden ser utilizadas también para solicitar los

repuestos necesarios y que se agilice la compra en caso de que no exista un *stock* de estos repuestos.

4.2. Solicitud de repuestos e insumos

Con base en los datos obtenidos por la lista de verificación se puede determinar con mayor facilidad qué repuestos son necesarios, y generalizar a través del siguiente diagrama de decisiones cómo solicitar los repuestos a bodega. Esto asegurará que no se mantendrán los repuestos almacenados por un tiempo muy prolongado, buscando reducir el inventario sin poner en riesgo la producción a causa de falta de uno de estos repuestos.

Figura 29. Solicitud de repuestos



Fuente: elaboración propia.

4.2.1. Determinación de tipo de mantenimiento

Determinar el tipo de mantenimiento es muy importante para aclarar cómo se procederá con la compra de los insumos y repuestos necesarios para poner en marcha la producción en un tiempo menor. En muchas ocasiones se tendrá tiempo para planear la forma en que se hará la compra y en otras será de emergencia, a través de proveedores que puede ser la empresa ya tenga, o bien, nuevos proveedores que comercialicen ese producto o lo fabriquen directamente. Es muy importante contar con los repuestos en el tiempo requerido o en forma inmediata, según sea el caso.

4.2.1.1. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo da la ventaja de que es posible realizar de forma planeada la compra de los repuestos e insumos necesarios para mantener el equipo en correcto funcionamiento, con base en manuales o en datos históricos que se han manejado del equipo, para determinar medidas o características que debe poseer el repuesto reemplazado y evitar modificar la máquina o afectar algún mecanismo, provocando que este se dañe o que no realice el trabajo como fue diseñado.

4.2.1.1.1. Cámara termográfica

Es recomendable realizar a través de documentación o software y de forma planeada la solicitud de los repuestos necesarios, con este fin se han diseñado hojas electrónicas las cuales se utilizan en el sistema para realizar las solicitudes que faciliten la comunicación entre el departamento de mantenimiento, la bodega y el departamento de compras, para reducir el riesgo de que se cometan errores. Esto tendrá muy buen efecto en los repuestos en

La hoja cuenta con un menú desplegable en que se puede escoger alguno de los repuestos más comunes con los que se aplica la cámara termográfica en el mantenimiento preventivo, como se ve a continuación:

Figura 31. **Menú desplegable de la hoja de solicitud**

Solicitud de repuestos para mediciones con camara termografica			
Fecha solicitado		Fecha de utilización	
No. De equipo	Cantidad de insumos o repuestos	Descripción	Otros u observaciones
		<ul style="list-style-type: none"> Cojinete Alambre esmaltado Cable electrico Alambre electrico Tornillos Tuercas Otros 	

Fuente: elaboración propia.

4.2.1.1.2. Ultrasonido

El equipo de ultrasonido cuenta con un software a través del cual es posible establecer alarmas, estas son establecidas con base en las especificaciones del fabricante, que a su vez se apoya en diferentes normas y facilita la información para el correcto uso del equipo; en este caso se establecieron las alarmas. Cuando el archivo de ultrasonido es cargado al software, y las alarmas establecidas, hay dos posibles colores que resalta la grabación, en este caso se tratará de dos casos, uno cuando es resaltado y otro en el que la grabación no se encuentra resaltada.

En caso de que no se encuentre resaltado por ningún color, se indica que la máquina que se ha medido se encuentra trabajando correctamente, dentro de los parámetros dados por correctos. En caso de encontrarse en color amarillo, indica que es necesario efectuar un mantenimiento preventivo. Estos valores son determinados por el usuario según lo que se encuentre midiendo, todo tiene valores determinados por normas, por fabricante o por valores, que se han determinado históricamente debido a que existen diferentes ambientes en los que se encuentra trabajando. A continuación se muestra un ejemplo en el que se ven fechas resaltadas de color amarillo y fechas no resaltadas.

Figura 32. **Correcto funcionamiento y mantenimiento preventivo**

The screenshot shows a software interface with a tree view on the left and a configuration panel on the right. The tree view is titled 'MANTENIMIENTO' and lists various equipment points (e.g., 01, 02, 000101 001) with associated dates and times. A red circle highlights the entry for '020301 003' with a date of '09/06/2016' and a time of '07:03 a.m.'. The configuration panel on the right includes fields for 'Fecha/Hora', 'Tipo de Modulo', 'dB', 'Frecuencia', 'Modo', 'Sensibilidad', 'Ajuste del Cero', 'Alarma', 'Locacion / Maquina', 'Punto', 'Comentarios', 'Archivo WAV', and 'Ruta de la Grabacion'. The 'Fecha/Hora' field is set to '31/12/1903 04:00:00 p.m.' and the 'Tipo de Modulo' is set to 'SCM'.

Fuente: elaboración propia.

Como se puede apreciar en la figura anterior, el mantenimiento preventivo es resaltado por el color amarillo, en este caso es para cojinetes, lo cual indica que estos requieren de lubricación, agregado a eso, la grabación indica la fecha y la hora en que fue tomada la grabación, son datos proporcionados por el mismo equipo al momento de cargar la grabación.

4.2.1.1.3. Tensiómetro

Determinar con este instrumento si se requiere de un mantenimiento preventivo es bastante fácil, debido a que la principal característica es que es un valor de comparación dado por el fabricante de las bandas o de la máquina, o puede obtenerse con la tabla adjunta del tensiómetro, en la que se indica cuál es la frecuencia recomendada para cada banda de transmisión. Aunque esto, de forma correcta, se puede decir que es un mantenimiento correctivo, debido a que es un reajuste, este tipo de mantenimiento suele hacerse durante los paros programados, debido a que por seguridad no se remueven las guardas de las correas en pleno funcionamiento, por el riesgo que esto representa para las personas por las revoluciones con que las bandas giran.

4.2.1.2. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo consiste en resolver problemas que se han hecho evidentes ante los sentidos y afectan de forma directa el correcto funcionamiento de la maquinaria y diferentes equipos. Sin duda alguna, en cualquier planta de producción lo deseable es eliminar este tipo de mantenimiento, pero es algo que, sin importar qué medidas se tomen, no es posible eliminar, aun cuando se cuente con un buen plan de mantenimiento preventivo y predictivo.

Aun cuando eliminar este tipo de mantenimiento no es posible, se debe realizar esfuerzos para reducir su impacto dentro de la planta, un mantenimiento correctivo siempre provocará costos más elevados que un mantenimiento preventivo, y aun cuando la inversión inicial para equipos de mantenimiento predictivo es elevada, suele ser a largo plazo más factible el mantenimiento predictivo si este se aplica de forma correcta en los diferentes equipos de producción. La diferencia del mantenimiento correctivo en comparación con el preventivo es que, al aplicar este, dará como resultado que exista un tiempo para llevar a cabo la planeación de paro de producción y realizar el mantenimiento de forma planeada, para reducir los paros no planeados y que la disponibilidad de los equipos se encuentre en un porcentaje mayor.

4.2.1.2.1. Cámara termográfica

Se han determinado muchas ventajas con respecto al uso de la cámara termográfica, pero ahora la incógnita es cómo y cuándo determinar qué tipo de mantenimiento se debe aplicar, aunque en ocasiones no se requiere de mucho análisis para saber cuándo algo debe ser reemplazado. Para el caso de la cámara termográfica, en algunas ocasiones basta con realizar una comparación, como puede verse en los siguientes parámetros:

- En elementos mecánicos un aumento de temperatura, esto puede ser provocado por deficiencia en la lubricación o suciedad o que según el trabajo realizado la superficie provoque un aumento de la fricción, esto dependerá de la razón por la que fue diseñado el mecanismo.
- En los rodamientos puede notarse un aumento de temperatura a través de la cámara termográfica, debe recordarse que este incremento de temperatura no es percibido por los sentidos, pero ya es un reflejo de una

causa a falla que debe ser corregida en el próximo mantenimiento planeado, ya que esta toma da indicios de que la falla ha iniciado.

- En conexiones eléctricas, que suelen presentar un incremento de temperatura acelerado, esto debido al choque de las diferentes cargas o al no tener un buen contacto por la resistencia que el aire opone al paso de la corriente, provocando que aumente la temperatura de los dispositivos. En algunos casos no habrá necesidad de nuevos insumos y en otros casos será necesario reemplazarlos.

Otro método por el que se puede determinar si el mantenimiento a aplicar es mantenimiento preventivo es con base en el control histórico, en el caso de los motores eléctricos. Se debe tomar como base la temperatura con la que un motor ha iniciado a trabajar, el máximo de desviación de temperatura que debe tener es de 10 °C, que es lo recomendado por fabricantes de motores.

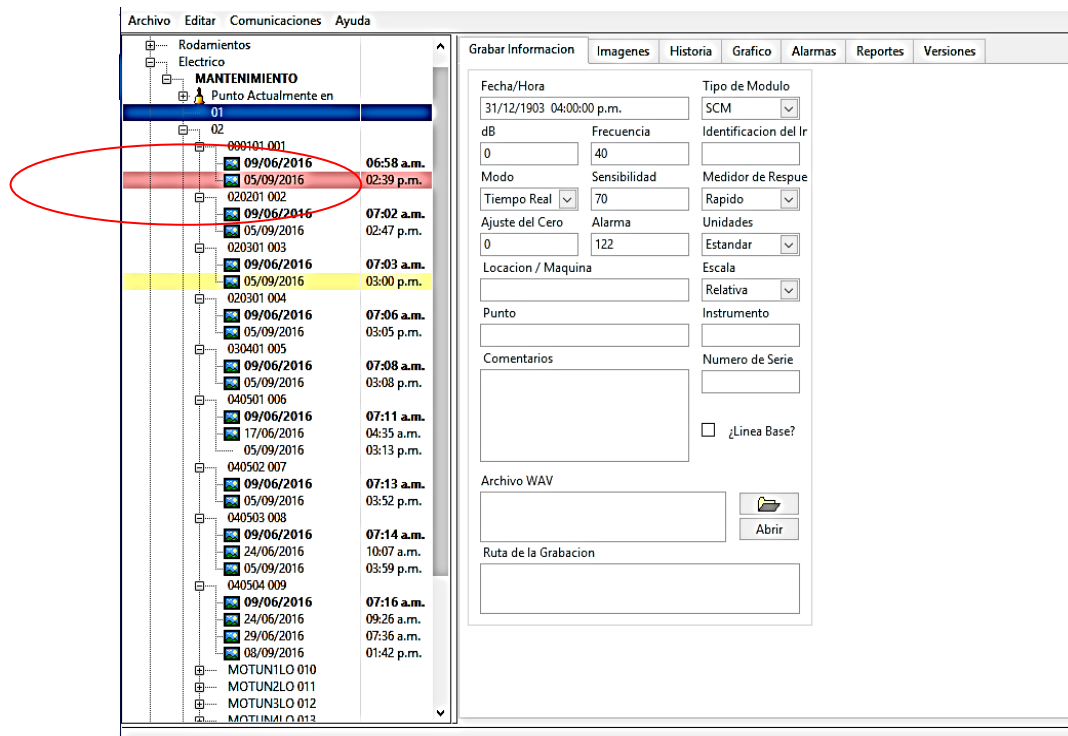
4.2.1.2.2. Ultrasonido

El ultrasonido, pese a que es una herramienta muy buena para determinar fallas en los equipos, como en cualquier equipo tienen diferentes limitantes, una de ellas son las personas que realizan los estudios, pues se requiere tiempo para aplicar correctamente los mismos, porque se escuchan sonidos a los que no se suele estar acostumbrado, y eso provoca que las personas tengan duda de si lo que escuchan representa algún problema en el sistema o si el sonido es parte de la operación normal del equipo.

Con la ayuda de software es fácil determinar algunas fallas, algunos de los parámetros pueden ser colocados como alarmas, las cuales, al introducir las grabaciones indican si el equipo se encuentra trabajando correctamente o si se requiere darle el mantenimiento correctivo. Un claro ejemplo de esto son los

cojinetes que, al llegar a los 13 Db, dan la alarma de que deben ser cambiados, pero aún bajo este caso puede ser planeado el paro. A continuación se muestra la figura de una alarma de mantenimiento correctivo:

Figura 33. **Mantenimiento correctivo**



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar, cuando es requerido un mantenimiento correctivo el programa señala con color rojo el momento en que se debe realizar. El ultrasonido es un equipo que puede prevenir desperfectos serios en las máquinas, esto se debe a la posibilidad que da de escuchar sonidos que normalmente no pueden ser escuchados, como es el caso de los cojinetes y de algunas conexiones eléctricas; desperfectos que en ocasiones no pueden ser detectados ni por la cámara termográfica, pero no quiere decir que sea mejor

que la cámara termográfica, sino que al combinar los equipos se pueden obtener mejores resultados que trabajando con ellos por separado.

Para los sistemas eléctricos el ultrasonido se complementa con la cámara termográfica. En el caso de los paneles eléctricos, en los que se puede reducir el tiempo al realizar un escaneo sin necesidad de abrirlos, cuando se escucha un sonido anómalo en los paneles se procede a realizar la inspección con la cámara termográfica, con la que puede ser visto el circuito. Es preciso aprovechar la existencia de estos dos equipos para tener una mejor certeza de la ubicación de la falla del problema para la reducción del tiempo de inspección.

En las subestaciones eléctricas suele existir el arco voltaico, el cual solo puede ser detectado por el ultrasonido. Siempre se debe mantener a una distancia prudente, debido a las enormes descargas que puede generar. Para estos casos se debe realizar el plan para realizar el paro y solicitar los insumos necesarios para realizar la reparación. Este problema no solo provoca lesiones en las personas que se encuentran cerca, sino también pérdidas económicas por las descargas eléctricas que son enviadas a la tierra.

Otra condición en la que realizar el mantenimiento correctivo es sumamente necesario son las trampas de vapor, debido al peligro que estas pueden representar de no corregirse el problema por el golpeteo, que no solo afecta en los procesos de producción por la pérdida de energía térmica sino que también provoca daños a la tubería y, de no solucionarse pronto, a las personas que se encuentren en el área de trabajo. En este caso, con el ultrasonido, a través de las gráficas se puede observar el comportamiento y determinar si las trampas tienen un comportamiento correcto; en caso de no tenerlo, el paro se vuelve inevitable y es necesario realizar la reparación.

Bajo las condiciones que se pueden dar es fácil entender que también pueden darse dos casos. El primer caso es en el que se puede realizar un plan para realizar el paro y que de esta forma no se afecte a las fechas de entregas de los pedidos. Otro caso es en el que no es posible para la producción, por consiguiente se deben tomar decisiones diferentes según el caso. En el caso en que se pueda realizar los mantenimientos de forma planeada, se recomienda utilizar los documentos mostrados para los mantenimientos preventivos; en los casos contrarios, en los que no se pueda realizar de forma planeada la solicitud de repuestos, estos se deberán solicitar de forma directa a bodega para que sean reemplazados en la máquina y su puesta en marcha ocurra a la brevedad posible.

4.2.1.2.3. Tensiómetro

El tensiómetro es sin duda alguna el equipo más directo para determinar si se requiere de un mantenimiento correctivo, como se mencionó en el apartado anterior. Cuando se determine que se requiere un mantenimiento correctivo, este normalmente no puede posponerse, porque al suceder debe ser inmediatamente reemplazada la pieza con problemas, aunque existe un dato que puede apoyar a determinar el momento en que se debe hacer, y este es las horas de trabajo para las que fue diseñada, dato que es facilitado por el fabricante.

En este caso, se recomienda que bodega o el departamento de mantenimiento solicite una correa cuando esta cumpla con un 80 % de su tiempo de vida útil, para que se realice durante el paro correspondiente para mantenimiento preventivo general, y así asegurar que no existirá la necesidad de realizar paros no programados que reduzcan la disponibilidad de la máquina para este caso.

4.2.2. Mantenimiento preventivo

Para el mantenimiento preventivo existen insumos que suelen ser los que, sin importar en qué momento se realicen, deben estar presentes. Pueden variar algunas de sus propiedades, pero su función es por lo general la misma, sin importar en qué máquina se utilicen, aun así se debe asegurar que se coloca el insumo correcto, para no provocar daños serios en la máquina y un elevado costo. En esta sección se hará mención general de estos insumos. Debido a la variedad de equipos con que cuenta cada línea no es posible realizar una descripción detallada de cada línea. Cada fabricante da las especificaciones para sus equipos y accesorios y se debe tomar en cuenta que una máquina puede estar compuesta de diferentes medidas y funciones, según sea para lo que fue diseñada y los mecanismos necesarios para que esta trabaje correctamente.

4.2.2.1. Aceites

Sin lugar a duda los aceites son de los insumos que con mayor frecuencia se utilizan para realizar los mantenimientos, tanto preventivos como correctivos, esto puede favorecer al correcto funcionamiento de la máquina si se utiliza el lubricante correcto, y perjudicar de no hacerlo, provocando que la pieza a la que se pretendía proteger se dañe de forma inmediata. Los aceites tienen propiedades que definen cuál es la aplicación adecuada según las condiciones ambientales, temperaturas y lo que se requiere lubricar, para asegurar un perfecto funcionamiento de cada sección de la máquina. A continuación se hace mención de algunas de estas características:

- La viscosidad es la capacidad que tiene un fluido para crear diferentes capas a través de las cuales se ejerce una fuerza cortante como

resultado del movimiento de uno o dos elementos en los que se desea reducir el contacto. La viscosidad suele disminuir si la temperatura aumenta.

- El punto de congelación es la temperatura a la que un lubricante se congela, esto no suele suceder en un país como Guatemala ni en la empresa en la que se realiza este trabajo, pero puede darse en empresas extranjeras o empresas en las que algunos equipos trabajan en cuartos fríos por el tipo de producto.
- El punto de inflamabilidad es el momento en el que los lubricantes inician a vaporizarse, esto suele darse por una temperatura que supera la temperatura normal de trabajo. Este cambio físico puede provocar una ignición si la temperatura sigue aumentando.

Se cuenta con una clasificación numérica para la viscosidad de los aceites conocida como grados, la cual fue diseñada por la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE), que son 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 ó 60. Algunos grados de aceites van acompañados de la letra “W”, que significa invierno (es una traducción de la palabra en inglés *winter*).

Los aceites se pueden clasificar en aceites monogrados y multigrados, la diferencia entre estos es la amplitud del rango de temperatura, esto suele ser muy utilizado en los motores de combustión en los que la temperatura varia constantemente por el trabajo que deben realizar. La forma de diferenciar entre un aceite monogrado y un multigrado es a través de su nomenclatura. Los aceites monogrados tendrán las siguientes nomenclaturas:

- 5W
- 10W
- 20
- 40

En el caso de los aceites multigrados se puede obtener una nomenclatura como la siguiente:

- 10W30
- 20W20

4.2.2.2. Grasas

Las grasas son otro tipo de lubricantes que suelen ser muy empleados en lugares donde existen altas temperaturas o para lubricar espacios en los que, por el tipo de trabajo, existirá mucha fricción. Las grasas se clasifican como sólidos lubricantes, debido a que no pueden considerarse como un sólido y tampoco como un líquido. La composición de las grasas varían según el uso que se les dará a las mismas.

Las grasas contienen un porcentaje de 65 a 95 % en aceite lubricante, que es el encargado de lubricar los puntos que pueden tener un alto porcentaje de fricción. Por ello se debe tener especial cuidado en cuál será el tipo de aceite que la grasa tendrá. Entre un 5 a 35 % de espesante, que es el encargado de actuar como una esponja y su función principal es la de contener el aceite y liberarlo en el momento en que se requiere llevar a cabo la lubricación, y absorberlo cuando el aceite ya no sea necesario. Y el 0 al 10 % en aditivos, que son agregados a las grasas para mejorar sus propiedades para protección de los elementos que son lubricados.

Algunos de los aditivos agregados a las grasas son sólidos. Así son clasificadas las grasas:

Tabla X. **Clasificación de las grasas**

Intervalo de porcentaje de solidos	Tipo de grasas
0-9.99%	Grasa
10%-40%	Grasa-Pasta
Mayor que 40%	Pasta

Fuente: CUADRADO CABELLO, Eladio. *Grasas y lubricantes: características, ventajas y aplicaciones*. <http://www.interempresas.net/Mantenimiento/Articulos/113067-Grasas-lubricantes-caracteristicas-ventajas-y-aplicaciones.html>. Consulta: 20 de enero del 2017.

4.2.2.3. Otros insumos

Existen otros componentes que son utilizados para los mantenimientos preventivos, tal es el caso del solvente dieléctrico, que suele ser utilizado para la limpieza en componentes eléctricos y mecánicos dentro de la empresa. Este es aplicado por lo general a presión, a través de aire comprimido, para mejorar la limpieza. La evaporación del solvente asegura que este no afectará las conexiones eléctricas ni las propiedades de los lubricantes que se utilicen en el área que ha sido limpiada, es por ello que se debe dar un tiempo prudente para que pueda secarse por completo y que no se mezcle con los lubricantes, alterando física o químicamente las funciones de estos.

Debe usarse cable y alambre de diferentes calibres, esto es porque se tienen líneas de transmisión continuas hacia algunos dispositivos que, en el momento en que se deben sustituir, se deben realizar cortes en la línea de transmisión y después realizar empalmes o conexiones nuevas, según el caso lo solicite y según la necesidad del electricista. También puede hacerse

necesario realizar cambios de cable por daños ocasionados por el ambiente, tales como la temperatura o la humedad.

Agregado a esto, también se requiere de cinta aislante para que en cualquier conexión eléctrica esta pueda ser utilizada para evitar el contacto entre dos cables con cargas eléctricas diferentes y esto pueda provocar daños, pues no solo la conexión en sí puede verse afectada por un mal aislamiento sino también pueden verse afectados los equipos sensibles. Es muy común, bajo ciertas circunstancias, que existan piezas quebradas, por esta razón se requiere de soldadura para las reparaciones de las mismas. El electrodo consta de una nomenclatura sobre el revestimiento, con dicha nomenclatura se compran los electrodos. Un ejemplo de esta es E-6010. En la siguiente tabla se explica el significado de la numeración:

Tabla XI. **Nomenclatura de electrodo**

Nomenclatura	E	xx	x	x
significado	Electrodo	Resistencia a la tracción (PSI)	Posición a soldar	Recubrimiento y corriente

Fuente: Ingemecánica. *Tutorial No. 47. Clasificación de los electrodos para soldadura.*
<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn47.html>. Consulta: 22 de diciembre de 2016.

Con base en estos datos se puede determinar qué tipo de electrodo se debe utilizar, según la fuerza de tensión a la que estará expuesta la pieza y el lugar donde se soldará, debido a que esto puede determinar qué número de electrodo se debe adquirir para realizar la reparación y según el tipo de material y el número asignado para el recubrimiento.

Otros insumos que son muy utilizados dentro del mantenimiento son los gases, necesarios para el equipo de soldadura oxiacetilénica, que en este caso son el oxígeno, acetileno y argón. Es necesario mantener en *stock*, debido a la necesidad de soldar en ocasiones latón, así como para dar un tratamiento térmico a algunas piezas o para provocar su expansión para liberar algunos elementos necesarios, en los que no puedan afectar los cambios de composición de los materiales de los elementos expuestos a esta temperatura.

Además de lo antes mencionado, este equipo también es utilizado para realizar cortes de materiales, con los que, debido al espesor, podría haber mucha demora. Siempre se deben tomar las precauciones necesarias durante el uso y el almacenaje de este equipo, debido a que tiene la característica de utilizar como medio de reacción la combustión de sus gases.

4.2.3. Mantenimiento correctivo

Bajo algunas circunstancias determinar lo que se necesitará para realizar el mantenimiento correctivo es posible, como en el caso en el que se aplica a los equipos de mantenimiento predictivos, pero existen circunstancias especiales en las que no es posible determinar qué repuestos serán necesarios, y es lo que se reducirá con la aplicación de estos equipos. Como se menciona anteriormente el mantenimiento correctivo es el más difícil de eliminar, siempre estará presente pero se pueden mejorar los sistemas o planes para reducirlo.

4.2.3.1. Repuestos

Por deterioro de la máquina es necesario realizar reemplazos de algunos elementos, esto es por haber cumplido con las horas de vida para las que fueron diseñadas. Por este motivo es recomendable realizar los cambios de

estas, para evitar paros no programados. Estos repuestos son dados por el fabricante de la máquina, si este no tiene representante dentro del país se deberá realizar un importe desde el país del fabricante o fabricar la pieza.

El hecho de fabricar la pieza puede darse porque la pieza se dañó antes del tiempo para el cual fue diseñada, puede ser un problema de calidad o un mal ajuste que provocó que la pieza se dañara antes del tiempo estipulado.

Pero este caso no es exclusivo para la máquina, también se puede ver este caso en las tuberías por donde circulan los diferentes fluidos en donde de forma inmediata se debe realizar los cambios. Puede pensarse que porque la fuga es muy pequeña no afecta en producción, pero aun una diminuta fuga puede crear un incremento en los costos, debido a que representa pérdidas de energía o de flujo de calor o de reducción en la presión del sistema.

En este apartado se indica cómo determinar a través de los diferentes equipos de mantenimiento preventivo, si es necesario solicitar los repuestos o refacciones para la reparación de los diferentes sistemas de la maquinaria que es parte del proceso de producción o que, por la características del producto, forma parte del proceso de producción.

4.2.3.1.1. Cámara termográfica

La cámara termográfica, al ser capaz de detectar variaciones de temperatura que no pueden los sentidos, facilita el pronóstico de diferentes problemas con mucha anticipación, facilitando la detección de este incremento de temperatura y que pueda ser solucionado antes de que el daño sea mayor de lo que se espera.

Este tipo de problemas puede ser observado fácilmente por este instrumento, sin la necesidad de parar la máquina o inmediatamente realizado un paro de esta, para un ajuste por cambio del tipo de producto en caso de que el acceso sea demasiado complicado. Aun cuando la temperatura por el ambiente provoque que este empiece a reducirse, es necesario tomar en cuenta que la temperatura no descenderá rápidamente en un país como Guatemala, debido a que no hay temperaturas extremas que provoquen cambios de temperatura acelerados.

Este equipo puede ser de mucha ayuda en el uso de radiadores. Existen equipos que utilizan radiadores de agua y/o aceite, en algunas ocasiones por agentes externos suelen bloquearse, lo que provoca que no se complete el ciclo de enfriamiento o el ciclo se vuelva más lento. En este caso, en la cámara termográfica se visualizará un cambio de temperatura brusco, lo que indica obstrucción en el sistema de enfriamiento de los radiadores. El mismo caso que los radiadores aplica a las trampas de vapor, en caso de que una de ellas no funcione correctamente se visualizará el cambio de temperatura que será provocado cuando la trampa de vapor no realiza la descarga de forma adecuada. En caso de tener algún tipo de duda al respecto puede hallarse apoyo en el ultrasonido, para obtener un mejor detalle de cómo funciona el equipo al que se le realiza la medición.

Es posible determinar más fallas con la ayuda de este equipo, y esto podrá ser mejorado con ayuda de la experiencia que las personas tomen a medida que realicen los respectivos mantenimientos, los que continuarán determinando las fallas con mayor precisión con la ayuda de este equipo. Es necesario hacer énfasis en que todo artículo o equipo, cuando falla, tiene un incremento de temperatura, razón por la cual es posible determinar a través de este equipo las fallas de la maquinaria, para dar una solución con base en

planeación y en el menor tiempo posible. Este incremento de temperatura es relativamente pequeño pero, de no corregirse pronto, el problema se hará más grave.

Es necesario realizar las rutas de inspección para abarcar la medición del mayor número de equipos dentro de las instalaciones de la planta y, mientras la experiencia del personal encargado aumenta, es recomendable limitar las líneas de producción, empezando por las más importantes por la velocidad con la que realizan el trabajo, y por el equipo cuyos componentes puedan ser de alto riesgo para las instalaciones y personas que laboren dentro de la empresa.

4.2.3.1.2. Ultrasonido

Cualquier máquina está construida con diferentes metales, lo que da la seguridad que por las propiedades acústicas son buenos transmisores de sonido, aunque parte de la onda sonora se transforma en más de una onda sonora con diferente longitud de onda. Sin embargo, el sonido que se puede escuchar con el ultrasonido es una fracción de la onda, con la cual se puede determinar con facilidad los diferentes problemas que afectan a la máquina, con base en la experiencia que se obtenga al escuchar los diferentes sonidos de los mecanismos y circuitos eléctricos.

Con el ultrasonido es muy fácil detectar las fugas de vapor. En muchas ocasiones no es posible hacerlo porque son muy pequeñas y el sonido que provocan no es audible por los sentidos, pero este tipo de fugas significan calor que es liberado al ambiente, que no es aprovechado para cumplir con el trabajo para llevar a cabo la transformación de la materia prima en producto terminado, elevando así los costos. En estos casos es necesario realizar el paro para

apretar o reemplazar la parte afectada, a menos que se cuente con un *bypass* para evitar realizar el paro.

Otra aplicación en la que este equipo puede ser de mucha utilidad es en las fugas de aire comprimido y en las fugas de vacío, debido a que este tipo de fugas son muy características. Las fugas de aire comprimido es fácil distinguirlas, debido a que suelen ser utilizadas de forma controlada y una fuga de aire es un sonido que no se debe escuchar en ningún lugar de la planta. En donde se puede contar con dificultad para realizar la medición es en el vacío, debido a que los recorridos son muy cortos y puede ser confundido en el punto en el que se realiza el trabajo, por lo que se deben utilizar los diferentes accesorios con los que cuenta la máquina para determinar con más facilidad en dónde se encuentra ubicada la rotura de los componentes.

Haciendo énfasis en los casos anteriores se ven algunos casos en los que es necesaria la compra de refacciones. El ultrasonido no se limita solo a estos accesorios que están a simple vista, también puede ser de mucha ayuda para determinar lo necesario en las diferentes cajas reductoras y mecanismos que se encuentran dentro de una carcasa, antes de que fallen, y prevenir tener que realizar un paro, porque de forma temprana se puede determinar que la falla existe, tanto si se trata de problemas en los rodamientos como de daños en los engranes, o en caso de que algún diente se quiebre, ayudando a determinar la compra de nuevos engranes para sustituir los mismos o sacando del *stock* y teniendo la ventaja de que aun el mantenimiento correctivo está planeado. Esto, además de aumentar la eficiencia de los mantenimientos a través de la disponibilidad de la máquina, ayuda a reducir el inventario de repuestos y, por consiguiente, a bajar costos en el inventario por almacenamiento y a tener mayor disponibilidad de recursos para la compra de equipo. En muchos casos se cuenta con un stock de piezas que tienen un tiempo de vida limitado, aun

cuando estas no se usen se deben rebajar del inventario porque permanecen mucho tiempo almacenadas y sufren daños debido a manipulaciones dentro de bodega por haber sido golpeadas causando una pérdida mayor. Reduciendo estos elementos del inventario se obtiene la posibilidad de colocar en su lugar artículos que, por falta de espacio, se almacenan fuera de bodega, mejorando la presentación de la empresa ante la visita de sus clientes y contando con más espacio que puede ser aprovechado para mejorar algún proceso.

4.2.3.1.3. Tensiómetro

En el caso de este instrumento, es útil como un valor de comparación para detectar si es necesario cambiar una correa. Se debe realizar una inspección visual, a través de la cual se debe determinar desgaste o rajaduras de la misma, lo que ponga de manifiesto la posibilidad de que se rompa durante su trabajo. Dentro de la inspección visual se debe verificar si la banda de transmisión tiene un desgaste en uno de sus lados.

Para este caso se deben programar las inspecciones. Para realizar las revisiones periódicas los fabricantes de la correa colocan una seña, que indica hasta dónde llega la utilidad de las correas y, por consiguiente, deben ser cambiadas, para evitar que esta se deslice por no contar con el material que ayuda a mejorar la fricción y se rompa. Después de esa marca se encuentra cerca del núcleo y esta parte de la correa no es para generar tracción, sino son las fibras que soportan la tensión.

4.3. Inventario

El inventario es algo muy necesario de mantener en el mantenimiento preventivo o correctivo, por diferentes razones, algunas de las más comunes son:

- No existe certeza de en qué momento el elemento fallará.
- El repuesto tarda en llegar porque no existe fabricante o proveedor de repuestos en el lugar.
- La vida útil del elemento es muy corta.
- No se sigue un buen plan de mantenimiento preventivo.
- Se compran repuestos al pronosticarse un problema cuando el problema real era otro.

Estas son algunas de las razones por las que existe y es inevitable contar con un *stock* de seguridad, lo que se puede buscar es eliminarlo o reducirlo según sea el caso, para reducir o evitar que los costos se incrementen con la acumulación de repuestos en bodega, sin generar un retorno de inversión para la empresa, gracias a que esta mantiene un buen plan de mantenimiento preventivo y reduce los costos manteniendo un inventario bajo en la medida de la posible. Con la implementación del mantenimiento predictivo se tendrá un mejor pronóstico de los equipos, ayudando a tener una mejor gestión del inventario.

4.3.1. Proveedores

Las empresas o particulares que proveen insumos y repuestos pueden variar según el tipo de repuesto de que se trate, o la sección de la máquina a reparar y los diferentes equipos que componen esta. En otras ocasiones existen

piezas que son fabricadas por la misma empresa al contar con la maquinaria para producirlas dentro de la planta o gestionar una empresa externa que la fabrique, esto dependiendo de qué material estén fabricadas para que estos repuestos puedan hacerse allí mismo, y dependiendo también de los costos y de la carga de trabajo que exista para la persona encargada de la fabricación.

La empresa tiene la ventaja de encontrarse en una zona industrial en donde existen diferentes proveedores con productos de diferentes marcas y las mismas características, teniendo fácil acceso a diferentes insumos y repuestos debido a que su comercialización es muy común por diferentes empresas, como en el caso de cojinetes, conectores, alambre de diferente calibre, seguros, baterías, etc. Al ser de común utilización por diferentes empresas, los proveedores cuentan con un amplio *stock* que facilita mantener un inventario reducido de estos productos.

Al tener la facilidad de adquirir este tipo de repuestos también se tiene la facilidad de herramientas que son necesarias para realizar las reparaciones, para la requisición de herramientas, insumos y repuestos, por norma de la empresa, se debe cotizar con un número de proveedores establecido, siempre que esto sea posible, ya que, dependiendo del tipo de repuesto, puede ser fabricado únicamente por la empresa que comercializa la máquina a reparar y, por consiguiente, puede que no exista una empresa que pueda competir contra esto.

Es entendible el motivo por la norma anterior, y es algo que se debe continuar haciendo, con el fin de obtener la mejor oferta para realizar las compras y que los diferentes artículos no sean sobrevalorados, que es lo que comúnmente suele suceder por parte de los proveedores en las empresas grandes, pues muchos proveedores aprovechan para realizar una inflación en

los precios de sus productos, para obtener un mayor margen de ganancias. La mejor forma de evitar esto es realizando una competencia entre ellos.

La excepción a este caso se da con los repuestos que son fabricados exclusivamente por la empresa que ha construido la maquinaria, haciendo necesario la compra de estos productos con ellos, por motivos de seguridad del equipo y del personal y por la garantía del producto. De esta forma se asegura que no se dañará otro dispositivo debido a que la maquinaria cuenta con programas y sistemas electrónicos que son conocidos exclusivamente por la empresa fabricante.

En algunos casos se solicita el servicio de talleres externos, a los que se les entrega diferentes trabajos de reparación o fabricación de piezas. Estas suelen ser de materiales comúnmente utilizados en Guatemala, o son trabajos que no ponen en riesgo la seguridad de la planta ni de los colaboradores. Por motivo de seguridad no se indican los nombres de los talleres ni de los proveedores.

4.3.2. Inventario de seguridad

Como se dijo anteriormente, el mantenimiento correctivo no se puede eliminar en su totalidad, por esta razón tampoco se puede reducir a cero y dejar sin insumos y repuestos a la empresa, porque en caso de una emergencia no se podrían realizar las reparaciones necesarias para poner en marcha la producción nuevamente, sobre todo si la falla se produce por la noche, cuando es muy poco probable que se cuente con algún proveedor, lo que ocasionaría pérdidas mayores, por todos los costos que cualquier paro representaría, con mayor razón si es en alguna de sus líneas de producción más importantes. Este

es el motivo que más se toma en cuenta, pues las máquinas pueden fallar en cualquier momento y sin importar la hora.

Se debe determinar la mejor manera de que se tenga en *stock* la cantidad suficiente, pero que esta no sea una cantidad muy elevada, provocando un incremento en los costos por almacenamiento y posibles pérdidas para la empresa, debido a que se tenga una baja rotación de inventario o que el producto termine siendo obsoleto por diferentes causas.

Con la participación del personal encargado del mantenimiento, se determinó qué repuestos e insumos se puede iniciar a reducir en el inventario. Se ha iniciado con los cojinetes, esto debido a que era muy complicado determinar si un cojinete se encontraba en buen estado o si requería de mantenimiento, o si este tenía algún tipo de daño. Ahora, con el apoyo del ultrasonido y la cámara termográfica, es fácil determinar y se reducirá el *stock* que se encontraba para los motores eléctricos, cajas reductoras y cilindros, aunque esto se irá haciendo lentamente. Se planea reducirlo en un 5 %, mientras las personas adquieren experiencia en el uso de los equipos y pueden obtener mejores habilidades en la medición.

El *stock* para los fusibles de las cajas de cuchillas por recomendaciones del departamento eléctrico no se reducirá, esto debido a que no es únicamente por problemas internos o tiempo de vida que estos suelen fallar (aunque en el caso de dispositivos eléctricos no es fácil determinar las horas de vida útil). También existe el inconveniente de que picos de cargas eléctricas o tempestades pueden ocasionar daños, es por ese motivo que se ha decidido no reducir el inventario en esta parte, pero se reducirá para los contactores, cables y alambre eléctrico de diferente calibre, porque muchos problemas podrán ser detectados prematuramente con ayuda de la cámara termográfica, con la que

es muy sencillo determinar fallas eléctricas por el calor que éstas emiten en poco tiempo.

Debido al plan de mantenimiento que el departamento de mantenimiento maneja para las cajas reductoras, el *stock* de engranes y tornillos sin fin que se manejaba, ya había sido reducido previamente, por tal motivo, no es recomendable reducir más el inventario, ya que lo que ha quedado en *stock* son repuestos que requieren mucho tiempo en ser importados por sus características o la garantía de algunas máquinas y, en otras ocasiones, estos son fabricados dentro de la misma empresa, por lo que solo mantienen un *stock* de materiales que son usados no solo en la fabricación de este tipo de repuestos sino de otros.

4.3.2.1. Costo de inventario

El inventario siempre representa un costo para la empresa, en muchas ocasiones solo se ven los principales costos, tales como los costos ocasionados por el área de almacenamiento de los diferentes insumos y repuestos. Sin embargo, no existen solo estos costos, existen otros costos que no son visibles pero realizando un estudio a profundidad se puede notar que se encuentran allí y con el paso del tiempo afectan económicamente, provocando pérdidas por tener el dinero parado sin generar ningún tipo de ganancia.

Uno de los costos que puede impactar en la empresa es la obsolescencia, la cual se provoca porque muchos de los repuestos ya no pueden ser utilizados por la aparición de nueva tecnología, más eficiente y confiable que la de los repuestos con los que se cuenta, por lo que es necesario reducir este repuesto sin siquiera haberle dado uso al mismo. Por esta y otras razones las empresas que ya han analizado estos costos buscan la forma de reducir el inventario y

que la rotación sea lo más elevada posible, para mantener un estado financiero más favorable. Se debe recordar que cualquier empresa espera obtener más dinero del invertido y no mantener el dinero guardado y con posibles pérdidas.

Actualmente la empresa cuenta con un plan de reducción de inventario, durante el 2015 el departamento logró reducir en un 9 % el mismo, esto se espera superar en el año 2016, con la aplicación del equipo de mantenimiento predictivo y a medida que el personal obtenga más experiencia en el uso de los mantenimientos predictivos y se realicen las compras de menos accesorios, al poder determinar con medidas confiables cómo se encuentran trabajando los repuestos trabajando y el inventario pueda reducirse de forma significativa y mejore financieramente la empresa.

La rotación de inventario durante el año 2016 se mantuvo en un promedio de 65 %, lo que fue de mucha ayuda para su reducción y se espera que los resultados durante el transcurso del año 2017 sean mejores, pese a que durante el transcurso de este año se dio inicio con el plan de mantenimiento predictivo. Se puede tomar como inicio de este proceso el mes de junio, cuando se inició a realizar pruebas más concretas de los equipos y se empezó a detectar algunas fallas en algunos puntos que fueron medidos dentro de la planta, para determinar las necesidades y establecer las rutas más convenientes.

4.4. Estrategias para ajustes

Ya se cuenta con diferentes documentos que pueden apoyar para obtener una mejor planeación de los equipos que ayudan a detectar situaciones que para los sentidos humanos no es posible determinar. El objetivo es indicar la

falla antes de que esta ocasione un paro, con el apoyo de las personas que están dispuestas a mejorar constantemente cualquier proceso, para poder desarrollar soluciones que hagan más eficiente y eficaz la solución a cualquier falla que se tenga dentro de la planta.

Para realizar este tipo de mantenimiento se requiere de mucho tiempo y el personal no cuenta aún con la experiencia suficiente, aun cuando han recibido capacitación de cómo utilizar el equipo, por lo que el tiempo necesario para realizar las mediciones suele ser más extenso. Es necesario que su experiencia mejore para determinar adecuadamente cuando algún mecanismo esté fallando. Se dará inicio con las líneas principales de producción, el motivo es que, de ser necesario un paro no programado, se detendría la producción provocando que los pedidos no salgan en el tiempo previsto.

Aparte de estas líneas, se realizará los estudios en las tuberías de aire comprimido y de vapor, estas son muy importantes para la producción porque diferentes equipos necesitan de estos dos tipos de energía para llevar a cabo su trabajo. En el caso del sistema de aire comprimido, suele ser muy utilizado para automatización en los procesos, además de ser estos medios las principales causas de pérdidas económicas para la empresa, porque por ser aéreas y por el sonido de las máquinas, las fugas que se tienen no pueden ser escuchadas casi nunca a tiempo.

Además de los hecho con los sistemas anteriores y de continuar con la implementación del mantenimiento predictivo, la subestación eléctrica será el siguiente punto de medición, por motivos de seguridad del personal y por las pérdidas de corriente eléctrica por los diferentes motivos que pueden causar falla, dejando ir parte de la energía eléctrica a la tierra sin ser esta utilizada para

la transformación de la materia prima, ni en el uso de los equipos de oficina que son parte importante de la función administrativa de la empresa.

4.4.1.1. Departamento de calidad

El departamento de calidad suele indicar que existen producciones que reflejan defectos, en muchas ocasiones el tiempo de paro de máquinas suele volverse muy grande debido a que es difícil determinar dónde se encuentra la falla. En este caso suelen existir dos causas principales, una de ellas son los ajustes realizados por los operadores y la otra causa son desperfectos mecánicos que no son fáciles de detectar, por las características de la falla y por la percepción que las personas encargadas tienen.

El departamento de calidad, pese a que no participa de forma directa en el mantenimiento de los equipos, puede ser de mucha ayuda al indicar qué mejoras o defectos ha tenido el producto terminado. Con base en esta información el personal encargado puede retroalimentarse y centrarse en los puntos principales que pueden causar esta falla. Este lazo de control entre el departamento de calidad y el departamento de mantenimiento puede ser de mucha ayuda para que las personas puedan adquirir más experiencia en la aplicación del mantenimiento predictivo, porque puede hacer que las personas confíen más en estos equipos a medida que detecten problemas en ellos.

Con los datos originados por estos equipos se podrá determinar, al contar con la suficiente experiencia de los encargados de este mantenimiento, si la causa es por fallas mecánicas o por fallas de ajustes del operador, lo que provocará un incremento significativo en la disponibilidad de la máquina, aparte de poder realizar muchas de estas mediciones en algún momento de cambio de

tipo de producto, en que se deben realizar nuevos ajustes, o en un momento de ocio de la máquina o en un mantenimiento planeado.

4.4.1.2. Departamento de electrónica

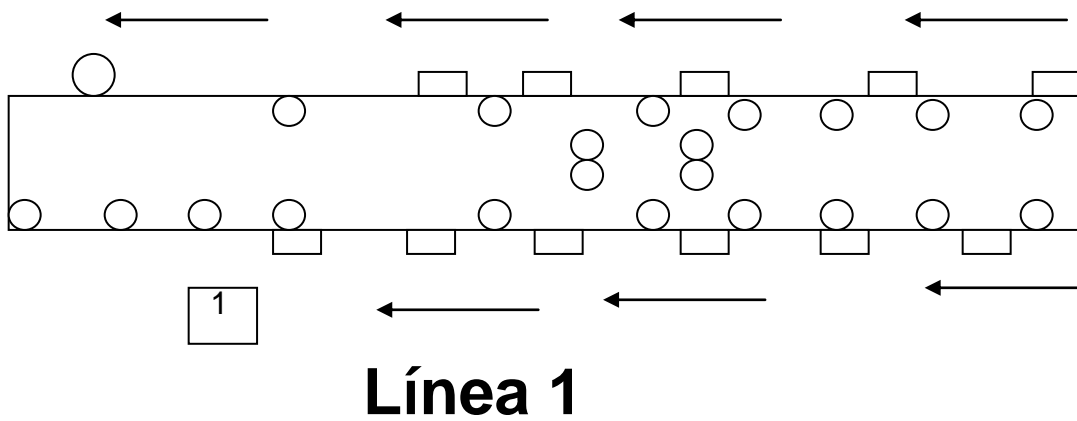
El departamento de electrónica es una división del departamento de mantenimiento. Se hace cargo de las diversas reparaciones electrónicas y eléctricas dentro de la planta. El jefe de esta área coordina, en conjunto con los mecánicos, las diversas reparaciones para asegurar que la puesta en marcha se dará en el menor tiempo posible.

En conjunto con el personal de mantenimiento electrónico se realizó una ruta para obtener mejores resultados. Debido a la cantidad de equipos que cada máquina de la línea posee es muy difícil realizar el estudio en un día, por lo que se alternará entre los electrónicos y eléctricos por la tarde, que es cuando el mantenimiento preventivo de cualquier máquina ha sido finalizado y las personas de turno están presentes, en caso de que se presente un desperfecto en alguna máquina de las diversas líneas, teniendo en ocasiones tiempo de ocio para realizar las mediciones necesarias.

Esto se realizará en las líneas uno y dos, que son las líneas principales para hacer el producto terminado, por el tipo de producto que se produce allí y la capacidad de la máquina para producir. La línea uno es la que alimenta a las demás líneas y la línea dos es la línea más rápida y donde se fabrican productos de mayor área y volumen de producto, por el diseño de la misma, por lo que es vital para la productividad que esta máquina tenga un número mayor de horas disponible.

Debido a que una falla eléctrica, por muy pequeña que sea, se hace evidente desde los paneles eléctricos que son los centros de conexiones que transmiten la energía conforme los diferentes equipos lo necesitan, a través de diferentes controles; debido a esto, para llevar a cabo el trabajo necesario a través de los diferentes dispositivos de control, se iniciará a realizar la inspección en los paneles de control, para posteriormente continuar con los motores eléctricos y otros dispositivos, para asegurar que en ellos no se encuentra una falla que provoque un incremento en la energía utilizada.

Figura 34. **Ruta de inspección. Línea 1**



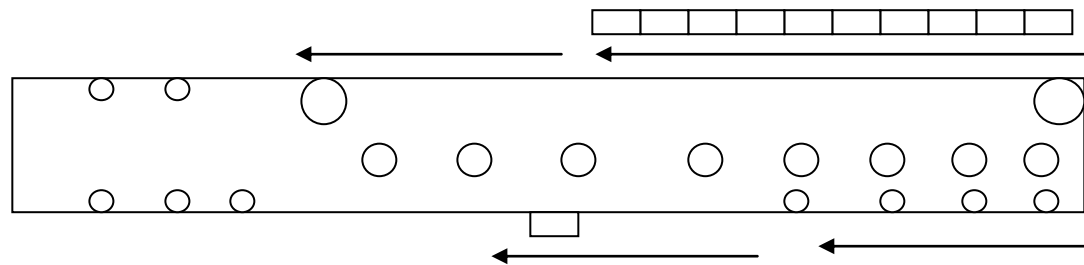
Fuente: elaboración propia.

Se determinó que se iniciará en el centro de mando de la línea, debido a las numerosas conexiones que tiene y que pueden provocar un incendio o daños más graves por la cantidad de circuitos que allí se conectan, para tener una mejor visión de cómo se encuentra la máquina. Posteriormente se realizarán las mediciones en los paneles de control, que es el centro de mando de las diferentes máquinas de la línea de producción. Debido al ancho de la máquina se realizará primero en un lado de esta, aun cuando se vea que son

pocos paneles. En caso de detectarse una falla al realizar esta inspección, la misma puede llevar mucho tiempo, porque la causa no puede encontrarse ubicada en el panel, pero la localización y reparación de estos problemas será más corta en comparación a no contar con estos equipos.

Posteriormente a realizar la inspección de los paneles de control se continuará con los motores eléctricos, primero serán inspeccionados con el ultrasonido en busca de un sonido anormal y después con la cámara termográfica para cerciorarse de que la temperatura de trabajo del motor no se encuentre por encima de su nivel normal. Este mismo procedimiento será utilizado para inspeccionar la línea dos, solo que esta línea maneja una cantidad menor de motores y un mayor número de paneles de control, lo que hace necesario más tiempo para realizar las inspecciones debido a la diversidad de equipos. En el próximo diagrama se muestran algunos de los componentes de esta línea:

Figura 35. Ruta de inspección. Línea 2



Línea 2

Fuente: elaboración propia.

En ambos casos la ruta se inicia desde la carga de la materia prima hasta la descarga del producto terminado. Esto facilitará en caso de que una persona pare la inspección de la máquina por atender una emergencia en otra máquina

o por solucionar un problema detectado. También permitirá que otra persona pueda continuar en otro turno y realizar la inspección sin tener la duda de qué dirección debe tomar para dar continuidad con la inspección.

Agregadas estas líneas, se realizarán las inspecciones en la subestación eléctrica por su importancia para cualquier proceso dentro de la planta, sobre todo para asegurar que todo dentro de la planta y las diferentes oficinas dentro de la empresa continúe con su trabajo normal, y evitar que algún tipo de descarga pueda ocasionar lesiones o muerte al personal que por motivos varios pase cerca del lugar. Se evitará también daños a los equipos de computadora por los picos de corriente eléctrica.

4.4.1.3. Departamento de mantenimiento mecánico

El departamento de mantenimiento mecánico es la otra división del departamento de mantenimiento, el cual, como su nombre lo indica, se encarga de realizar las reparaciones necesarias en el aspecto mecánico. Se mantiene en contacto con el personal de mantenimiento electrónico para que conjuntamente puedan obtener mejores resultados de cualquier reparación que se realice.

Con base en las estadísticas obtenidas por los paros que se realizaron, se determinó que el equipo será utilizado en la línea uno y dos, en el sistema de aire comprimido y en el sistema de vapor. Anteriormente se indica el motivo por el que se trabaja con la línea uno y dos, aparte de estas razones ya dichas se encuentra también que son equipos para los que es difícil determinar la razón de la falla, debido al sistema complejo con el que cuentan. También es difícil utilizar mucho la automatización en partes de la línea de aire comprimido, con lo

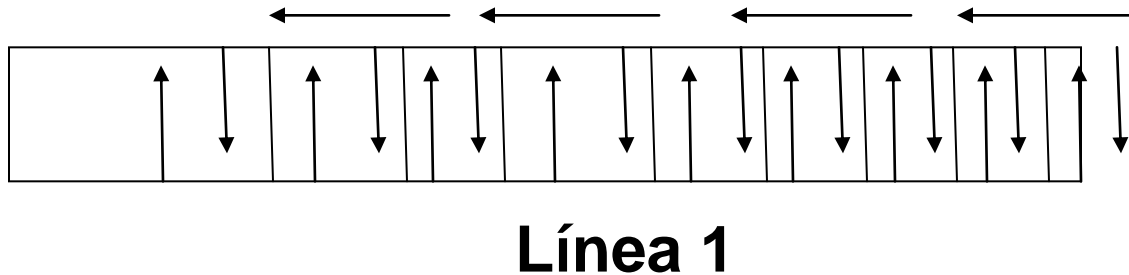
que una pequeña reducción de la presión provoca diversas fallas por el rango de presión permisible que tienen algunas máquinas.

Debido a la amplitud del sistema de aire comprimido, se determinó que la planta se dividirá en diez partes, en las que se realizarán las inspecciones bimestralmente. En caso de llevarse a cabo una reparación en una sección del sistema, este se volverá a revisar inmediatamente para asegurar que se encuentra libre de fugas después de realizada la reparación, esto debido a lo complicado que es determinar que existe una fuga en el sistema si es muy pequeña.

El sistema de vapor es más corto en comparación con el sistema de aire comprimido, por lo que puede realizarse la medición en dos días. En el caso del estudio de este sistema, se debe tener mucho cuidado, debido a que esta parte se debe estudiar con la máquina trabajando y eso provoca que sea complicado escuchar con claridad, debido a los diversos sonidos emitidos por las máquinas y otros dispositivos (en el caso del ultrasonido). La cámara termográfica es más fácil de interpretar debido a que es una imagen.

Las rutas de inspección mecánica tendrán una variante con respecto a la electrónica, pues se puede manifestar en los paneles de control. En la parte mecánica puede existir un problema en una parte del mecanismo y no manifestarse en otra parte hasta que la afectada ya se encuentra seriamente dañada, por este motivo, aunque lleve más tiempo, se deben revisar los dos lados de cada equipo.

Figura 36. **Inspección de línea dos en la parte mecánica**



Fuente: elaboración propia.

No se debe confundir esta imagen con válvulas para aire comprimido, estas flechas solo indican cómo se debe realizar la inspección en esta línea para que cualquier persona tenga la capacidad de darle continuidad a la inspección, aun cuando por diferentes motivos la persona que dio inicio a la inspección no la haya podido finalizar. En este diagrama no se mostró qué elementos mecánicos existen, debido a que para poder mostrarlos se requiere de espacio amplio para realizar un plano en que se pueda mostrar cada elemento mecánico que se encuentra trabajando en la línea de producción.

En la misma forma que se inspeccionará la línea uno se debe inspeccionar la línea dos, para mantener un orden de cómo se ha realizado la inspección. A medida que el nuevo sistema de inspección de mantenimiento predictivo mejore se podrá ampliar a otras líneas de producción, solo se requiere que previamente las personas encargadas de este tipo de mantenimiento entrenen mejor su audición, diferenciando cada vez mejor un problema de una condición normal de trabajo, en los diferentes elementos que interactúan en las diferentes máquinas.

5. CAPÍTULO CINCO-SEGUIMIENTO

Con el apoyo de software es fácil obtener datos más confiables, con los cuales se pueden obtener estadísticas de los comportamientos a lo largo del tiempo de los equipos, mostrándose en los programas cómo se desarrollan las fallas y si existen causas que las pueden provocar, como fue mostrado en el capítulo anterior, en que los programas mostraban a través de estadísticas cómo se desarrollaba la falla. Ahora se podrá analizar con apoyo en otro software los datos con respecto a las mediciones de metas del departamento de mantenimiento de la empresa, que son parte de los reportes pasados y reflejan la dirección de esta.

5.1. Resultados obtenidos

La empresa ya contaba con indicadores a través de los cuales llevaba un control estricto para alcanzar las metas propuestas y buscar soluciones a los diferentes problemas que se presentan diariamente, para realizar planes de mejoramiento que son la base para reducir los paros no programados dentro de la planta. Por motivos de normalización se utilizarán los indicadores realizados para medir exactamente lo que ellos miden gracias a la facilidad que el programa SAP tiene para llevar estos controles.

Los resultados obtenidos se muestran en las siguientes tablas, en que se muestran los resultados obtenidos por mes. Es útil mencionar que el departamento cuenta con personas muy comprometidas que buscan la mejora continua en sus labores diarias.

Tabla XII. **Reducción de inventario**

Mes	Reducción de inventario
Enero	14,41 %
Febrero	13,35 %
Marzo	20,00 %
Abril	9,56 %
Mayo	10,00 %
Junio	15,05 %
Julio	19,00 %
Agosto	20,00 %
Septiembre	23,34 %
Octubre	25,00 %

Fuente: departamento de mantenimiento mecánico de la empresa.

En la próxima tabla se ve cuál ha sido el comportamiento con respecto a la rotación de inventario para el departamento de mantenimiento mecánico:

Tabla XIII. **Rotación de inventario**

Mes	Rotación de inventario
Enero	15,41 %
Febrero	16,55 %
Marzo	11,30 %
Abril	17,60 %
Mayo	13,30 %
Junio	14,90 %
Julio	17,03 %
Agosto	21,60 %
Septiembre	20,60 %
Octubre	22,40 %

Fuente: departamento de mantenimiento de la empresa.

En la próxima tabla se refleja la disponibilidad de las máquinas dentro de la empresa:

Tabla XIV. **Disponibilidad de maquinaria**

Mes	Disponibilidad del equipo
Enero	88,00 %
Febrero	87,00 %
Marzo	92,00 %
Abril	93,00 %
Mayo	93,00 %
Junio	91,00 %
Julio	94,00 %
Agosto	93,00 %
Septiembre	95,00 %
Octubre	91,00 %

Fuente: departamento de producción de la empresa.

En la siguiente tabla se muestran los paros no programados, estos indicadores son muy importantes y son los que se busca reducir en cualquier departamento de mantenimiento:

Tabla XV. **Paros no programados**

Mes	Paros no programados
Enero	1,20 %
Febrero	3,80 %
Marzo	2,50 %
Abril	2,10 %
Mayo	1,30 %
Junio	1,90 %
Julio	1,70 %
Agosto	1,80 %
Septiembre	1,80 %
Octubre	1,70 + %

Fuente: departamento de producción de empresa.

Con base en estos paros no programados se puede determinar la confiabilidad de los equipos, lo cual es el complemento de la tabla anterior:

Tabla XVI. **Confiabilidad de los equipos**

Mes	Confiabilidad del equipo
Enero	98,80 %
Febrero	96,20 %
Marzo	97,50 %
Abril	97,90 %
Mayo	98,70 %
Junio	98,10 %
Julio	98,30 %
Agosto	98,20 %
Septiembre	98,20 %
Octubre	98,30 %

Fuente: elaboración propia.

Estos resultados no pueden ser exclusivamente atribuidos al uso de los equipos, ya que también se debe tomar en cuenta la participación muy importante del personal de mantenimiento, de los operadores de equipos y las estrategias aportadas y seguidas por los diferentes jefes. De no ser por ellos no se podrían alcanzar estos valores, pues estas personas demostraron su compromiso de mejorar año tras año, obteniendo mejores resultados y satisfaciendo las necesidades de los clientes con el producto a tiempo.

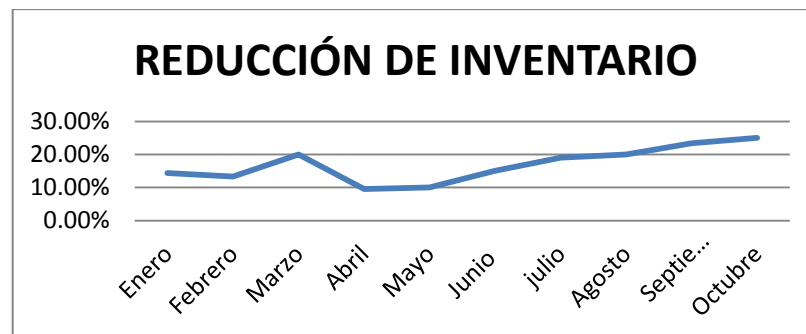
5.1.1. Interpretación

Aquí se explicará cuál ha sido el comportamiento de los equipos según los indicadores en el inciso anterior. Se agrega una gráfica para apreciar mejor el comportamiento de los indicadores durante el tiempo que se realizaron las mediciones. La interpretación correcta de estos datos pueden ser de mucha

ayuda para realizar una mejora constante desarrollando estrategias, y lo que es claro es que lo que no se mide no se puede mejorar, es por este motivo que los indicadores son muy importantes para realizar mejoras en cualquier proceso.

En cuanto respecta a la reducción de inventario, es posible observar que ha existido una reducción significativa del inventario partiendo del mes de mayo, esto no ha sido exclusivo de los equipos de mantenimiento predictivo, aun cuando en este mes se empezaron a realizar pruebas no se le atribuye esa reducción de inventario a estos equipos, más bien se le atribuye un aporte del 5 % a estos equipos en la reducción a partir del mes de junio. A continuación se muestra una gráfica del comportamiento de este indicador:

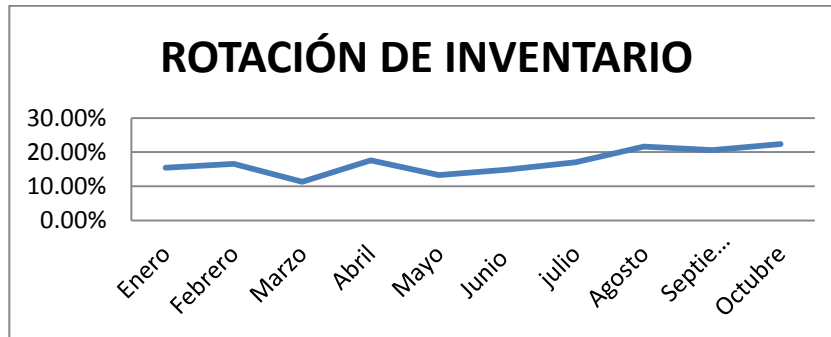
Figura 37. **Representación gráfica de reducción de inventario**



Fuente: elaboración propia.

La rotación de inventario ha mostrado una fluctuación pero pese a ese constante cambio de aumentar y reducir los valores porcentuales, ha mostrado un incremento en cuanto a los valores con respecto al inicio de año, esto se debe a las políticas que el departamento ha tomado y se le atribuye un 0,5 % al uso de estos equipos en la mejora de este indicador. A continuación se muestra una gráfica:

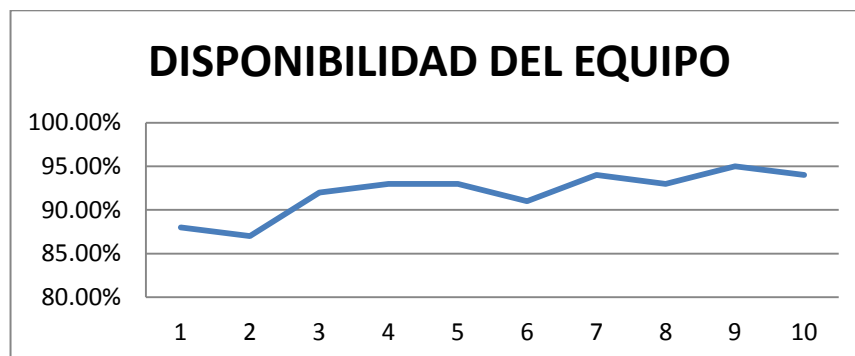
Figura 38. **Representación gráfica de rotación de inventario**



Fuente: elaboración propia.

La disponibilidad de maquinaria toma en cuenta el tiempo en que las líneas estuvieron paradas por mantenimiento preventivo o correctivo, para lo cual el departamento tiene una medición por aparte, pero se cuenta con una medida general a través de este indicador porque para efectos del estudio es necesaria la medición conjunta. Se muestra a continuación en la gráfica para tener una mejor vista de lo que realmente sucede:

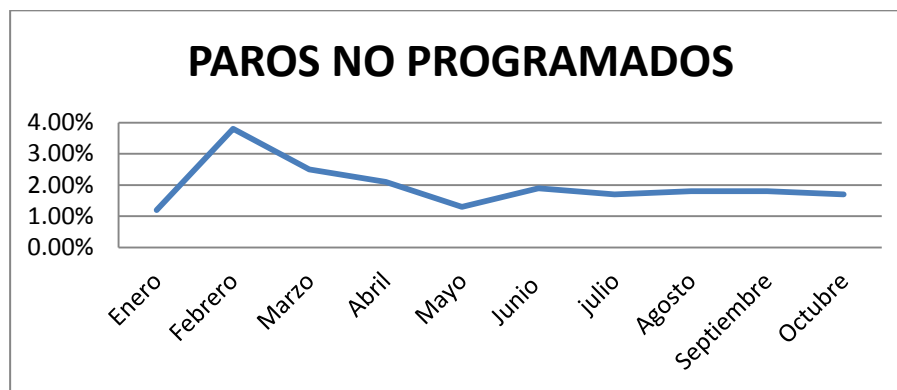
Figura 39. **Representación gráfica de disponibilidad de equipo**



Fuente: elaboración propia.

Sin duda alguna uno de los indicadores que más se desea reducir para el departamento de mantenimiento son los paros no programados, por las responsabilidades que estos presentan para este departamento y el efecto directo que provocan en los indicadores de las líneas. Como a continuación se muestra, se presentó un incremento a principio de año, pero después de este incremento baja y se mantiene estable, pero el objetivo real es eliminarlo o reducirlo en vez de mantenerlo como un problema constante.

Figura 40. **Paros no programados**



Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, se cuenta con la confiabilidad de los equipos, que es un aspecto muy importante a querer subir; es el complemento de la gráfica anterior.

5.1.2. Mejoras obtenidas

Con base en los indicadores se puede mencionar que se ha obtenido mejoras en lo que respecta el inventario, al haber aportado un 5 % en cuanto respecta a esta parte. Esto es de mucha importancia para la empresa, porque

reducir el inventario significa una reducción de costos por almacenamiento, esto porque con el equipo se hizo evidente la necesidad de realizar algunos cambios para la maquinaria, en cuanto a fallas que no habrían podido ser detectadas hasta que el equipo fallara.

En cuanto a lo que respecta a la rotación de inventarios se ve un ligero incremento, en este aspecto el departamento ya contaba con un plan para incrementar el plan de rotación de inventarios y se estima que el equipo de mantenimiento predictivo tiene una participación del 0,5 %, debido a que gracias a este equipo se ha reducido el *stock* de repuestos y, por consiguiente, se ha reducido la compra de algunos repuestos por la oportunidad que se obtiene de reconocer que un elemento se encuentra dañado, y con la oportunidad de diseñar un plan para reducir el efecto negativo de la falla.

Por el excelente trabajo realizado por las personas de mantenimiento mecánico, la disponibilidad de la máquina se ha visto incrementada a lo largo del tiempo. Se estima que el equipo ha aportado un 0,25 % para la mejora de este indicador, esperando que este porcentaje aumente a medida que los mecánicos aumenten su experiencia en el uso del equipo y, a su vez, que a medida que la empresa empiece a notar las mejoras se puedan comprar otros accesorios para estos equipos.

La empresa ha mantenido estabilidad en cuanto a los paros no programados. Para este efecto el equipo de mantenimiento predictivo fue de mucho apoyo, se realizaron cambios de piezas con fallas durante los mantenimientos preventivos, dichas fallas, de no haberse detectado con estos equipos, habrían provocado la necesidad de realizar paros durante la producción. Se estima que este equipo realizó un aporte de 0,30 %, y, aunque

pueda parecer un número muy pequeño, para efectos de este indicador es una cantidad significativa.

Se sabe que los resultados alcanzados son muy reducidos, pero también es seguro que estos valores se pueden mejorar con el transcurrir del tiempo, a medida que las personas adquieren más experiencia en el uso de este equipo y a la vez en el uso de la creatividad de las personas que pueden realizar mejoras significativas en el sistema de medición y en la técnica para alcanzar mejores resultados.

5.1.3. Ventajas y beneficios

Sin duda alguna existen ventajas y beneficios de los resultados anteriores. Aquí se mencionarán algunas, ya que existen muchas ventajas que pueden darse por diversos factores económicos, ambientales y de espacio.

- Reducción de costos como resultado en la reducción de inventario, ya que tener un inventario muy elevado provoca pérdidas para la empresa de forma variada, entre ellas sin duda alguna en el incremento de costos.
- Reducción de espacio utilizado por el inventario, lo cual puede ayudar a la empresa a tener una mejor presentación, ya que provoca que el lugar se encuentre más limpio y ordenado.
- Mayor rentabilidad de la empresa, pues tener repuestos y accesorios provoca que la rentabilidad de la empresa se reduzca, ya que esa inversión se encuentra allí guardada sin generar ninguna ganancia y se corre el riesgo que según el tiempo que pase almacenado el material este se vuelva obsoleto generando pérdidas mayores.
- Reducción en el consumo energético, lo cual se puede obtener como resultado de diferentes causas:

- Al no tener fuga de aire comprimido, se asegura que la energía consumida para almacenar este tipo de trabajo será utilizada directamente para el proceso de transformación de la materia prima y no será liberado al ambiente causando que los costos empleados para almacenar la presión dañen la naturaleza.
- En el sistema de vapor, al evitar tener fugas y asegurar que las trampas de vapor trabajen correctamente, se asegura que la energía para transformar el líquido en vapor es utilizada correctamente, además que al evitar la fuga se evita que el agua que ha sido tratada por diferentes procesos químicos sea utilizada cíclicamente y no liberada al ambiente.
- En el caso de los cojinetes, que son los responsables de reducir la fricción, la falla de estos provoca que los mecanismos que deben girar incrementen significativamente la fricción y dejen de cumplir con su función y se provoque mayor resistencia y, por consiguiente, un mayor esfuerzo por parte de los motores.
- Al reducir el consumo energético se reduce también el calor que es liberado al ambiente, con gases efecto invernadero por el incremento de eficiencia de los equipos, ya que se requiere de menos combustible o energía eléctrica.

5.2. Acciones correctivas

Al observar que realizar un mantenimiento predictivo en toda la planta requiere actualmente de mucho tiempo, personal o equipo, se determinó que se debía reducir la cantidad de líneas de producción a las líneas más importantes, según aconsejó un representante legal de uno de los equipos, porque intentar realizar las mediciones en toda la planta en una empresa que está iniciando con

la implementación de estos equipos solamente obtendrá resultados muy reducidos por la falta de experiencia de las personas.

Después de determinar que se realizarían las rutas de inspección para estos equipos, se realizaron unas estadísticas para determinar en dónde se puede emplear los equipos para obtener mejores resultados y, a la vez, acortar los tiempos de inspección y determinar qué tanto se puede mejorar, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla XVII. **Oportunidad de reducción de paros no programados**

No. De línea	Porcentaje a reducir
1	23,02 %
2	62 %
3	23 %
4	23 %

Fuente: elaboración propia.

Como se puede apreciar, la línea 2 tiene una alta probabilidad de reducir los paros no programados y de impactar en los resultados generales de la planta, esto indica que se tomó la medida correcta pero a su vez da una directriz de qué partes de la línea deben ser monitoreadas con mayor frecuencia para que los resultados sean visibles en un tiempo muy corto.

5.2.1. Principales razones para aplicar correcciones

La principal razón para aplicar esta corrección es tener una mejor guía de qué puntos de la línea son más necesarios para realizar la medición, esto ayudará a que los tiempos de inspección sean más reducidos y a tener datos

más precisos. Se aplicó la estadística para tener una mejor visión de qué puntos se deben medir y se continuará aplicando por el departamento para mantener una mejora constante, y que a su vez los tiempos de inspección se puedan realizar con menos frecuencia, espaciando en el tiempo cada medición para que se puedan realizar más adelante mediciones en la otra línea.

Esto no quiere decir que no se utilizarán estos equipos en el resto de las líneas mientras se controla mejor la línea 1 y 2, porque de existir necesidad o una duda con respecto al funcionamiento de otras de las líneas, estos equipos serán utilizados para obtener una mejor visión del problema que existe y mejorar así los resultados de cualquier mantenimiento dentro de la planta.

5.2.2. Puntos donde se aplicaron las correcciones

A raíz de estas observaciones es posible determinar que las correcciones se dieron en la parte de planeación. La toma de datos en sí no requirió de ninguna variante, ya que depende completamente de la parte administrativa dirigir al personal hacia los puntos que se deban mejorar por diferentes variantes que las máquinas indicarán. Será la estadística la que ayude a mejorar este sistema a medida que el plan se implemente.

CONCLUSIONES

1. Se redujo los costos con la implementación del mantenimiento predictivo, reduciendo el inventario y los paros no programados que provocaban pérdidas considerables para la empresa.
2. Teniendo una mejor certeza de cómo se encuentran internamente las máquinas es posible hacer que el intervalo de tiempo entre un mantenimiento preventivo y otro sea mayor.
3. Con la ayuda de software se puede llevar un control estricto de cómo se comportan las máquinas para determinar el momento adecuado del cambio de diferentes repuestos de máquinas, a través de diferentes gráficos y estadísticas.
4. Se redujo el inventario con la implementación de este sistema, al lograr determinar el momento adecuado para realizar cualquier reparación dentro de la planta.
5. Con el personal capacitado en el uso de los instrumentos de medición para mantenimiento predictivo, se obtienen datos más confiables y exactos de las máquinas.
6. Se puede anticipar el uso de repuestos necesarios para los mantenimientos preventivos y correctivos, a través de las mediciones con los equipos, lo cual hace posible requerir cualquier repuesto con más de una semana de anticipación.

7. A través del historial almacenado en el software de los programas de mantenimiento predictivo se puede tener un registro preciso de la fecha exacta en que se reemplazaron o se lubricaron las piezas para cada mantenimiento realizado.

8. Con la implementación del mantenimiento predictivo se obtiene una mejor eficiencia en los mantenimientos en cuanto se refiere a costos y tiempo.

RECOMENDACIONES

1. Se debe considerar la aplicación de más tecnologías para ampliar el mantenimiento predictivo, aplicando más tecnología para mantener una mejora continua.
2. Para mantener una buena evaluación de las máquinas se debe realizar los controles como son programados y con las mejoras que sean requeridas conforme las observaciones se incrementen.
3. Con base en las gráficas, se debe buscar causas asignables que deben ser detectadas y eliminadas para mejorar la eficiencia.
4. Con la reducción de inventario establecida con la implementación del mantenimiento predictivo, se debe tener cuidado de que al reducirlo no se ponga en riesgo la producción por falta de repuestos.
5. Se debe mantener un historial de cómo se ha comportado el equipo, para determinar en el futuro si ha existido una mejoría o avería de los equipos.
6. Los equipos de mantenimiento predictivo reflejarán con mayor anticipación las fallas de los equipos, a medida que se realicen las inversiones necesarias para la reparación de los mismos.

7. Se debe asegurar que el personal que realice el reemplazo de piezas, o el mantenimiento respectivo, cumpla con cargar al programa la información del mismo, para evitar que exista un descontrol.

8. Con la reducción de los costos durante el período de tiempo que estos inicien a generar el retorno de la inversión se debe buscar comprar otros equipos que mejoren los procesos de análisis.

BIBLIOGRAFÍA

1. BALLESTEROS ROBLES, Francisco. PREDITEC/IRM. *Estrategia predictiva en el mantenimiento industrial*. Preditec IRM. [en línea]. <http://www.preditec.com/extranet/publicaciones/La_estrategia_predictiva_en_el_mantenimiento_industrial.pdf>. [Consulta: 12 de mayo 2016] .
2. CANTALEJO, Juan Luis. *Measurecontrol. Más allá de la forma, interpretación de las gráficas FFT (Fast Fourier Transform) en el análisis de perfiles*. [en línea]. <<http://www.measurecontrol.com/mas-alla-de-la-forma-interpretacion-de-las-graficas-fft-fast-fourier-transform-en-el-analisis-de-perfiles/>>. [Consulta: 12 de mayo de 2016].
3. CUADRADO CABELLO, Eladio. *Interempresas. Grasas lubricantes: características, ventajas y aplicaciones*. [en línea]. <<http://www.interempresas.net/Mantenimiento/Articulos/113067-Grasas-lubricantes-caracteristicas-ventajas-y-aplicaciones.html>>. [Consulta: 20 de enero de 2017].
4. DAKOLUB. *¿Qué significan las letras y números de los lubricantes?* [en línea]. <<http://www.dakolub.com/significado-letras-y-numeros-de-los-lubricantes/>>. [Consulta: 20 de enero de 2017].
5. ESTÍBALIZ, Aranzabe; MÁLAGA, Adolfo. *Lubrication management. Grasas lubricantes*. [en línea]. <<http://lubrication->

management.com/wp-content/uploads/sites/3/2014/07/Principios_basicos_grasas_lubricantes_ES.pdf>. [Consulta: 20 de enero de 2017].

6. FLUKE. *Aplicación de la termografía por infrarrojos al mantenimiento predictivo*. [en línea]. <<http://www.fluke.com/fluke/gtes/soluciones/camara-termografica/notas-de-aplicacion/aplicacion-de-la-termografia-por-infrarrojos-al-mantenimiento-predictivo.htm>>. [Consulta: 3 de mayo de 2016].
7. _____. *Inspection electric motor*. [en línea]. <http://support.fluke.com/find-sales/Download/Asset/2519596_6251_ENG_B_W.PDF>. [Consulta: 3 de mayo de 2016].
8. GARCÍA GARRIDO, Santiago. *Ingeniería del mantenimiento manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento*. España. RENOVETEC. Junio 2009. 322p.
9. GARZAS, Javier; ENRÍQUEZ, Juan. *Gestión ágil de proyectos software*. España. Editorial Kybele Consulting. Mayo 2014. 271p.
10. GATES EUROPE. *Mantenimiento preventivo de correas y transmisiones para un rendimiento duradero y óptimo*. [en línea]. <<http://pdf.directindustry.es/pdf/gates-europe/mantenimiento-preventivo-correas-transmisiones/38417-556407.html>>. [Consulta: 5 de mayo de 2016].

11. HALL A. S.; HOLOWNCO, A. R.; LAUGHLIN, H. G. *Teoría y problemas de diseño de máquinas*. Colombia. Schaum-Macgraw-Hill. Octubre 2015. 344p.
12. INGEMECÁNICA. *Tutorial No. 47. Clasificación de los electrodos para soldadura*. [en línea]. <<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn47.html>>. [Consulta: 22 de diciembre de 2016].
13. MOTT, Robert. *Mecánica de fluidos*. 6ta ed. Mexico. Pearson Educación. 2006. 644 p.
14. RAYMOND PEACOCK, G. *The role of standards & calibration in IR thermography*. [en línea]. <https://www.irinfo.org/articleofmonth/pdf/08_01_2012_peacock.pdf>. [Consulta: 20 de enero 2017].
15. REY SACRISTÁN, Francisco. *Manual de mantenimiento integral en la empresa*. España. FC Editorial. Agosto 2011. 465p
16. SÁNCHEZ MARÍN, Francisco; PÉREZ GONZÁLEZ, ANTONIO. *Mantenimiento mecánico de máquinas*. España. Editorial Universidad Jaume I. Julio 2013. 388p

APÉNDICES

Apéndice 1. **Presentación de cámara termográfica**

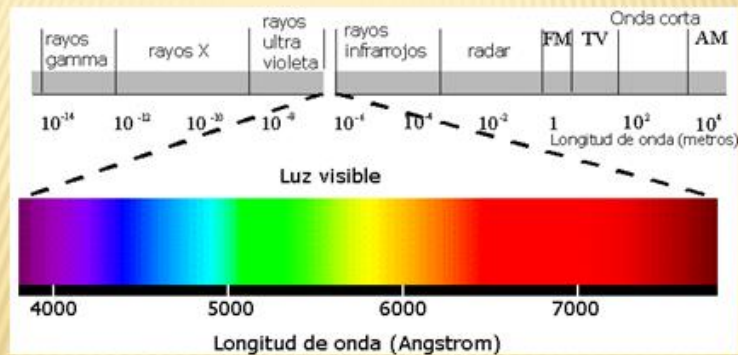


CÁMARA TERMOGRÁFICA

- ✦ La cámara termográfica tiene la capacidad para detectar variaciones de calor que nosotros por nuestros propios sentidos no somos capaces de percibir.
- ✦ Este tipo de temperatura son los rayos infrarrojos que poseen onda de luz mas grandes, a continuación se muestra una imagen con algunos espectros de luz.

Apéndice 2. Presentación de cámara termográfica

ESPECTRO DE LUZ



CÁMARA TERMOGRÁFICA

- ✘ El humano puede percibir un intervalo muy pequeño del espectro de luz, este se puede ampliar gracias a la cámara termográfica.
- ✘ Las fotografías térmicas se ven en escalas de azules y rojos o escalas de grises.
- ✘ Los rayos infrarrojos en la realidad no tienen esos colores, esos colores son con el fin de poder tener una idea de la variación de temperatura.

Apéndice 3. **Presentación de cámara termográfica**

PREVIO A TOMAR MEDICIONES

- ✦ Se debe ajustar la cámara termográfica.
- ✦ Se deben conocer las condiciones normales de trabajo del equipo que se medirá (esta información se puede encontrar en la placa de los motores o manuales de los equipos).
- ✦ Se debe ajustar la forma de tomar la medición, según lo que se medirá, esto puede ser, punto más frío, punto más caliente o tres puntos.

PREVIO A TOMAR MEDICIONES

- ✦ La cámara cuenta con un lente de enfoque, el cual se debe enfocar, ya que este equipo genera una fotografía ordinaria.

Apéndice 4. **Presentación de cámara termográfica**

CUIDADOS DE LA CÁMARA TERMOGRÁFICA

- ✘ No somatar.
- ✘ No tomar fotografías hacia el sol.
- ✘ No se debe tocar el lente.
- ✘ No superar el rango de temperatura.

TOMAR MEDIDAS

- ✘ Para este apartado se explicará con el equipo de que forma programar la cámara para la toma de medidas y como realizar las mediciones.

Apéndice 5. **Presentación de ultrasonido**

ULTRASONIDO

ULTRASONIDO

- ✦ Son ondas de alta frecuencia que no pueden ser escuchadas por el oído humano, este tipo de ondas tienen frecuencia por encima de los 20000 Hz.
- ✦ Este tipo de ondas en la naturaleza es utilizado por algunos animales tales como el delfín y el murciélago quienes localizan a sus presas.

Apéndice 6. **Presentación de ultrasonido**

PROPIEDADES DEL SONIDO

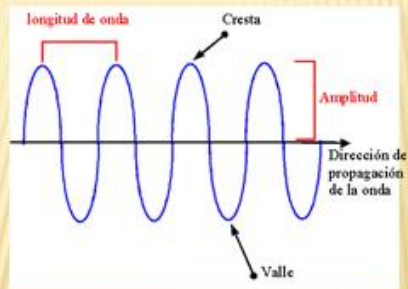
- ✦ **Amplitud:** Es la fuerza o cantidad de energía de una onda, esta es medida en Decibelios (Db), es un valor muy importante en nuestros análisis.
- ✦ **Frecuencia:** La frecuencia es el número de veces que se cumple un ciclo en un segundo o dicho de otra forma es el número de ciclos en un segundo.

PROPIEDADES DEL SONIDO

- ✦ **Velocidad:** es la rapidez con la que la onda se mueve a través de un medio.
- ✦ **Longitud de onda:** Distancia de dos partículas cualesquiera que estén en fase, la forma más fácil de ver esto es realizar la medición de cresta a cresta.

Apéndice 7. Presentación de ultrasonido

PROPIEDADES DEL SONIDO



APLICACIONES DEL ULTRASONIDO

- ✘ El ultrasonido al detectar sonidos que no somos capaces de escuchar puede ayudarnos a detectar problemas en los siguientes casos
 - Fugas de aire comprimido
 - Rodamientos
 - Aplicaciones eléctricas y electrónicas
 - Fugas de vapor
 - Trampas de vapor

Apéndice 8. Presentación de ultrasonido

APLICACIONES PARA EL ULTRASONIDO

- Válvulas
- Cajas reductoras

ACCESORIOS

- ✘ El equipo de ultrasonido tiene diferentes accesorios que facilitan la medición, es importante seleccionar el accesorio correcto para obtener los valores correctos.
- ✘ Se debe determinar que es lo que se quiere medir para saber que accesorio se debe utilizar si la medición debe ser a través del aire o si esta se realizará por medio de una carcasa.

Apéndice 9. **Presentación de ultrasonido**

FORMA EN QUE SE REALIZARÁ UNA MEDICIÓN

- ✦ Se procederá a explicar con el equipo como se realizará las mediciones.

Fuente: elaboración propia.

