



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

**PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN EL ÁREA DE OPERACIONES
AUTOMOTRICES PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE LOS PROCESOS DEL SERVICIO
POSVENTA**

Miguel Fabian Rivera

Asesorado por el Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

Guatemala, octubre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN EL ÁREA DE OPERACIONES
AUTOMOTRICES PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE LOS PROCESOS
DEL SERVICIO POSVENTA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MIGUEL FABIAN RIVERA

ASESORADO POR EL ING. HUGO HUMBERTO RIVERA PÉREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

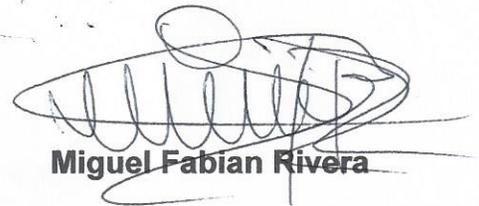
DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Sergio Fernando Pérez Rivera
EXAMINADOR	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez
EXAMINADOR	Ing. Aldo Ozaeta Santiago
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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:

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN EL ÁREA DE OPERACIONES AUTOMOTRICES PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE LOS PROCESOS DEL SERVICIO POSVENTA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 27 de septiembre de 2018.



Miguel Fabian Rivera

Guatemala, 14 de mayo de 2019

Ingeniero César Ernesto Urquizú Rodas
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Urquizú

Reciba un saludo cordial.

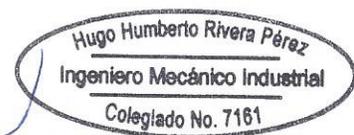
Atentamente me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado:

**PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN EL ÁREA DE
OPERACIONES AUTOMOTRICES PARA MEJORAR
LA EFICIENCIA DE LOS PROCESOS DEL SERVICIO POSVENTA**

elaborado por el estudiante de Ingeniería Mecánica Industrial **Miguel Fabian Rivera.**

En virtud de lo anterior, le informo que doy por revisado y aprobado el trabajo de graduación realizado por el estudiante.

Atentamente,



Hugo Humberto Rivera Pérez
M. A. Ingeniero Mecánico Industrial
Col. 7,161



REF.REV.EMI.089.019

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN EL ÁREA DE OPERACIONES AUTOMOTRICES PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE LOS PROCESOS DEL SERVICIO POSVENTA**, presentado por el estudiante universitario **Miguel Fabián Rivera**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Inga. Brenda Izabel Miranda Consuegra
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Brenda Izabel Miranda Consuegra
Ingeniera Industrial
Colegiado. 13075

Guatemala, septiembre de 2019.

/mgp



REF.DIR.EMI.175.019

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 **PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN EL ÁREA DE OPERACIONES AUTOMOTRICES PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE LOS PROCESOS DEL SERVICIO POSVENTA**, presentado por el estudiante universitario **Miguel Fabian Rivera**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

A handwritten signature in blue ink, enclosed within a blue oval shape.



Ing. Cesar Ernesto Urquizu Rodas
DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

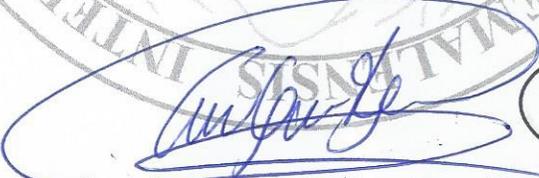
Guatemala, octubre de 2019.

/mgp



La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN EL ÁREA DE OPERACIONES AUTOMOTRICES PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE LOS PROCESOS DEL SERVICIO POSVENTA**, presentado por el estudiante universitario: **Miguel Fabian Rivera**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, Octubre de 2019

AACE/asga
/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Mi madre

Eileen Verónica Rivera, por todo su amor, enseñanzas, ejemplos y apoyo desde siempre. Este título también es tuyo madre.

Mi hermana

Eileen María Rivera, por sus consejos, bromas, apoyo, amor y ser parte de mi fuerza.

Mis tíos

Juan, Roberto y Miguel Rivera, quienes han sido guías y apoyos para mi vida desde que tengo uso de razón.

Mis ancestros

Abuelo, abuela, tías abuelas, tíos abuelos, tíos, tías. Las enseñanzas y consejos que me dejaron, los aplico todos los días de mi vida. Gracias por tanto, perdón por tan poco.

**Ing. Marco Vinicio
Alcázar y Lcda. María
Eugenia Bartlett de
Alcázar**

Por todo su apoyo, amor y consejos.

AGRADECIMIENTOS A:

Facultad de Ingeniería	Por formarme como profesional.
Ing. Hugo Rivera	Por su apoyo, tiempo, experiencia y por guiarme en la elaboración de este trabajo de graduación.
Ing. Federico Salazar	Por su apoyo para la gestión e inicio de este trabajo de graduación.
Lcda. Miriam Salazar	Por su tiempo, apoyo y ánimo para este trabajo de graduación.
La ciencia	Esa musa que nos inspira y guía a buscar el conocimiento y mejorar en todo lo que hacemos como profesionales de la ingeniería.
Mis amigos y amigas	Gracias por tantos buenos momentos, historias, anécdotas y apoyo. Por esa amistad y los años de alegrías compartidas en el colegio, la universidad y la vida. Espero que esos lazos nos traigan más alegría.

**Mis profesores del colegio y la
Universidad**

Por sus enseñanzas y por haberme formado a lo largo de toda mi vida estudiantil. Sin ustedes, esta meta no se habría alcanzado.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. La empresa.....	1
1.2. Historia	2
1.3. Misión	2
1.4. Visión.....	2
1.5. Valores	2
1.6. Planta de enderezado y pintura.....	3
1.6.1. Servicios que presta la planta.....	4
1.6.1.1. Enderezado	5
1.6.1.2. Pintura	6
1.7. Estructura organizacional de la planta.....	9
1.7.1. Organigrama.....	9
1.7.2. Puestos y funciones.....	10
1.8. Calidad en la empresa.....	10
1.8.1. Definición de calidad para la empresa.....	11
2. SITUACIÓN ACTUAL DEL MANTENIMIENTO.....	13
2.1. La cultura del mantenimiento.....	13

2.2.	Definición de mantenimiento	18
2.3.	Clasificación del mantenimiento	18
2.3.1.	Objetivos del mantenimiento	18
2.3.2.	Mantenimiento correctivo	22
2.3.3.	Mantenimiento preventivo	23
2.3.4.	Mantenimiento por indicadores	25
2.3.5.	Mantenimiento predictivo.....	26
2.4.	Instalaciones	30
2.4.1.	Estaciones de trabajo	31
2.4.2.	Bodegas	31
2.4.3.	Maquinaria empleada	31
2.5.	Equipos empleados por la planta	32
2.5.1.	Equipo neumático.....	32
2.5.2.	Equipo eléctrico.....	35
2.5.3.	Otros equipos.....	42
2.6.	Secuencia del proceso de enderezado y pintura	44
2.6.1.	Preparación	44
2.6.2.	Equipos empleados.....	46
2.6.3.	Diseño del trabajo	46
2.7.	Indicadores de la maquinaria	48
3.	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS EQUIPOS EMPLEADOS EN EL PROCESO DE ENDEREZADO Y PINTURA.....	51
3.1.	Análisis de los equipos.....	51
3.1.1.	Clasificación de los equipos empleados en la planta.....	54
3.1.1.1.	Equipo neumático.....	55
3.1.1.2.	Equipo eléctrico.....	59
3.1.1.3.	Otros equipos	65

3.1.2.	Listado de equipos a incluir en el plan de mantenimiento preventivo.....	69
3.2.	Elaboración de los procesos de mantenimiento preventivo.....	70
3.2.1.	Equipo de alimentación	73
3.2.1.1.	Línea de alimentación neumática	73
3.2.1.2.	Línea de alimentación eléctrica	75
3.2.2.	Cámaras de pintura	75
3.2.2.1.	Quemadores de propano.....	76
3.2.2.2.	Luminarias	77
3.2.2.3.	Infraestructura.....	78
3.2.2.4.	Válvulas neumáticas.....	79
3.2.2.5.	Extractores.....	81
3.2.3.	Equipos de estaciones de trabajo.....	82
3.2.3.1.	Líneas neumáticas.....	83
3.2.3.2.	Líneas eléctricas.....	83
3.2.3.3.	Mangueras para herramientas neumáticas	83
3.2.3.4.	Soldadoras tipo MIG	86
3.2.3.5.	Extractores.....	87
3.2.4.	Equipo de generación.....	89
3.2.4.1.	Compresor	89
3.2.4.2.	Planta de generación eléctrica.....	92
3.2.5.	Luminarias especializadas.....	93
3.2.5.1.	Lámparas infrarrojas.....	93
3.3.	Diseño de los registros de mantenimiento.....	94
3.3.1.	Equipo neumático	96
3.3.2.	Equipo eléctrico	96
3.3.3.	Otros equipos	97
3.4.	Propuesta de diseño del área de mantenimiento	98

3.4.1.	Área necesaria	98
3.4.2.	Herramientas.....	99
3.4.3.	Diseño de iluminación	100
3.4.4.	Control de ruido.....	101
3.5.	Análisis de costos.....	101
3.5.1.	Costo del plan de mantenimiento	102
3.5.2.	Costo de repuestos	103
3.5.3.	Costo proyectado para el plan de mantenimiento en un año	105
4.	DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	107
4.1.	Plan de acción.....	107
4.1.1.	Implementación del plan de mantenimiento preventivo.....	108
4.1.2.	Entidades encargadas.....	108
4.1.2.1.	Jefatura de producción.....	108
4.1.2.2.	Departamento de ingeniería y métodos.....	109
4.1.2.3.	Departamento de mantenimiento	109
4.2.	Departamento de mantenimiento de equipo	110
4.2.1.	Trazabilidad de fallas en la maquinaria	110
4.2.2.	Orden e identificación de los repuestos	112
4.2.3.	Orden e identificación de las herramientas	112
4.3.	Dispositivos de seguridad	113
4.3.1.	Normas de seguridad en el mantenimiento	114
4.4.	Programa de mantenimiento	114
4.4.1.	Equipo neumático.....	115
4.4.2.	Equipo eléctrico.....	115
4.4.3.	Otros equipos.....	116

4.5.	Establecimiento de indicadores de mantenimiento preventivo	116
4.5.1.	Equipo neumático	116
4.5.2.	Equipo eléctrico	117
4.5.3.	Otros equipos	117
4.6.	Seguridad industrial.....	118
4.6.1.	Plan de seguridad industrial para el departamento de mantenimiento	118
4.6.1.1.	Equipo de protección personal (EPP)	133
4.6.1.2.	Reglas básicas de seguridad industrial	135
4.6.1.3.	Señalización de las áreas de trabajo .	135
5.	SEGUIMIENTO Y MEJORA	137
5.1.	Condiciones de trabajo	137
5.1.1.	Diseño del área de trabajo.....	138
5.1.2.	Diseño de la iluminación	139
5.1.3.	Control del ruido	139
5.2.	Capacitaciones	140
5.2.1.	Con el personal administrativo.....	140
5.2.2.	Con el personal operativo	140
5.3.	Evaluación del mantenimiento	141
5.3.1.	Auditorías internas.....	142
5.3.2.	Auditorías externas.....	143
5.3.3.	Actualización de los registros de mantenimiento..	144
	CONCLUSIONES	145
	RECOMENDACIONES.....	147
	BIBLIOGRAFÍA.....	149

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Plano de distribución de la planta de enderezado y pintura	4
2.	Plataforma de enderezado automotriz	6
3.	Cámara de pintura.....	8
4.	Organigrama	9
5.	Evolución del mantenimiento industrial	23
6.	Clasificación del mantenimiento industrial.....	25
7.	Equipo de termografía.....	29
8.	Compresores de aire estacionarios.....	33
9.	Pistola neumática.....	34
10.	Pulidora neumática.....	35
11.	Soldadora MIG	37
12.	Lámpara infrarroja en funcionamiento.....	38
13.	Compu spot.....	39
14.	Multi bench.....	40
15.	Plataforma Korek	41
16.	Extractor de aire	42
17.	Cámaras de pintura.....	43
18.	Equipo de medición Shark	44
19.	Tabla empleada en la evaluación de maquinaria	52
20.	Diagrama de pescado empleado en la evaluación de maquinaria	52
21.	Proceso de mantenimiento correctivo	53
22.	Proceso de mantenimiento preventivo	54
23.	Funcionamiento básico de un compresor, entrada de aire.....	58

24.	Funcionamiento básico de un compresor, salida de aire	58
25.	Compresor Kaeser estacionario modelo SK 15 T	59
26.	Proceso de soldadura MIG con argón	61
27.	Esquema de la soldadura MIG	62
28.	Argón 63	
29.	Lámpara infrarroja.....	65
30.	Diagrama de una cámara de pintura automotriz.....	67
31.	Equipo de medición electrónica	69
32.	Diagrama neumático de la planta	74
33.	Propuesta de hoja de inspección de mantenimiento para las cámaras de pintura	82
34.	Propuesta de hoja de inspección de mantenimiento para soldadoras MIG.....	87
35.	Propuesta de hoja de inspección de mantenimiento para extractores.....	89
36.	Propuesta de hoja de inspección de mantenimiento para los compresores	91
37.	Propuesta de hoja de inspección de mantenimiento para la planta de generación eléctrica.....	92
38.	Propuesta de hoja de inspección de mantenimiento para lámparas infrarrojas.....	94
39.	Propuesta de ficha de mantenimiento preventivo para los archivos de la empresa	96
40.	Propuesta de ficha de mantenimiento preventivo	98
41.	Matriz de riesgos del jefe de mantenimiento.....	121
42.	Matriz de riesgos del personal técnico de mantenimiento	125
43.	Matriz de riesgos del personal de conserjería	129
44.	Matriz de riesgos del personal de jardinería	131

45.	Propuesta de plano de distribución del departamento de mantenimiento.....	138
-----	---	-----

TABLAS

I.	Medición de los indicadores de mantenimiento del sistema neumático.....	75
II.	Medición de los indicadores de mantenimiento de las luminarias	77
III.	Medición de los indicadores de mantenimiento de infraestructura	79
IV.	Medición de los indicadores de mantenimiento de válvulas neumáticas.....	80
V.	Medición de los indicadores de mantenimiento para los extractores de las cámaras de pintura	81
VI.	Código de colores para las mangueras de aire comprimido	84
VII.	Medición de los indicadores de mantenimiento para las mangueras de aire	85
VIII.	Costo de mano de obra mensual	102
IX.	Gastos anuales por servicios en la planta	103
X.	Gastos en repuestos durante el año 2018	104
XI.	Proyección de costos en un año para el plan de mantenimiento preventivo.....	105
XII.	Propuesta de código de colores para almacenaje de los repuestos de la maquinaria.....	112
XIII.	Propuesta de organización de herramientas de trabajo	113

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
dB	Decibeles. Unidad de medida de intensidad sonora.
psi	Libras por pulgada cuadrada. Unidad anglosajona de presión.
Q.	Quetzales. Unidad monetaria.

GLOSARIO

Aire comprimido	Aire sometido a alta presión.
Argón	Elemento químico de número atómico 18, perteneciente al grupo de los gases nobles. Utilizado en el llenado de bombillas, soldadura y en la industria metalúrgica.
Compresor	Máquina de fluido diseñada para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos, generalmente gases o vapores.
EPP	Equipo de protección personal.
KPI	<i>Key performance indicator</i> . Indicador clave de desempeño.
MIG	Siglas en inglés de <i>Metal Inert Gas</i> . Proceso de soldadura por arco bajo un gas protector.
Neumática	Tecnología que emplea el aire comprimido como modo de transmisión de energía.

RESUMEN

En cualquier empresa u organización es importante minimizar los paros en las actividades productivas, independientemente de las causas que los provoquen. Por ello en este estudio se busca que el mantenimiento industrial no sea la causa principal de paros en una planta de enderezado y pintura automotriz.

El trabajo de graduación se realizó con el fin de mejorar la eficiencia y la vida útil de los equipos empleados por la planta de enderezado y pintura de una empresa automotriz guatemalteca.

El objetivo principal es establecer el modelo de mantenimiento preventivo, así como la cultura del mantenimiento en la planta. A mediano y largo plazo estas acciones se ven reflejadas en un manejo eficiente de los costos involucrados, paros de producción mínimos, pocos accidentes, una productividad mayor y un mejor rendimiento del personal técnico, operativo y administrativo.

Además se establecerán registros e indicadores para determinar el cumplimiento del mantenimiento, con base en las especificaciones de los fabricantes de los diferentes equipos instalados en la planta.

OBJETIVOS

General

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo en el área de ingeniería y métodos para los equipos especializados de enderezado y pintura del área de servicios posventa de una empresa automotriz.

Específicos

1. Analizar el equipo en el área de ingeniería y métodos para establecer cuáles equipos se incluirán en el plan de mantenimiento preventivo.
2. Determinar el estado actual de los equipos incluidos en el plan de mantenimiento.
3. Diseñar y elaborar los registros de mantenimiento para los equipos.
4. Elaborar las fichas de mantenimiento correspondientes a cada equipo, con base en la información del fabricante.
5. Diseñar un plan de mantenimiento preventivo para los equipos en el área de enderezado y pintura automotriz.
6. Analizar los costos del plan de mantenimiento para determinar su viabilidad.

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento se define como todas las acciones y procedimientos que tienen como objetivo preservar un equipo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo la función para la que fue diseñado. Estas acciones incluyen la combinación de las acciones técnicas y administrativas correspondientes.

Por otro lado, el mantenimiento preventivo es aquel destinado a la conservación de equipos o instalaciones mediante la realización de revisión y reparación que garanticen su buen funcionamiento y fiabilidad a lo largo de su vida útil. El mantenimiento preventivo se realiza en equipos en condiciones de funcionamiento, el caso contrario del mantenimiento correctivo (también llamado mantenimiento de bombero) que repara aquellas máquinas que dejaron de funcionar o tienen daños.

El primer objetivo del mantenimiento es evitar o mitigar las consecuencias de los fallos del equipo, previniendo las fallas antes de que estas ocurran. Las tareas de mantenimiento preventivo más comunes pueden incluir: el cambio de piezas desgastadas, cambios de aceites y lubricantes, análisis de vibraciones y de calor, entre otras.

El proceso de enderezado y pintura automotriz es un proceso largo y complejo, por ello debe hacerse con cuidado, siempre con la meta de brindar un servicio de calidad. El estado del equipo a utilizar juega un papel importante en este proceso, ya que no pueden darse fallas ni paros en el proceso de pintura y secado.

El trabajo de graduación se divide en cinco capítulos que explican en detalle el mantenimiento preventivo para la maquinaria instalada en la planta. El primer capítulo contiene información general referente al proceso de enderezado y pintura automotriz y a la empresa.

El segundo capítulo explica las condiciones actuales del mantenimiento en la planta, conceptos de mantenimiento de maquinaria industrial y su importancia. El tercer capítulo describe la propuesta del plan de mantenimiento preventivo, la cual comienza con un análisis del equipo instalado, los procesos a seguir en el mantenimiento preventivo, la clasificación de los diferentes equipos con los que cuenta la planta y un análisis de costos.

El cuarto capítulo describe el desarrollo e implementación de la propuesta del plan de mantenimiento preventivo, donde se especifican los procedimientos a seguir en las diferentes instancias involucradas. Por último, en el quinto capítulo se detalla un plan de seguimiento y mejora para complementar el plan. Aquí se contemplan capacitaciones y auditorías para establecer el cumplimiento del plan de mantenimiento.

1. ANTECEDENTES GENERALES

La empresa donde se desarrollará el trabajo de graduación se dedica al área automotriz en el mercado guatemalteco y para ello ha diversificado sus áreas de trabajo. Una de ellas es enderezado y pintura, lo cual se describe a continuación.

1.1. La empresa

La empresa donde se llevará a cabo el trabajo de graduación es una empresa líder en el mercado automotriz con varios años de experiencia; la misma cuenta con centros de servicio en el país donde se atienden más de cien mil vehículos cada año, se tiene cobertura en el área metropolitana y en varios departamentos.

Las metas y políticas establecidas por la empresa aseguran a la clientela que está adquiriendo un producto de calidad, que cuenta con un respaldo a través de su amplia trayectoria en el mercado guatemalteco, además de una red de talleres y amplio surtido de repuestos.

Asimismo, la empresa ha innovado en el manejo de las citas para los servicios que presta a sus clientes a nivel nacional. De esta forma, se asegura un servicio eficiente y de calidad, siguiendo las normas y parámetros establecidos.

1.2. Historia

En noviembre de 1941 inicia operaciones la empresa en el centro histórico de la Ciudad de Guatemala. Inicialmente, se importaban y distribuían repuestos para autos, posteriormente se amplía su portafolio de ventas y comenzó a comercializar automóviles y brindando servicios en talleres, venta de repuestos y lubricantes.

Con el paso del tiempo, se han ido ampliando y mejorando los servicios que la empresa presta en el mercado guatemalteco, cubriendo el área metropolitana y varios departamentos del país.

1.3. Misión

“Ofrecer a nuestros clientes vehículos, repuestos y servicio de la más alta calidad y prestigio mundial, buscando satisfacer expectativas y necesidades, por medio de nuestros colaboradores altamente calificados”.¹

1.4. Visión

“Superar nuestro liderazgo en la venta de vehículos, repuestos y servicios, alcanzando a ser el ejemplo en Guatemala en brindar un servicio de excelencia en las empresas que dirigimos y en las futuras que formemos”.²

1.5. Valores

- Honestidad

¹ Empresa en estudio. *Información oficial*. Consulta: junio de 2018.

² *Ibíd.*

- Respeto
- Compromiso
- Responsabilidad
- Disciplina

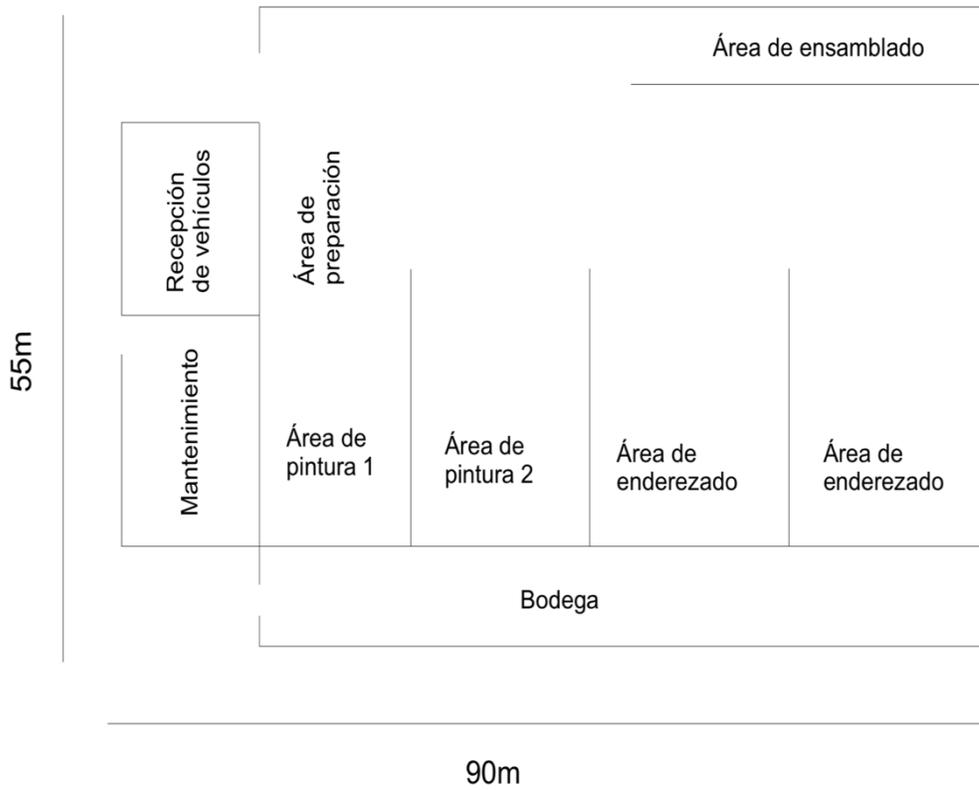
1.6. Planta de enderezado y pintura

En el año 1999 se inician las operaciones de la planta de enderezado y pintura de la empresa. Contando con la más avanzada tecnología en equipo y maquinaria a nivel centroamericano y el Caribe y un movimiento de 400 vehículos al mes en promedio. Actualmente se encuentra integrada por 70 personas. Se encuentra dividida en áreas, según el trabajo que se requiera. Siendo estas:

- Enderezado
- Pulido
- Armado
- Plásticos
- Preparado
- Cámaras de pintura
- Alineación

Previo a su ingreso, los vehículos son inspeccionados por personal calificado para determinar el proceso que se necesita y elaborar un presupuesto. Posteriormente, se les asigna un código y un color, para luego comenzar el proceso.

Figura 1. **Plano de distribución de la planta de enderezado y pintura**



Fuente: elaboración propia.

1.6.1. **Servicios que presta la planta**

La planta presta dos servicios principales, los cuales se describen a continuación.

1.6.1.1. Enderezado

Enderezar es un término que significa: “poner derecho (recto) aquel objeto que está torcido”.³ El enderezado automotriz es el proceso mediante el cual, por medio de herramientas y equipo especializado, se arreglan o rectifican las partes del vehículo que han sufrido daños por golpes o choques.

Para la planta el enderezado es la primera fase del proceso para la reparación de un automóvil. Para ello, en la planta se cuenta con equipo de enderezado, un sistema de medidas con apoyo electrónico y cables de seguridad.

Cabe mencionar que las partes del vehículo que no serán reparadas y están en buen estado se almacenan temporalmente en una bodega, donde se guardan hasta que se ensamble el vehículo y se termine el proceso de enderezado y pintura. Algunos equipos para el proceso de enderezado en la planta son:

- Sistema 4000
- Puentes Korek
- Puentes MultiBench

³ Real Academia Española. *Diccionario de la Real Academia Española*. <https://dle.rae.es/?id=DglqVCc>. Consulta: junio de 2018

Figura 2. **Plataforma de enderezado automotriz**



Fuente: *Plataforma de enderezado automotriz.*

<http://www.elevadorautomotriz.com/producto/bancada-o-cama-de-enderezado/>. Consulta: 1 de julio de 2018.

1.6.1.2. Pintura

Una vez completado el proceso de enderezado, se sigue con la pintura de las partes trabajadas en el área de enderezado.

El proceso inicia con la preparación de la pintura para cada automóvil, luego se preparan las piezas (o todo el vehículo, según sea el caso) a través de un lijado en seco y la aplicación de macilla en las áreas que lo necesitan.

La pintura para automóviles es utilizada en con dos fines:

- Protección
- Decoración

En la actualidad, la pintura de esmalte acrílico de poliuretano a base de agua es la más utilizada en los talleres, debido a su costo y a la reducción del impacto ambiental que tiene la pintura. La pintura moderna para automóviles se aplica en varias capas, con un espesor total de alrededor de 100 μm (0.1 mm). La aplicación de pintura requiere preparación y primeros pasos para asegurar una aplicación adecuada.

Se aplica una base después de aplicar la primera capa de pintura (también conocida como *primer*), la cual asegura una mejor adhesión de la pintura en el vehículo, protege las piezas y aumenta la durabilidad de la pintura final. A continuación se puede aplicar una capa transparente de pintura que forme un recubrimiento brillante y transparente. Dicha capa debe ser capaz de soportar la luz ultravioleta. Después de la aplicación, la pintura debe secarse y pulirse.

El proceso de pintura consiste en cuatro pasos:

- Preparación
- *Primer*
- Capa base (también conocida como capa de pintura)
- Capa transparente

Las cámaras donde se pintan los vehículos poseen la capacidad tanto de pintura como de secado y su funcionamiento es a base de gas licuado de petróleo (GLP).

Posterior al pulido, se realiza un control de calidad en las partes trabajadas antes de ser ensambladas al vehículo. Si se cumple con los parámetros, se procede al ensamble de cada pieza. Si no cumple, se regresa al área correspondiente para su corrección y rectificación.

Una vez ensambladas todas las piezas, se vuelve a hacer un control de calidad para buscar fallas o errores en el trabajo realizado. Si el vehículo cumple con todos los parámetros de calidad, se le entrega al cliente en la fecha estipulada al inicio del proceso.

Figura 3. **Cámara de pintura**



Fuente: *Cámara de pintura*. <http://www.usiitalia.com/products/master.php?lang=es>.

Consulta: 1 de julio de 2018.

1.7. Estructura organizacional de la planta

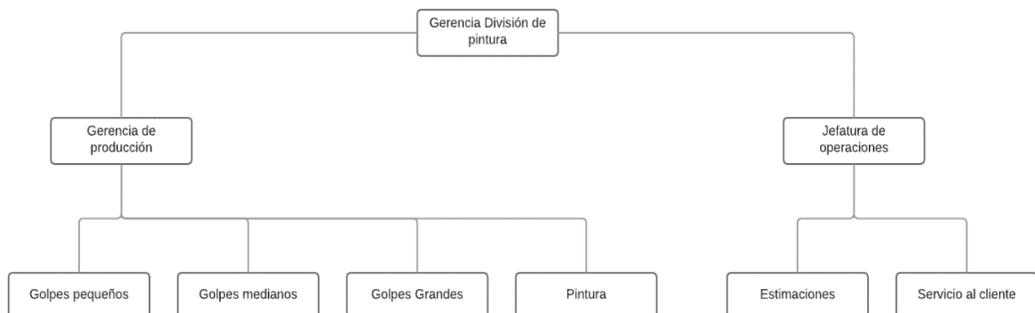
Como cualquier otra empresa u organización, se cuenta con una jerarquía donde se han delegado las diferentes responsabilidades para cada departamento y puesto de trabajo. Esto con el fin de que el trabajo sea dividido de forma óptima para asegurar la calidad, la puntualidad en la entrega y la satisfacción del cliente.

La organización varía de una empresa a otra, dadas las necesidades y responsabilidades que cada una tenga. Por ello es importante conocer el organigrama y la forma en la que se estructura la planta, de esta forma se garantiza que el trabajo y la información fluyan y se lleven a cabo de la forma planificada.

1.7.1. Organigrama

Se presenta el organigrama de la planta de enderezado y pintura en forma gráfica.

Figura 4. Organigrama



Fuente: elaboración propia.

1.7.2. Puestos y funciones

La empresa decidió dividir la planta de enderezado y pintura en dos rubros grandes, los cuales son:

- Producción
- Operaciones

La gerencia de producción se encarga de la planificación y ejecución del trabajo para golpes y la pintura de automóviles, es decir las fases intermedias del proceso de enderezado y pintura. Por otro lado, la jefatura de operaciones coordina y supervisa las fases iniciales y finales del proceso.

- Fase inicial: es donde inicia todo el proceso de enderezado y pintura. Comprende la recepción del vehículo, la inspección, elaboración del presupuesto, aprobación del cliente y de la empresa aseguradora y la admisión al taller.
- Fase intermedia: comprende el trabajo que se realiza en las áreas de enderezado y pintura, entre ellas es posible mencionar: desarmado, pulido, lijado, preparación de piezas y pintura, montaje, entre otras.
- Fase final: la última fase comprende los controles de calidad del trabajo realizado por la fase anterior.

1.8. Calidad en la empresa

La calidad se define como: “propiedad o conjunto de propiedades inherentes a algo, que permiten juzgar su valor”.⁴ Es un bien o servicio

⁴ Real Academia Española. *Diccionario de la Real Academia Española*. <https://dle.rae.es/?id=DglqVCc>. Consulta: junio de 2018

adecuado para su propósito previsto, al tiempo que satisface las expectativas del cliente o usuario final. La calidad es un atributo perceptivo, condicional y algo subjetivo y puede ser entendido de manera diferente por diferentes personas u organizaciones. Cabe destacar que la calidad tiene una interpretación pragmática, es decir, relativa a las acciones del bien o servicio y no tanto a la teoría.

En la actualidad, la mayoría de los clientes ya no solo deciden comprar a una cierta marca por la calidad de sus vehículos, sino que también por la calidad de las relaciones que se pueden establecer con ella después de la compra. A partir de esto surge la necesidad de identificar qué factores son los más importantes en la evaluación que hacen los clientes acerca de las diferentes experiencias de servicios.

1.8.1. Definición de calidad para la empresa

La calidad es un concepto abstracto, es decir, no es lo mismo para una persona que para otra; al igual que varía para una empresa “A” que para una empresa “B”.

Para la planta de enderezado y pintura, la calidad es muy importante y se vela porque se mantenga a lo largo del proceso a través de parámetros establecidos en diferentes puntos de los procesos que se llevan a cabo; desde la recepción de un vehículo, pasando por los procesos de enderezado, la preparación y pulido de las piezas, la mezcla y preparación correcta de la pintura, su aplicación y luego la inspección final antes de entregarle el vehículo al cliente.

2. SITUACIÓN ACTUAL DEL MANTENIMIENTO

Se hace una descripción de la situación actual de la empresa que está en proceso de análisis, con el objetivo de poder desarrollar a cabalidad cada uno de los aspectos que se tienen considerados en el análisis del trabajo de graduación y poder darle así una solución factible para un plan de mantenimiento preventivo.

2.1. La cultura del mantenimiento

Antes de definir la cultura del mantenimiento, vale la pena aclarar unos conceptos previos.

Primero, se define el término cultura: “conjunto de los rasgos definitivos, espirituales y materiales, intelectuales y afectivos que caracterizan a una sociedad o grupo social. Engloba no solo las artes y las letras, sino también los modos de vida, los derechos fundamentales del ser humano, los sistemas de valores, las tradiciones y las creencias”.⁵

La definición de cultura organizacional parte de la explicación anterior y se le agrega la parte de una empresa u organización.

Cultura organizacional es el patrón de premisas básicas que un determinado grupo inventó, descubrió o desarrolló en el proceso de aprender a resolver sus problemas de adaptación externa y de integración interna y que funcionaron suficientemente bien a punto de ser consideradas válidas y, por ende, de ser enseñadas a nuevos miembros del

⁵ UNESCO. *Conferencia Mundial sobre las políticas culturales* 1982.

grupo como la manera correcta de percibir, pensar y sentir en relación a estos problemas.⁶

Cabe destacar que la cultura organizacional de una empresa no debe ser permanente ni rígida, sino que debe ir cambiando constantemente y conforme las condiciones (internas o externas) que la empresa amerite. Si no existen cambios, le costará mucho a la empresa adaptarse al medio externo.

El mantenimiento es el conjunto de las acciones y procedimientos que tienen como objetivo preservar uno o más equipos o restaurarlos a un estado en el cual se puedan llevar a cabo las funciones para que se diseñaron o compraron.

Desgraciadamente, para muchas empresas se trata de un proceso dentro de la actividad productiva que, usualmente, es relegado o ignorado, y se limita a labores netamente correctivas. La causa más común de este fenómeno es el presupuesto y un punto de vista erróneo del mantenimiento, y es común escuchar excusas como: la empresa no cuenta con el dinero suficiente para ejecutar programas de mantenimiento preventivo ni compra de repuestos para todas las máquinas instaladas, solo puede costearse la reparación de la maquinaria cada vez que falla.

Anteriormente el mantenimiento era considerado como un mal necesario, en la actualidad el mantenimiento juega un papel clave para mejorar la rentabilidad de las empresas haciendo las operaciones más eficientes, agregando valor y produciendo servicios mejorados e innovadores para la empresa.

⁶ SCHEIN, Edgar. *Organizational Culture and Leadership*. 464p.

El mantenimiento correctivo y la mala cultura de mantenimiento van de la mano. Reaccionar constantemente al fallo de una máquina desmotiva al personal responsable del mantenimiento. En estos casos, las máquinas de la planta controlan el programa de trabajo, y no al revés.

A manera de ejemplo están los ascensores en algunos hospitales públicos en Guatemala. Por errores en los contratos (u otros factores, como corrupción o conflicto de intereses) no se detalla qué tipo de mantenimiento se le dará a cada ascensor, y esto tiene como consecuencia un equipo al que se le dará una carga alta de trabajo. Al combinar el paso del tiempo y el uso que se le da, eventualmente presentará fallas serias que, generalmente, no están contempladas en la planificación presupuestaria.

Además, el mantenimiento correctivo trae consigo otros problemas: costos más altos a mediano y largo plazo, una vida útil más corta para la maquinaria y paros constantes en las operaciones de la empresa. Pero la cultura del mantenimiento abarca más que los equipos pesados de trabajo en una planta, también puede aplicarse a computadoras, equipos de aire acondicionado, entre otros. La cultura del mantenimiento es velar por que se cumplan las diferentes acciones y planes para conservar la maquinaria instalada en una planta.

Como se observa, la cultura del mantenimiento es, entonces, un concepto que surge de unir las definiciones anteriores con la del mantenimiento, de la importancia que tiene el mismo dentro de cualquier empresa u organización y del trabajo en equipo entre los departamentos que integran una planta.

Echar a andar la idea de la cultura del mantenimiento es un proceso y como cualquier otro proceso lleva tiempo y esfuerzo de todas las partes involucradas. Es por ello entonces que debe revisarse cómo se implementa,

más que cómo se impone un nuevo modelo de cultura dentro de un grupo de trabajo. Para implementar correctamente una nueva cultura se debe analizar lo siguiente:

- Nivel de consenso alcanzado entre la gerencia de la empresa (ente creador del modelo de cultura) y los empleados (quienes la desarrollan y ponen en práctica).
- Los beneficios esperados por parte de los empleados tras la adopción y desarrollo de la nueva cultura.
- Los esfuerzos que deben hacer los empleados para adaptarse y aplicar las nuevas reglas y políticas del departamento y/o empresa.

En la actualidad, en la empresa donde se ejecutará el trabajo de graduación solo se lleva a cabo el mantenimiento correctivo a los equipos que se utilizan. Por diversos factores se ejecuta este tipo de mantenimiento y debido a su misma naturaleza no siempre se cuenta con registros de este, ya que por la prisa o la carga de trabajo que la máquina tiene se debe hacer rápidamente.

Otro factor importante a considerar es la trazabilidad del mantenimiento. Este concepto se define como: “la propiedad del resultado de una medida o del valor de un estándar donde este pueda estar relacionado con referencias especificadas, usualmente estándares nacionales o internacionales, a través de una cadena continua de comparaciones todas con incertidumbres especificadas”.⁷

⁷ Organización Internacional de Normalización. *Norma ISO 9001:2015*. <https://www.iso.org/iso-9001-quality-management.html> Consulta: junio de 2018.

Según el uso que se le otorgue, la trazabilidad puede ser de dos tipos:

- Trazabilidad interna
- Trazabilidad externa

Para fines de mantenimiento industrial, se utilizan los dos tipos, esto con el fin de controlar de una mejor forma el mantenimiento que se le brinda a la maquinaria instalada, ya sea que el mismo lo brinde una empresa contratada (trazabilidad externa) o la misma empresa se haga cargo de este (trazabilidad interna).

El papel del mantenimiento preventivo es importante para una trazabilidad y un registro adecuado del mantenimiento que se le hace a cada máquina y equipo instalado, además del uso del mantenimiento predictivo y por indicadores.

Asimismo, la seguridad industrial juega un papel importante en este tema. Su importancia radica en capacitar correctamente al personal que está a cargo de estas labores, así como proveerles el equipo de protección personal (EPP) y las herramientas que se necesitan para los distintos trabajos que el mantenimiento involucra.

Establecer la cultura del mantenimiento en un lugar de trabajo es un proceso que toma tiempo y esfuerzo, pero a mediano y largo plazo trae beneficios para la empresa u organización y para sus trabajadores.

2.2. Definición de mantenimiento

Por lo antes descrito el mantenimiento se definirá como todas las acciones y procedimientos que tienen como objetivo preservar un equipo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo la función para que fue diseñado.

2.3. Clasificación del mantenimiento

Pese a que existen varias clases de mantenimiento a nivel industrial, este puede clasificarse en varias categorías que se detallarán en la siguiente sección.

2.3.1. Objetivos del mantenimiento

El mantenimiento de maquinaria y equipo busca cumplir con una serie de objetivos básicos, adicionalmente una empresa u organización puede agregar otros si lo considera necesario. Dichos objetivos son:

- Evitar los paros innecesarios en la maquinaria (disponibilidad para las actividades de producción).
- Reducir la gravedad de los fallos que no fue posible evitar.
- Minimizar costos.
- Evitar accidentes de cualquier tipo.
- Alargar la vida útil de los bienes de la empresa.
- Conservar el medio ambiente.

La disponibilidad de una máquina se define como el tiempo que dicho equipo está en disposición de producir, con independencia de que finalmente lo haya hecho o no por razones ajenas a su estado técnico.

Uno de los objetivos más importantes del mantenimiento es asegurar que la maquinaria estará en disposición de producir una cantidad mínima de horas en un año. Es un error común pensar que el objetivo de un programa de mantenimiento es conseguir la mayor disponibilidad posible de una máquina o equipo (es decir el 100 % de disponibilidad) debido a que esto puede elevar los costos de operación de forma significativa.

Los principales factores a tener en cuenta en el cálculo de la disponibilidad son los siguientes:

- Cantidad de horas totales de producción.
- Horas de indisponibilidad total para producir, que pueden ser debidas a diferentes tipos de actuaciones de mantenimiento:
 - Intervenciones de mantenimiento programado que requieran parada de línea de producción.
 - Intervenciones de mantenimiento correctivo programado que requieran parada de planta o reducción de carga de trabajo.
 - Intervenciones de mantenimiento correctivo no programado que detienen la producción de forma inesperada y que por tanto tienen una incidencia en la planificación ya realizada de la producción.
- Número de horas de indisponibilidad parcial, es decir, número de horas que la planta está en disposición para producir, pero con una capacidad inferior a la establecida.

Por otro lado, la fiabilidad es un indicador que mide la capacidad de una planta para cumplir su plan de producción previsto. En una instalación industrial se refiere habitualmente al cumplimiento de la producción planificada y comprometida en general con sus clientes. El incumplimiento de este programa de trabajo puede causar problemas económicos, y de ahí la importancia de

medir este valor y tenerlo en cuenta a la hora de diseñar la gestión del mantenimiento de una planta.

Los factores a tener en cuenta para el cálculo de este indicador son:

- Horas anuales de producción.
- Horas anuales de parada o reducción de trabajo debidas exclusivamente a mantenimiento correctivo no programado.

El siguiente objetivo es asegurar una larga vida útil para la maquinaria instalada en la planta. Es decir, las plantas industriales deben presentar un estado de degradación acorde con lo planificado de manera que ni la disponibilidad ni la fiabilidad ni el coste de mantenimiento se vean fuera de sus objetivos fijados en un largo período de tiempo.

En promedio, la esperanza de vida útil para una instalación industrial se sitúa habitualmente entre los 20 y los 30 años, en los cuales las prestaciones de la planta y los objetivos de mantenimiento deben estar siempre dentro de unos valores establecidos previamente.

Un mantenimiento mal gestionado, con una baja proporción de horas dedicadas a tareas preventivas, con bajo presupuesto, con falta de medios y de personal y basado en reparaciones provisionales, provoca el desgaste prematuro de cualquier instalación industrial.

Es característico de plantas mal gestionadas cómo, a pesar de haber transcurrido poco tiempo desde su puesta en marcha inicial, el aspecto visual no corresponde con su juventud (en términos de vida útil).

Los objetivos de disponibilidad, fiabilidad y vida útil no pueden conseguirse a cualquier precio. El departamento de mantenimiento debe conseguir los objetivos establecidos ajustando sus costos a lo establecido en el presupuesto anual de la planta.

Como se mencionó previamente, el presupuesto ha de ser calculado con sumo cuidado, ya que un presupuesto inferior a lo que la instalación requiere complica los resultados de producción y hace disminuir la vida útil de la maquinaria instalada y, por otro lado, un presupuesto superior a la instalación suele causar problemas con el departamento de contabilidad de la empresa.

Un accidente en una planta industrial es un problema serio, por más pequeño que sea. Repercute de gran forma en los trabajadores y en la productividad de la empresa, ya que se debe hacer una rotación en el personal para cubrir a la persona implicada o contratar de forma temporal a un reemplazo. Además, representa costos y posibles sanciones para la empresa o a las personas involucradas en el mismo.

Por lo anterior, a través de contar con una gestión adecuada del mantenimiento, se reducen los accidentes de forma considerable para no afectar al personal o a la productividad de la empresa.

El mantenimiento como acción, desde el punto de vista ambiental, constituye un medio para prevenir impactos negativos, dado que asegura la fiabilidad de los equipos, lo que reduce el riesgo de ocurrencia de accidentes catastróficos, tales como: Incendios, explosiones, emisiones de sustancias tóxicas, entre otros. Y a su vez una fuente de contaminación, porque en su ejecución se producen desechos peligrosos (ya sean sólidos, líquidos o gaseosos).

Los factores más importantes que pueden propiciar la ocurrencia de algún impacto ambiental desde el mantenimiento industrial son:

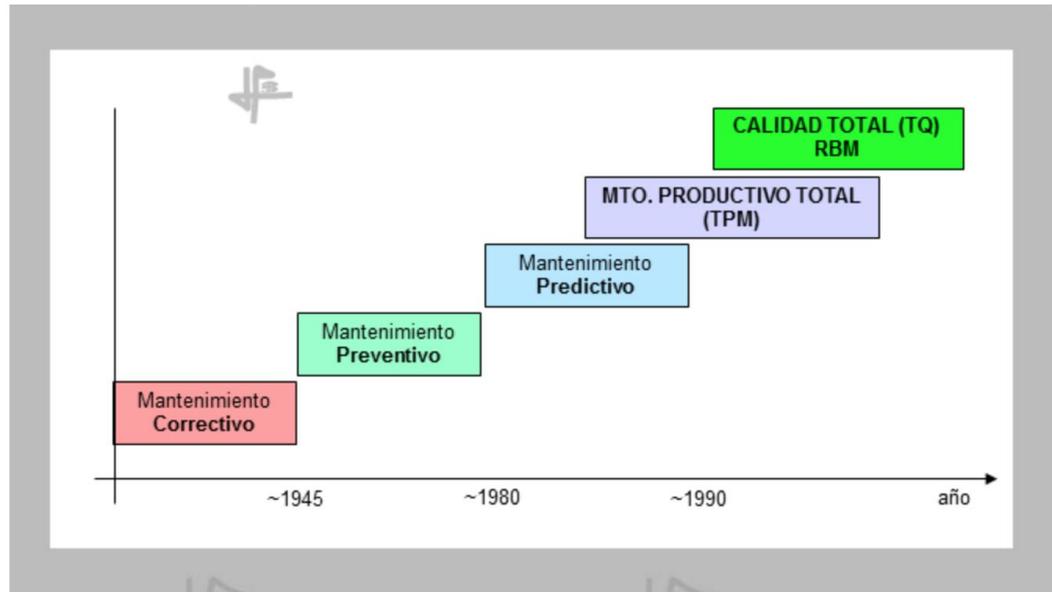
- Errores humanos
- La ausencia de mantenimiento
- Procesos de mantenimiento sin controles
- Aplicación de políticas de mantenimiento incorrectas

2.3.2. Mantenimiento correctivo

A este mantenimiento también se le conoce como de bomberos. Este tipo de mantenimiento solo se lleva a cabo en aquellos equipos o máquinas que ya han estado fallando con anterioridad o dejan de funcionar en su totalidad.

Realizar mantenimiento correctivo es considerado como una actitud pasiva frente al estado de los equipos de la empresa, esto en algunos casos es admisible (más no deseable) en equipos auxiliares que no paran o afectan directamente la producción de una planta.

Figura 5. **Evolución del mantenimiento industrial**



Fuente: *Mantenimiento: evolución histórica.*

http://www.tuveras.com/mantenimiento/mantenimiento_definicion.htm

Consulta: 1 de julio de 2018.

2.3.3. **Mantenimiento preventivo**

Por otro lado, el mantenimiento preventivo es aquel destinado a la conservación de equipos o instalaciones mediante la realización de revisión y reparación que garanticen su buen funcionamiento y fiabilidad a lo largo de su vida útil. El mantenimiento preventivo se realiza en equipos en condiciones de funcionamiento, el caso contrario del mantenimiento correctivo (también llamado mantenimiento de bombero) que repara aquellas máquinas que dejaron de funcionar o tienen daños.

El objetivo de este mantenimiento es que, según corresponda, los equipos o las instalaciones de la planta estén disponibles buena parte del tiempo para que el rendimiento sobre la inversión total de la maquinaria sea óptimo. Se aplica tomando como base una rutina de renovación de partes deterioradas de la máquina.

Algunas acciones del mantenimiento preventivo son: ajustes y calibración, limpieza, análisis de aceites, lubricación, reparaciones menores, cambios de piezas, entre otras.

El mantenimiento preventivo debe realizarse periódicamente, es decir, de acuerdo a una planificación en conjunto con los demás departamentos y áreas de la empresa para no interrumpir las operaciones de la misma.

El mantenimiento preventivo se divide en:

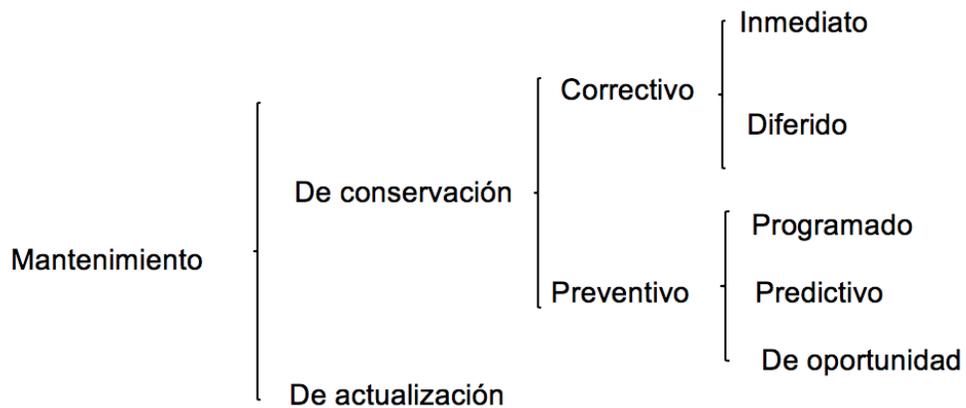
- Mantenimiento programado
- Mantenimiento predictivo
- Mantenimiento de oportunidad

El mantenimiento programado se caracteriza por realizarse en un determinado tiempo o después de cierto uso, como es el caso de los automóviles.

El mantenimiento predictivo se realiza a través de darle seguimiento a las condiciones de la maquinaria, a través de estas se determina el momento en que debe realizarse el trabajo.

El mantenimiento de oportunidad (como lo indica su nombre) se realiza aprovechando los períodos de tiempo en que no se utiliza la maquinaria.

Figura 6. **Clasificación del mantenimiento industrial**



Fuente: elaboración propia.

2.3.4. **Mantenimiento por indicadores**

Actualmente es común observar que en muchos de los departamentos de mantenimiento industrial se realice un control de gestión mediante la utilización de indicadores llamados *Key Performance Indicators* (KPI, por sus siglas en inglés) y por ser considerados indicadores claves se pueden calcular y monitorear a través de hojas de registro y software especializado.

Cabe destacar que existen muchos indicadores famosos que son aceptados sin discusión en algunas empresas. Aquí se pudiera estar empleando prácticas engañosas y peligrosas. Cualquier conjunto de medidas destacará oportunidades de mejora, pero no necesariamente serán eficientes,

demostrarán comportamientos incorrectos o estarán alineadas con los objetivos corporativos. Cada día los departamentos de mantenimiento industrial ganan mayor importancia para el logro de los objetivos estratégicos de las organizaciones. Entre las razones más importantes están los elevados costos de los activos (debido a los altos niveles de automatización) y la seguridad y salud ocupacional de los trabajadores junto a la protección del medio ambiente, tal como se mencionó en los objetivos del mantenimiento previamente.

Es necesaria la formulación de nuevas políticas y estrategias de mantenimiento para reducir sus costos y hacer a la empresa más competitiva dentro de la industria en la que se desenvuelve, pero también es muy importante evaluar su eficacia y su eficiencia.

Anteriormente el mantenimiento era considerado un mal necesario, en la actualidad el mantenimiento es clave para mejorar la rentabilidad de las operaciones, agregando valor y produciendo servicios mejorados e innovadores.

2.3.5. Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo es una técnica cuyo objetivo es pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una máquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, con base en un plan, justo antes de que falle. Así, el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo de vida del componente y de la máquina se maximiza.

El uso del mantenimiento predictivo consiste en establecer una perspectiva histórica de la relación entre la variable seleccionada y la vida del componente que se eligió. Esto se logra mediante la toma de lecturas (por

ejemplo, la temperatura o la vibración de un cojinete) en intervalos periódicos de tiempo hasta que el componente falle.

Algunos fabricantes de instrumentos y software para el mantenimiento predictivo pueden recomendar rangos y valores para reemplazar los componentes de la mayoría de los equipos, esto hace que el análisis histórico sea un paso opcional en muchas de las aplicaciones del mantenimiento predictivo.

Una vez determinada la factibilidad y conveniencia de realizar un mantenimiento predictivo a una máquina, el paso siguiente es determinar la o las variables físicas a controlar que funcionen como indicadores de la condición de la máquina.

El objetivo de esta parte es revisar en forma detallada las técnicas comúnmente usadas en el monitoreo según condición, de manera que sirvan de guía para su selección general. El monitoreo tiene como fin obtener el estado de salud de la máquina, de manera que pueda ser operada y mantenida con seguridad y economía.

Por monitoreo se entiende como la medición de una variable física que se considera representativa de la condición de la máquina y su comparación con valores que indican si la máquina está en buen estado o deteriorada.

Con la actual automatización de estas técnicas, se ha extendido la acepción de la palabra monitoreo también a la adquisición, procesamiento y almacenamiento de datos. De acuerdo con los objetivos que se pretende alcanzar con el monitoreo de la condición de una máquina debe distinguirse entre vigilancia, protección, diagnóstico y pronóstico.

- Vigilancia de máquinas: su objetivo es indicar cuándo existe un problema. Debe distinguir en qué condición se encuentra operando y puede ser buena y mala, y si es mala indicar cuán mala es.
- Protección de máquinas: a través de esta se busca evitar fallas catastróficas. Una máquina está protegida hasta cuando los valores que indican su condición llegan a valores considerados peligrosos.
- Diagnóstico de fallas: este método se utiliza para definir cuál es el problema específico que tiene o podría tener una máquina.
- Pronóstico de vida: tiene como objetivo estimar cuánto tiempo más podría funcionar la máquina sin riesgo de una falla de cualquier índole.

De unos años para acá, se ha incrementado el uso de mantenimiento predictivo mediante el análisis de vibraciones, control de desgastes, análisis del aceite o lubricante que ya se ha utilizado, ultrasonidos y el uso de equipos de termografía.

La cámara termográfica es un instrumento que facilita el análisis de condiciones de trabajo de los equipos, tanto en lo mecánico como en lo eléctrico en la industria. Esta cámara es una gran ayuda para el mantenimiento predictivo, ya que permite al personal visualizar los cambios de temperatura que no son perceptibles al ojo humano.

La cámara toma una fotografía de un área determinada, donde se desea analizar el cambio de temperatura. A través de dicha imagen, se hacen visibles las ondas electromagnéticas que no podrían verse a simple vista, ayudando así a comprender de mejor forma el estado del equipo y poder intervenir a tiempo.

Este equipo tiene varias aplicaciones, entre ellas destacan:

- Sistemas de techos
- Estructuras de edificios
- Sistemas mecánicos
- Aplicaciones aéreas
- Ensayos no destructivos
- Mantenimiento eléctrico
- Intercambiadores de calor

Figura 7. **Equipo de termografía**



Fuente: *Toma de termografía*. <http://francor.com.mx/estudios-de-termografia-infrarroja/>

Consulta: 1 de julio de 2018.

Otra de las herramientas que se utilizan en el mantenimiento preventivo es el ultrasonido. Dicha herramienta facilita los procedimientos de mantenimiento, desde el punto de vista del equipo y de la seguridad del personal.

El ultrasonido es un instrumento de medición física que emite ondas sonoras de baja frecuencia, que buscan atravesar los objetos que se atraviesen en el paso de dichas ondas. Se trata de un equipo que cuenta con diferentes accesorios para asegurar que las medidas tomadas a la maquinaria sean precisas y el ruido de otras máquinas o del ambiente interfiera en las lecturas que toma el equipo.

El equipo tiene la función de ayudar a escuchar los sonidos que no percibiría con facilidad el oído humano, además de amplificarlos, esto con el objetivo de analizar si existen fallas o podrían existir en un futuro cercano y con esto intervenir a tiempo la maquinaria.

Algunas aplicaciones del equipo de ultrasonido son:

- Electricidad
- Mecánica
- Tuberías

2.4. Instalaciones

A continuación, se explicará en forma breve cada instalación de trabajo dentro de la planta de enderezado y pintura.

2.4.1. Estaciones de trabajo

Para los diferentes trabajos que realiza la planta de enderezado y pintura se cuenta con equipo neumático (pulidoras y pistolas neumáticas) con sus respectivas tomas de aire comprimido, extractores de aire, iluminación, equipo de soldadura MIG y de punto, lámparas infrarrojas, entre otros equipos.

Según el trabajo que se está realizando, es el equipo con el que se cuenta en las estaciones de trabajo.

2.4.2. Bodegas

Se cuenta con una bodega para los diferentes insumos que la planta emplea para desarrollar sus labores y también para el almacenaje de las partes de vehículos que no necesitan enderezado o pintura. Por otro lado, se cuenta con un área para el almacenaje adecuado y preparación de los diferentes colores de pintura que se necesitan.

2.4.3. Maquinaria empleada

Para los trabajos de enderezado se utiliza equipo de soldadura MIG, equipo de pulir, equipos de enderezado y soldadoras de punto.

Para el caso de los trabajos de pintura se tienen cámaras de pintura, equipos para pulir, lámparas especializadas para el control de calidad y lijadoras neumáticas.

2.5. Equipos empleados por la planta

Según el trabajo a realizar, la planta puede emplear tres tipos de equipos:

- Equipo neumático
- Equipo eléctrico
- Otros equipos

Dichos equipos pueden emplearse en forma simultánea o individual.

2.5.1. Equipo neumático

La planta cuenta con dos compresores estacionarios, además de 130 tomas de aire comprimido para los equipos neumáticos.

- El compresor de aire estacionario consiste en una máquina con mayor capacidad que el portátil de que se habló anteriormente, la cual cumple la misma función, con la diferencia de que en la mayoría de estos compresores el fabricante integra una unidad de secado del aire para un mejor funcionamiento y también para minimizar la presencia de humedad en las tuberías, mangueras, uniones y equipos.

Figura 8. Compresores de aire estacionarios



Fuente: *Compresores Kaeser*. <http://yunfer.com/portfolio/compresores-aire-yunfer-kaeser/>
Consulta: 1 de julio de 2018.

- Pistola neumática: es un tipo de herramienta eléctrica, impulsada por aire comprimido, suministrada por un compresor de aire. Las herramientas neumáticas también pueden ser impulsadas por dióxido de carbono comprimido almacenado en pequeños cilindros, lo que permite la portabilidad. La mayoría de las herramientas neumáticas convierte el aire comprimido en trabajo con un motor neumático.

En comparación con sus equivalentes de herramientas eléctricas, son herramientas más seguras para funcionar y mantener, sin riesgo de

chispas, cortocircuitos o electrocución para el usuario, y tienen una mejor relación potencia/peso, lo que permite que una herramienta más pequeña y ligera pueda realizar la misma tarea.

Las desventajas que tienen son: la necesidad de un compresor de aire, tubos y acoplamientos neumáticos. La mayoría de las herramientas neumáticas deben operarse con una presión de aire comprimido de 4 a 6 bar.

Figura 9. **Pistola neumática**



Fuente: *Pistola neumática*. https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-415463172-llave-de-impacto-12-stanley-97-006-pistola-neumatica-_JM

Consulta: 1 de julio de 2018.

- La pulidora neumática: al igual que la pistola, la pulidora neumática emplea aire comprimido (entre 4 y 6 bar de presión) para su funcionamiento. Para la planta se utilizan pulidoras y lijadoras neumáticas en las fases de preparación de pintura y enderezado.

Figura 10. **Pulidora neumática**



Fuente: *Pulidora neumática*. <http://www.ciedecolombia.com/productos/pulidoras/>
Consulta: 1 de julio de 2018.

2.5.2. Equipo eléctrico

Además del equipo neumático, se tiene equipo eléctrico con el que se trabaja la parte del enderezado y el control de calidad. Algunos equipos empleados por la planta son: Soldadora MIG, *compu spot*, lámparas infrarrojas y extractores de aire.

La soldadora MIG es un proceso que fue desarrollado para soldar metales de espesor mayor a 0.25 pulgadas, haciendo uso de un gas inerte para su

protección de la atmósfera circundante. De ahí derivan las iniciales *Metal Inert Gas* (MIG, por sus siglas en inglés). Este tipo de soldadura consiste en mantener un arco de electrodo consumible de hilo sólido y la pieza que se va a soldar.

El arco y el baño de soldadura están protegidos mediante un gas inerte (generalmente argón). El electrodo que se emplea se alimenta continuamente por una pistola de soldadura. El uso de las soldaduras MIG ha ido creciendo debido a su creciente demanda por muchas empresas debido a la mínima cantidad de pérdidas materiales, su mayor productividad y la calidad del trabajo que se obtiene.

Figura 11. **Soldadora MIG**



Fuente: *Soldadora MIG*. https://articulo.mercadolibre.cl/MLC-441355388-soldadora-mig-200-amp-invermig-200-indura-envio-gratis-_JM
Consulta: 1 de julio de 2018.

Las lámparas infrarrojas son equipos especializados que se utilizan para el secado de pinturas y barnices. Se colocan inmediatamente después de la aplicación de pintura para secar y curar el acabado deseado.

Las lámparas de calor infrarrojas se colocan sobre la superficie con pintura fresca en un ángulo y distancia específicos. El calor intenso de las lámparas seca y cura el acabado cuando se utiliza de acuerdo con los tiempos de exposición recomendados.

Figura 12. **Lámpara infrarroja en funcionamiento**



Fuente: Lámpara IR. <http://www.alianzaautomotriz.com/noticias/tips-para-secado-por-infrarrojos/>
Consulta: 1 de julio de 2018.

Un *compu spot* consiste en un equipo para soldar y reparar golpes pequeños o medianos en diferentes partes de un vehículo. Su funcionamiento es parecido a una soldadora de punto.

Figura 13. **Compu spot**



Fuente: *Compuspot 900 Fusion*. <http://www.blackhawkcr.com/cps900fusion.asp>

Consulta: 1 de julio de 2018.

El *multi bench* es un equipo que aplica carga de tracción a las piezas que presentan golpes o daños para su enderezado y posterior pintura. Se caracteriza por ser una plataforma donde se puede colocar el vehículo y trabajar de forma cómoda sin necesidad de desmontar todas las piezas dañadas.

Figura 14. **Multi bench**

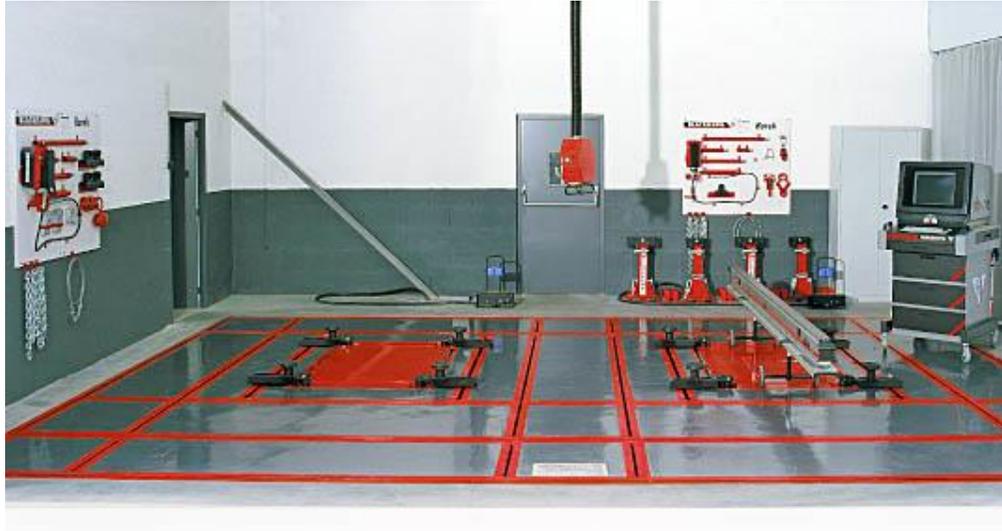


Fuente: *Multi Bench*. http://autolak.ru/images/catalog/item9/1_77.gif

Consulta: 1 de julio de 2018.

La plataforma Korek es un equipo que permite realizar trabajos de enderezado automotriz sin necesidad de una plataforma o elevador para colocar el vehículo. Cabe destacar que se necesita anclar el vehículo o las piezas a trabajar en los lugares adecuados, para asegurar su correcta reparación. Su funcionamiento es igual que el equipo anterior, es decir, se aplican cargas para enderezar las piezas dañadas.

Figura 15. **Plataforma Korek**



Fuente: *Plataforma Korek*. http://autolak.ru/images/catalog/item9/ico_korek_rama.jpg

Consulta: 1 de julio de 2018.

El extractor de aire es un equipo que permite la eliminación de polvo e impurezas del área de trabajo y de las piezas que están en proceso de trabajarse en la planta. Como su nombre indica, expulsa hacia el ambiente aire sucio, polvo, basuras, impurezas y otras partículas que podrían poner en riesgo el trabajo realizado en los vehículos o en las partes de este.

Figura 16. **Extractor de aire**



Fuente: *Extractor de aire*. <http://www.usiitalia.com/reference.php#automotive>

Consulta: 1 de julio de 2018.

2.5.3. Otros equipos

Cámaras de pintura: las cámaras de pintura son ambientes controlados para la aplicación y secado de las diferentes capas de pintura en un automóvil. Esto con el objetivo de evitar que caigan impurezas o polvo sobre las piezas y se mezclen con la pintura que se está aplicando. Estas cámaras funcionan a base de electricidad y gas licuado de petróleo (GLP).

Figura 17. **Cámaras de pintura**



Fuente: *Cámaras de pintura*. <http://www.usitalia.com/reference.php#automotive>

Consulta: 1 de julio de 2018.

Equipo de medición electrónico: también se tiene equipo de medición electrónico para los trabajos de enderezado, esto permite una mejor precisión al momento de analizar y reparar los diferentes golpes que presentan las piezas o los vehículos.

Figura 18. **Equipo de medición Shark**



Fuente: *Shark*. <http://www.blackhawkr.com/frame-measuring-shark.asp>
Consulta: 1 de julio de 2018.

2.6. Secuencia del proceso de enderezado y pintura

Se explicará como se prepara el proceso, la clasificación de los equipos necesarios y el diseño del trabajo.

2.6.1. Preparación

Luego del análisis de los daños del vehículo y la aprobación del presupuesto por parte del cliente y la empresa aseguradora, se comienza a trabajar en la reparación de las piezas.

Se comienza con el desmontaje de las piezas que no serán trabajadas, para su posterior almacenaje en la bodega de repuestos que no necesitan trabajo.

Luego, se desarmen las piezas que sí necesitan enderezado y pintura y se llevan al área que corresponda (enderezado, plásticos, marquilla, entre otros.) para su ingreso al proceso. Una vez terminada esa fase, el laboratorio de pintura comienza a trabajar en la preparación del color adecuado para la siguiente fase.

Al iniciar la fase de pintura, se preparan las piezas (o la carrocería del vehículo, según sea el caso) y se coordina con el laboratorio de pintura para tener los insumos listos, así como al personal encargado. Luego se inicia con el proceso de pintura, el cual varía según las piezas y el tamaño de estas (puede ser desde 45 minutos hasta tres horas).

Una vez pintadas las piezas, comienza el secado dentro de las mismas cámaras (ya que estas cumplen doble propósito: pintura y secado). Este proceso también varía según las piezas y el tamaño de estas.

El siguiente paso es un control de calidad para buscar posibles fallas o imperfecciones y corregirlas a tiempo (si fuera el caso). De haber errores, se regresa la pieza al área de preparación para su respectivo proceso. Si no hay errores, se continúa con el siguiente paso: el montaje.

Las piezas trabajadas son montadas en el vehículo, para luego colocar las piezas que no fueron trabajadas y enviar el vehículo al área de control de calidad.

En la última fase el vehículo es inspeccionado con equipo especial para determinar si existen fallas o errores en el trabajo realizado, si fuera el caso se notifica al área correspondiente para ser corregidas; si no existen errores, el vehículo es entregado al cliente.

2.6.2. Equipos empleados

Según sea el caso por trabajar, en los procesos de la planta se pueden emplear los siguientes equipos:

- Equipo neumático
- Equipo eléctrico
- Otros equipos

2.6.3. Diseño del trabajo

El diseño del trabajo lo define Harold Rush como: “la especificación de métodos, contenidos, métodos y la relación en los puestos de trabajo para satisfacer las necesidades tecnológicas y organizacionales como también los requisitos personales y sociales del titular de trabajo”⁸.

Además, la teoría de características laborales propuesta por Hackman & Oldham en 1976 dice: “el trabajo debe ser diseñado para tener cinco características básicas, que crean tres estados psicológicos críticos en las personas”⁹.

⁸ RUSH, Harold. *Job Design for Motivation*. 83 p.

⁹ HACKMAN, J. Richard; OLDHAM, Greg R. *Motivation through the design of work: test of a theory*. 250-279.

Las características antes mencionadas son:

- Variedad de habilidades: se refiere a la cantidad de habilidades y actividades necesarias para completar un trabajo determinado. Si una persona requiere utilizar una amplia variedad de habilidades, más satisfactorio será su trabajo.
- Identidad de las tareas: esta dimensión mide el grado que un trabajo requiere para su realización y las piezas identificables del mismo. Los trabajadores más satisfechos son aquellos que participan de principio a fin en una actividad.
- Significado de una tarea: esto se observa en el impacto y la influencia del trabajo. El trabajo es más satisfactorio si la gente cree que hace la diferencia y está aportando algo de valor a sus colegas, la organización o su comunidad.
- Autonomía: esto describe el valor de la elección individual y la discreción que hay en un trabajo. Más autonomía se traduce a más satisfacción. Por ejemplo, un trabajo será más satisfactorio si la gente se involucra en tomar decisiones, en lugar de solo seguir instrucciones u órdenes.
- Retroalimentación: se utiliza para medir el valor de la información que un empleado recibe sobre su rendimiento y el grado en que él o ella puede ver el impacto de su trabajo en la empresa u organización. Entre más personas hayan hablado sobre su rendimiento, más interesados estarán en hacer las cosas bien.

La teoría de características laborales propuesta por Hackman & Oldham en 1976 establece que los estados psicológicos críticos del diseño del trabajo son:

- La experiencia de la significatividad del trabajo: consiste en el grado en que la gente cree que su trabajo es importante, y que su trabajo es valorado y apreciado.
- La responsabilidad de la experiencia en los resultados del trabajo: es la medida en que las personas se sienten responsables de los resultados de su trabajo y por los resultados que han producido.
- Conocimiento de los resultados actuales de la actividad laboral: el grado en que la persona sabe qué tan bien lo está haciendo.

Con base en la explicación anterior, en la planta se han diseñado los puestos de trabajo de tal forma que el trabajador esté motivado y capacitado para el mismo, así como poder llevar a cabo su trabajo de forma ordenada y eficiente. Además, se le reconoce su trabajo cada bimestre con reconocimientos.

Al tener un diseño del trabajo óptimo, se minimiza la rotación innecesaria del personal en la empresa y se incentiva al crecimiento personal y profesional del trabajador.

2.7. Indicadores de la maquinaria

Los KPI son parámetros de medición que se aplican en muchas áreas de la industria y normalmente los establece cada empresa según sus necesidades y el trabajo que llevan a cabo.

Para el caso del mantenimiento industrial, primero deben establecerse criterios de medición para cada equipo, por ejemplo: desgaste, ruidos, temperatura, lubricación, entre otros. Una vez establecidos los parámetros, se deben realizar análisis estadísticos y determinar con herramientas de ingeniería cuándo están bajo control y cuándo no lo están.

El siguiente paso es la implementación e incorporación de los KPI a los registros de mantenimiento de cada equipo, además de la programación del mantenimiento que corresponde y su respectiva inspección y seguimiento diario, semanal o mensual, según sea el caso.

Actualmente, en la planta solo se cuenta con indicadores en tres equipos. Dichas máquinas cuentan con una computadora interna que analiza los patrones de uso, las horas de trabajo y el desgaste de sus componentes. Además, el mismo software le notifica al operador y al supervisor a través del panel de control una fecha aproximada del próximo mantenimiento, así como de partes de la maquinaria que fallan o presentan averías.

Para el resto de maquinaria se deben plantear los indicadores y los parámetros de control desde cero, para luego establecer la vida útil de las mismas, ya que dichas máquinas no cuentan con computadoras internas que realicen estos cálculos e informen del estado de estas al personal.

Una parte importante de este trabajo es la implementación de los indicadores en los diferentes equipos que emplea la planta de enderezado y pintura, tal como se describió en el capítulo uno.

3. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LOS EQUIPOS EMPLEADOS EN EL PROCESO DE ENDEREZADO Y PINTURA

3.1. Análisis de los equipos

Antes de realizar un plan de mantenimiento preventivo es importante analizar y determinar el estado actual de los equipos con los que cuenta la planta de enderezado y pintura para determinar sus condiciones de funcionamiento y, con base en ello, establecer los procedimientos que sean necesarios para que su operación sea óptima.

Además, a través de dicho análisis se establecerán los indicadores de cada maquinaria que serán de utilidad para el personal técnico y la gerencia.

En cuanto a los indicadores, actualmente no se cuenta con ellos en la planta de enderezado y pintura, por ello se establecerán acorde a los equipos y a las necesidades de la empresa.

La empresa cuenta con un listado de los equipos instalados en la planta de enderezado y pintura. En dicha lista se tiene una ficha técnica de cada máquina. Se hace necesario actualizar dicha lista con equipo adquirido en los últimos tres años y hacer correcciones en la información registrada en algunas fichas.

Después de varias inspecciones de los equipos junto al personal técnico se constató que los mismos funcionan correctamente y no presentan fallas

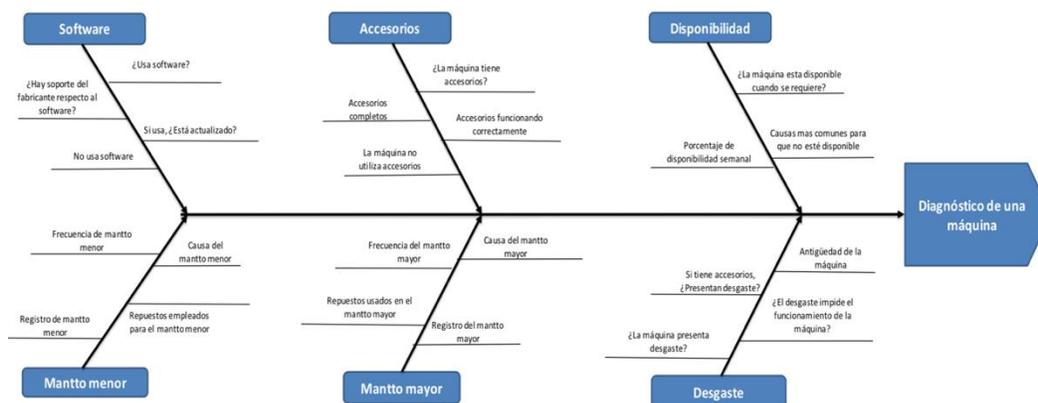
graves. Algunos tienen funcionamiento limitado debido al uso y el tiempo que tienen de estar instalados, otros presentan poco uso debido a que con el avance de la tecnología han caído en desuso.

Figura 19. **Tabla empleada en la evaluación de maquinaria**

Equipo	Categoría	Estado	Accesorios completos	Software	Desgaste	Mantto menor	Mantto mayor
Soldadora MIG	Eléctrico	80%	Si	No	Si	Si	No
Planta eléctrica	Eléctrico	70%	Si	No	Si	Si	Si
Lámpara IR	Eléctrico	75%	Si	No	Si	Si	No
Pulidora	Neumático	80%	Si	No	No	No	No
Cámara pintura	Otros	95%	Si	Si	No	Si	No

Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Diagrama de pescado empleado en la evaluación de maquinaria**



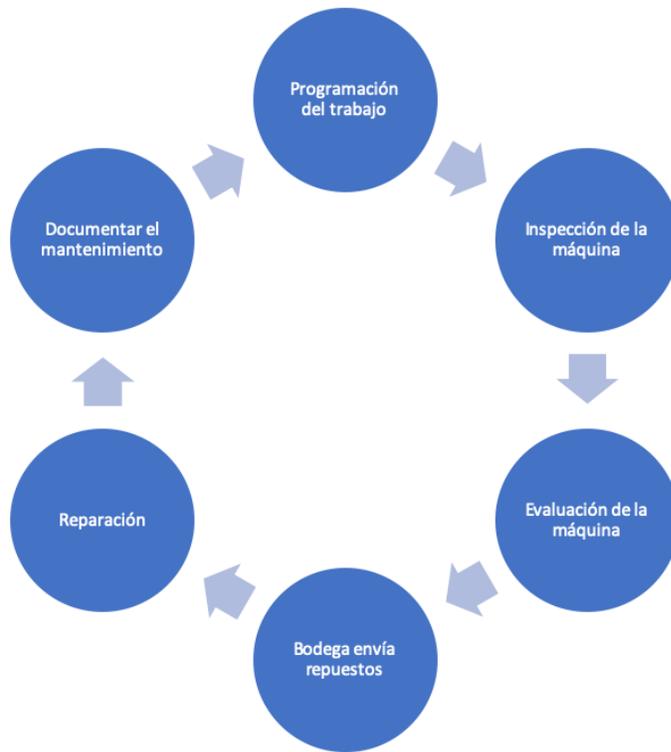
Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Proceso de mantenimiento correctivo**



Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Proceso de mantenimiento preventivo**



Fuente: elaboración propia.

3.1.1. **Clasificación de los equipos empleados en la planta**

Según las necesidades y los trabajos que se llevan a cabo en la planta de enderezado y pintura, se decidió clasificar a la maquinaria según sus características de funcionamiento en tres rubros diferentes:

- Equipo neumático
- Equipo eléctrico
- Otros equipos

3.1.1.1. Equipo neumático

La neumática es la tecnología que emplea el aire comprimido como modo de transmisión de la energía requerida para mover y hacer funcionar máquinas o mecanismos dentro de estas.

El aire es un fluido gaseoso y, al aplicarle una fuerza determinada, se comprime, y mantener esta compresión le permite devolver la energía acumulada cuando se expande, según lo establecido en la ley de los gases ideales.

El equipo neumático es toda aquella maquinaria que utiliza el poder del aire comprimido para su funcionamiento. Las herramientas neumáticas generalmente pueden entregar más poder a una carga de trabajo determinada, que las herramientas eléctricas. Además, son muy duraderas y más ligeras también, esto se debe a que no tienen un motor en su interior.

Algunas ventajas de trabajar con equipo neumático son:

- El aire se puede obtener fácilmente en cualquier lugar.
- El aire no es explosivo y no presenta riesgos para la seguridad industrial.
- Los elementos del circuito neumático pueden trabajar a velocidades altas y se pueden regular con facilidad.
- El trabajo con aire no daña los componentes de un circuito neumático.
- Los cambios de temperatura en un ambiente determinado no afectan de forma significativa el trabajo de los equipos neumáticos.
- Se pueden hacer cambios de sentido en los equipos y herramientas de forma instantánea.

Es indispensable contar con uno o más compresores para trabajar con equipo neumático, ya que son las máquinas que proveen el aire a la presión que las herramientas neumáticas requieren para su funcionamiento adecuado.

Un compresor es una máquina que toma aire del ambiente, le aplica presión y luego lo libera a través de una salida (generalmente con una manguera o por medio de tuberías) para diferentes propósitos. Cabe mencionar que los compresores se clasifican según su funcionamiento (la forma de intercambio de energía) o según su tamaño.

La clasificación según su funcionamiento es la siguiente:

- Compresor de desplazamiento positivo
- Compresor de émbolo
- Compresor de pistón

La clasificación según el tamaño de los compresores es:

- Compresor portátil
- Compresor estacionario

Para explicar el funcionamiento del compresor se hará una breve introducción al mismo.

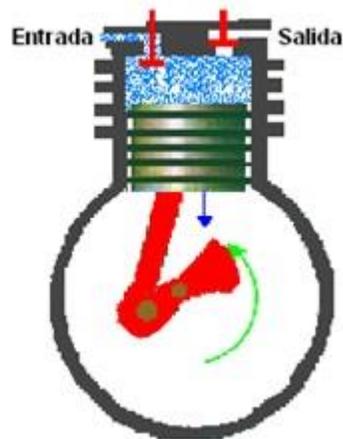
Un compresor es básicamente una máquina con un mecanismo pistón-biela-cigüeñal dentro de ella. Todos los compresores son accionados por alguna fuente de movimiento externa; lo más común es que estas sean motores (que pueden ser eléctricos o de combustión interna).

Una vez el motor hace girar el cigüeñal, el pistón desciende y crea un vacío en la cámara superior, este vacío actúa sobre la válvula de admisión (figura 23) que luego vence la fuerza ejercida por un resorte que la mantiene apretada a su lugar, posteriormente se abre el paso del aire desde el exterior para llenar el cilindro. El mismo vacío es el que se encarga de mantener la válvula de salida cerrada (figura 23).

Durante la carrera de descenso del pistón, todo el cilindro se llena de aire a una presión cercana a la presión externa. Luego, cuando el pistón comienza la carrera de subida, la válvula de admisión se cierra y la presión interna comienza a incrementarse y esta vence la fuerza del muelle de recuperación de la válvula de escape o salida (véase la figura 24), con lo que el aire es obligado a salir del cilindro a una presión mayor a la que existe en el conducto de salida.

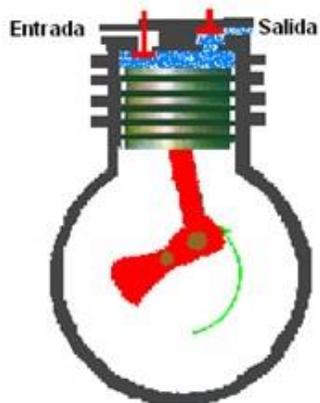
En la mayoría de los compresores estacionarios se cuenta con un sistema de secado de aire, debido a que el mismo suele tener un porcentaje de humedad y esto representa un problema para el funcionamiento correcto del equipo neumático. En el secador se elimina casi toda la humedad presente en el aire y la misma se almacena en un tanque de condensado, el cual debe limpiarse diariamente.

Figura 23. **Funcionamiento básico de un compresor, entrada de aire**



Fuente: *Entrada de aire*. http://www.starline.com.mx/site/?page_id=161
Consulta: 1 de agosto de 2018.

Figura 24. **Funcionamiento básico de un compresor, salida de aire**



Fuente: *Salida de aire*. http://www.starline.com.mx/site/?page_id=161
Consulta: 1 de agosto de 2018.

Figura 25. **Compresor Kaeser estacionario modelo SK 15 T**



Fuente: *Kaeser SK15 T*. <https://www.kinequip.com/kaeser-sk-series-15t-20t-rotary-screw-compressor-with-integrated-dryer-15hp-20hp.html>
Consulta: 1 de agosto de 2018.

Como cualquier maquinaria empleada en la industria, los compresores deben estar sujetos a inspecciones frecuentes y a mantenimiento preventivo. Para la mayoría de los casos, el mantenimiento se lleva a cabo de forma anual y las inspecciones suelen hacerse de forma semanal o mensual. A menos que el fabricante del compresor indique otra forma y frecuencia para el mantenimiento en los manuales técnicos.

3.1.1.2. Equipo eléctrico

El equipo eléctrico es todo aquel que para su funcionamiento requiere de energía eléctrica y dentro del mismo cuenta con componentes que la alteran o transforman, según sea necesario.

Las herramientas eléctricas son aquellas que para su funcionamiento necesitan de electricidad, pero en realidad se les debería llamar máquinas-herramientas, ya que son herramientas a las que al aplicarles un motor se convierten en máquinas. Normalmente dependen de un motor (que suele ser eléctrico) y se pone en funcionamiento gracias a la electricidad.

Muchas herramientas eléctricas tienen varias velocidades de trabajo, esto se debe a que los motores internos disponen de un regulador de velocidad, que para estos casos puede ser eléctrico o puede tratarse de una caja reductora de velocidad (es decir, un mecanismo de ruedas dentadas dentro de la herramienta).

Uno de los equipos empleados en la planta de enderezado y pintura automotriz es la soldadora MIG (por sus siglas en inglés *Metal Inert Gas*). Este es un proceso de soldadura por arco, el cual se lleva a cabo bajo un gas protector utilizando un electrodo consumible. El arco se produce mediante un electrodo formado por un hilo continuo y las piezas metálicas a unir, quedando este protegido de la atmósfera circundante por un gas inerte (también llamado gas noble).

La soldadura MIG utiliza un electrodo de metal que sirve como material de relleno para la soldadura y el mismo se consume durante el proceso de soldadura. Cabe mencionar este tipo de soldadura fue desarrollado para metales no ferrosos, aunque en la actualidad sí puede aplicarse a diferentes tipos de acero.

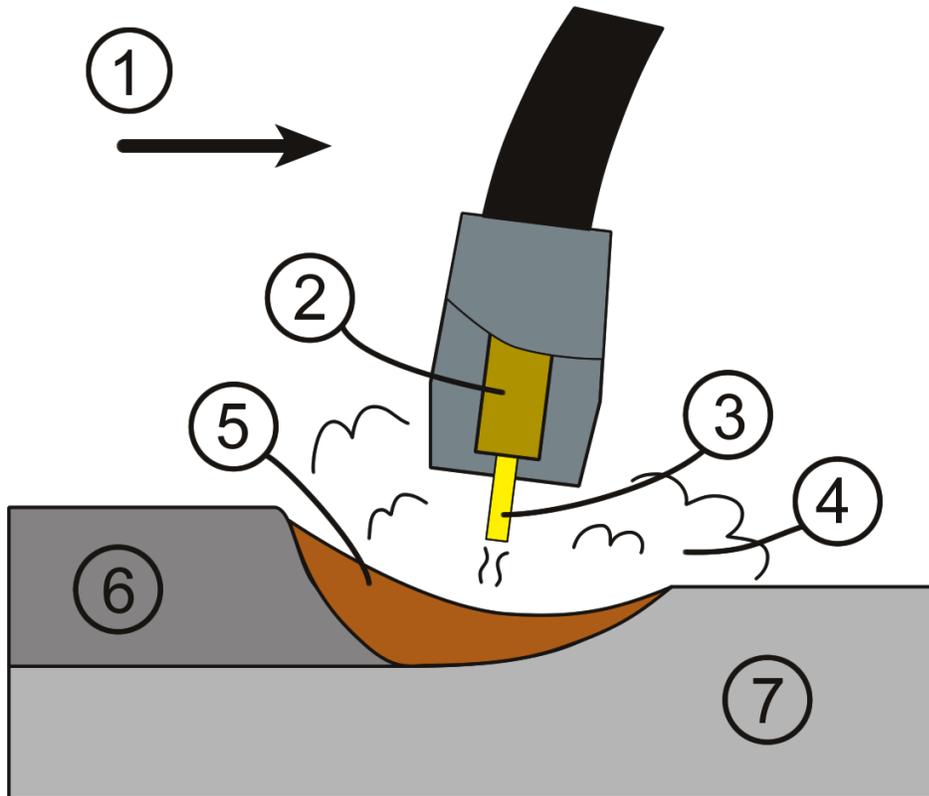
El argón es el gas primario utilizado en la soldadura MIG. Al igual que con cualquier gas, es importante manejarlo de forma correcta para evitar accidentes dentro del área de trabajo.

Figura 26. **Proceso de soldadura MIG con argón**



Fuente: *Soldadura MIG*. <https://soldadoras.com.ar/soldadoras-mig/>
Consulta: 15 de agosto de 2018.

Figura 27. Esquema de la soldadura MIG



Explicación de la figura 27:

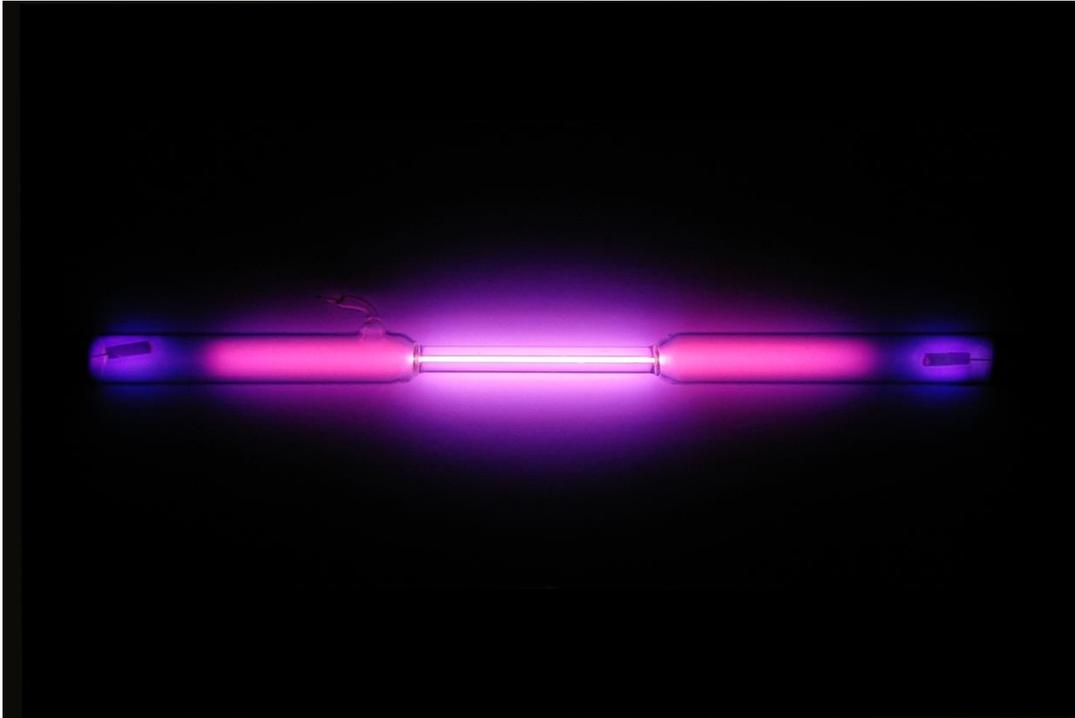
1. Dirección de la soldadura
2. Tubo de contacto
3. Hilo
4. Atmósfera de gas protector
5. Baño de fusión
6. Cordón de soldadura
7. Metal de base

Fuente: *Weld area*.

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/10/GMAW_weld_area.png

Consulta: 15 de agosto de 2018.

Figura 28. **Argón**



Fuente: *Argón*. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/87/Argon_discharge_tube.jpg

Consulta: 15 de agosto de 2018.

Además de la soldadora MIG, en la planta se emplean lámparas infrarrojas. Dichas lámparas se utilizan para el secado de la pintura automotriz.

La lámpara infrarroja es una fuente compacta de calor con una potencia que varía entre 50 y 500 watts (aunque en el mercado se pueden encontrar lámparas mas potentes). Durante su funcionamiento, la carcasa de la lámpara alcanza altas temperaturas con facilidad, es por ello que en el soporte de la lámpara y en los alrededores de los bombillos no debe haber ningún material plástico, de lo contrario se fundirá.

Los rayos infrarrojos que alcanzan la superficie de cualquier objeto son absorbidos por estos y luego convertidos en energía térmica. Los dispositivos de este tipo calientan los ambientes y superficies de manera mas eficiente que muchas lámparas convencionales y las pérdidas de energía son mínimas.

Algunas ventajas de trabajar con lámparas infrarrojas son:

- Funcionamiento silencioso
- Alta eficiencia
- Tamaño compacto
- Instalación simple
- Amigable con el medio ambiente

Al igual que el equipo neumático, todas las herramientas eléctricas empleadas en la industria deben estar sujetas a inspecciones y a mantenimiento preventivo. Esto con el objetivo de alargar su vida útil, que funcionen de manera óptima y evitar accidentes o cortocircuitos.

Generalmente, las inspecciones se hacen antes de emplear los equipos eléctricos como medida de seguridad y el mantenimiento debe hacerse según las especificaciones que el fabricante del equipo detalla en los manuales de funcionamiento.

Figura 29. **Lámpara infrarroja**



Fuente: *Lámpara IR para secado automotriz.*

http://www.mgmdenia.wordpress.com/2017/12/13/infrarrojos/lampara-infrarroja-para-secado-de-pintura-automotriz-d_nq_np_571101-mlm20280898949_042015-f/

Consulta: 15 de agosto de 2018.

3.1.1.3. Otros equipos

Se les llama así a los equipos que no entran en las dos categorías explicadas en las secciones anteriores debido a sus características y funcionamiento. Algunos ejemplos que se pueden mencionar son:

- Cámaras de pintura
- Equipos de medición electrónicos

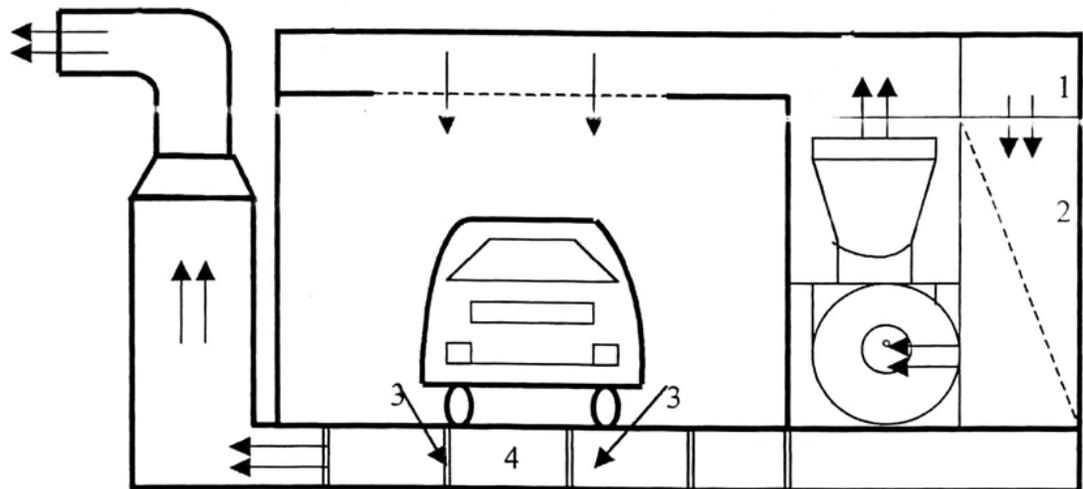
Una cámara de pintura es un espacio que cubre un área completamente cerrada con una presión de aire determinada por donde circula aire caliente a una velocidad adecuada para poder pintar y secar en el menor tiempo posible la pintura aplicada en un vehículo o en partes de éste.

La cámara de pintura se compone de las siguientes partes:

- El área de pintado
- Un impulsor y quemador de aire caliente
- Filtros de aire
- Controladores electrónicos
- Válvulas neumáticas para distribuir el aire comprimido

Las cámaras son ambientes controlados para la aplicación y posterior secado de las diferentes capas de pintura automotriz. Cabe destacar que la aplicación de la pintura se realiza de forma manual por un operador. Su funcionamiento básico se explica en la siguiente figura.

Figura 30. Diagrama de una cámara de pintura automotriz



Fuente: *Esquema cámara*. <http://www.launchiberica.com/wp-content/uploads/2016/12/cabina-pintura-esquema.png> Consulta: 15 de agosto de 2018.

Mientras la cámara se está utilizando, las turbinas de impulsión y las de extracción entran a funcionar para realizar un barrido interno de aire limpio, esto con el objetivo de eliminar el polvo que existe en el aire que la cámara toma y filtra del ambiente (pasos uno y dos de la figura 30).

Una vez filtrado, el aire se envía a la parte superior de la cámara, desde donde fluye hacia la parte inferior de la misma (pasos tres y cuatro de la figura 30). Además, como una medida de precaución, la cámara cuenta con filtros en las entradas y salidas de aire. Posteriormente, el aire se expulsa al ambiente por medio de un extractor.

Mientras se lleva a cabo el trabajo de pintura, el interior de la cámara mantendrá una presión constante para evitar que entre polvo y otras partículas.

Para el mantenimiento de las cámaras de pintura instaladas en la planta, se cuenta con un software integrado a cada cámara que se encarga de calcular los diferentes indicadores de la maquinaria. Además, dichos indicadores están al alcance del personal operativo a través de pantallas táctiles y, en el caso de la gerencia, el software se encuentra conectado a las computadoras correspondientes por medio de la red interna de la empresa.

Cabe mencionar que para el uso de las cámaras se requiere de gas propano, por ello es importante que se observe el estado de las mangueras y conexiones al tanque, la protección de este y la presión del gas.

Por otro lado, en la planta se emplean equipos electrónicos para tomar medidas de las diferentes piezas que se trabajan en un vehículo. Esto con el fin de calcular la cantidad de masilla o pintura que se necesita, además de determinar si una pieza determinada de un vehículo puede repararse en la planta o si debe reemplazarse.

Básicamente son equipos con un sistema de medición electrónico computarizado que se basa en la tecnología de ultrasonido para lograr mejoras en la velocidad de trabajo y en la productividad de la planta, así como precisión en los datos. El equipo cuenta con un brazo mecánico que se extrae y dicho brazo va tomando las medidas conforme va saliendo de la maquina.

Para su mantenimiento se recomienda la limpieza frecuente, evitar que les caigan líquidos, mantener el software de funcionamiento actualizado y almacenarlo en un lugar limpio y seco.

Figura 31. **Equipo de medición electrónica**



Fuente: *Shark*. <http://www.blackhawkcr.com/frame-measuring-shark.asp>

Consulta: 1 de julio de 2018.

3.1.2. Listado de equipos a incluir en el plan de mantenimiento preventivo

Luego de analizar los equipos instalados, las fichas técnicas, el historial de mantenimiento disponible y los manuales de los fabricantes, se estableció una lista de los equipos que estarán sujetos a mantenimiento preventivo.

Siguiendo la clasificación del capítulo anterior, se determinó el siguiente listado de equipos:

Equipo neumático:

- Dos compresores estacionarios
- 25 pulidoras neumáticas
- 10 pistolas de pintura
- 50 mangueras para aire comprimido
- 130 tomas de aire comprimido

Equipo eléctrico:

- Nueve soldadoras MIG
- Cuatro lámparas infrarrojas
- Cuatro equipos multibench
- Nueve extractores de aire
- 12 equipos compu spot
- Una panta eléctrica de emergencia

Otros equipos:

- Tres cámaras de pintura
- Dos equipos de medición electrónica

3.2. Elaboración de los procesos de mantenimiento preventivo

Como se mencionó anteriormente, el mantenimiento preventivo consiste en las labores o trabajos que se ejecutan en la maquinaria antes de que ocurra algún desperfecto en la misma.

Por otro lado, es importante realizar una ficha técnica y una lista de los equipos que serán parte del plan de mantenimiento preventivo.

En la planta de enderezado y pintura ya se elaboró la lista de los equipos que tiene instalados, sin embargo, se hace necesario actualizarla. Posterior a ello se elaboró la lista de los equipos que serán parte del plan de mantenimiento preventivo.

Para el caso de la ficha técnica, se hace necesario incluir el número de serie, la frecuencia de mantenimiento y el código con el que se registra en el inventario de la empresa.

Para que el mantenimiento preventivo funcione se necesita que en el personal operativo, de mantenimiento y de gerencia se establezca la cultura del mantenimiento, es decir, que sea parte de su rutina diaria realizar inspecciones, llevar un registro actualizado de los servicios prestados a la maquinaria, contar con un inventario de los repuestos más utilizados, utilizar el equipo de protección personal mientras se hacen trabajos de mantenimiento, señalar las áreas donde se esté trabajando, entre otras acciones.

Establecer la cultura de mantenimiento no ocurre de un día para otro, es un proceso que lleva tiempo y recursos. Pero al llegar a este nivel, la gestión del mantenimiento se hace de una forma fácil y cómoda para la empresa, ya que esto le permite tener un mejor control del presupuesto, de la productividad de la planta y de la maquinaria instalada, se reducen los accidentes y se minimizan los paros por fallas técnicas.

En virtud de lo anterior se establecerán procesos, rutinas e indicadores según las especificaciones del fabricante de la maquinaria o según las necesidades de la empresa, siguiendo la clasificación explicada previamente.

En el caso de los equipos neumáticos es importante considerar que al finalizar los turnos de trabajo las herramientas y equipos deben desconectarse de la fuente de aire comprimido, así como colocar todo en su lugar. También deben desmontarse los accesorios de las herramientas neumáticas y, en el caso de las pistolas de pintura, deben limpiarse por lo menos una vez por semana.

Para los equipos eléctricos se necesita ser cuidadoso con la manipulación de estos, debido a que pueden ser un riesgo de accidentes dentro de la planta. Además, se debe revisar el estado del cableado y los paneles de mando de cada equipo, esto con el fin de evitar accidentes, algún corto circuito o una descarga eléctrica al operador de la maquinaria.

Y, por último, para otros equipos se debe tomar en cuenta que, a pesar de ser de bajo mantenimiento, esto no quiere decir que no deban inspeccionarse con cierta frecuencia. Es importante prestarle atención al software de las cámaras de pintura para tener un control del estado de sus componentes y del gas propano que se utiliza para su funcionamiento. Y para el caso de los medidores electrónicos, se debe tener el cuidado de no guardarlos en lugares húmedos, exponerlos a la intemperie, tener el software actualizado y que los cables y el tablero de mando estén limpios y en buen estado.

3.2.1. Equipo de alimentación

El equipo de alimentación dentro de la planta es aquel empleado para alimentar aire comprimido y electricidad a los diferentes equipos instalados y se divide en dos grupos:

- Alimentación neumática
- Alimentación eléctrica

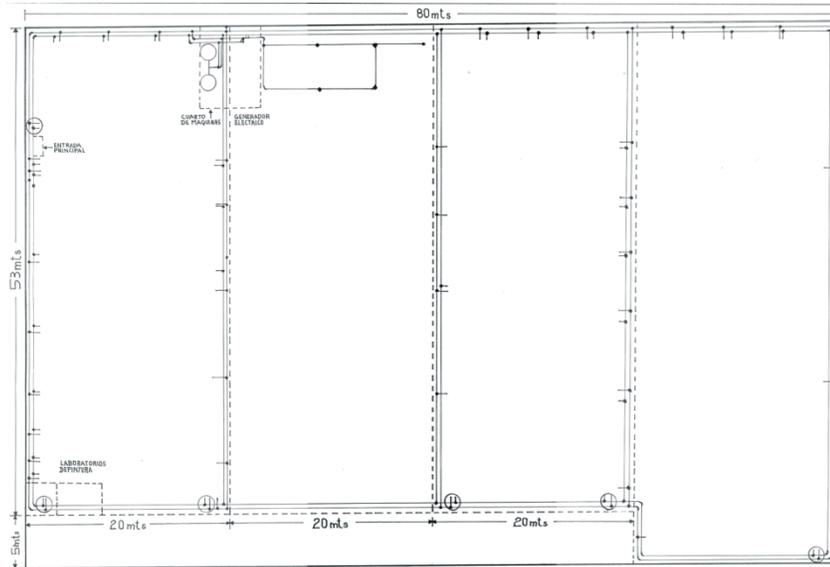
Cabe mencionar que, en el mediano plazo, la empresa planea instalar bancos de alimentación eléctrica y neumática en cada estación de trabajo de la planta.

3.2.1.1. Línea de alimentación neumática

Las conexiones de aire comprimido en la planta se realizan a través de tomas de aire con acoples a una presión de 110 libras/pulgada cuadrada (psi).

Se cuenta con una tubería instalada con dos salidas de aire en cada estación de trabajo en la planta. Una de ellas por medio de acoples y otra por medio de llave, aunque esta última no se utiliza desde hace varios años.

Figura 32. Diagrama neumático de la planta



Fuente: elaboración propia.

Indicadores de mantenimiento del sistema neumático:

- Tomas de aire en buen estado
- Conexiones sin fugas
- Estado de los acoples
- Purga diaria del sistema neumático

Tabla I. **Medición de los indicadores de mantenimiento del sistema neumático**

Indicador	Frecuencia de inspección	Parámetro de control	Rango de control
Estado de las tomas de aire	Semanal	Estado de la conexión	Acoples funcionan correctamente
Fugas en las tomas de aire	Semanal	Estado de la conexión	Sin fugas
Estado de los acoples	Semanal	Desgaste	Desgaste máximo de 40%
Purga del sistema neumático	Diaria	Registro diario	La purga se realiza tres veces al día

Fuente: elaboración propia.

3.2.1.2. Línea de alimentación eléctrica

La alimentación eléctrica se lleva a cabo a través de cableado dentro de tubería especializada y de cabezas de aspiración que proveen 110 y 220 voltios (según sea necesario) en las diferentes estaciones de trabajo de la planta de enderezado y pintura. Además, es importante no saturar las conexiones eléctricas y evitar que haya líquidos, pintura o algún otro material cerca de los tomacorrientes para evitar accidentes y corto circuitos.

3.2.2. Cámaras de pintura

Para el caso de las cámaras de pintura instaladas en la empresa, estas cuentan con un software a través del cual se le informa al operador y la

gerencia de producción el estado de la maquinaria. Esto no significa que no deba dársele mantenimiento a las cámaras de pintura, esto solo es una forma mas fácil de llevar los registros, el estado de la maquinaria y controlar los indicadores establecidos por la empresa.

Para un mantenimiento mas eficiente se decidió dividir los procedimientos e indicadores en diferentes partes de la cámara de pintura, las cuales se detallan a continuación.

3.2.2.1. Quemadores de propano

Para el funcionamiento de las cámaras de pintura se emplea gas propano (GLP), esto con el fin de distribuir el calor en toda el área de trabajo luego de aplicadas las capas de pintura en la pieza o en el vehículo completo.

Dada la importancia de una distribución uniforme del calor en toda la cámara, el mantenimiento de los quemadores también juega un papel importante para el desempeño de la planta. Además, es importante que el tanque de gas propano, la tubería de distribución y el manómetro se protejan en el exterior de la planta. Esto con el fin de evitar fugas de gas, accidentes o incendios.

Luego de varias observaciones y análisis, se recomienda hacer una pérgola que proteja el tanque, o bien, construir una caseta de metal. El mantenimiento preventivo de los quemadores se debe llevar a cabo de forma anual.

3.2.2.2. Luminarias

Cada cámara de pintura cuenta con 24 luminarias instaladas. Las mismas funcionan con diodos emisores de luz (LED) como las que suelen encontrarse en oficinas o áreas donde se requiere buena iluminación.

El mantenimiento preventivo para las luminarias consiste en inspecciones mensuales y los indicadores de mantenimiento son:

- Limpieza de las luminarias y los paneles de estas
- Inspeccionar el estado de las lámparas

Tabla II. **Medición de los indicadores de mantenimiento de las luminarias**

Indicador	Frecuencia de inspección	Parámetro de control	Rango de control
Limpieza de luminarias y paneles	Mensual	Paneles sin restos de pintura	Visibilidad al 90% dentro de la cámara
Estado de las lámparas	Mensual	Estado de cada lámpara	Lámparas funcionando correctamente

Fuente: elaboración propia.

3.2.2.3. Infraestructura

La infraestructura de cada cámara se compone de las puertas de acceso, los paneles exteriores, los paneles interiores y vidrios templados en las puertas.

En el caso de la infraestructura de las cámaras es importante hacer inspecciones en las puertas y ventanas de las cámaras, así como en las manijas y en los paneles interiores para asegurarse de que no haya piezas flojas o con daños para evitar problemas durante su funcionamiento. Además, se debe revisar que las puertas sellen correctamente al cerrarse.

Cada cámara cuenta con tres puertas (dos en los extremos y una en el costado izquierdo) y cada puerta tiene un panel de vidrio templado. La infraestructura requiere de mantenimiento preventivo basado en inspecciones mensuales y para ello se establecieron los siguientes indicadores de mantenimiento:

- Las puertas cierran bien y sellan el aire dentro de la cámara
- Paneles internos en buen estado
- Paneles externos en buen estado
- Vidrios en buen estado

Tabla III. **Medición de los indicadores de mantenimiento de infraestructura**

Indicador	Frecuencia de inspección	Parámetro de control	Rango de control
Puertas	Mensual	Estado de los cerrojos	Puertas cierran sin necesidad de forzarlas
Paneles internos	Mensual	Estado de los paneles	Paneles sin agujeros. Daños máximos 2%
Paneles externos	Mensual	Estado de los paneles	Paneles sin agujeros. Daños máximos 2%
Vidrios	Mensual	Estado de los vidrios	Vidrios sin rajaduras

Fuente: elaboración propia.

3.2.2.4. Válvulas neumáticas

Cada cámara se encuentra equipada con dos válvulas neumáticas, las cuales se encargan de distribuir el aire comprimido que es suministrado a la cámara hacia dos tomas de aire, una en cada extremo de la cámara. El funcionamiento es similar a una llave de paso de agua potable.

Dichas válvulas no alteran la presión del aire debido a que no es necesario para operar las pistolas neumáticas o de pintura dentro de las cámaras.

Las válvulas neumáticas necesitan mantenimiento preventivo de forma anual y la empresa utilizará estos indicadores de mantenimiento:

- Lubricación de los componentes internos de la válvula
- Conexiones de aire (entrada y salida)
- Limpieza de los componentes de las válvulas

Tabla IV. **Medición de los indicadores de mantenimiento de válvulas neumáticas**

Indicador	Frecuencia de inspección	Parámetro de control	Rango de control
Lubricación	Anual	Unidad de mantenimiento de válvulas	Lubricación dentro del rango especificado por fabricante
Conexiones de aire	Anual	Estado de la conexión	Aire a presión correcta (110 psi)
Limpieza	Anual	Estado de la conexión	Aire fluye a presión correcta y sin residuos

Fuente: elaboración propia.

3.2.2.5. Extractores

Cada cámara de pintura está equipada con extractores de aire en la parte superior, los cuales se encargan de eliminar sustancias que pueden dañar el trabajo de pintura y secado que se realiza en las cámaras.

Para su funcionamiento, se emplean dos servomotores, los cuales se ajustan automáticamente a la velocidad de trabajo de la cámara, con el objetivo de hacer eficiente el uso de la energía eléctrica.

Los filtros se deben revisar semanalmente y reemplazarlos cada dos semanas, aunque si la carga de trabajo ha sido alta para los equipos, se hace necesario cambiarlos cada semana. Por otro lado, los servomotores instalados requieren de mantenimiento preventivo anual y el software de las cámaras de pintura los monitorea constantemente. Más adelante se hará una explicación de los extractores de aire instalados en algunas estaciones de trabajo de la planta.

Tabla V. **Medición de los indicadores de mantenimiento para los extractores de las cámaras de pintura**

Indicador	Frecuencia de inspección	Parámetro de control	Rango de control
Filtros de aire	Semanal	Software de la cámara de pintura	Filtros sin basura
Servomotor	Anual	Software de la cámara de pintura	Rendimiento del motor está arriba del 90%

Fuente: elaboración propia.

3.2.3.1. Líneas neumáticas

Cada estación de trabajo cuenta con dos tomas de aire comprimido, las cuales funcionan por medio de acoplamientos para mangueras de 3/8 de pulgada de diámetro. Se estableció como indicador de mantenimiento que cada mes se deberán revisar dichos acoplamientos para determinar si es necesario cambiarlos o no.

3.2.3.2. Líneas eléctricas

Además de las tomas de aire, cada estación cuenta con tomacorrientes de 110 y 220 voltios para conectar los diferentes equipos de trabajo que se requieran.

Para este caso los indicadores establecidos establecen que basta con no saturar las conexiones eléctricas y evitar que les caigan líquidos o pintura a las mismas, así como dejar todos los equipos desconectados al final de cada jornada de trabajo.

3.2.3.3. Mangueras para herramientas neumáticas

Actualmente la empresa cuenta con mangueras de 3/8 de pulgada de diámetro para proveer el aire comprimido que utilizan las herramientas neumáticas (pulidoras, pistolas para pintar, entre otras), pero se observa que las mismas están deterioradas y algunas presentan reparaciones improvisadas (chapuces), lo cual representa un peligro para el trabajador o para el personal de mantenimiento.

Además, a través del plan de mantenimiento se propone la creación de un código de colores para las mangueras según el área dentro de la planta a la que pertenecen, esto con el fin de identificarlas fácilmente y evitar que las mismas no estén en su lugar.

La implementación de este código de colores se hará a mediano plazo, ya que el mismo requiere de comprar mangueras nuevas para toda la planta. Por ello se debe evaluar el estado de cada una y de esta forma se irá programando la compra correspondiente, para cambiarlas gradualmente.

El código de colores quedará de la siguiente forma:

Tabla VI. **Código de colores para las mangueras de aire comprimido**

Área de trabajo	Color de manguera
Pulidos	Naranja
Preparado	Negro
Enderezado	Gris
Armado	Azul
Alineación y balanceo	Rojo
Lavado	Amarillo
Recepción de vehículos	Verde

Fuente: elaboración propia.

Por ultimo, es necesario que las mismas se desconecten de las fuentes de aire comprimido y se almacenen correctamente al final de cada turno. De esta forma se evita que se dañen cuando no están en uso. Además, se deben realizar inspecciones una vez al mes y reemplazarlas si fuese necesario.

Los indicadores de mantenimiento preventivo para las mangueras de aire son:

- Mangueras desconectadas al final de cada turno.
- La manguera no presenta reparaciones improvisadas o fisuras.
- Inspección de las terminales de la manguera una vez al mes (acoplamientos).

Tabla VII. **Medición de los indicadores de mantenimiento para las mangueras de aire**

Indicador	Frecuencia de inspección	Parámetro de control	Rango de control
Mangueras desconectadas	Diaria	Mangueras en su lugar	Mangueras en su lugar
Estado de la manguera	Mensual	Estado de la manguera	Daño máximo a la manguera 10%
Estado de las terminales de la manguera	Mensual	Estado de terminales	Terminales funcionan bien y aire fluye a 110 psi

Fuente: elaboración propia.

3.2.3.4. Soldadoras tipo MIG

Como se explicó anteriormente, las soldadoras tipo MIG que se emplean en la planta utilizan el gas noble argón, dicho gas es distribuido por medio de tuberías desde los cilindros hasta los equipos para soldar.

Los equipos denominados *compu spot* son soldadoras de punto, con un funcionamiento similar a las soldadoras MIG, excepto que estas soldadoras no utilizan un gas inerte sino solo electricidad para cumplir su propósito.

El mantenimiento de las soldadoras MIG y *compu spot* debe llevarse a cabo de forma anual.

Figura 34. **Propuesta de hoja de inspección de mantenimiento para soldadoras MIG**

REGISTRO DE INSPECCIÓN DE EQUIPOS		
Equipo: _____	Hora inicio: ____:____	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; font-size: small;"> Instrucciones: Marque un <input type="checkbox"/> si la inspección fue satisfactoria, de lo contrario marque con una X </div>
Marca: _____	Hora final: ____:____	
Código: _____		
Fecha: ____/____/____		
Parámetros - Indicadores: Estado del cableado y fuente de alimentación eléctrica Estado del panel de mando Cantidad del material de aporte Estado de los manómetros Lubricación de soldadoras de brazo aéreo Cilindros de Argón asegurados y cerrados al no estar en uso Estado de los accesorios	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Nombre del técnico: _____ Observaciones: _____ _____ _____ _____ _____ _____ _____
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> MANTENIMIENTO CORRECTIVO <input type="checkbox"/> Hora: ____:____ </div>		
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; font-size: small;"> Instrucciones (2): Si detecta un problema que necesite mantenimiento correctivo, por favor justifique en observaciones y seleccione la casilla correspondiente </div>		
Nombre del técnico: _____	Vo. Bo. Jefe: _____	
Firma: _____	Firma: _____	

Fuente: elaboración propia.

3.2.3.5. Extractores

Los extractores de aire son importantes para el desarrollo del trabajo en las diferentes áreas de la planta ya que evitan que polvo, hojas secas o basura caigan en las áreas de trabajo de la empresa.

Es importante establecer inspecciones de los extractores cada tres meses, para establecer el buen funcionamiento de estos y evitar que los paneles de fibra de vidrio que están en el interior caigan al suelo o sobre algún trabajo que se esté

realizando. También cabe destacar que cada extractor cuenta con un motor eléctrico trifásico, el cual está sujeto a mantenimiento anual. Esto implica rebobinado, lubricación y limpieza.

Al realizar inspecciones y mantenimiento a los extractores se necesita equipo de protección personal (EPP) para los trabajadores, debido a los objetos que pueden estar dentro de los extractores y porque dentro de los filtros hay fibra de vidrio. Un EPP básico para este tipo de trabajo consiste en: lentes de seguridad, guantes, mascarilla y botas industriales.

El mantenimiento preventivo debe hacerse cada dos meses en los extractores de aire y de forma anual en los motores trifásicos.

dependen del tipo de compresor y, en algunos casos, de lo que establece el fabricante en los manuales técnicos.

Para el caso de los compresores portátiles se recomienda inspeccionarlos antes y después de su uso y darles mantenimiento preventivo de forma anual. Esto implica cambio de filtros de aire y de aceite, control de la lubricación, inspección del motor eléctrico y los acoplamientos de salida de aire.

Los compresores estacionarios requieren de inspecciones cada mes, así como un mantenimiento preventivo anual, según lo explica el fabricante en el manual técnico. Además, se deben revisar y cambiar los filtros de aire y de secado, así como revisar la lubricación interna de la máquina y la salida de aire hacia la tubería de distribución.

En algunos casos, el fabricante provee: repuestos, inspecciones, reparaciones y mantenimiento preventivo basado en un contrato y cláusulas de servicio post venta.

Para el caso de la planta, el fabricante de los compresores se encarga de proveer los servicios de mantenimiento preventivo y correctivo a los dos compresores. Esto a través de un contrato que contempla las diferentes cláusulas el servicio, los repuestos, la mano de obra y el seguimiento de los diferentes trabajos.

Cabe destacar que la empresa implementará los siguientes indicadores de mantenimiento para fines de control interno:

- Filtros de aire
- Unidad de secado del aire

- Unidad de mantenimiento de cada compresor
- Lubricación interna
- Fuente de alimentación eléctrica
- Salida de aire comprimido
- Manómetros
- Presión de salida del aire
- Purga de agua acumulada en el secador

Figura 36. **Propuesta de hoja de inspección de mantenimiento para los compresores**

REGISTRO DE INSPECCIÓN DE EQUIPOS													
Equipo: _____ Marca: _____ Código: _____ Fecha: ____/____/____	Hora inicio: ____:____ Hora final: ____:____	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> Instrucciones: Marque un <input type="checkbox"/> si la inspección fue satisfactoria, de lo contrario marque con una <input checked="" type="checkbox"/> </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="padding: 2px;">Nombre del técnico:</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">Observaciones:</td> </tr> <tr><td style="height: 20px;"> </td></tr> </table>	Nombre del técnico:	Observaciones:									
Nombre del técnico:													
Observaciones:													
Parámetros - Indicadores: Purga del secador de aire Purga de las tuberías del sistema de aire comprimido Limpieza general Luminarias en buen estado	<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 15px; height: 15px;"> </td></tr> </table>												
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> MANTENIMIENTO CORRECTIVO <input type="checkbox"/> Hora: ____:____ </div>													
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> Instrucciones (2): Si detecta un problema que necesite mantenimiento correctivo, por favor justifique en observaciones y seleccione la casilla correspondiente </div>													
Nombre del técnico: _____ Firma: _____	Vo. Bo. _____ Jefe: _____ Firma: _____												

Fuente: elaboración propia.

3.2.4.2. Planta de generación eléctrica

En la planta de enderezado y pintura se cuenta con un generador eléctrico de emergencia. Si en caso fallara el suministro de energía eléctrica, el generador tiene una capacidad de 380 kVA (kilovoltio amperio). La máquina funciona a base de combustible diésel. Está configurada para arrancarse una vez por semana durante dos horas, esto con el fin de darle uso con cierta frecuencia y que no se dañe por falta de este.

El mantenimiento preventivo del generador eléctrico de emergencia debe ejecutarse de forma anual.

Figura 37. Propuesta de hoja de inspección de mantenimiento para la planta de generación eléctrica

REGISTRO DE INSPECCIÓN DE EQUIPOS													
Equipo: _____ Marca: _____ Código: _____ Fecha: ____/____/____	Hora inicio: ____:____ Hora final: ____:____	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; font-size: small;"> Instrucciones: Marque un <input type="checkbox"/> si la inspección fue satisfactoria, de lo contrario marque con una X </div>											
Parámetros - Indicadores: Filtros de aire <input type="checkbox"/> Filtros de diesel <input type="checkbox"/> Filtros de aceite <input type="checkbox"/> Niveles de aceite <input type="checkbox"/> Inyectores de diesel sin fugas <input type="checkbox"/> Aislante térmico en escape <input type="checkbox"/> Limpieza de radiador <input type="checkbox"/> Limpieza de aspas <input type="checkbox"/> Luminarias en buen estado <input type="checkbox"/>	<table border="1" style="width: 100%; height: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="padding: 2px;">Nombre del técnico:</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">Observaciones:</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;"> </td></tr> </table>	Nombre del técnico:	Observaciones:										
Nombre del técnico:													
Observaciones:													
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> MANTENIMIENTO CORRECTIVO <input type="checkbox"/> Hora: ____:____ </div>													
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; font-size: x-small;"> Instrucciones (2): Si detecta un problema que necesite mantenimiento correctivo, por favor justifique en observaciones y seleccione la casilla correspondiente </div>													
Nombre del técnico: _____ Firma: _____	Vo. Bo. Jefe: _____ Firma: _____												

Fuente: elaboración propia.

3.2.5. Luminarias especializadas

Las luminarias especializadas son equipos diseñados con el objetivo de generar calor y aplicarlo a un proceso determinado.

3.2.5.1. Lámparas infrarrojas

Como se explicó anteriormente, las lámparas infrarrojas se utilizan para secar los diferentes trabajos realizados en el área de pintura automotriz de forma rápida y eficiente. Dicho equipo cuenta con cuatro paneles que tienen tres lámparas cada uno y son ajustables según la altura y la cantidad de calor que se necesite en el trabajo realizado. Las lámparas utilizan conexiones eléctricas de 220 voltios para su funcionamiento. El mantenimiento preventivo debe hacerse cada seis meses.

Figura 38. **Propuesta de hoja de inspección de mantenimiento para lámparas infrarrojas**

REGISTRO DE INSPECCIÓN DE EQUIPOS			
Equipo: _____	Hora inicio: ____: ____	Instrucciones: Marque un <input type="checkbox"/> si la inspección fue satisfactoria, de lo contrario marque con una X	
Marca: _____	Hora final: ____: ____	Nombre del técnico: _____ Observaciones: _____ _____ _____ _____ _____ _____	
Código: _____			
Fecha: ____/____/____			
Parámetros - Indicadores: Estado de la espiga y los rodos Estado del cable Estado del panel de mando Estado de las bombillas Limpieza de los paneles y bombillas	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
MANTENIMIENTO CORRECTIVO <input type="checkbox"/> Hora: ____: ____			
Instrucciones (2): Si detecta un problema que necesite mantenimiento correctivo, por favor justifique en observaciones y seleccione la casilla correspondiente			
Nombre del técnico: _____	Vo. Bo. Jefe: _____		
Firma: _____	Firma: _____		

Fuente: elaboración propia.

3.3. **Diseño de los registros de mantenimiento**

Actualmente en la empresa se tienen registros de mantenimiento de años anteriores que se elaboraron a mano y luego en computadora, pero no se contaba con un formato en específico ni con espacio para firma de supervisores o jefatura ni para anotar observaciones y problemas presentados en la maquinaria.

Por ello se elaboraron dos tipos de ficha. Una está diseñada para ser colocada en un lugar visible del equipo y la otra se utilizará en los archivos del

departamento de mantenimiento de la empresa, junto con las fichas técnicas de cada equipo.

Asimismo, se propone a la empresa que los registros se conserven por un período de 10 años, para un control detallado de los diferentes procedimientos de mantenimiento y por si fuese necesario hacer algún reclamo de garantía a los fabricantes.

Figura 39. **Propuesta de ficha de mantenimiento preventivo para los archivos de la empresa**

Ficha de trabajos de mantenimiento preventivo						
Equipo: _____	Marca: _____	Área: _____	Código: _____			
Frecuencia del servicio: _____				Firma jefe y/o supervisor: _____		
	Tipo de mantenimiento	Hora inicio:	Hora final:	Observaciones del técnico:	Firma del técnico:	
Fecha del mantenimiento: _____	P <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>	_____	_____	_____	_____	
Fecha del mantenimiento: _____	P <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>	_____	_____	_____	_____	
Fecha del mantenimiento: _____	P <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>	_____	_____	_____	_____	
Fecha del mantenimiento: _____	P <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>	_____	_____	_____	_____	
Fecha del mantenimiento: _____	P <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>	_____	_____	_____	_____	
Fecha del mantenimiento: _____	P <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>	_____	_____	_____	_____	
Fecha del mantenimiento: _____	P <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>	_____	_____	_____	_____	
Fecha del mantenimiento: _____	P <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>	_____	_____	_____	_____	
Fecha del mantenimiento: _____	P <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>	_____	_____	_____	_____	
Fecha del mantenimiento: _____	P <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>	_____	_____	_____	_____	
Fecha del mantenimiento: _____	P <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>	_____	_____	_____	_____	
Fecha del mantenimiento: _____	P <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>	_____	_____	_____	_____	
Fecha del mantenimiento: _____	P <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/>	_____	_____	_____	_____	

Fuente: elaboración propia.

3.3.1. **Equipo neumático**

Los equipos neumáticos que se utilizan en la planta de enderezado y pintura estarán sujetos a mantenimiento preventivo en diferentes meses del año, la mayoría de estos se llevarán a cabo de forma anual. Por otro lado, los indicadores establecidos se deben cumplir, en su mayoría, de forma mensual, esto se refiere a inspecciones de rutina.

3.3.2. **Equipo eléctrico**

Los diferentes equipos eléctricos que se utilizan en la planta estarán sujetos a mantenimiento preventivo e inspecciones en diferentes meses del

año. En la mayoría de los casos se deben llevar a cabo cada mes y el mantenimiento preventivo cada seis meses.

3.3.3. Otros equipos

Los otros equipos que se utilizan en la empresa estarán sujetos a labores de mantenimiento con menor frecuencia que varios equipos neumáticos o eléctricos, sin embargo, esto no implica que no estén sujetos a inspecciones con cierta frecuencia o mantenimiento durante el año. La ventaja de estos equipos es el software que el fabricante ha incorporado a los equipos, ya que esto facilita la gestión y el control del mantenimiento que requieren los mismos.

En estos equipos se hace necesario una inspección cada dos semanas, así como el control de los cambios realizados a los mismos y las alertas o avisos que el software incorporado realice al personal operativo o técnico.

Es importante destacar que cada ficha de mantenimiento debe estar forrada con plástico para protegerla de polvo y pintura que pueda caerle. Además, se facilita escribir y borrar con marcador si fuese necesario.

Figura 40. **Propuesta de ficha de mantenimiento preventivo**

Ficha de mantenimiento preventivo		Equipo:	Neumático <input type="checkbox"/>
Equipo:	_____	Eléctrico <input type="checkbox"/>	
Marca:	_____	Otros <input type="checkbox"/>	
	Código: _____		
Fecha:	_____	Firma del técnico:	_____
Observaciones: _____			

Fecha:	_____	Firma del técnico:	_____
Observaciones: _____			

Fecha:	_____	Firma del técnico:	_____
Observaciones: _____			

Fecha:	_____	Firma del técnico:	_____
Observaciones: _____			

Firma del jefe y/o Supervisor: _____			

Fuente: elaboración propia.

3.4. **Propuesta de diseño del área de mantenimiento**

Se elabora un análisis de varias propuestas al área de mantenimiento de la empresa.

3.4.1. **Área necesaria**

Actualmente en la empresa ya se cuenta con un departamento de mantenimiento industrial, el cual cuenta con un área designada, una jefatura,

personal asignado al mismo, archivos de mantenimiento de años anteriores, herramientas y un *stock* de los repuestos y materiales más utilizados en las diferentes labores de la empresa. Sin embargo, en los últimos tres años el departamento se ha convertido en bodega provisional de otros materiales y de objetos que no se usan con frecuencia. Esto provocó que el espacio de trabajo se redujera considerablemente y que el área no se mantenga en orden.

Para que la empresa cuente con un área adecuada es necesario trasladar a una bodega acorde los materiales que se guardaron de forma provisional ahí, para luego ordenar y limpiar todo el departamento para su correcto funcionamiento.

3.4.2. Herramientas

Para un correcto mantenimiento preventivo (y un eventual correctivo) se hace necesario dotar de herramientas adecuadas al personal encargado del mismo. Según un sondeo realizado en el departamento de mantenimiento, las herramientas y equipos más utilizados son los siguientes:

- Desarmadores Phillips y de castigadera
- Llaves Stanley de diferentes medidas
- Alicates
- Navajas o cuchillas
- Linternas led
- Cinta de aislar
- Alambre de amarre
- Soldadora MIG
- Material de aporte para soldadora MIG
- Gas para soldadora MIG (argón)

- Equipo de carpintería
- Herramientas eléctricas (taladro, sierras, entre otras)

Cabe destacar que, en el caso de algunas máquinas, se puede necesitar de ciertas herramientas especializadas. En ese caso los fabricantes de la maquinaria suelen proveerlas.

Actualmente el departamento de mantenimiento se encuentra abastecido de las herramientas antes mencionadas y de los repuestos más utilizados en las diferentes labores de mantenimiento que se realizan en la maquinaria instalada.

3.4.3. Diseño de iluminación

Para llevar a cabo el trabajo de mantenimiento preventivo en la maquinaria instalada en la planta es importante que el personal cuente con la iluminación adecuada al momento de trabajar, esto con el fin de que el personal técnico y operativo pueda desempeñar bien sus funciones sin forzar la vista y, dicho sea de paso, evitar accidentes en el lugar de trabajo.

Cuando se hace necesario hacer trabajos de mantenimiento en el área de planta, la empresa cuenta con la iluminación correcta instalada, aunque no está de más que el personal cuente con linternas y lámparas portátiles para una mejor iluminación del interior de las máquinas al momento de darles mantenimiento. Asimismo, se recomienda tener lámparas extras en el departamento de mantenimiento para un mejor desempeño del personal.

Para el caso de los compresores y la planta eléctrica de emergencia, se hace necesario llevar iluminación adicional (ya sean linternas o lámparas

portátiles mas grandes) para compensar la iluminación que proveen las luminarias instaladas en dichas áreas.

3.4.4. Control de ruido

Para el caso del ruido y la protección que se requiere, es importante destacar que el daño en la audición del personal es a largo plazo. Por ello es importante que se le haga ver al trabajador que el uso de protectores auditivos es importante si estará expuesto a mucho ruido en períodos largos de tiempo durante su jornada laboral.

Para el caso concreto de mantenimiento preventivo en la planta, son pocos los escenarios donde se hace necesario el uso de protectores auditivos, siendo estos:

- Limpieza de ciertas áreas de la planta durante el horario laboral
- Trabajos de mantenimiento en los motores de los extractores de aire
- Trabajos de mantenimiento en la planta eléctrica de emergencia
- Montaje o desmontaje de maquinaria
- Purga del sistema neumático
- Labores de carpintería

3.5. Análisis de costos

Una parte importante para el desarrollo de un plan o de un proyecto determinado es el presupuesto que se necesita para llevarse a cabo. Es por ello que en esta sección se hará un análisis, un presupuesto estimado y un estudio de los costos que implica para la empresa la implementación de un plan de mantenimiento preventivo.

En el ámbito del software, no se hace necesaria una inversión. Basta con utilizar Microsoft Excel y Microsoft Project. Dichos programas ya se encuentran instalados en las computadoras empleadas por la empresa.

3.5.1. Costo del plan de mantenimiento

El primer paso para analizar los costos involucrados en el plan de mantenimiento es realizar un presupuesto para tener una mejor idea de los recursos que se necesitan en un período determinado de tiempo. Para este caso, el presupuesto se hará para un año contemplando los diferentes mantenimientos y servicios que la maquinaria instalada requiere.

El departamento de mantenimiento de la planta está integrado por un jefe de mantenimiento, dos técnicos, dos jardineros y dos conserjes.

Tabla VIII. Costo de mano de obra mensual

Puesto	Cantidad	Sueldo individual(Q)	Total (Q)
Jefatura	1	8,000.00	8,000.00
Técnico	2	4,200.00	8,400.00
Jardinero	2	4,000.00	8,000.00
Conserje	2	4,000.00	8,000.00
Total	7		32,400.00

Fuente: elaboración propia.

Para el pago de sueldos, la empresa invierte Q. 32,400 al mes, esto quiere decir que se necesitan Q. 453,600 anualmente para dicho rubro. Para calcular este dato se toma la sumatoria mensual de sueldos y se multiplica por los 14 pagos que se hacen anualmente, siguiendo esta formula:

$$\text{Costo anual} = \sum \text{Sueldos} * 14$$

Tabla IX. **Gastos anuales por servicios en la planta**

Servicio	Gasto anual (Q)
Agua potable	120,000.00
Energía eléctrica	420,000.00
Telefonía e internet	84,000.00
Total	624,000.00

Fuente: elaboración propia.

Por ultimo, existe un rubro dentro del presupuesto de la empresa destinado a otros gastos, el cual es para realizar compras que no estaban programadas al momento de elaborar el presupuesto. Dicho rubro asciende a Q.15,000.

3.5.2. Costo de repuestos

Luego de hacer el presupuesto estimado de un año en cuanto a recursos humanos y los servicios, se realizó un sondeo en el departamento de mantenimiento, jefatura de producción y bodega para determinar los repuestos y/ materiales que se compran con mayor frecuencia en la empresa.

Después de dicho sondeo se concluyó que los repuestos y materiales más comprados para la maquinaria instalada en la planta son:

- Filtros de aire
- Filtros de aceite
- Filtros de fibra de vidrio

- Acoples para mangueras y otros equipos neumáticos
- Gas propano (GLP)
- Aceite y/o grasas lubricantes
- Gas para soldadora MIG (argón)
- Combustible diésel
- Materiales eléctricos

Posteriormente se cotizó con los diferentes proveedores que tiene la empresa los costos de los repuestos enumerados anteriormente y se determinó un costo total aproximado de Q. 50,500 para un año.

Tabla X. **Gastos en repuestos durante el año 2018**

Mes	Gasto (Q)
Enero	7,647.16
Febrero	10,735.86
Marzo	2,001.39
Abril	9,408.08
Mayo	2,948.42
Junio	5,985.24
Julio	3,211.24
Agosto	2,859.80
Septiembre	1,150.00
Octubre	1,890.00
Noviembre	1,381.10
Diciembre	1,100.00
Total	50,318.29

Fuente: elaboración propia.

3.5.3. Costo proyectado para el plan de mantenimiento en un año

Según las cifras en el inciso anterior, se realizó una proyección de los costos en los que la empresa incurrirá al implementar el plan de mantenimiento preventivo.

Tabla XI. **Proyección de costos en un año para el plan de mantenimiento preventivo**

Rubro	Costo (Q)
Mano de obra	453,600.00
Repuestos	50,500.00
Servicios	624,000.00
Otros gastos	15,000.00
Total	1,143,100.00

Fuente: elaboración propia.

Con base en los dos incisos anteriores, la empresa necesita realizar una inversión anual aproximada de Q. 1,145,000.00 para la ejecución del plan de mantenimiento preventivo para la maquinaria instalada en la planta.

Por otro lado, el costo mensual del plan de mantenimiento preventivo para la planta asciende a Q. 95,258.33 y, debido al cambio del modelo y la gestión del mantenimiento en la maquinaria y los equipos, esto representa una mejora significativa, por ello se considera que el plan de mantenimiento preventivo es viable.

Cabe destacar que los valores mencionados anteriormente pueden variar significativamente si la carga de trabajo en las diferentes máquinas aumenta o disminuye durante el año.

4. DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

4.1. Plan de acción

Para que el plan de mantenimiento preventivo sea exitoso se necesita establecer objetivos en conjunto dentro de la planta, además de ello se debe contar con métodos para evaluar si dichos objetivos se están cumpliendo o no.

En este plan se establecen las responsabilidades de tres departamentos dentro de la empresa, los cuales se harán cargo de capacitar e informar al personal de las diferentes áreas de la empresa sobre la cultura del mantenimiento, sus ventajas y sus objetivos, además de la programación y ejecución de las labores de mantenimiento y, por último, se elaboró un plan de seguridad industrial para el departamento de mantenimiento y su personal.

Asimismo, se busca que la información correspondiente a la programación de las labores de mantenimiento se encuentre disponible para consultas dentro de la empresa. Esto con el objetivo de que el personal esté informado de qué áreas de trabajo están fuera de servicio y para evitar accidentes.

En las siguientes secciones se explica el plan de acción y las acciones a tomar según el departamento y jefatura que corresponde.

4.1.1. Implementación del plan de mantenimiento preventivo

Antes de la implementación del plan de mantenimiento se hace necesario contar con objetivos en común entre la jefatura de producción, el departamento de ingeniería y métodos y el departamento de mantenimiento de la planta. Esto con el objetivo de que las labores de las tres áreas se lleven a cabo de forma conjunta y sin interrumpir o entorpecerse unas a las otras.

El primer objetivo es mejorar y mantener la productividad y la calidad del servicio que brinda la planta; el segundo es alargar la vida útil de la maquinaria instalada; el tercero es minimizar el impacto en la productividad de la planta; el cuarto es establecer la cultura del mantenimiento en la planta en el corto plazo y en otras áreas de la empresa en el mediano y largo plazo, y el quinto es establecer la trazabilidad interna en el departamento de mantenimiento.

4.1.2. Entidades encargadas

A continuación se detallan los procedimientos que deberán seguir las diferentes entidades dentro de la planta y la empresa para la implementación y funcionamiento del plan de mantenimiento preventivo.

4.1.2.1. Jefatura de producción

La jefatura de producción de la planta de enderezado y pintura se encargará de hacer las gestiones que corresponden a las autorizaciones para compras de los diferentes repuestos que se necesitan, la contratación y capacitación del personal, la programación de turnos de trabajo, la compra de maquinaria (si hubiese necesidad), la evaluación del desempeño del personal y la supervisión de las labores de mantenimiento.

4.1.2.2. Departamento de ingeniería y métodos

El departamento de ingeniería y métodos está a cargo de los controles de calidad en los diferentes servicios que la empresa presta a sus clientes. Por ello dicho departamento se hará cargo de velar porque la calidad se cumpla en el mantenimiento de la planta, la trazabilidad interna y los indicadores (KPI) que se establecieron en el capítulo anterior, siguiendo los lineamientos establecidos en el plan de acción y por otras instancias internas de la empresa que dicho departamento considere que sean necesarias. Además, el departamento se hará cargo de realizar las auditorías externas en el ámbito del mantenimiento preventivo.

4.1.2.3. Departamento de mantenimiento

En el departamento de mantenimiento se hará la mayoría de las acciones que el plan requiere, entre ellas se pueden mencionar: la programación de los diferentes mantenimientos e inspecciones en la maquinaria instalada, el montaje o desmontaje de equipos y las capacitaciones con el personal para implementar la cultura del mantenimiento dentro de la planta de enderezado y pintura.

Asimismo, cada año el departamento llevará a cabo auditorías internas para evaluar objetivamente los indicadores de mantenimiento, las normas de seguridad industrial y el desempeño del personal a su cargo.

Como se mencionó antes, la cultura de mantenimiento es un proceso que lleva tiempo, no es algo que se logra de un día para otro. Es por lo que se busca que se implemente dentro de la empresa a lo largo de un año para que, en un futuro, las labores de producción y mantenimiento puedan llevarse a cabo

de manera conjunta y sin interrumpirse una a la otra. Además, la cultura de mantenimiento minimiza los accidentes dentro de la planta y se observa un ambiente de trabajo ordenado y limpio.

Por último, una gran ventaja es que no se necesita de una gran inversión en cuanto a software para la programación y ejecución del mantenimiento preventivo en la planta. El mismo se puede ejecutar utilizando Microsoft Excel para el ámbito de costos, el personal encargado, la compra de repuestos y las herramientas necesarias, y Microsoft Project para la programación y duración de los diferentes trabajos e inspecciones a la maquinaria instalada.

4.2. Departamento de mantenimiento de equipo

Se detallan las labores que el departamento de mantenimiento de la planta tendrá a su cargo a partir de la implementación del plan.

4.2.1. Trazabilidad de fallas en la maquinaria

La trazabilidad es un concepto definido por la organización internacional para la estandarización (ISO) como: “la propiedad del resultado de una medida o del valor de un estándar donde este pueda estar relacionado con referencias especificadas, usualmente estándares nacionales o internacionales, a través de una cadena continua de comparaciones todas con incertidumbres especificadas.”¹⁰

¹⁰ Organización Internacional de Normalización. *International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology*. https://www.bipm.org/utls/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012.pdf Consulta: Agosto de 2018.

Además, al momento de implementar el modelo de trazabilidad en una empresa u organización existen dos tipos de trazabilidad:

- Trazabilidad interna
- Trazabilidad externa

Para el caso del plan de mantenimiento preventivo, solo se aplicará la trazabilidad interna, la cual se define a continuación.

La trazabilidad interna se define como la ruta que va dejando un producto o servicio dentro de la empresa u organización, con los registros del personal que interviene en el mismo, las herramientas, la maquinaria, los cambios que podría presentar, entre otros. Todo ello con el fin de que, si existiese un cambio o problema en el producto o servicio final, la empresa puede rastrear con facilidad el punto en el tiempo dentro del proceso de mantenimiento donde ocurrió el problema.

Para el caso de la planta de enderezado y pintura, la trazabilidad interna se hará a través de los registros de mantenimiento que se explicaron y plantearon en el capítulo anterior, además de las fichas técnicas y los manuales de cada equipo.

Es decir, a través de registros detallados con fecha, firma y observaciones del personal encargado se puede determinar con facilidad si hubo alguna falla que no se solventó en un momento determinado y cómo pudiese ser solucionada con facilidad.

4.2.2. Orden e identificación de los repuestos

Los repuestos explicados en el capítulo anterior son los que la planta más utiliza en el mantenimiento de los diferentes equipos instalados. Es recomendable establecer una clasificación según el equipo al que se le hará mantenimiento, es decir determinar la frecuencia con la que los repuestos se cambian en la maquinaria para facilitar su almacenaje y búsqueda en la bodega de materiales y en el inventario de repuestos. Por ello se propone un sistema de colores, de tal forma que se almacene en cajas con etiquetas de los colores que correspondan a la frecuencia de uso de cada repuesto. El código quedará de la siguiente forma:

Tabla XII. **Propuesta de código de colores para almacenaje de los repuestos de la maquinaria**

Frecuencia de uso	Color de etiqueta
Alta	Amarillo
Media	Azul
Baja	Verde

Fuente: elaboración propia.

4.2.3. Orden e identificación de las herramientas

Para tener acceso fácil y rápido a ciertas herramientas, es recomendable que las mismas se ordenen según el uso de cada una en cajas metálicas de diferentes colores. De esta forma se ubican fácilmente al momento de ser necesarias y se evita que se caigan en caso de sismo o terremoto. Asimismo, se recomienda al personal del departamento de mantenimiento que cada seis

meses se haga una limpieza a profundidad de las herramientas de trabajo, esto con el fin de evitar daños por óxido y corrosión.

Tabla XIII. **Propuesta de organización de herramientas de trabajo**

Uso de las herramientas	Almacenaje
Mantenimiento mayor	Caja roja
Mantenimiento menor	Caja negra
Carpintería	Tablero de herramientas número 1
Soldadura MIG	Tablero de herramientas número 2

Fuente: elaboración propia.

4.3. Dispositivos de seguridad

La seguridad industrial juega un papel muy importante en los procesos de mantenimiento dentro de cualquier empresa o industria. Es importante velar porque las tareas de reparación, mantenimiento, inspección de maquinaria, instalación, montaje, entre otros se lleven a cabo de forma ordenada y segura dentro de la empresa.

Para ello se deben establecer normas, proveer de equipo de protección personal (EPP) a los trabajadores y capacitarlos en el manejo, uso adecuado, almacenaje y la importancia de contar con dicho equipo, esto con el fin de evitar accidentes o lesiones en las diferentes áreas de trabajo.

4.3.1. Normas de seguridad en el mantenimiento

Las normas de seguridad y el equipo de protección personal que se requiere varían según el tipo de maquinaria o equipo al que se le esté haciendo mantenimiento. Además, es importante tomar en cuenta que en algunas áreas de la planta es necesario colocar nuevos rótulos informativos de seguridad industrial para el personal operativo, así como asegurarse que el EPP se almacene correctamente en las diferentes áreas de trabajo y se descarte si el mismo ya no cumple su función. Más adelante se detallará el plan de seguridad industrial para el departamento de mantenimiento.

4.4. Programa de mantenimiento

Como se explicó anteriormente, el mantenimiento industrial tiene varias categorías. Para este trabajo de graduación se implementará el mantenimiento preventivo en la maquinaria instalada en la planta.

El mantenimiento preventivo es aquel destinado a la conservación de equipos o instalaciones mediante la realización de revisiones y reparaciones que garanticen su buen funcionamiento y fiabilidad a lo largo de su vida útil. El mantenimiento preventivo se realiza en equipos en condiciones de funcionamiento, el caso contrario del mantenimiento correctivo (también llamado mantenimiento de bombero) que repara aquellas máquinas que dejaron de funcionar o tienen daños.

El objetivo de este tipo de mantenimiento es que, según corresponda, los equipos o las instalaciones de la planta estén disponibles buena parte del

tiempo para que el rendimiento sobre la inversión total de la maquinaria sea óptimo. Se aplica tomando como base una rutina de renovación de partes deterioradas de las máquinas instaladas, junto a inspecciones rutinarias de los equipos.

El mantenimiento preventivo debe realizarse periódicamente, es decir, de acuerdo con una planificación en conjunto con los demás departamentos y áreas de la empresa para no interrumpir las operaciones de esta. Siguiendo la clasificación de los equipos del capítulo tres, se plantean los procesos necesarios para la ejecución del mantenimiento preventivo en la maquinaria instalada. Las inspecciones y revisiones programadas son clave para el éxito del programa de mantenimiento preventivo.

4.4.1. Equipo neumático

Para un mantenimiento preventivo en los diferentes equipos neumáticos de la planta se hace necesario realizar inspecciones cada seis meses en los compresores, una purga tres veces al día a todo el sistema de tuberías de aire comprimido (debido a la humedad que se presenta en el ambiente), así como purgar el secador de aire del compresor y por último revisar las mangueras de las estaciones de trabajo mensualmente para evitar accidentes.

4.4.2. Equipo eléctrico

El equipo eléctrico requiere que se inspeccione completamente al menos cada mes, para evitar riesgos de corto circuito o de que se queme algún componente o el cableado de este. En los equipos donde existe un motor

trifásico se debe revisar la lubricación y los cojinetes de forma anual, así como realizar una limpieza para evitar que se dañen.

4.4.3. Otros equipos

Los otros equipos requieren de inspecciones y revisiones cada dos semanas para tener un óptimo funcionamiento. La frecuencia de estas se debe a que son los equipos que más carga de trabajo tienen en la planta, además estos cuentan con software especializado que lleva el control de los cambios realizados y las horas empleadas en su funcionamiento. Esto facilita el mantenimiento preventivo de dichos equipos.

4.5. Establecimiento de indicadores de mantenimiento preventivo

Cada máquina tiene especificaciones diferentes y, por ende, indicadores diferentes, por ello se utilizará la clasificación empleada en el capítulo tres para determinar los indicadores de mantenimiento que se necesitan en cada equipo.

Las tres categorías indicadas tienen algunos KPI en común:

- Áreas limpias y ordenadas
- Accesorios de los equipos desmontados y en su lugar
- Cableado eléctrico y mangueras en buenas condiciones

Cada indicador establecido en las tres categorías debe cumplirse en un 90 %.

4.5.1. Equipo neumático

Para el equipo neumático se tienen los siguientes indicadores:

- Que no existan fugas de aire
- Lubricación y estado de los acoples, según lo establecido por el fabricante
- Purgar el sistema de distribución de aire tres veces al día
- Mangueras con un desgaste máximo de 80 %
- Equipos y accesorios desconectados de las tomas de aire al final de cada turno
- Desgaste máximo de 80 % en los acoples y tomas de aire
- Purga diaria del secador de aire de cada compresor

4.5.2. Equipo eléctrico

En el caso del equipo eléctrico se establecieron los siguientes KPI:

- Cableado y conexiones eléctricas en buen estado
- Panel de mando limpio y en óptimas condiciones
- Lubricación y rebobinado de motores eléctricos
- Accesorios de maquinaria desmontados y en su lugar al final de cada turno

4.5.3. Otros equipos

Y, por último, para los otros equipos empleados en la planta se establecieron los siguientes KPI:

- Áreas limpias y ordenadas
- Estado de las luminarias
- Equipo que emplea gas propano sin fugas
- Software actualizado

4.6. Seguridad industrial

La seguridad industrial es un concepto muy importante que toda empresa u organización debe velar por su cumplimiento. A pesar de que en Guatemala el factor cultural influye de forma negativa en gran manera sobre la seguridad, es importante hacerle ver al personal de cualquier empresa u organización que deben efectuar sus labores con el cuidado y las precauciones del caso, así como utilizar el equipo de protección personal que corresponde.

4.6.1. Plan de seguridad industrial para el departamento de mantenimiento

Con base en lo anterior, se hace necesario establecer una evaluación y control de riesgos en el departamento de mantenimiento de la planta. La misma se compone de tres aspectos:

- Equipo de protección personal
- Reglas básicas de seguridad industrial
- Señalización de las áreas de trabajo

Previamente se mencionaron las reglas generales de seguridad industrial que entrarán en vigor en el departamento de mantenimiento de la planta y más adelante se entrará en detalle de los tres aspectos anteriores. Como se mencionó en el capítulo tres, el departamento de mantenimiento de la planta se integra de la siguiente manera:

- Un jefe de mantenimiento
- Dos técnicos de mantenimiento
- Dos conserjes

- Dos jardineros

La evaluación se basa en la normativa legal vigente en Guatemala, el Acuerdo Gubernativo 229-2014: Reglamento de salud y seguridad ocupacional, emitido por el Ministerio de Trabajo y Previsión Social.

Adicionalmente se elaboraron matrices de riesgo para identificar los diferentes peligros a los que se expone el personal del departamento de mantenimiento en las diferentes labores que se llevan a cabo.

En las matrices de riesgo se evalúa la severidad y la probabilidad de cada riesgo y según lo establecido en la norma NTG 13001 la severidad puede ser: ligeramente dañina (LD), extremadamente dañina (ED) o dañina (D). Por otro lado, la probabilidad puede ser: baja (B), media (M) o alta (A).

El plan de acción de la evaluación y control de riesgos establece los siguientes pasos:

- Identificar los peligros y evaluar los riesgos asociados a las actividades del departamento de mantenimiento.
- Inspección del equipo de protección personal (EPP).
- Rotulación de las diferentes áreas de trabajo del departamento de mantenimiento de la planta.
- Simulacros en caso de emergencia.

Una vez cumplidos los pasos uno y dos, se procedió a entrevistar al personal del departamento de mantenimiento para determinar el conocimiento que tienen sobre el manejo adecuado del EPP y si se les ha proveído a cada uno. Se determinó que la empresa les ha dado capacitación cada año y el

equipo se utiliza y almacena correctamente, sin embargo, la última compra de EPP fue hace dos años.

Figura 41. **Matriz de riesgos del jefe de mantenimiento**

Identificación de peligro					
Actividad Laboral	Rutinaria (R) / No Rutinaria (NR)	CLASIFICACION	Peligro	Tipo de peligro	Posible Accidente o Daño a la Salud
Programación de mantenimiento a la maquinaria instalada	R	A	Contacto con energía eléctrica (equipo de computo 120V)	Eléctrico	Posible descarga eléctrica generando quemaduras de primer y segundo grado
	R	A	Tiempo prolongado sentado en la misma postura	Ergonomico	Fatiga en espalda
	R	A	Contacto con agua caliente	Fisico	Quemaduras de primer grado
	R	A	Contacto con cristales en ventanas	Fisico	Posible rotura de cristales que puede generar heridas cortantes superficiales o profundas.
Labores administrativas	R	A	Silla con ruedas	Fisico	Caída en el mismo nivel, generando posibles golpes, lesiones musculares, torceduras o esguinces.
	R	A	Caídas	Fisico	Posible lesion en la espalda, golpe en la cabeza, posibles esguinces o fracturas.
	R	A	Tiempo prolongado sentado en la misma postura	Ergonómico	Fatiga en espalda

Continuación de la figura 41.

Supervisión de proveedores	R	O	Caídas	Físico	Posibles lesión en la espalda, golpe en la cabeza, posibles esguinces o fracturas.
	R	O	Tiempo prolongado en la misma postura	Ergonómico	Fatiga en espalda, dolor lumbar
	R	O	Problemas auditivos	Físico	Disminución de la capacidad auditiva del personal expuesto a ruido intenso
Labores de mantenimiento	NR	O	Tiempo prolongado en la misma postura	Ergonómico	Fatiga en espalda, dolor lumbar
	NR	O	Incendios	Físico	Quemaduras de primer, segundo grado.
	NR	O	Contacto con energía eléctrica de alto voltaje (480V)	Eléctrico	Irritaciones en la piel, quemaduras de primer y segundo grado
	NR	O	Heridas	Mecánico	Posibles heridas cortantes, cortes de dedos
Capacitaciones con personal operativo, técnico o administrativo	NR	A	Caídas	Físico	Posibles lesiones en la espalda, golpe en la cabeza, posibles esguinces o fracturas.
	NR	A	Tiempo prolongado en la misma postura	Ergonómico	Fatiga en espalda, dolor lumbar
	NR	A	Heridas en los dedos al manipular herramientas o equipo con fines ilustrativos	Mecánico	Heridas cortantes, cortes de dedos

Continuación de la figura 41.

Determinación y Evaluación de Riesgo					Control de Riesgo
Controles de Riesgo Existentes	Riesgo / Oportunidad	Severidad	Probabilidad	Calificación del riesgo	Controles de Riesgo Adicionales
Señalización de voltaje y peligro eléctrico.	Que se presente la quemadura por contacto eléctrico	LD	B	Riesgo trivial	Extintores
Cambios frecuentes de posición. Se alternan actividades. Examen medico anual	Que se presente lesión en espalda	LD	B	Riesgo trivial	Botiquín de primeros auxilios
Color de identificación de llave de agua caliente	Que se presente la quemadura	LD	B	Riesgo trivial	Botiquín de primeros auxilios
Vidrios limpios y en buen estado (sin rajaduras)	Cortadura por contacto con vidrio	LD	B	Riesgo trivial	Botiquín de primeros auxilios
Lineamientos de no jugar en las áreas de trabajo	Lesión física al caer de la silla	LD	B	Riesgo trivial	Botiquín de primeros auxilios
Uso de zapato de seguridad. Mantenimiento periódico a instalaciones.	Posible caída o lesión muscular	LD	M	Riesgo tolerable	Botiquín de primeros auxilios
Cambios frecuentes de posición. Se alternan actividades. Examen medico anual	Que se presente lesión en espalda	LD	B	Riesgo trivial	Botiquín de primeros auxilios

Continuación de la figura 41.

Uso de zapato de seguridad. Mantenimiento periódico a instalaciones.	Posible caída o lesión muscular	LD	M	Riesgo tolerable	Botiquín de primeros auxilios
Cambios frecuentes de posición. Se alternan actividades. Examen medico anual	Que se presente lesion en espalda	LD	B	Riesgo trivial	Botiquín de primeros auxilios
Uso de EPP (Tapones auditivos) Pictogramas de uso obligatorio de EPP en el área.	Disminucion de capacidad auditiva	LD	B	Riesgo trivial	EPP
Cambios frecuentes de posición. Se alternan actividades. Chequeo medico anual	Que se presente lesion en la espalda	LD	B	Riesgo trivial	Botiquín de primeros auxilios
Identificación de áreas propensas de generación de incendios. Señalización en áreas donde existen gases inflamables. Extintores de CO2	Que se presente la quemadura por incendio ocasionado en las instalaciones	LD	M	Riesgo tolerable	Extintores
Uso de EPP adecuado. Señalización del area de trabajo	Que se presente la quemadura por contacto eléctrico	ED	B	Riesgo moderado	EPP, Botiquín de primeros auxilios
Utilización de EPP y herramientas en buen estado	Que se presente Hemorragias, moretones	LD	B	Riesgo trivial	EPP
Uso de zapato de seguridad. Mantenimiento periódico a instalaciones.	Posible caída o lesión muscular	LD	B	Riesgo trivial	Botiquín de primeros auxilios
Cambios frecuentes de posición. Se alternan actividades. Chequeo medico anual.	Se presenta una lesión en la espalda baja	LD	B	Riesgo trivial	Botiquín de primeros auxilios
Utilización de EPP y herramientas en buen estado	Sangrados o hematomas	LD	B	Riesgo trivial	EPP, Botiquín de primeros auxilios

Fuente: elaboración propia.

Figura 42. **Matriz de riesgos del personal técnico de mantenimiento**

Identificación de peligro					
Actividad Laboral	Rutinaria (R) / No Rutinaria (NR)	CLASIFICACION	Peligro	Tipo de peligro (Físico, Químico, Biológico, Psicosocial, Psicológico, Mecánico ó Eléctrico, Ergonomico)	Posible Accidente o Daño a la Salud
Soldadura MIG	R	O	Contactos eléctricos	Eléctrico	Posible descarga eléctrica generando quemaduras de primer y segundo grado
	R	O	Incendios	Físico	Quemaduras de primer, segundo grado. Asfixia por inhalación de humo.
	R	O	Cortes	Mecánico	Posibles heridas cortantes, machucamiento, cortes de dedos
Mantenimiento de los equipos en planta	R	O	Problemas auditivos	Físico	Disminución de la capacidad auditiva del personal
	R	O	Caidas	Físico	Lesiones musculares o en los huesos
	R	O	Contactos eléctricos	Eléctrico	Iritaciones en la piel, quemaduras de primer grado
	R	O	Incendios	Físico	Quemaduras de primer, segundo grado. Asfixia por inhalación de humo.
	R	O	Quemaduras	Eléctrico	Iritaciones en la piel, quemaduras de primer grado
	R	O	Cortes	Mecánico	Posibles heridas cortantes, machucamiento, cortes de dedos

Continuación de la figura 42.

Montaje o desmontaje de maquinaria	NR	O	Contactos eléctricos	Eléctrico	Posible descarga eléctrica generando quemaduras de primer y segundo grado
	NR	O	Exposición al sol	Biológico	Quemaduras en la piel, insolación, mareos, deshidratación, pérdida de conciencia.
	NR	O	Incendios	Físico	Quemaduras de primer, segundo grado. Asfixia por inhalación de humo.
	NR	O	Cortes	Mecánico	Posibles heridas cortantes, machucamiento, cortes de dedos
Trabajo en alturas	NR	O	Caídas	Físico	Lesión muscular, esguinces o fracturas
	NR	O	Exposición al sol	Biológico	Quemaduras en la piel, insolación, mareos, deshidratación, pérdida de conciencia.
	NR	O	Incendios	Físico	Quemaduras de primer, segundo grado. Asfixia por inhalación de humo.

Continuación de la figura 42.

Determinación y Evaluación de Riesgo					Control de Riesgo
Controles de Riesgo Existentes	Riesgo / Oportunidad	Severidad	Probabilidad	Calificación del riesgo	Controles de Riesgo Adicionales
Señalización de voltaje y peligro eléctrico. Conexión y desconexión de equipos a tomas de corriente en forma apropiada	Que se presente la quemadura por contacto eléctrico	LD	B	Riesgo trivial	Botiquín de primeros auxilios
Identificación de áreas propensas de generación de incendios. Señalización en áreas donde existen gases inflamables. Extintores de CO2	Que se presente la quemadura por incendio ocasionado en las instalaciones	LD	M	Riesgo trivial	Exintores
Uso adecuado de equipo de protección personal	Que se presenten hemorragias, moretones (hematomas)	LD	B	Riesgo trivial	EPP, Botiquín de primeros auxilios
Uso de EPP (Orejeras o tapones auditivos) Rótulos de uso obligatorio de EPP en el área de trabajo	Disminución de capacidad auditiva	LD	B	Riesgo trivial	EPP
Uso de zapato de seguridad. Mantenimiento periódico a instalaciones.	Posible caída o lesión muscular	LD	B	Riesgo trivial	Botiquín de primeros auxilios
Uso de EPP adecuado. Señalización del área de trabajo	Que se presente la quemadura por contacto eléctrico	LD	B	Riesgo trivial	Botiquín de primeros auxilios
Identificación de áreas propensas de generación de incendios. Señalización en áreas donde existen gases inflamables. Extintores de CO2	Que se presente la quemadura por incendio ocasionado en las instalaciones	LD	B	Riesgo trivial	Exintores
Uso de EPP adecuado	Que se presente la quemadura por contacto con equipo eléctrico	LD	B	Riesgo trivial	Botiquín de primeros auxilios
Uso adecuado de equipo de protección personal	Que se presenten hemorragias, moretones (hematomas)	LD	B	Riesgo trivial	Botiquín de primeros auxilios

Continuación de la figura 42.

Señalización de voltaje y peligro eléctrico. Conexión y desconexión de equipos a tomas de corriente en forma apropiada	Que se presente la quemadura por contacto eléctrico	LD	B	Riesgo trivial	Botiquín de primeros auxilios
Hidratación adecuada, uso de EPP adecuado dependiendo la labor, descansos periódicos, no trabajar entre las 11 y las 14 horas, uso de gorra	Irritaciones o quemaduras en la piel	LD	M	Riesgo trivial	EPP
Identificación de áreas propensas de generación de incendios. Señalización en áreas donde existen gases inflamables. Extintores de CO2	Que se presente la quemadura por incendio ocasionado en las instalaciones	LD	B	Riesgo trivial	Extintores
Uso adecuado de protección personal	Que se presente Hemorragias, moretones (hematomas)	LD	B	Riesgo trivial	Botiquín de primeros auxilios
Uso de arnés y línea de vida. Uso de zapato de seguridad. Mantenimiento periódico al equipo necesario. Señalización del área de trabajo	Posible caída, lesión muscular o fractura	ED	B	Riesgo moderado	EPP
Hidratación adecuada, uso de EPP adecuado dependiendo la labor, descansos periódicos, no trabajar entre las 11 y las 14 horas	Irritaciones o quemaduras en la piel	LD	M	Riesgo trivial	EPP
Identificación de áreas propensas de generación de incendios. Señalización en áreas donde existen gases inflamables. Extintores de CO2	Que se presente la quemadura por incendio ocasionado en las instalaciones	LD	B	Riesgo trivial	Extintores

Fuente: elaboración propia.

Figura 43. **Matriz de riesgos del personal de conserjería**

Identificación de peligro					
Actividad Laboral	Rutina (R) / No Rutina (NR)	CLASIFICACION	Peligro	Tipo de peligro (Físico, Químico, Biológico, Psicosocial, Psicológico, Mecánico ó Eléctrico, Ergonomico)	Posible Accidente o Daño a la Salud
Limpieza en planta	R	O	Derrame de productos químicos usados en la limpieza sobre el cuerpo	Químico	Posible irritación en manos y cuerpo.
	R	O	Contacto con cableado eléctrico	Eléctrico	Posible descarga eléctrica generando quemaduras de primer y segundo grado
	R	O	Problemas auditivos	Físico	Disminución de la capacidad auditiva del personal expuesto al ruido
	R	O	Caidas	Físico	Golpes y/o heridas en diferentes partes del cuerpo
	R	O	Incendio	Físico	Quemaduras de primer o segundo grado, asfixia por inhalación de humo.
	R	O	Heridas cortantes	Físico	Heridas, hematomas
Limpieza en los canales pluviales del techo	NR	O	Caidas	Físico	Fracturas, fisuras, esguinces
	NR	O	Golpes	Físico	Heridas, hematomas
	NR	O	Exposición al sol	Biológico	Quemaduras en la piel, insolación, deshidratación, pérdida de conciencia.
Limpieza en el exterior de la planta	R	O	Exposición al sol	Biológico	Quemaduras en la piel, insolación, mareos, deshidratación, pérdida de conciencia.
	R	O	Incendio	Físico	Quemaduras de primer o segundo grado, asfixia por inhalación de humo.
	R	O	Cortes	Mecánico	Posibles heridas cortantes, machucamiento, cortes de dedos

Continuación de la figura 43.

Determinación y Evaluación de Riesgo					Control de Riesgo
Controles de Riesgo Existentes	Riesgo / Oportunidad	Severidad	Probabilidad	Clasificación del riesgo	Controles de Riesgo Adicionales
Señalización de la sustancia con el rombo de seguridad. Almacenaje correcto y alejado de otros productos químicos	Irritación en piel	LD	B	Riesgo trivial	Botiquín de primeros auxilios
Señalización de voltaje y peligro eléctrico. Conexión y desconexión de equipos a tomas de corriente en forma apropiada	Quemadura por contacto eléctrico	LD	B	Riesgo trivial	EPP, Botiquín de primeros auxilios
Uso de EPP (Orejeras o tapones auditivos) Pictogramas de uso obligatorio de EPP en la planta	Disminución de capacidad auditiva del personal	LD	B	Riesgo trivial	EPP
Señalización del área donde existen superficies resbalosas o lugares donde esté mojado el suelo. Delimitar las áreas donde se esté trapeando. Uso de zapato de seguridad	Hematomas (moretes) o heridas superficiales	LD	B	Riesgo trivial	Botiquín de primeros auxilios
Identificación de áreas propensas de generación de incendios en la planta	Que se presente la quemadura por incendio ocasionado en las instalaciones	LD	B	Riesgo trivial	Extintores
Manejo adecuado de objetos con filo o con puntas	Hemorragias, moretones (hematomas)	LD	B	Riesgo trivial	Botiquín de primeros auxilios
Uso de arnés y línea de vida. Uso de zapato de seguridad. Mantenimiento periódico al equipo necesario para dicho trabajo	Posible caída o lesión muscular, fracturas, esguinces	ED	B	Riesgo moderado	EPP, Botiquín de primeros auxilios
Uso de zapato de seguridad	Posible caída o lesión muscular	LD	B	Riesgo moderado	Botiquín de primeros auxilios
Hidratación adecuada, uso de EPP adecuado dependiendo la labor, descansos periódicos, no trabajar entre las 11 y las 14 horas, uso de gorra	Quemaduras en la piel, insolación	LD	B	Riesgo trivial	EPP
Hidratación adecuada, uso de EPP adecuado dependiendo la labor, descansos periódicos, no trabajar entre las 11 y las 14 horas, uso de gorra	Quemaduras en la piel	LD	B	Riesgo trivial	EPP
Identificación de áreas propensas de generación de incendios, colocar señalización en áreas propensas.	Que se presente la quemadura por incendio ocasionado en las instalaciones	LD	B	Riesgo trivial	Extintores
Uso adecuado de protección personal	Que se presente Hemorragias, moretones (hematomas)	LD	B	Riesgo trivial	Botiquín de primeros auxilios

Fuente: elaboración propia.

Figura 44. Matriz de riesgos del personal de jardinería

Identificación de peligros				
Actividad Laboral	Rutinaria (R) / No Rutinaria (NR)	CLASIFICACION	Peligro	Tipo de peligro (Físico, Químico, Biológico, Psicosocial, Psicológico, Mecánico ó Eléctrico, Ergonomico)
Limpieza de cunetas y drenajes en el exterior de la planta	NR	O	Contactos eléctricos	Eléctrico
	NR	O	Caídas	Físico
	NR	O	Incendios	Físico
	NR	O	Cortes	Mecanico
Poda de árboles	NR	O	Caídas	Físico
	NR	O	Exposición al sol	Biológico
	NR	O	Incendios	Físico
Labores de jardinería	R	O	Caídas	Físico
	R	O	Exposición al sol	Biológico
	R	O	Incendios	Físico
	R	O	Cortes	Mecanico

Continuación de la figura 44.

Posible Accidente o Daño a la Salud	Determinación y evaluación de riesgos					Control de riesgos
	Controles de Riesgo Existentes	Riesgo / Oportunidad	Severidad	Probabilidad	Clasificación del riesgo	Controles de Riesgo Adicionales
Posible descarga eléctrica generando quemaduras de primer y segundo grado	Señalización de voltaje y peligro eléctrico. Conexión y desconexión de equipos a tomas de corriente en forma apropiada	Que se presente la quemadura por contacto eléctrico	LD	B	Riesgo trivial	EPP, Botiquín de primeros auxilios
Golpes y/o heridas en diferentes partes del cuerpo	Señalización del área donde existen superficies resbalosas o lugares donde esté mojado el suelo	Hematomas (moretes) o heridas superficiales (raspones)	LD	B	Riesgo trivial	Botiquín de primeros auxilios
Quemaduras de primer o segundo grado, asfixia por inhalación de humo.	Identificación de áreas propensas de generación de incendios, colocar señalización en áreas propensas.	Que se presenten quemaduras por incendio ocasionado en las instalaciones	LD	B	Riesgo trivial	Exintores
Posibles heridas cortantes, machucamiento, cortes de dedos	Uso adecuado de protección personal	Que se presente la hemorragia, moretones (hematomas)	LD	B	Riesgo trivial	EPP, Botiquín de primeros auxilios
Daños musculares, esguinces o fracturas	Uso de arnés y línea de vida. Uso de zapato de seguridad. Mantenimiento periódico al equipo necesario	Posible caída o lesión muscular, fracturas, esguinces	ED	B	Riesgo moderado	EPP, Botiquín de primeros auxilios
Quemaduras, insolación, deshidratación, pérdida de conciencia	Hidratación adecuada, utilización de EPP adecuado dependiendo la labor, descansos periódicos, no trabajar entre las 11 y las 14 horas	Quemaduras en la piel, insolación	LD	B	Riesgo trivial	Botiquín de primeros auxilios
Quemaduras de primer o segundo grado, asfixia por inhalación de humo.	Identificación de áreas propensas de generación de incendios, colocar señalización en áreas propensas.	Que se presenten quemaduras por incendio ocasionado en las instalaciones	LD	B	Riesgo trivial	Exintores
Caidas o resbalones por caminar en superficies con lodo o mucha agua	Uso de zapato de seguridad.	Posible caída o lesión muscular	LD	B	Riesgo trivial	Botiquín de primeros auxilios
Quemaduras, insolación, deshidratación, pérdida de conciencia	Hidratación adecuada, utilización de EPP adecuado dependiendo la labor, descansos periódicos, no trabajar entre las 11 y las 14 horas	Irritaciones o quemaduras en la piel	LD	B	Riesgo trivial	Botiquín de primeros auxilios
Quemaduras de primer o segundo grado, asfixia por inhalación de humo.	Identificación de áreas propensas de generación de incendios, colocar señalización en áreas propensas.	Que se presente la quemadura por incendio ocasionado en las instalaciones	LD	B	Riesgo trivial	Exintores
Posibles heridas cortantes	Uso adecuado de las herramientas de trabajo	Que se presenten hemorragias o hematomas	LD	B	Riesgo trivial	EPP, Botiquín de primeros auxilios

Fuente: elaboración propia.

4.6.1.1. Equipo de protección personal (EPP)

Siguiendo la clasificación de maquinaria que se detalló en el capítulo tres y los artículos 32 al 66, 109 al 142, 182 al 193, 306 al 370 y 460 al 471 del Acuerdo Gubernativo 229-2014 y sus reformas 33-2016, se estableció que para desarrollar correctamente las labores de mantenimiento preventivo se necesita el siguiente equipo de protección personal:

- Equipo neumático:
 - Lentes
 - Botas industriales
 - Respiradores con filtro 5N11 (si se realizan trabajos en equipo que se utiliza para aplicación de pintura automotriz)
 - Guantes

- Equipo eléctrico:
 - Lentes
 - Botas industriales
 - Mascarilla y guantes (para el caso de los extractores de aire)

- Otros equipos:
 - Lentes
 - Botas industriales
 - Guantes
 - Gorra o casco (según sea necesario)

Es importante capacitar al personal en el uso correcto, almacenaje e importancia de utilizar el EPP al momento de realizar labores de mantenimiento preventivo o correctivo en la maquinaria. También se debe tomar en cuenta que

en ciertas ocasiones se lleva a cabo trabajo en alturas, el cual requiere de equipo especial y una capacitación en el manejo adecuado del mismo. El equipo que se requiere es el siguiente:

- Arnés de cuerpo completo
- Andamios
- Línea de vida
- Cuerdas
- Casco
- Lentes

Además de las labores previamente mencionadas, en el área de mantenimiento también se lleva a cabo soldadura MIG y carpintería. A pesar de no ser labores rutinarias, se requiere que el personal pueda trabajar de forma correcta y segura, según sea necesario.

Para las labores de carpintería se necesita el siguiente EPP:

- Lentes
- Mascarilla
- Botas industriales

Por último, para los trabajos de soldadura MIG es necesario contar con:

- Careta con filtro para la vista
- Gabacha y mangas de cuero
- Botas industriales

4.6.1.2. Reglas básicas de seguridad industrial

Se estableció que, como normas generales, el personal que realice trabajos de mantenimiento debe:

- Contar con las herramientas necesarias y en buen estado, además del equipo de protección personal que corresponde (según el equipo o maquinaria a trabajar)
- Estar capacitado en el manejo correcto de los equipos que se van a trabajar
- Señalizar los equipos donde se hará el mantenimiento para informar al resto del personal de la empresa que no se debe conectar o hacer funcionar el mismo ni acercarse al área de trabajo
- No correr ni hacer bromas en el área de trabajo
- No desatender la labor que está ejecutándose

4.6.1.3. Señalización de las áreas de trabajo

Como se explicó anteriormente, se hace necesario señalar correctamente las áreas y máquinas donde se harán labores de mantenimiento y/o inspecciones, esto con el objetivo de evitar que la maquinaria sea encendida y provoque accidentes o alguien se tropiece y sufra algún vejamen por herramientas o lubricantes en el suelo.

Los carteles informativos deben colocarse en los alrededores del área donde se esté trabajando, en los tableros que alimentan la energía eléctrica a la máquina en proceso de mantenimiento o inspección y en los paneles de mando.

Actualmente se cuenta con poca señalización para labores de mantenimiento en la empresa, por ello se recomienda adquirir los siguientes insumos:

- 20 conos con banda reflectora
- Cinta amarilla de precaución
- Cinco pictogramas de no tocar (color rojo)
- 10 andamios

Asimismo, surge la necesidad de delimitar de nuevo ciertas áreas de trabajo dentro de la planta con cinta adhesiva color amarillo, debido a que por el uso y el tiempo se han deteriorado, y también se recomienda elaborar nuevos rótulos informativos de seguridad y/o advertencias para ciertas áreas de la planta. Por último, es recomendable depurar los materiales que están almacenados en el área de mantenimiento. Esto limita el área de trabajo y puede provocar accidentes o caídas al personal que entra y sale de dicho lugar.

5. SEGUIMIENTO Y MEJORA

5.1. Condiciones de trabajo

Las condiciones de trabajo actuales en el departamento de mantenimiento tienen ciertas limitaciones, debido a que el mismo se ha convertido en una bodega temporal de ciertos materiales e insumos que han sobrado de trabajos realizados con anterioridad. Esto limita la movilidad del personal, además de representar un peligro para cualquier persona que entre o salga del área.

Por otro lado, se determinó que hay insumos y herramientas que no se utilizan desde hace varios años, además de que, como parte de la mejora en el mantenimiento, se busca tener archivos con fichas técnicas, manuales y registros de mantenimiento y se hace necesario organizar el área de mejor forma. Por ello se recomienda a la empresa la compra de tres archivos metálicos para guardar dichos documentos y protegerlos de daños como la humedad, además se recomienda deshacerse de aquellos insumos y materiales que no se utilizan.

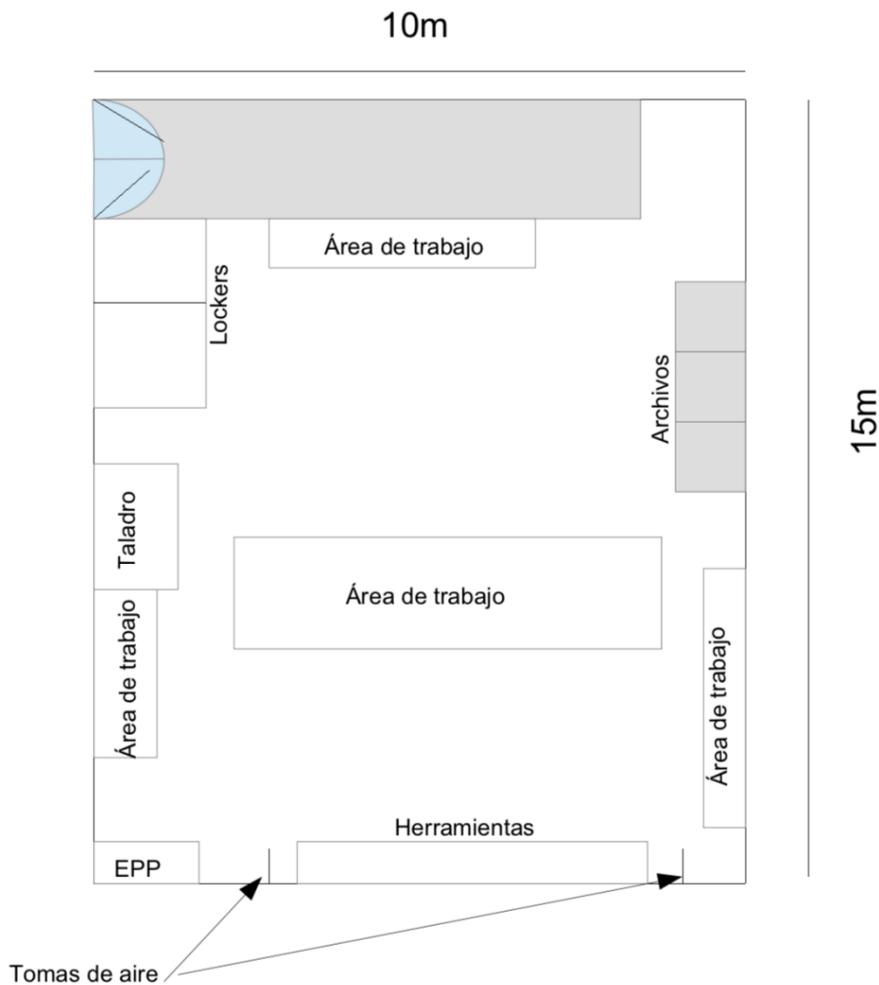
La propuesta de mejora se divide en tres aspectos:

- Diseño del área de trabajo
- Diseño de la iluminación
- Control del ruido

5.1.1. Diseño del área de trabajo

El área de trabajo actual se hizo sobre la marcha, es decir, no se contaba con una planificación previa al momento de crear el departamento de mantenimiento. Es por ello que se hace una propuesta para mejorar las condiciones de trabajo que ya existen en la siguiente figura.

Figura 45. **Propuesta de plano de distribución del departamento de mantenimiento**



Fuente: elaboración propia.

5.1.2. Diseño de la iluminación

La iluminación juega un papel importante para el desempeño adecuado de los trabajadores de mantenimiento de la empresa. Con base en lo anterior, se hace la propuesta a la empresa de cambiar las lámparas halógenas instaladas actualmente en el departamento de mantenimiento por lámparas led, así como de dotar al personal de tres lámparas portátiles para una mejor iluminación para las diferentes labores de mantenimiento en los diferentes equipos instalados en la planta. Se necesitan cuatro lámparas led para reemplazar las halógenas instaladas actualmente en el área de mantenimiento.

5.1.3. Control del ruido

En la mayor parte de los trabajos que el personal de mantenimiento lleva a cabo, no se exponen a ruidos fuertes. Sin embargo, no son todas las labores. Por ello se debe equipar al personal de limpieza y a los técnicos con protectores auditivos para su protección.

El problema con la exposición al ruido es que el daño auditivo es a largo plazo. Por ello debe capacitarse a dicho personal para el uso de los protectores auditivos al momento de llevar a cabo labores donde se exponen a ruido alto.

Algunos ejemplos de exposición a ruidos fuertes en la planta son:

- Limpieza de ciertas áreas de la planta durante el horario laboral
- Trabajos de mantenimiento en los motores de los extractores de aire
- Trabajos de mantenimiento en la planta eléctrica de emergencia
- Montaje o desmontaje de maquinaria
- Purga del sistema neumático

- Labores de carpintería

5.2. Capacitaciones

Para la implementación exitosa de la cultura de mantenimiento en la planta, las capacitaciones con todo el personal son vitales. En virtud de lo anterior, se harán con el personal de operaciones y de administración de la planta por grupos.

5.2.1. Con el personal administrativo

Con el personal administrativo se contempla capacitar primero a los supervisores de la planta y luego al resto del personal. Se decidió así porque los primeros están más en contacto con la maquinaria instalada en la planta que el resto del personal administrativo. En las capacitaciones se contemplan los siguientes temas:

- Equipo de protección personal (EPP)
- Seguridad industrial
- Indicadores de mantenimiento y su importancia
- Trazabilidad dentro de la empresa
- Señalización que se utilizará en labores de mantenimiento

5.2.2. Con el personal operativo

Para las jornadas de capacitaciones con el personal de operaciones se decidió realizar dos fases. La primera fase se impartirá al personal del departamento de mantenimiento, posteriormente la segunda fase será con el

personal operativo de producción y se hará por grupos en ambas áreas, para no interrumpir las diferentes labores de la planta.

Se tienen programados los mismos temas que con el personal administrativo, con algunas variantes:

- Tipos de mantenimiento industrial
- Uso y almacenaje correcto del EPP
- Indicadores de mantenimiento y su importancia
- Trazabilidad dentro de la empresa
- Funcionamiento de la maquinaria más utilizada en la planta
- Señalización que se utilizará en labores de mantenimiento

Además de los temas mencionados anteriormente, se harán acompañamientos con el personal técnico y operativo de la planta para comprobar el correcto desarrollo de las labores de cada área y así asegurar el éxito de la implementación de la cultura de mantenimiento en la empresa.

5.3. Evaluación del mantenimiento

Cuando se realizan cambios o mejoras en un proceso dentro de una empresa se deben establecer evaluaciones para determinar si los cambios emprendidos están solucionando un problema o no.

Se decidió, en conjunto con la empresa, que la forma de evaluar el mantenimiento preventivo en la planta es a través de auditorías internas y externas y se recomienda que se lleven a cabo de forma anual, esto con el fin de establecer si se está cumpliendo con los requisitos de mantenimiento que los fabricantes establecen en los manuales y fichas técnicas. Sin embargo, se hace

la salvedad de que la empresa está en la libertad de hacerlas con mayor frecuencia si así lo deciden los departamentos y/o jefaturas a cargo.

5.3.1. Auditorías internas

Mediante las auditorías internas se pretende revisar periódicamente si los indicadores de mantenimiento preventivo establecidos se están cumpliendo o no. El departamento de mantenimiento de la planta se encargará de realizarlas de forma anual, como se mencionó previamente.

Las auditorías deben programarse para durar dos días como mínimo. En ellas se revisarán los procedimientos de mantenimiento que se emplean, las herramientas de trabajo, las frecuencias de las inspecciones, la trazabilidad dentro de la planta, el desempeño del personal, el uso adecuado del equipo de protección personal (EPP) y el cumplimiento de los requisitos de mantenimiento que establecen los fabricantes de los equipos instalados.

En muchos casos las auditorías son presentadas como un requisito que puede resultar engorroso para muchas empresas, pero no necesariamente es así. La importancia de llevarlas a cabo con frecuencia radica en que la empresa busca establecer objetivos medibles en mantenimiento (KPI) y quiere saber si estos se cumplen a cabalidad o no, además permite que el personal encargado de mantenimiento pueda exponer sus ideas o preocupaciones a las jefaturas correspondientes y también llevar un registro interno de todos los procedimientos de mantenimiento preventivo.

5.3.2. Auditorías externas

Las auditorías externas le corresponden al departamento de ingeniería y métodos de la empresa. La frecuencia de estas, los parámetros y metodología de evaluación estarán sujetos al criterio de dicho departamento, ya que es el ente encargado del control de calidad en todas las áreas de la empresa y de los diferentes servicios que cada una presta.

Sin embargo, a continuación se detallan ciertos parámetros que dicho departamento puede emplear para evaluar la calidad y el mantenimiento ejecutado:

- Cumplimiento y vigencia de los indicadores mantenimiento (KPI)
- Mantenimientos realizados a tiempo
- Seguimiento de fallas (trazabilidad interna)
- Cumplimiento de normas de seguridad industrial
- Impacto en la productividad de la planta
- Uso de repuestos

Por último, el departamento de ingeniería y métodos o la gerencia general de la empresa están en la libertad de contratar los servicios de una auditoría con personal sin vínculos a la empresa o a la planta de enderezado y pintura.

Los evaluadores contratados tendrán la responsabilidad de examinar los procesos, procedimientos, indicadores, manuales, fichas técnicas, desempeño, registros de mantenimiento, entre otros aspectos.

5.3.3. Actualización de los registros de mantenimiento

En el capítulo anterior se hizo la recomendación a la empresa de conservar por lo menos durante 10 años los registros de mantenimiento en sus archivos. Si la empresa decide que este período de tiempo es insuficiente o muy largo, está en libertad de cambiarlo. Asimismo, puede que en el futuro se haga necesario incluir otros KPI para el mantenimiento y modificar los registros. Esto es algo normal dentro de las actividades de mantenimiento preventivo y puede ocurrir con la compra e instalación de maquinaria nueva o por algún cambio de políticas dentro de la empresa. Además, si en un futuro la empresa decide cambiar el modelo de mantenimiento preventivo por algún otro (predictivo, TPM, clase mundial), los registros y los indicadores son distintos.

CONCLUSIONES

1. Actualmente, no todas las máquinas con las que cuenta la planta están sujetas a mantenimiento preventivo por políticas internas de la misma. Por ello, se estableció una lista de los equipos sujetos al plan de mantenimiento preventivo con la clasificación: equipo neumático, equipo eléctrico y otros equipos.
2. El equipo instalado actualmente en la empresa se encuentra en buenas condiciones de funcionamiento y operación, es por ello que se busca preservarlo a través de un cambio de modelo de mantenimiento: de correctivo a preventivo. Dicho modelo contempla varios aspectos importantes, entre ellos destaca la implementación de la cultura de mantenimiento en la empresa.
3. A través de los registros elaborados se crea la trazabilidad en el mantenimiento de los equipos instalados, de esta forma se pueden controlar mejor los diferentes servicios que se realizan a las diferentes máquinas en períodos determinados.
4. Los manuales de funcionamiento de los diferentes equipos detallan información importante, sin embargo, fue necesario resumirla en fichas técnicas que están acorde a las políticas internas de la empresa.
5. El plan de mantenimiento preventivo propone la trazabilidad interna, la creación de indicadores en la maquinaria, la evaluación interna y externa,

la seguridad industrial y mejoras en el departamento de mantenimiento de la empresa.

6. El costo mensual del plan de mantenimiento preventivo para la planta asciende a Q. 95,258.33. Esto representa una mejora significativa para la empresa debido al cambio de modelo de mantenimiento industrial para la maquinaria y el equipo instalado en la planta, es por ello que el plan de mantenimiento preventivo se considera viable.

RECOMENDACIONES

1. Mantener la estandarización, actualización y mejoras al proceso de mantenimiento preventivo a través de seguimiento y auditorías de forma continua para establecer el cumplimiento de los objetivos e indicadores en las diferentes máquinas.
2. Capacitar al personal de mantenimiento de forma periódica en el funcionamiento básico de la maquinaria instalada.
3. Llevar los registros de mantenimiento, de inspección de equipos y calendarización de mantenimiento al día, tanto en forma digital como impresa.
4. Analizar, por medio de herramientas estadísticas, las causas más comunes de paros en las labores productivas de la planta, esto con el objetivo de hacer más eficiente la compra y uso de repuestos en las diferentes máquinas.
5. Establecer los indicadores de la maquinaria nueva antes de incluirla en el plan de mantenimiento preventivo.
6. Depurar los materiales que están almacenados de forma temporal en el área de mantenimiento. Esto limita el área de trabajo y puede provocar accidentes o caídas al personal que entra y sale de dicho lugar.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acuerdo Gubernativo 229-2014 del Gobierno de la República de Guatemala. *Reglamento de salud y seguridad ocupacional*. Guatemala, 2014.
2. AVALLONE, Eugene y NORIEGA, Francisco. *Manual del ingeniero mecánico*. México; McGraw-Hill, 1995. 1683 p.
3. Comisión Guatemalteca de Normas. *Norma NTG 13001*. Guatemala, 2016.
4. Decreto Número 1441 del Congreso de la República de Guatemala. *Código de trabajo*. Guatemala, 2010.
5. Empresa en estudio. *Información oficial*. Consulta: junio de 2018.
6. GARCÍA CRIOLLO, Roberto y PANTOJA MAGAÑA, José. *Estudio del trabajo*. México; McGraw Hill, 2007. 458 p.
7. GARCÍA GARRIDO, Santiago. *Ingeniería del mantenimiento manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento*. España; RENOVETEC, 2009. 38p.
8. GUTIÉRREZ PULIDO, Humberto. *Calidad total y productividad*. México; McGraw-Hill Interamericana, 2010. 381p.

9. HACKMAN, Richard; OLDFHAM, Greg. *Motivation through the design of work: test of a theory.* [en línea]. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0030507376900167?via%3Dihub>>. [Consulta: junio de 2018].
10. NIEBEL, Benjamín; FREIVALDS, Andris y MURRIETA MURRIETA, Jesús Elmer. *Ingeniería industrial.* México; McGraw-Hill Interamericana Editores, 2014. 745p.
11. Organización Internacional de Normalización. *Norma ISO 8402.* Consulta: junio de 2018.
12. _____. *Norma ISO 9001:2015.* Consulta: junio de 2018.
13. _____. *International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology.* Consulta: junio de 2018
14. Real Academia Española. *Diccionario de la Real Academia Española.* 2017. [en línea]. <<https://dle.rae.es/?id=DglqVCc>>. [Consulta: junio de 2018].
15. RUSH, Harold. *Job design for Motivation.* [en línea]. <https://bit.ly/2B9nEDq>. [Consulta: junio de 2018].
16. SÁNCHEZ MARÍN, Francisco y PÉREZ GONZÁLEZ, Antonio. *Mantenimiento mecánico de máquinas.* España; Editorial Universidad Jaume, 2013. 388p.

17. SCHEIN, Edgar. *Organizational Culture and Leadership*. Estados Unidos; John Wiley & Sons. 2010. 464p.
18. UNESCO. *Conferencia Mundial sobre las políticas Culturales 1982*.

