



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

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONFIABILIDAD PARA EL MANTENIMIENTO DE LAS
MÁQUINAS HERRAMIENTAS DE UNA EMPRESA TALLER TÉCNICO
INDUSTRIAL DE GUATEMALA**

Luis Alberto Revolorio Morales

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, octubre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONFIABILIDAD PARA EL MANTENIMIENTO DE LAS
MÁQUINAS HERRAMIENTAS DE UNA EMPRESA TALLER TÉCNICO
INDUSTRIAL DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS ALBERTO REVOLORIO MORALES

ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. Roberto Guzmán Ortiz
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Figueroa Vásquez
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:

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONFIABILIDAD PARA EL MANTENIMIENTO DE LAS
MÁQUINAS HERRAMIENTAS DE UNA EMPRESA TALLER TECNICO
INDUSTRIAL DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 21 de enero de 2014.

Luis Alberto Revolorio Morales



Guatemala, 08 de julio de 2016
Ref.EPS.DOC.401.07.16.

Inga. Christa Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Classon de Pinto.

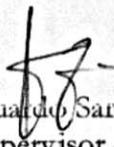
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Luis Alberto Revolorio Morales** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 199516149, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONFIABILIDAD PARA EL MANTENIMIENTO DE LAS MÁQUINAS HERRAMIENTAS DE UNA EMPRESA TALLER TÉCNICO INDUSTRIAL DE GUATEMALA.**

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

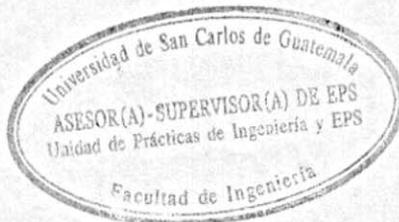
Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica

c.c. Archivo
EESZ/ra





Guatemala, 08 de julio de 2016
REF.EPS.D.253.07.16

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

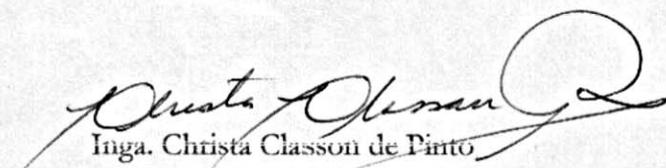
Estimado Ingeniero Guzmán:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONFIABILIDAD PARA EL MANTENIMIENTO DE LAS MÁQUINAS HERRAMIENTAS DE UNA EMPRESA TALLER TÉCNICO INDUSTRIAL DE GUATEMALA**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Luis Alberto Revolorio Morales** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Christa Classon de Pinto
Directora Unidad de EPS



CCdP/ra



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.201.2016

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONFIABILIDAD PARA EL MANTENIMIENTO DE LAS MÁQUINAS HERRAMIENTAS DE UNA EMPRESA TALLER TÉCNICO INDUSTRIAL DE GUATEMALA**, desarrollado por el estudiante **Luis Alberto Revolorio Morales**, carné **1995-16149** recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador Área Complementaria
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, julio 2016



USAC

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala

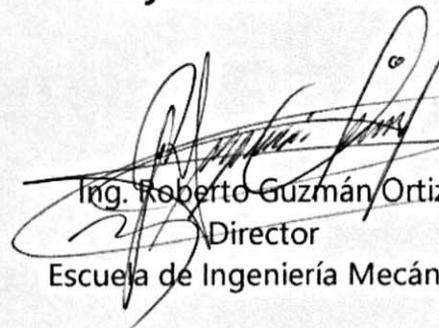
Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.290.2016

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONFIABILIDAD PARA EL MANTENIMIENTO DE LAS MÁQUINAS HERRAMIENTAS DE UNA EMPRESA TALLER TÉCNICO INDUSTRIAL DE GUATEMALA**, del estudiante **Luis Alberto Revolorio Morales**, carné No. **1995-16149** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, octubre de 2016

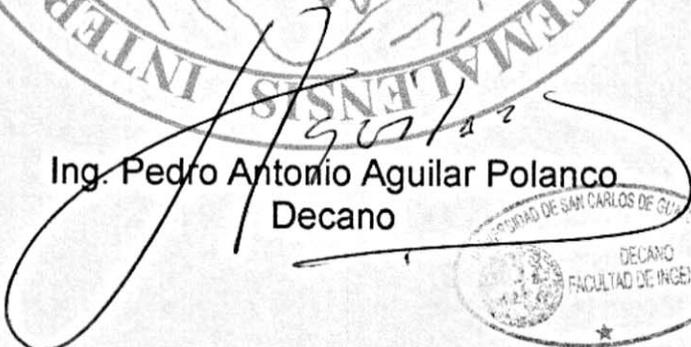
/aej



Ref. DTG.531.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONFIABILIDAD PARA EL MANTENIMIENTO DE LAS MÁQUINAS HERRAMIENTAS DE UNA EMPRESA TALLER TÉCNICO INDUSTRIAL DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Luis Alberto Revolorio Morales**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, octubre de 2016

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser fuente de toda inspiración y por todas la bendiciones que ha dado a mi vida.
Mis padres	Carlos Revolorio y Jacinta Morales, por su amor, esfuerzo y sacrificio.
Mis hermanos	Sonia, Aura y Rosilia Revolorio, por su cariño.
Mi esposa	Mirian de Revolorio, por su apoyo en todos los momentos.
Mis hijas	Abi, Ana y Lourdes Revolorio, que este triunfo sea como ejemplo de dedicación y sacrificio.
Mi asesor	Edwin Estuardo Sarceño Zepeda, por haberme ayudado en todo momento.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindarme la oportunidad de forjarme dentro de sus principios.
Facultad de Ingeniería	Porque ha permitido que me supere profesionalmente e intelectualmente.
La empresa MTI	Por su colaboración en el desarrollo de este trabajo de graduación y en especial a su gerente de Mantenimiento y Operaciones Edwin Polanco por la oportunidad que me brindó.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA	1
1.1. Descripción de la empresa	1
1.1.1. Ubicación.....	2
1.1.2. Historia	2
1.1.3. Misión y visión	3
1.1.3.1. Misión	3
1.1.3.2. Visión.....	4
1.1.4. Valores	4
1.1.5. Organigrama de la empresa	5
1.2. Descripción del problema	6
1.3. Descripción de la maquinaria	7
1.4. Descripción de la producción en tornos.....	11
1.4.1. Operación en torno	11
1.4.2. Colocado del material	12
1.4.3. Tipos de materiales	14
1.5. Descripción de la producción de engranajes.....	14
1.5.1. Montaje y alineación del material.....	15
1.5.2. Tipos de materiales	16

1.5.3.	Tipos de engranajes	17
1.6.	Descripción de la producción con rectificado de piezas	18
1.6.1.	Montaje del material	19
1.6.2.	Tipos de abrasivos de corte	19
2.	FASE DE INVESTIGACIÓN.....	21
2.1.	Estudio del área de implementación	21
2.1.1.	Descripción de las instalaciones	22
2.2.	Definiciones básicas.....	23
2.2.1.	Mantenimiento	23
2.2.2.	Tipos de mantenimiento	23
2.2.2.1.	Mantenimiento operacional	24
2.2.2.2.	Mantenimiento mayor	25
2.2.2.3.	Mantenimiento preventivo	25
2.2.2.4.	Mantenimiento correctivo	26
2.2.2.5.	Mantenimiento predictivo.....	27
2.2.2.6.	Mantenimiento proactivo	27
2.2.2.7.	Mantenimiento por averías	28
2.2.2.8.	Mantenimiento rutinario	28
2.2.2.9.	Mantenimiento programado.....	28
2.2.2.10.	Parada de planta	28
2.2.2.11.	Extraordinario	29
2.2.3.	Objetivo del mantenimiento	29
2.2.4.	Factores que influyen en el mantenimiento	30
2.2.5.	Ahorro energético	31
2.2.5.1.	Plan de ahorro energético	31
2.2.5.1.1.	Observación y análisis ..	32
2.2.5.1.2.	Diagnóstico	33
2.2.6.	Eficiencia energética	33

2.2.7.	Medición y análisis del uso de energía	34
2.2.7.1.	Usos y características.....	35
2.2.7.2.	Riesgos.....	35
2.2.7.3.	Medidas de precaución.....	37
2.3.	Producción más limpia.....	38
2.3.1.	Diseño de un plan de ahorro energético	39
2.3.1.1.	Objetivos.....	41
2.3.1.2.	Alcance.....	41
2.3.1.3.	Medidas de acción.....	42
2.3.1.4.	Responsabilidades	43
2.3.1.5.	Puntos de control.....	44
3.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD MCC.....	45
3.1.	Introducción del mantenimiento centrado en la confiabilidad ..	45
3.1.1.	Propósito.....	46
3.1.2.	Definición del mantenimiento basado en la confiabilidad.....	47
3.1.3.	Razones del mantenimiento basado en la confiabilidad.....	48
3.1.4.	Beneficios de la confiabilidad.....	48
3.1.5.	Análisis enfocado en la implementación del MCC ..	51
3.1.5.1.	Análisis primario	51
3.1.5.2.	Selección de los componentes del sistema	53
3.1.5.3.	Evaluación de criticidad	55
3.1.5.4.	Análisis de modos de falla y efecto.....	57
3.1.5.4.1.	Fallos funcionales.....	57
3.1.5.4.2.	Modos de fallos	57

	3.1.5.4.3.	Efectos de fallos.....	58
	3.1.5.4.4.	Consecuencias de los fallos.....	59
	3.1.5.5.	Análisis de toma de decisión	60
	3.1.5.6.	Aplicación del sistema de confiabilidad establecido	62
	3.1.6.	El personal implicado	63
	3.1.6.1.	Los facilitadores	64
	3.1.6.2.	Los auditores.....	64
	3.1.7.	Confiabilidad de los procesos.....	65
	3.1.8.	Mantenibilidad de equipos.....	65
	3.1.9.	Confiabilidad de equipos	66
3.2.		Equipos eléctricos bajo el MCC	66
	3.2.1.	Tornos	67
	3.2.2.	Fresadora	69
	3.2.3.	Rectificadora y taladradora.....	71
	3.2.4.	Motores AC y DC	72
3.3.		Departamento de Mantenimiento	73
	3.3.1.	Codificación de áreas.....	74
	3.3.2.	Maquinaria en líneas de producción.....	75
	3.3.2.1.	Clasificación	75
	3.3.2.2.	Sistemas de lubricación	76
	3.3.2.3.	Arranques, paros y cambios.....	77
	3.3.3.	Formatos de mantenimiento.....	78
4.		FASE DE DOCENCIA.....	85
	4.1.	Presentación de resultados.....	85
	4.1.1.	Resumen de actividades para el diseño del sistema.....	86

4.1.2.	Diagnóstico de la situación inicial	87
4.1.2.1.	Criticidad.....	87
4.1.2.2.	Confiabilidad.....	88
4.1.2.3.	Mantenibilidad.....	88
4.1.2.4.	Generalidades	88
4.1.3.	Asignación de responsabilidades	89
4.1.4.	Codificación de áreas y maquinaria.....	90
4.1.5.	Descripción de resultados.....	92
4.2.	Metodología de cambio	96
4.2.1.	Calendarización	96
4.2.2.	Documentación de mantenimiento	98
4.2.3.	Inventario general	99
4.2.4.	Recolección de datos	101
4.2.5.	Programación de mantenimiento	102
4.2.6.	Orden de trabajo.....	103
4.2.7.	Mano de obra disponible	104
4.2.8.	Datos de operación.....	104
4.2.9.	Registro de medición	105
CONCLUSIONES		107
RECOMENDACIONES		109
BIBLIOGRAFÍA.....		111

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación de la empresa.....	2
2.	Organigrama de la empresa.....	5
3.	Torno.....	7
4.	Fresadora de husillo horizontal	8
5.	Rectificadora de superficies planas o curvas	9
6.	Taladradora.....	10
7.	Sujeción de la pieza en torno	13
8.	Rectificado de piezas	18
9.	Distribución de la empresa.....	22
10.	Esquema de un plan de ahorro energético	32
11.	Beneficios del MCC.....	48
12.	Selección de componentes del sistema	54
13.	Aplicación del proceso MCC	61
14.	Organigrama básico para implementación del MCC	63
15.	Motor jaula de ardilla	73
16.	Formato de mantenimiento diario.....	80
17.	Formato de mantenimiento semanal	81
18.	Formato de mantenimiento mensual	82
19.	Formato de mantenimiento anual.....	83
20.	Formato de mantenimiento correctivo	84
21.	Codificación de áreas y maquinaria	91
22.	Comparación de fallas por mes.....	92
23.	Comparación de tiempo improductivo	93

24.	Comparación de tiempo improductivo por máquina.....	94
25.	Incremento de productividad.....	94
26.	Ahorro energético	95
27.	Calendarización de mantenimiento.....	97

TABLAS

I.	Comparación de criticidad valorativa	56
II.	Comparación de criticidad por tipo.....	57
III.	Criticidad de tornos clasificación ABC	67
IV.	Grado de confiabilidad de los tornos.....	68
V.	Grado de mantenibilidad de tornos	69
VI.	Criticidad de fresadoras clasificación ABC	69
VII.	Grado de confiabilidad de las fresadoras.....	70
VIII.	Grado de mantenibilidad de fresadoras	70
IX.	Criticidad de rectificadora y taladradora clasificación ABC	71
X.	Grado de confiabilidad del taladradora y la rectificadora	71
XI.	Grado de mantenibilidad del taladradora y la rectificadora	72
XII.	Codificación de áreas	74
XIII.	Clasificación de maquinaria en producción.....	76
XIV.	Diagnóstico situación inicial	87

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
RSA	Análisis causa raíz
D	Dañinos
A	Disponibilidad de equipos
ED	Extremamente dañino
I	Importante
IME	Índice de emergencias
IMC	Índice de mantenimiento correctivo
IMP	Índice de mantenimiento programado
IN	Intolerable
LD	Ligeramente dañina
MCC	Mantenimiento centrado en confiabilidad
TPM	Mantenimiento productivo total
mA	Mili amperios
NO	Moderado
OT	Órdenes de trabajo
MTTF	Tiempo medio para la falla
TMPR	Tiempo medio para reparación
MTBF	Tiempo promedio entre fallas
TO	Tolerable
T	Trivial

GLOSARIO

Acto inseguro	Son las acciones incorrectas o los actos ejecutados por una persona, que puedan contribuir a la ocurrencia de un accidente o ser causa de ello.
AMEF	Análisis de modo y efecto de falla.
Auditor	Es el encargado de supervisar que las actividades se lleven a cabo como se establecen.
CO	Confiabilidad operacional. Es la capacidad de una instalación, en cuanto a procesos, tecnología o recurso humano, para cumplir su función o propósito que se espera de ella, dentro de sus límites de diseño y bajo contexto operacional específico.
Condición insegura	son las circunstancias o condiciones físicas impropias, que representan un peligro o riesgo para las personas o máquinas.
Confiabilidad	Es la probabilidad en que un producto realizará su función prevista sin incidentes por un período de tiempo específico y bajo condiciones indicadas.
Disponibilidad	Referente a la fracción de tiempo en que un sistema o un equipo operan adecuadamente.

Facilitadores	Son especialistas bien entrenados en el MCC que asesoran a los grupos de revisión.
Mantenimiento operacional	Se define como la acción de mantenimiento aplicada a un equipo o sistema a fin de mantener su continuidad operacional, el mismo es ejecutado en la mayoría de los casos con el activo en servicio sin afectar su operación natural.
MCC	Mantenimiento centrado en confiabilidad, es un proceso utilizado para determinar los requerimientos del mantenimiento de los elementos físicos en su contexto operacional.
Modos de fallo	Son las causas que originan las fallas.

RESUMEN

En el presente trabajo, se desarrolla una aplicación práctica del mantenimiento centrado en confiabilidad aplicado en los equipos con criticidad en taller de mantenimiento técnico industrial.

Para el desarrollo de este proyecto, se utilizaron herramientas basadas en la confiabilidad operacional, de manera de comenzar a impulsar en la empresa, una conducta de mantenimiento de clase mundial involucrando a la confiabilidad de los equipos como parámetro fundamental para la evaluación de la gestión de mantenimiento.

En este sentido se comenzó por clasificar los equipos en grupos de acuerdo a la criticidad que presentan, con la finalidad de aplicar a cada uno de ellos los métodos que permitiese mejor la confiabilidad de los equipos en el taller.

Para la aplicación del mantenimiento centrado en confiabilidad se ha recolectado datos de las fallas en registros de los mantenimientos y del personal de mantenimiento, y así poder tener más claros los problemas que generan fallos en la planta.

Lo que se busca es disminuir al máximo el mantenimiento correctivo y de paros en el taller que generan pérdidas sustanciales de recursos, acorta el tiempo de vida de los diferentes equipos, con lo que se garantiza que todos los paros por cuestiones de mantenimiento sean programados y se utilice partes y repuestos adecuados y de buena calidad.

OBJETIVOS

General

Definir la importancia que tiene un análisis de confiabilidad, basándose en los equipos de mayor criticidad, para alcanzar un buen grado de confiabilidad en el mantenimiento dentro de la empresa.

Específicos

1. Diagnosticar los activos y equipos que tienen mayor porcentaje de criticidad dentro de la empresa.
2. Entrevistar al personal involucrado en los procesos de mantenimiento de la maquinaria para la recolección de información que facilite la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad del equipo.
3. Diseñar herramientas de planificación y ejecución para lograr un buen sistema de confiabilidad.
4. Documentar por medio de historiales, las labores de mantenimiento que se realizan a las máquinas herramientas, y que sean utilizados como capacitación y retroalimentación a los técnicos mecánicos y operarios.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como finalidad, servir de guía en la aplicación de un sistema de confiabilidad, enfocado en el mantenimiento de las máquinas herramientas de un taller que se dedica a la elaboración de piezas para máquinas industriales y al mantenimiento correctivo para otras empresas.

Un sistema basado en confiabilidad y el nivel de tecnología aumenta año tras año en la industria guatemalteca. Esto aumenta la complejidad de la gestión y hace necesario optimizar los programas de mantenimiento. Aumenta la productividad y eficiencia de las máquinas y equipo en condiciones normales de operación, implica contar con un mejor control de operación y con un programa eficiente de mantenimiento.

Lo expuesto anteriormente, demuestra la importancia que tiene la optimización de los programas de mantenimiento industrial. A la vez, reduce los riesgos a los que se expone la organización, analizando a los equipos para que la probabilidad que tiene un dispositivo, sistema o proceso, no falle y así, pueda desarrollar su función por un determinado tiempo dentro de un contexto operacional.

Al hablar de optimización se refiere a lograr mayor eficiencia en los equipos o máquinas, en las funciones de administración del programa de mantenimiento es decir: planificar, organizar, controlar, dirigir, evaluar el procedimiento del mismo.

La función básica del mantenimiento preventivo, es preservar el funcionamiento de la maquinaria, ya que al mantener los equipos en operación con una administración adecuada del mantenimiento no se tendrán retrasos con la producción y se obtendrá una optimización en los recursos productivos.

En la alta competitividad el mantenimiento de la industria es importante, ya que su objetivo no es solo optimizar la disponibilidad de equipos, sino que se ve afectada en todos los aspectos del negocio, la seguridad, la eficiencia energética y la calidad de los productos.

1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

Es necesario conocer, en términos generales, información respecto al lugar donde se lleva a cabo la aplicación del sistema de confiabilidad y es por esto que se presentan datos básicos de la empresa.

La historia, visión, misión y ubicación de la empresa, así como su organigrama, forman parte de las generalidades básicas de la empresa. Además, en este capítulo se describen los diferentes procesos de producción que se llevan a cabo en la empresa y el tipo de máquinas que se emplean para ello, con base en la observación directa de las operaciones dentro de la planta en funciones.

1.1. Descripción de la empresa

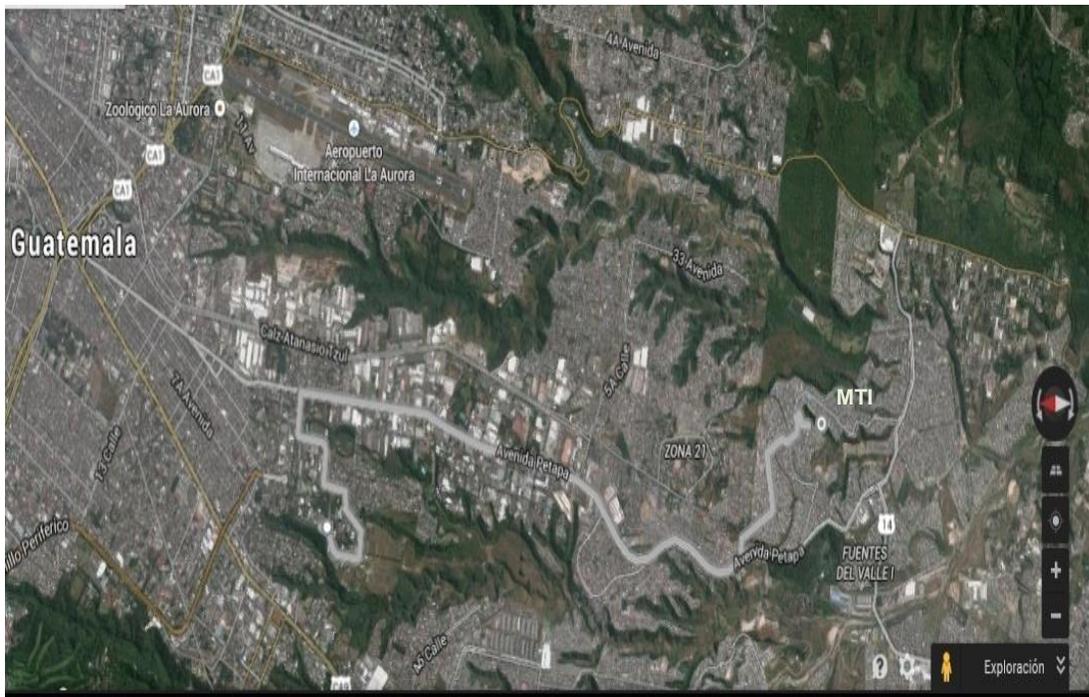
Mantenimiento técnico industrial, es considerada como una empresa nueva e independiente que tiene como principales actividades comerciales el diseño, modificación de maquinaria industrial, fabricación y reparación de piezas mecánicas en diversos materiales.

Esta empresa ofrece soluciones y servicios, para que las fábricas de las empresas que le contratan sean más productivas a través de la fabricación y reparación de sus equipos, con alta calidad y mayor rapidez.

1.1.1. Ubicación

La empresa, Mantenimiento Técnico Industrial (MTI), está ubicada en el municipio de San Miguel Petapa, manzana G y sector V del lote 48, Prados de Villa Hermosa.

Figura 1. Ubicación de la empresa



Fuente: Google Maps.

1.1.2. Historia

MTI inicia operaciones en 2011, es relativamente nueva e independiente, cuenta con personal altamente calificado y de mucha experiencia. Esta empresa, surge de la creciente demanda por el mantenimiento de maquinaria industrial.

La maquinaria industrial utilizada en grandes empresas de Guatemala, son traídas de países como Alemania, Japón o Israel, por lo tanto, cuando se requieren piezas en mantenimientos correctivos, las empresas pierden mucho tiempo para obtenerlas, si no hubiesen empresas como MTI para fabricarlas.

En MTI se trabaja con base en las piezas falladas, independientemente de su causa, se diseñan nuevas piezas a escala que se ajustan perfectamente a las maquinarias que requieran de este servicio.

La maquinaria moderna, el esfuerzo personal, la atención al cliente y un alto control de calidad, son los principales factores de identidad de esta empresa, para asesorar y proveer la mejor respuesta y solución a las necesidades de sus clientes.

1.1.3. Misión y visión

Mantenimiento Técnico Industrial se caracteriza por centrarse en la calidad, tanto del servicio como de sus productos, lo cual se refleja en el planteamiento de su misión y visión, las cuales se presentan a continuación.

1.1.3.1. Misión

La misión de MTI, se enfoca en el cliente y lo que puede ofrecerle a través de sus servicios, de la siguiente forma:

Misión: Ofrecerle soluciones y servicios para que su fábrica sea más productiva, fabricando y reparando sus equipos con alta calidad y mayor rapidez, sin tener que pagar por ello un precio excesivo.

1.1.3.2. Visión

La visión de MTI deja claro sus aspiraciones en cuanto a sus servicios y la calidad en ellos para la satisfacción del cliente y prosperidad de la empresa, de la siguiente manera:

Visión: Crecer inteligentemente, consolidarnos y diversificarnos. Proporcionar al sector industrial soluciones y servicios de alta calidad y confiabilidad, que satisfagan los requerimientos y especificaciones de diseño que nuestros clientes soliciten.

1.1.4. Valores

“Para que la empresa alcance la misión y visión planteadas, se promueven ciertos valores que todos los miembros de la empresa deben poner en práctica durante el desempeño de sus labores, estos son:

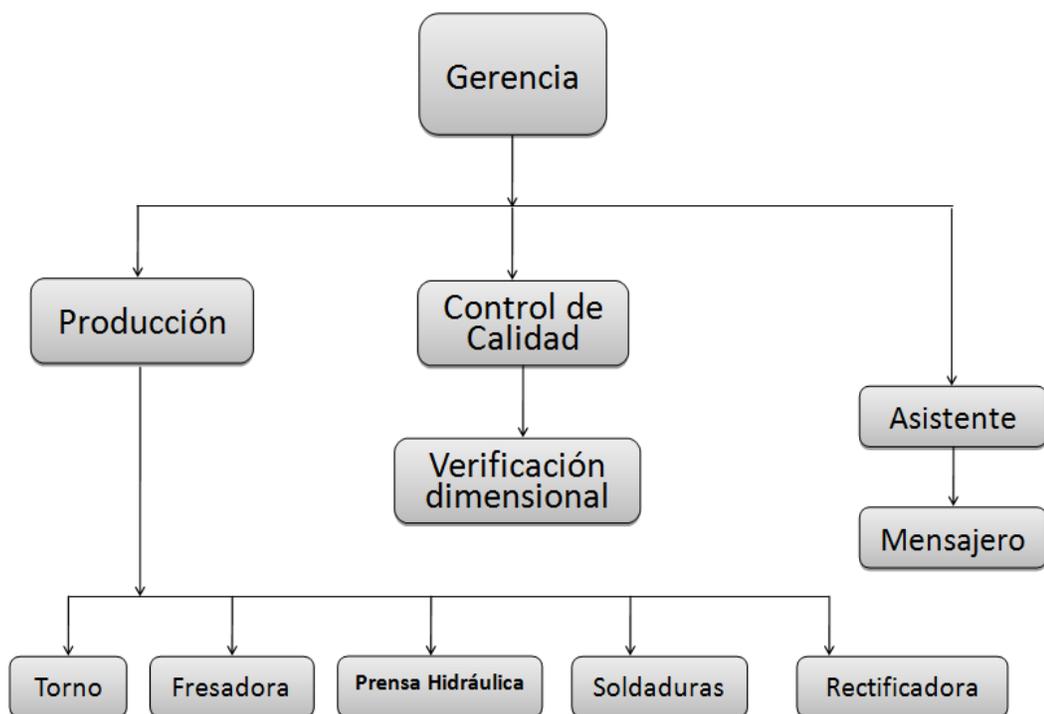
- Respeto: nuestro proceder durante el desempeño de labores prioriza el respeto hacia las personas, sean clientes, proveedores o compañeros de trabajo.
- Responsabilidad: cumplimos con todos nuestros compromisos laborales, sociales y ambientales que favorezcan la interacción con nuestro entorno.
- Trabajo en equipo: fomentamos la participación de todos para alcanzar los objetivos de la empresa, compartiendo información y conocimientos.

- Ética: “actuamos con profesionalidad, integridad y lealtad con nuestros clientes, proveedores y compañeros de trabajo, durante el desempeño de nuestras labores.”¹

1.1.5. Organigrama de la empresa

Un organigrama, es la representación gráfica de la estructura de una empresa u organización. Representa las estructuras departamentales y en algunos casos, las personas que las dirigen, hacen un esquema sobre las relaciones jerárquicas y competenciales de vigor en la organización.

Figura 2. Organigrama de la empresa



Fuente: elaboración propia.

¹ Mantenimiento Técnico Industrial.

El Departamento de Producción, tiene bajo su responsabilidad el desarrollo eficiente de actividades, en cada una de las secciones divididas por el tipo de maquinaria en función de cada una de ellas.

El Departamento de Control de Calidad, es responsable de verificar el cumplimiento de las especificaciones técnicas de cada pedido, desde el tipo de material, hasta la forma en que debe entregarse al cliente. La Gerencia, se encarga de administrar todas las actividades productivas y comerciales de la empresa, en términos generales.

1.2. Descripción del problema

Actualmente, la planta de la empresa MTI, no cuenta con un programa de mantenimiento planificado que cubra el funcionamiento de sus máquinas, debido a que tiene mecánicos pero no un Departamento de Mantenimiento que se encargue de ello. En ocasiones los trabajos han sido interrumpidos por tener que efectuar mantenimientos correctivos; los cuales con una debida planificación pueden ser programados de manera que las actividades regulares en la planta sean continuas. Con base en lo expuesto anteriormente el desarrollo del ejercicio profesional supervisado, se enfoca en dar inicio al proceso de migración del mantenimiento actual a un mantenimiento netamente planificado.

Por las dimensiones de la planta y el tiempo disponible para el desarrollo del proyecto, únicamente se planifica el mantenimiento para los tornos, fresadoras, rectificadora y taladros de la planta; considerando al personal con el que cuenta dicha empresa dentro de la planificación para el mantenimiento y con base en el análisis de los registros de auditorías y mantenimientos correctivos efectuados a los equipos.

1.3. Descripción de la maquinaria

La planta productiva cuenta con tres tornos, dos fresadoras, una rectificadora y un taladro. Estas máquinas son estudiadas para poder describir de forma simple las funciones básicas de las mismas, facilitando el análisis de su operación y mantenimiento.

Torno: es una de las máquinas de mayor relevancia para la mecanización de piezas de revolución, piezas cilíndricas y piezas cónicas. El proceso consiste en someter una pieza, a un movimiento de rotación. Mientras el torno sujeta la pieza y hace que gire, un útil la corta y le da la forma deseada, controlando la velocidad, el grado de acabado y la profundidad de corte.

Figura 3. Torno



Fuente: MTI.

Fresadora: esta máquina se utiliza para realizar mecanizados por arranque de viruta, es limitado para piezas pequeñas, pero también puede adaptarse para trabajar en ella piezas de cualquier magnitud. El proceso consiste en arrancar las virutas de una pieza, mediante el movimiento de una herramienta rotativa de varios filos de corte llamada fresa y que están dispuestos en forma circunferencial. Los filos tienen forma de cuña, el movimiento principal puede ser manual o automático.

Figura 4. **Fresadora de husillo horizontal**



Fuente: MTI.

Rectificadora: es utilizada para realizar mecanizados por abrasión, con mayor precisión dimensional y menores rugosidades que en el mecanizado por arranque de viruta. Para el rectificado se utilizan discos abrasivos robustos, llamados muelas. El rectificado se aplica después de que la pieza ha sido sometida a otras máquinas herramientas, para darle un mejor acabado se somete a la rectificadora y elimina eficientemente el excedente de material.

Figura 5. **Rectificadora de superficies planas o curvas**



Fuente: MTI.

Taladradora: se utiliza para realizar agujeros redondos en piezas metálicas y no metálicas, el taladrado o penetrado y el avellanado. En esta herramienta, el movimiento de corte es circular y corresponde a la broca, el movimiento de avance es rectilíneo y durante el proceso la pieza se mantiene en reposo sobre la mesa taladradora.

Figura 6. **Taladradora**



Fuente: MTI.

1.4. Descripción de la producción en tornos

Como se ha mencionado el torno es la máquina herramienta que se utiliza para mecanizar piezas por revolución, arrancando material en forma de viruta mediante una herramienta de corte. Su funcionamiento es manual y el operario debe controlar los movimientos mediante palancas y volantes.

Dependiendo de la operación de conformado a realizar, se pueden utilizar diferentes tipos de herramientas y útiles intercambiables con formas variadas. Por ello, en un torno se pueden realizar operaciones de cilindrado, mandrinado, roscado, refrenado, ranurado, taladrado, escariado, moleteado, cilindrado en línea y muchos otros, agregando accesorios apropiados para diferentes operaciones de mecanizado.

Entre las características del torneado de piezas se puede mencionar que la velocidad promedio de corte es inferior a los 6 m/s, dependiendo del tipo y el espesor de la viruta oscila entre los 10 y los 100 μm .

1.4.1. Operación en torno

Mediante la observación de la operación en tornos, durante la producción de piezas en la empresa, se identifican varios movimientos básicos que se describen a continuación:

- **Movimiento de corte:** este movimiento es el que se imparte a la pieza que gira rotacionalmente sobre su eje principal. Este movimiento lo imprime un motor eléctrico que transmite su giro al husillo principal. El husillo principal tiene acoplado a su extremo distintos sistemas de sujeción, los cuales sujetan la pieza a mecanizar.

- **Movimiento de avance:** es el que se produce en consecuencia del movimiento longitudinal o transversal de la herramienta sobre la pieza que se trabaje. Esto al combinarlo con el giro impartido al husillo, determina el espacio recorrido por la herramienta en cada vuelta que da la pieza y cuando el movimiento no es paralelo a los ejes, se producen los conos. De ser así, se gira el carro desde abajo del transversal y se ajusta el ángulo que se desee en una escala graduada.
- **Profundidad de pasada:** este movimiento es el que determina la profundidad de material arrancado en cada pasada. Sin embargo, la cantidad de material que es arrancado, está sujeto también al perfil del útil de corte usado, tipo de material mecanizado y velocidad de corte entre otros.

1.4.2. Colocado del material

Cada pieza que se produce en un torno, requiere que el material se coloque y sujete de diferente forma dependiendo del tipo de pieza, material o trabajo que se ejecute.

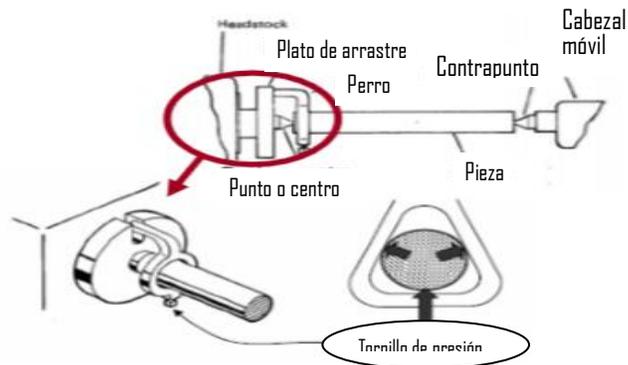
La sujeción de la pieza por plato universal es la más común en el torneado, dispone de tres garras y es autocentrante; en cambio en un plato de garras independientes, cada garra se ajusta de forma independiente a la forma de la pieza; mientras que en un plato plano, es necesario utilizar bridas o tornillos para amarrar la pieza.

En la siguiente figura, la sujeción de pieza entre puntos del inciso a), es bastante utilizada porque reduce las deformaciones; pero para la sujeción de piezas largas se usan lunetas como apoyos intermedios, como en el inciso b); y

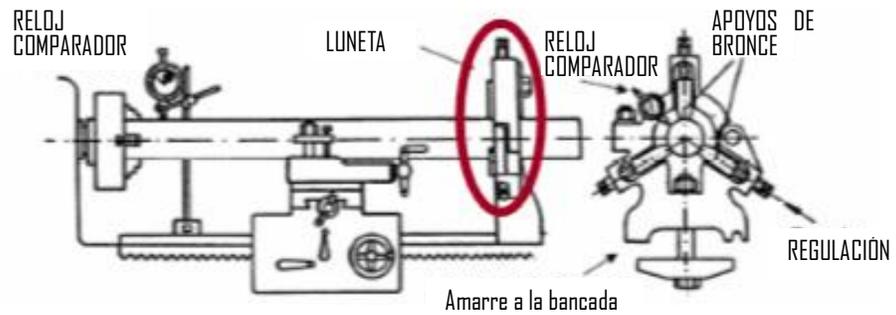
en el inciso c) se muestra la sujeción de piezas pequeñas que se hace mediante pinzas intercambiables

Figura 7. **Sujeción de la pieza en torno**

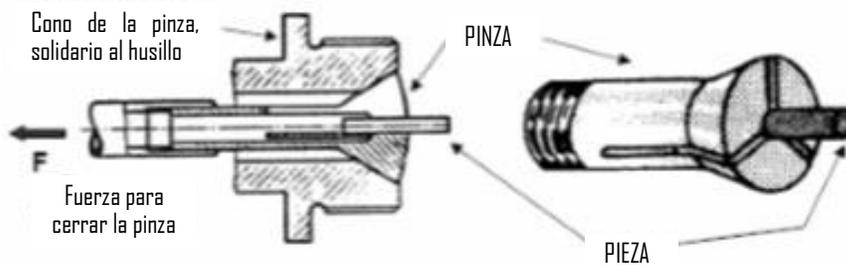
a) ENTRE PUNTOS



b) PIEZAS LARGAS



c) PIEZAS PEQUEÑAS



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

1.4.3. Tipos de materiales

En un torno, se puede operar con diversos tipos de materiales, ajustándola para trabajar dependiendo de las dimensiones de la pieza, su diámetro, su grosor, entre otros. Entre las restricciones que se tiene en cuanto a materiales, está el trabajo con materiales tóxicos o inflamables por generar humo o partículas suspendidas en el aire que pueden llegar a ser mortales.

Entre los materiales más comunes que se utilizan durante la producción en tornos está el hierro dulce, el aluminio, el acero inoxidable y materiales muy duros como cerámica, cerámicas presinterizadas, carburos metálicos.

Los materiales de las piezas que se pueden tornear, dependen del material de las herramientas que se utilicen en el torno. Por ejemplo: las herramientas cermet se usan para aceros, aceros inoxidables, fundición gris y nodular; los diamantes se usan para materiales blandos como el cobre, bronce, cauchos duros, carbón, grafito, aluminios y polimeros.

1.5. Descripción de la producción de engranajes

En la planta de la empresa Mantenimiento Técnico Industrial, se utilizan las fresadoras para engranajes, lo que les permite cortar y ranurar casi todos los tipos de engranajes.

Los engranajes se cortan conforme a su diseño final y durante este proceso también se introducen ajustes del perfil, tales como el relieve de la cresta, la raíz y el biselado final.

1.5.1. Montaje y alineación del material

El montaje y la alineación del material para la producción de engranajes, depende las especificaciones propias de cada lote o pedido, que generalmente son:

- El módulo: característica de magnitud que relaciona la medida del diámetro primitivo expresado en milímetros y el número de dientes.
- Circunferencia primitiva: se refiere a la circunferencia a lo largo de la cual engranan los dientes.
- Dientes: son los que realizan el esfuerzo de empuje y transmiten potencia desde los ejes y se verifican las siguientes características:
 - Espesor del diente: es el grosor del diente en la zona de contacto.
 - Número de dientes: es el número de dientes que ha de tener un engranaje y es fundamental para calcular la relación de transmisión.
 - Cabeza del diente: es la parte del diente comprendida entre el diámetro exterior y el diámetro primitivo.
 - Flanco: se refiere a la cara interior del diente en su zona de rozamiento.
 - Largo del diente: longitud que tiene el diente del engranaje.

1.5.2. Tipos de materiales

Entre los diferentes tipos de materiales que se utilizan generalmente para la producción de engranajes se tienen los siguientes:

- Acero al carbono, bonificados al níquel: tienen dureza superficial moderada, por lo que su resistencia al desgaste es pequeña, sin embargo, son de frecuente empleo porque su construcción es fácil y relativamente económica
- Cementado: los engranajes fabricados con acero son los que reúnen las mejores características deseables. La cementación que se efectúa después del mecanizado, permite obtener engranajes con la capa exterior más dura, resistente al desgaste, con el cuerpo de gran tenacidad y por lo tanto capaz de resistir las fuerzas y choques a que estará sometido. Se usan con frecuencia aceros al níquel, al níquel/cromo y al níquel/molibdeno. El mecanizado de estos engranajes es naturalmente mucho más caro.
- Fundición: los engranajes de fundición son de empleo muy difundido a causa de su fabricación económica. Los dientes son frágiles. Su aplicación más corriente es para los juegos de engranajes de las máquinas herramientas, en las que por lo general, los dientes están sometidos a esfuerzos moderados, sin choques. En algunos casos se endurece su superficie por flameado u otro sistema.
- Bronce: se emplea raras veces, por ejemplo en las coronas helicoidales, acopladas a tornillos sin fin, en los reductores y en algunos dispositivos del mecanismo de dirección de los automóviles.

- Aleaciones ligeras: se emplean únicamente en engranajes sometidos a pequeños esfuerzos.
- Materiales de tipo baquelita y otras resinas sintéticas: se emplean en varios casos de transmisiones de poca velocidad y pequeña potencia, cuando se exige funcionamiento silencioso.
- Madera: se usan como los anteriores, pero en general son más frágiles.

1.5.3. Tipos de engranajes

La principal clasificación de los engranajes se efectúa según la disposición de sus ejes de rotación y según los tipos de dentado. Según estos criterios existen los siguientes tipos de engranajes:

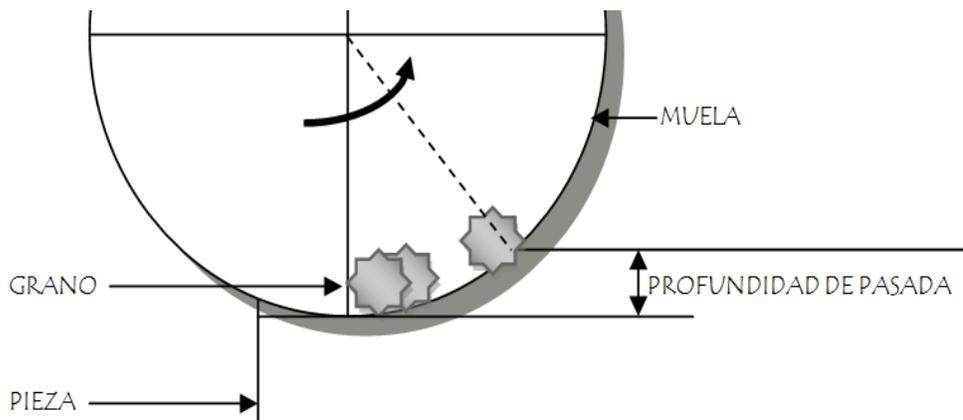
- Ejes paralelos:
 - Cilíndricos de dientes rectos
 - Cilíndricos de dientes helicoidales
 - Doble helicoidales
- Ejes perpendiculares
 - Helicoidales cruzados
 - Cónicos de dientes rectos
 - Cónicos de dientes helicoidales
 - Cónicos helicoidales
 - De rueda y tornillo sin fin
- Por aplicaciones especiales se pueden citar:
 - Planetarios

- Interiores
- De cremallera
- Por la forma de transmitir el movimiento se pueden citar:
 - Transmisión simple
 - Transmisión con engranaje loco
 - Transmisión compuesta. Tren de engranajes

1.6. Descripción de la producción con rectificado de piezas

La producción que requiere rectificado de piezas, se lleva a cabo en la etapa final de fabricación, después de que la pieza ha sido torneada, fresada o cuando se quiere mejorar la tolerancia dimensional y el acabado superficial. Cada grano abrasivo se encarga de arrancar una pequeña cantidad de material de la pieza producida, de forma muy similar a como lo haría un filo de corte de una fresa, tal como se puede apreciar en la siguiente figura.

Figura 8. Rectificado de piezas



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

Entre las características del rectificado de piezas se puede mencionar que la velocidad promedio de corte está entre 30 y 40 m/s, sin embargo, puede alcanzar hasta 100 m/s. El espesor de viruta puede ser muy pequeño, oscila entre 0,1 y 1µm; el grano no tiene geometría definida y por su forma tiende a deformar la viruta.

1.6.1. Montaje del material

Dependiendo del tipo de proceso que se realice en la rectificadora, así debe ser el montaje del material, entre estos se tienen:

- Rectificado plano: es para superficies planas o perfiles, en este caso los parámetros a verificar son la profundidad de pasada, la velocidad periférica de la muela, velocidad de avance y la anchura de pasada.
- Rectificado cilíndrico: este es para acabado de superficies de revolución interiores y exteriores, aquí los parámetros a verificar son la profundidad de pasada radial, anchura de pasada, velocidad periférica de muela, velocidad de avance y velocidad periférica de pieza.

1.6.2. Tipos de abrasivos de corte

La selección del tipo de material de abrasivo se hace en función del material de pieza a rectificar, entre estos se tienen los siguientes:

- Óxido de aluminio: tiene aplicación general al rectificado de aceros, su uso es muy extendido.

- Carburo de silicio: rectificado de carburos, cerámicas, metales no férricos, fundiciones y su uso en menos extendido.
- Nitruro de boro cúbico: rectificado a alta velocidad de férricos de alta dureza, herramientas de corte, aleaciones termoresistentes.
- Diamante: para rectificado a alta velocidad y de alta precisión de cerámicas y metales duros.

Para evitar pérdidas de granos afilados, disipar el calor generado en el proceso, liberar granos desafilados y transmitir fuerzas entre grano y husillo se utiliza aglomerante o material de unión. Entre estos se tiene los siguientes tipos:

- Vítreo: el más usado en muelas de alúmina
- Resinoso: poco frecuente
- Metálico: empleados en súper abrasivos y muelas muy duras

2. FASE DE INVESTIGACIÓN

Para conocer el proceso de producción en la planta de MTI, se toma un mes como período de observación; se aprovecha para estudiar el área de implementación y así poder describir las instalaciones con las que se cuenta para el proyecto.

Entre los conceptos generales que se deben tener claros, para la comprensión de la integración del sistema a implementar, está el mantenimiento y todo lo referente a él por lo que se incluyen las definiciones correspondientes.

Adicionalmente, como aporte a la planta en tema de producción más limpia, se incluye el estudio de posibles fuentes de ahorro energético, a nivel general en las áreas y un poco más específico en los procesos productivos y de mantenimiento en máquinas.

2.1. Estudio del área de implementación

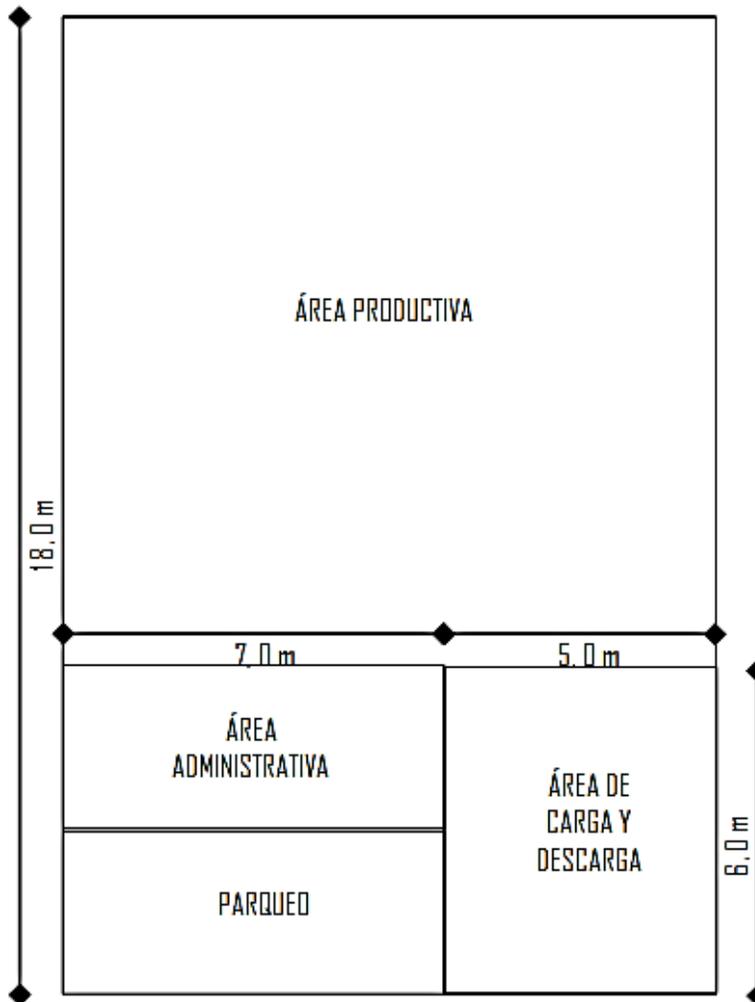
El área productiva es donde se lleva a cabo la implementación y se centra en la línea de tornos, fresadoras, rectificadora y taladradora. Sin embargo, para su estudio se hizo un recorrido general de la planta, se verificó el tipo de maquinaria que se utiliza, se inspeccionó las herramientas y planes de mantenimiento y se identificó las posibles fuentes de ahorro energético.

Además, se realizaron entrevistas a Gerencia y a operarios para conocer las necesidades en cuanto al funcionamiento y mantenimiento de las maquinarias durante los procesos productivos.

2.1.1. Descripción de las instalaciones

Las instalaciones de la empresa, cuentan con un área para funciones administrativas, un área para producción y un área de carga y descarga. El área total de las instalaciones de la empresa, es de 216 metros cuadrados, distribuidos en un terreno de 12 X 18 metros.

Figura 9. Distribución de la empresa



Fuente: elaboración propia, empleando Adobe Illustrator.

2.2. Definiciones básicas

Para la comprensión del sistema a implementar, se ofrecen las definiciones básicas de mantenimiento y ahorro energético.

2.2.1. Mantenimiento

Se entiende por mantenimiento, como el conjunto de acciones enfocadas en preservar o mantener bajo buenas condiciones, el funcionamiento de un sistema, equipo o proceso dentro de una organización. Lo cual permite sostener su desempeño en condiciones de fiabilidad, además respeta la seguridad, salud y cuidado del medio ambiente, trata de mantener bajos costos y de alcanzar un alto desempeño.

2.2.2. Tipos de mantenimiento

Entre los diferentes tipos de mantenimientos que se utilizan en la mayoría de empresas guatemaltecas se tienen las siguientes:

- Mantenimientos comunes
 - Operacional
 - Mayor

- Mantenimientos según las actividades realizadas
 - Preventivo
 - Correctivo
 - Predictivo
 - Proactivo
 - Por averías

- Mantenimientos según su ejecución en el tiempo
 - Rutinario
 - Programado
 - Parada de planta
 - Extraordinario

2.2.2.1. Mantenimiento operacional

Este tipo de mantenimiento, puede definirse como la acción correctiva o preventiva aplicada a un equipo o sistema, cuando es necesario mantenerlo en operación, es decir que, el mantenimiento es ejecutado en la mayoría de casos, cuando el sistema está en servicio, procurando no afectar sus operaciones normales.

Para poder realizar la planificación y programación de este tipo de mantenimiento, se hace de manera dinámica, por lo que la aplicación de planes de mantenimiento rutinario, se lleva a cabo durante todo el año. Esto permite establecer programas diarios, que van a depender de las necesidades que se identifiquen en el equipo mientras opera en condiciones normales.

Se puede afirmar que el objetivo de la acción de mantenimiento, es garantizar la operatividad del equipo, bajo consideración de las condiciones mínimas requeridas en cuanto a eficiencia, seguridad e integridad.

Generalmente, quien se encarga del mantenimiento operacional, es personal calificado, que entre sus funciones, debe controlar el *stock* de materiales y recursos para el mantenimiento, incluyendo herramientas y personal que ejecute las tareas de campo.

Actualmente, muchas empresas en la industria guatemalteca prefieren contratar a empresas que brindan el servicio de mantenimiento operacional, que crear una plaza fija para el desarrollo de este servicio, con personal calificado para estas funciones.

2.2.2.2. Mantenimiento mayor

El mantenimiento mayor, es aquel que se aplica a un equipo o sistema en elevada magnitud, debido a su alcance, en cuanto a la cantidad de trabajos a realizar, el tiempo empleado en la ejecución, el costo o inversión requerida y los requerimientos para la planificación y programación, entre otros.

El objetivo general de este tipo de mantenimiento, es la restitución general de las condiciones de servicio de la maquinaria o equipo, el cual puede ser desde el punto de vista del diseño o para satisfacer un período de tiempo significativo con la mínima probabilidad de falla o interrupción del servicio; todo esto entre el rango de desempeño y eficiencia requeridos, previamente establecidos.

Entre el mantenimiento mayor y el operacional, la diferencia radica en los tiempos de ejecución, los requerimientos de inversión y en la magnitud y alcance de los trabajos a realizar. Es decir, el mantenimiento operacional se realiza durante la operación normal de la maquinaria o equipo, mientras que el mantenimiento mayor se aplica cuando estos se encuentran fuera de servicio.

2.2.2.3. Mantenimiento preventivo

También es denominado mantenimiento bajo planificación. Tiene lugar antes de que ocurra una falla o avería, se efectúa con el fin de prevenir la

ocurrencia de fallas, se trabaja bajo condiciones controladas, sin la existencia de algún error en el sistema y busca mantener las maquinarias, áreas o equipos en óptimas condiciones de desempeño.

Se realiza a razón de la experiencia y pericia del personal a cargo, quienes son los encargados de determinar el momento necesario, para llevar a cabo dicho procedimiento; el fabricante también puede estipular el momento adecuado a través de los manuales técnicos.

2.2.2.4. Mantenimiento correctivo

Este mantenimiento también es denominado mantenimiento reactivo, tiene como finalidad corregir los defectos que se han presentado en el área, maquinaria o equipo durante su funcionamiento. En este caso si no se produce ninguna falla, el mantenimiento sería inútil, por lo que se tiene que esperar hasta que se presente el desperfecto, para tomar medidas de corrección de errores.

De acuerdo a la ocurrencia de la falla, el mantenimiento correctivo puede clasificarse en no planificado y en planificado. El no planificado es aquel que surge de una emergencia, que debe efectuarse lo antes posible, ya sea por una avería imprevista que debe ser reparada inmediatamente, o por una condición imperativa que debe ser satisfecha; como cuando surgen problemas de seguridad, de contaminación o por la aplicación de nuevas normas. El mantenimiento correctivo planificado, da lugar al mantenimiento predictivo ya que se da cuando se conoce la posibilidad de una falla específica, por lo que se planifica el procedimiento y se provee del material necesario para la reparación. El mantenimiento correctivo trae consigo las siguientes consecuencias:

- Paradas no previstas en el proceso productivo, esto hace que disminuyan las horas operativas. La planificación del tiempo que estará el sistema fuera de operación, no es predecible.
- Incremento en costos. Esto debido a que se presentan costos por reparación y repuestos no presupuestados, por lo que puede darse el caso, que por falta de recursos económicos, no se puedan comprar los repuestos en el momento deseado.

2.2.2.5. Mantenimiento predictivo

Como se mencionó anteriormente, este tipo de mantenimiento forma parte del correctivo debido a que, aunque se planifica y programa, tiene lugar cuando se detectan fallas potenciales mientras el sistema sigue en funcionamiento. Esto es posible, gracias al desarrollo de análisis técnico, programas de inspección y reparación de equipos, los cuales se adelantan al suceso de dichas fallas.

Gracias a los avances tecnológicos, como sistemas de vibraciones mecánicas, análisis de aceite, análisis de ultrasonido, monitoreo de condición, análisis de termografía infrarrojo y muchos más, se incrementa la posibilidad de detectar las fallas.

2.2.2.6. Mantenimiento proactivo

Cuando se habla de mantenimiento proactivo, se refiere al conjunto de tareas propias del mantenimiento preventivo y predictivo, unificadas con el fin de lograr que las maquinarias, equipos o áreas cumplan con sus funciones normales.

Al aplicarlo se alcanza la disminución de acciones de mantenimiento correctivo y sus consecuencias, alargando sus ciclos de funcionamiento que permite alcanzar mejoras en su operación y eficiencia.

2.2.2.7. Mantenimiento por averías

Este tipo de mantenimiento, se genera bajo las mismas condiciones que el correctivo, ya que su objetivo es devolver a la máquina o equipo, las condiciones normales bajo las cuales ha de operar, luego de identificar una falla que se presenta inesperadamente.

2.2.2.8. Mantenimiento rutinario

Está relacionado a las tareas de mantenimiento regulares o de carácter diario, que no se programan por ser parte de la rutina operativa.

2.2.2.9. Mantenimiento programado

Este tipo de mantenimiento, está relacionado a los trabajos recurrentes y periódicos de valor sustancial, estimados con base en las especificaciones operativas de la maquinaria y equipo.

2.2.2.10. Parada de planta

En términos generales, se refiere al trabajo realizado durante las paradas planificadas dentro de la planta de producción. Hay máquinas o equipos que no se utilizan todos los días o que se utilizan en períodos no mayores a 4 horas continuamente, por lo que se puede programar el mantenimiento durante el tiempo en que está inactivo.

En algunas empresas que operan en jornadas diurnas, programan jornadas nocturnas de mantenimiento, para aprovechar el tiempo en que la empresa no está en función.

2.2.2.11. Extraordinario

Se refiere específicamente a los trabajos de mantenimiento, realizados por eventos fuera de lo común o fenómenos naturales. Tales como terremotos, tormentas, accidentes o errores humanos, entre otros.

Este tipo de mantenimiento, tiene como consecuencia incremento de costos, interrupción de las actividades productivas, incumplimiento en fechas o volúmenes de entrega entre otros.

2.2.3. Objetivo del mantenimiento

El principal objetivo de la aplicación de mantenimiento en una empresa, es conservar la disponibilidad de maquinaria y equipo para el flujo ininterrumpido de sus procesos productivos.

El mantenimiento es considerado como uno de los ejes fundamentales dentro de la industria, debido a que la implementación de sistemas de mantenimiento, puede tener un impacto positivo en la cantidad y calidad de producción.

Para tener disponibilidad de maquinaria y equipo en los procesos productivos de una planta industrial, debe realizarse regularmente operaciones de mantenimiento e inspecciones. Esto permite la reducción del tiempo que el equipo permanece en reparación; marca la tendencia a la eliminación de los

almacenes de refacciones; y promueve la planeación e implementación de programas de mantenimiento, que permitan a la empresa mantener altos niveles de producción.

2.2.4. Factores que influyen en el mantenimiento

Entre los factores más importantes, que se tienen que tomar en cuenta al planificar el mantenimiento en una planta productiva, están:

- Campo de aplicación: el mantenimiento va a variar dependiendo de la actividad productiva donde se realice.
- Ciclo productivo: el mantenimiento debe adaptarse a las necesidades y disponibilidades de tiempo dentro de las jornadas de trabajo o después de ellas.
- Optimización: lograr la máxima disponibilidad de la infraestructura instalada, utilizando eficientemente los recursos disponibles para ello.
- Conservación: preservar la calidad del servicio y el valor de la infraestructura evitando el deterioro prematuro.
- Costos: minimizar los costos generados por mantenimiento.
- Tiempo: cuidar que las actividades de mantenimiento no afecten las actividades productivas, en el caso del mantenimiento correctivo, procurar emplear el mínimo tiempo con la máxima calidad.

- Seguridad: el personal de mantenimiento debe contar con el equipo de protección necesario y adecuado; además, es su responsabilidad señalar correctamente las áreas, maquinarias o equipos que se encuentren en proceso de mantenimiento, todo esto para evitar accidentes.

2.2.5. Ahorro energético

El ahorro energético consiste en la optimización de la energía, disminuyendo el consumo de este recurso, sin que por esto se vean afectadas las actividades que deban desarrollarse en un espacio.

La mayoría de empresas consumen grandes cantidades de energía no renovable, a nivel industrial se ha creado un alto grado de dependencia a la energía eléctrica para el desarrollo de actividades productivas. En consecuencia, no solo se ha ido agotando este recurso, sino que ha afectado al medio ambiente contribuyendo al creciente cambio climático.

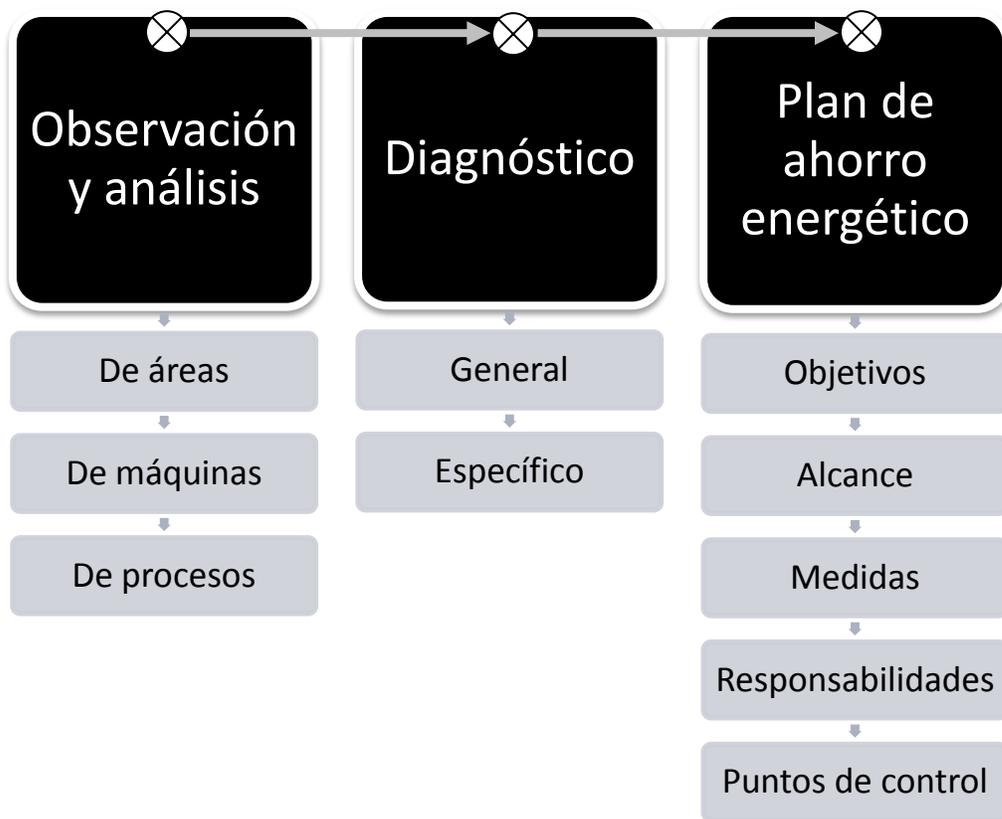
Muchos países están regulando las leyes para que se respete el medio ambiente y detener de alguna manera la contaminación y el impacto negativo que las actividades industriales y productivas puedan generar en su entorno. El ahorro energético es una medida que están adoptando muchas empresas, ya que no solo representa menos daños al medio ambiente, sino que disminuye costos y aumenta la productividad.

2.2.5.1. Plan de ahorro energético

Un plan de ahorro energético, consiste en la observación y análisis de todas las fuentes de consumo eléctrico a nivel de áreas, máquinas y procesos,

que lleve a un diagnóstico de la situación actual del uso de este recurso en la empresa y así poder evaluar la posibilidad de disminuirlo o eliminarlo según el área, función o mantenimiento que se le dé y con base en lo anterior, formular los objetivos, alcance, medidas a tomar y puntos de control del plan.

Figura 10. **Esquema de un plan de ahorro energético**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

2.2.5.1.1. Observación y análisis

Como primer paso para la elaboración de un plan de ahorro energético, es necesaria la observación y el análisis de:

- Áreas: se toma en cuenta las dimensiones de cada una de las áreas disponibles para todas las actividades en la empresa, la cantidad de luminarias por área y la cantidad de iluminación natural.
- Máquinas: se analiza la cantidad de máquinas que hay en el área productiva, su consumo energético y el mantenimiento que requieren.
- Procesos: se observan todos los procesos que se desarrollan como parte de las actividades productivas de la empresa, el tiempo que requieren y todos los recursos que se utilizan para ello.

2.2.5.1.2. Diagnóstico

Con los datos recopilados en la observación y el análisis se elabora un diagnóstico a nivel general con los puntos de mejora y un diagnóstico específico de las áreas, máquinas y procesos analizados y con base en ello se elabora el plan de ahorro energético de una empresa.

En el plan se especifican los objetivos de la empresa en cuanto a la utilización de este recurso, el alcance que ha de tener el plan, las medidas de acción para llevar a cabo el plan, las responsabilidades de todos los involucrados y los puntos de control.

2.2.6. Eficiencia energética

Hay cuatro grandes retos en el sector energético mundial, que son: el cambio climático, la calidad y seguridad del suministro, la evolución de los

mercados y la disponibilidad de fuentes de energía. La eficiencia energética se ha convertido en un instrumento fundamental para dar respuesta a estos retos.

La eficiencia energética es el conjunto de actividades encaminadas a reducir el consumo de energía en términos unitarios, para mejorar la utilización de la misma, con el fin de proteger el medio ambiente, reforzar la seguridad del abastecimiento y crear una política energética sostenible. Básicamente se trata de utilizar mejor la energía, independientemente del tipo de actividad que se realice con ella.

Hay empresas que formulan una política de eficiencia energética, cuyo objetivo es fomentar comportamientos, métodos de trabajo y técnicas de producción que consuman menos energías. Esta política puede ser incluida dentro del plan de ahorro energético, ya que refuerza los objetivos del mismo y facilita la implementación al crear conciencia en los empleados de cualquier empresa y por tanto se reduce la resistencia al cambio.

2.2.7. Medición y análisis del uso de energía

Para poder medir la energía eléctrica que se utiliza por unidad de tiempo dentro de las instalaciones de la empresa, lo más práctico es utilizar las facturas que la Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. envía mensualmente. En ellas se especifica la cantidad de kilowatts por hora (kWh) consumidos en el mes, el precio en quetzales por kilowatts hora (QkWh) y el total a pagar.

Para hacer el análisis del uso de energía, se toman en cuenta la cantidad de energía eléctrica utilizada en máquinas, en luminarias y en equipo de cómputo, que son básicamente las que consumen la mayor parte de la energía facturada.

2.2.7.1. Usos y características

En la empresa, la energía eléctrica es necesaria para llevar a cabo las tareas productivas y administrativas. Entre los usos que se le da a la energía eléctrica y sus características se tienen los siguientes:

- Iluminación: en la planta se cuenta con lámparas tipo industrial de 250 watts, las cuales están distribuidas en el área de Producción, en una hilera de cada lado del techo a 2,5 metros del piso y un metro del techo, por lo que queda a aproximadamente 1,6 metros de las diferentes áreas de trabajo. En el área de oficinas para la iluminación se utilizan 4 focos de 80 watts.
- Maquinaria: en el área de producción se tienen tres tornos, dos fresadoras, una rectificadora y un taladro que requieren de energía eléctrica para funcionar.
- Equipo de cómputo: en el área administrativa se tiene una computadora portátil que consume 8 watts en promedio por hora de funcionamiento utilizada por el gerente, 1 computadora en recepción y otra en la oficina que consumen aproximadamente 150 watts por hora de funcionamiento con conexión a internet cada una.

2.2.7.2. Riesgos

Los riesgos de este tipo se originan al tener contacto con la energía eléctrica. El choque eléctrico por contacto con elementos en tensión, puede ser por contacto directo, producido con las partes activas de una instalación o de un equipo; aunque también puede ser por contacto indirecto, que se produce con

las masas puestas accidentalmente en tensión. Entre los principales riesgos se tiene:

- Choques eléctricos por descargas atmosféricas, arco eléctrico, corto circuito o sobrecargas en instalaciones.
- Incendios o explosiones originadas por la electricidad ya sea por sobrecargas en instalaciones, chispas o cortocircuito.

En el caso específico de la corriente alterna, en baja frecuencia dan origen a los siguientes riesgos, conforme a un rango determinado de exposición:

- Electrización: es el paso de la corriente que produce movimientos reflejos, generalmente en un rango de 3 a 10 mA.
- Tetanización: es el paso de la corriente que provoca contracciones musculares y agarrotamiento, este se da en un rango de exposición entre 10 a 12 mA.
- Paro respiratorio: se da ante una exposición de 25 mA aproximadamente y es cuando la corriente atraviesa el cerebro.
- Asfixia: si la corriente atraviesa el torax en un rango de exposición de 25 a 30 mA.
- Fibrilación ventricular: si la corriente atraviesa el corazón entre un rango de 60 a 75 mA.

En términos generales el contacto con corriente eléctrica puede causar efectos inmediatos tales como quemaduras, calambres, fibrilación y en algunos casos hasta trastornos mentales.

2.2.7.3. Medidas de precaución

Como medidas de precaución o protección se pueden establecer las siguientes de acuerdo al tipo de contacto.

- Indirecto: para proteger a las personas contra los riesgos que pueden derivarse de un defecto de aislamiento entre las partes activas y masa u otras partes conductoras accesibles.
 - Clase a: reducen el riesgo por sí mismos, impidiendo el contacto entre masas y elementos conductores, haciendo que los contactos no sean peligrosos; entre estos se tienen el doble aislamiento, separación de circuitos y pequeña tensión de seguridad.
 - Clase b: sistemas activos que desconectan o cortan la alimentación cuando se detectan condiciones peligrosas, asegurando la desconexión de la instalación en el menor tiempo posible; entre estos está la puesta a tierra y el diferencial.
- Directo: para proteger a las personas contra los riesgos que se originan por contacto directo con partes activas; entre estas están el recubrimiento de partes activas, la interposición de obstáculos y el alejamiento de las partes activas.

2.3. Producción más limpia

Para incrementar la eficiencia global, así como reducir riesgos para los seres humanos y su entorno, se hace necesaria la producción más limpia. Esta puede definirse como la aplicación continua de una estrategia ambiental, preventiva e integrada a los procesos productivos de cualquier industria, a los productos mismos y a los diferentes servicios que puede prestar una empresa a la sociedad, de la siguiente forma:

- **Procesos productivos:** en los procesos, la producción más limpia conduce al ahorro de materias primas y otros recursos como la energía y el agua; elimina materias y materiales tóxicas y peligrosas; y además, reduce la cantidad y toxicidad de todas las emisiones y desechos durante un proceso.
- **Productos:** la producción más limpia en los productos reduce los impactos negativos de los productos sobre el ambiente, la salud y la seguridad, durante todo su ciclo de vida; iniciando desde la extracción de las materias primas, continuando con la transformación de las mismas y concluyendo en la disposición final del producto.
- **Servicios:** en los servicios, la producción más limpia implica incorporar el impacto ambiental en el diseño y la prestación de servicios.

La producción más limpia incrementa la productividad de cualquier empresa porque su aplicación conduce al uso óptimo de recursos productivos, especialmente de las materias primas, el agua y la energía eléctrica, sin afectar la cantidad ni calidad de producto producido por unidad de tiempo. El resultado

es la disminución del costo unitario de producción y al mismo tiempo, la reducción de la cantidad de residuos generados.

Cuando se necesita una menor cantidad de insumos para generar la misma cantidad de productos, también se pueden utilizar estos recursos en otras actividades productivas o simplemente colaborar para la preservación de recursos no renovables. Por tanto, se puede afirmar que la producción más limpia incrementa la productividad, reduce costos y mejora la competitividad de una empresa; también puede ser vista como una estrategia empresarial que minimiza daños ambientales, maximiza rendimientos económicos, es ambiental y económicamente sostenible.

2.3.1. Diseño de un plan de ahorro energético

Al diseñar el plan de ahorro energético se observa la empresa en el transcurso de dos semanas, en este tiempo se analizan las áreas, las máquinas y sus procesos, con lo cual se realiza el siguiente diagnóstico.

En términos generales se puede concluir que en la empresa básicamente se utiliza la energía eléctrica para la operación de máquinas, iluminación, computadoras y otros como cargadores de teléfono, ventiladores, entre otros. Ahora de manera más específica se presenta lo siguiente:

- Diagnóstico de áreas: la cantidad de lámparas por área están de acuerdo a las dimensiones de cada una de ellas, sin embargo, se considera necesario hacer una instalación en cada estación de trabajo con lámparas led ahorrativas de 7 watts y darle mantenimiento al techo para mejorar la iluminación natural. Las apreciaciones son las siguientes:

- Dimensiones: el área total de la empresa es de 216 m² distribuidos en un área para parqueo de 3 X 7 metros; área de carga y descarga de 6 X 5 metros; un área administrativa de dos pisos de 3 X 7 metros, el primero para recepción y el segundo como oficina del gerente y directivos; un área productiva de 12 X 12 metros.
- Iluminación: en el área productiva hay 4 lámparas de 250 watts y en cada estación hay tubos fluorescentes de 36 watts; todas las lámparas se mantienen encendidas estén produciendo o no y la iluminación natural está obstruida por falta de mantenimiento. En el área de carga y descarga hay una lámpara de 250 watts, que únicamente se enciende si llega material fuera de horario de oficina, de lo contrario se aprovecha la iluminación natural que ingresa al subir la persiana. En el área de oficinas se utilizan 4 focos de 80 watts, que se encienden al trabajar después de las 6 de la tarde.
- Diagnóstico de máquinas: la cantidad de máquinas existentes en la empresa ocupan mucho espacio, el cual se aprovecharía mejor con una redistribución de la maquinaria, consumen aproximadamente el 75 % de la energía eléctrica facturada y el mantenimiento no cumple las expectativas básicas por lo que hay que mejorarlo. Las bases de lo anterior, se presentan a continuación:
 - Cantidad de máquinas: 3 tornos con potencia de 4 000 watts cada una. 2 fresadoras de 1 000 watts cada una, una rectificadora de 11 000 watts y un taladro de 1 500 watts. Como parte del mantenimiento de estas máquinas, se limpia superficialmente cuando ya hay mucho material regado, se limpia semanalmente a profundidad y se engrasa quincenalmente.

- Equipo de cómputo: en el área administrativa se tiene una computadora portátil que consume 8 watts en promedio por hora de funcionamiento, utilizada por el gerente, 1 computadora en recepción y otra en la oficina que consumen aproximadamente 150 watts por hora de funcionamiento con conexión a internet cada una.
- Procesos: los procesos se basan en la producción en tornos, la producción de engranajes y el rectificado de piezas. En la producción de engranajes se utilizan aproximadamente 16 horas-hombre al día; producción en tornos requiere 24 horas-hombre diarias y el rectificado de piezas al día requiere no más de 8 horas-hombre. Entre los materiales más comunes que se utilizan en estos procesos están: los aceros, fundiciones, aceros inoxidable, aluminio, cobre, latón, aleaciones termoresistente, entre otros.

2.3.1.1. Objetivos

General: crear un plan de ahorro energético que contribuya con la empresa y el medio ambiente.

Específicos:

- Optimizar el uso de la energía eléctrica
- Aumentar la productividad de la empresa
- Crear conciencia ambiental en los colaboradores de la empresa
- Mejorar la relación ambiente/empresa

2.3.1.2. Alcance

El presente plan de ahorro energético es aplicable a todas las áreas de la empresa. Los responsables de la aplicación son todos los colaboradores de la empresa y el control del mismo debe realizarlo el auditor.

2.3.1.3. Medidas de acción

Para alcanzar los objetivos se presentan las siguientes medidas de acción aplicables desde el momento en que se presente ante el personal de la empresa. Y estas son:

- Personal operativo: incluye a los 6 operarios y a los dos encargados de áreas.
 - Cada uno de los operarios debe encender la luz en su estación de trabajo, únicamente cuando se ejecute una actividad en ella.
 - Todos los operarios deben apagar la luz en sus estaciones de trabajo en cuanto terminen sus actividades laborales, durante su hora de almuerzo o cada vez que tengan que interrumpir sus actividades.
 - La iluminación natural del área productiva es suficiente durante el día, por lo que las lámparas industriales únicamente se encenderán por las noches, en días lluviosos o cuando se considere necesario por falta de visibilidad.
 - Apagar las máquinas en cuanto deje de utilizarlas, no dejarlas encendidas de un día para otro.
- Personal de mantenimiento: se refiere a los dos mecánicos en contribución con el auditor y control de calidad.
 - Realizar una inspección mensual del estado general de las instalaciones.

- Dar mantenimiento regular al techo para evitar la obstrucción de la iluminación natural en el área productiva.
- Dar mantenimiento a las paredes con pintura cuando se considere necesario para mejorar la reflectancia.
- Dar mantenimiento a las ventanas de las oficinas para contribuir a la buena iluminación natural en el área administrativa.
- Programar un mantenimiento semanal específico para las máquinas herramientas, conforme al manual de cada uno de ellos.
- Personal administrativo: incluye a la recepcionista, el supervisor y el gerente de la empresa.
 - Verificar que todos los aparatos, computadoras, regletas y cualquier otra fuente de consumo de energía eléctrica, queden apagados al retirarse de las instalaciones.
 - Activar el modo de ahorro de energía en las computadoras.
 - Notificar a todo el personal de la empresa respecto al plan de ahorro energético y las medidas de acción.

2.3.1.4. Responsabilidades

Para que el plan de ahorro energético, tenga un impacto positivo en la empresa, es necesario que todos contribuyan con las medidas de acción, pero específicamente:

- Es responsabilidad de los encargados de área, verificar que todos los operarios cumplan con las medidas de acción que se han formulado.
- Es responsabilidad del gerente difundir el presente plan de ahorro energético y ser ejemplo de compromiso con el mismo.
- Es responsabilidad de control de calidad, verificar que el cumplimiento de estas medidas de acción, no afecte la calidad del producto final.
- Es responsabilidad del personal de mantenimiento cumplir con los mantenimientos en los tiempos estipulados.
- Es responsabilidad de todos, que el plan de ahorro energético se lleve a cabo y alcanzar los objetivos planteados.

2.3.1.5. Puntos de control

Es necesario controlar que las inspecciones se realicen en los tiempos estipulados y que no afecten la producción.

El ahorro energético, puede verificarse en la factura mensual de consumo que la Empresa Eléctrica de Guatemala entrega a la empresa y comparar la cantidad de kWh registrados en cada mes.

3. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD MCC

En este capítulo, se presenta una breve historia de la introducción del mantenimiento centrado en la confiabilidad, el propósito de este tipo de mantenimiento, su definición y razones para aplicarlo. Además, se mencionan algunos beneficios que se obtienen de la aplicación del MCC, así como algunos conceptos básicos que permiten ampliar los conocimientos para que la aplicación sea eficiente.

La importancia de los temas abarcados en este capítulo, radica en que el presente trabajo tiene como finalidad, servir de guía en la aplicación de un sistema de confiabilidad, enfocado en el mantenimiento de las máquinas herramientas de un taller que se dedica a la elaboración de piezas para máquinas industriales y al mantenimiento correctivo para otras empresas.

3.1. Introducción del mantenimiento centrado en la confiabilidad

El mantenimiento centrado en confiabilidad, es uno de los procesos de mantenimiento que se desarrollaron durante el período de 1960 a 1970, en varias industrias de Norteamérica, con el objetivo de contribuir en la creación de políticas que permitieran mejorar las funciones de los activos físicos y manejar las consecuencias de sus fallas. De los procesos formulados, el más directo y más aplicado es el MCC porque permite determinar cuáles son las tareas de mantenimiento adecuadas para cualquier activo físico.

Inicialmente, este tipo de mantenimiento fue desarrollado por la industria de la aviación comercial de los Estados Unidos, en cooperación con entidades gubernamentales y privadas. Desde 1974, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, ha usado el MCC, como la filosofía de mantenimiento de sus sistemas militares aéreos. Desarrollando la Norma SAE JA 1011-12, que es un estándar que facilita la evaluación de aplicación de sistemas de este tipo.

Aunque el MCC tuvo sus inicios en el sector de la aviación, su éxito ha incentivado la aplicación en diferentes sectores, como en la generación de energía, petróleo, químicos, gas, refinación e industrias manufactureras. En ellas se implementa esta filosofía de gestión de mantenimiento, la cual adecúan según sus funciones operativas.

La aplicación adecuada de las nuevas técnicas de mantenimiento bajo el enfoque del MCC, permiten de forma eficiente, optimizar los procesos de producción y disminuir al máximo los posibles riesgos sobre la seguridad personal y el ambiente, que traen consigo los fallos de los activos en un contexto operacional específico.

3.1.1. Propósito

El propósito del mantenimiento centrado en confiabilidad, es determinar sistemática y científicamente, las acciones a tomar para asegurar que los activos físicos, funcionen continuamente conforme a lo que sus usuarios esperan, basados en sus especificaciones técnicas de operación. Este tipo de mantenimiento, se destaca por ser eficaz y económico. Además, permite desarrollar estrategias de mantenimiento efectivas, lleva a mejoras rápidas, sostenidas y sustanciales en la disponibilidad y confiabilidad de planta, calidad de producto, seguridad e integridad ambiental.

Al establecer un sistema de confiabilidad, el MCC, no es una fórmula que no pueda tener variantes, ya que el éxito de su aplicación radica en su capacidad para adaptarse a las características identificadas en un análisis funcional del objeto de aplicación, el cual es realizado generalmente por un equipo de trabajo multidisciplinario para abarcar mejor la problemática.

El equipo desarrolla un sistema de gestión de mantenimiento flexible, que se adapta a las necesidades reales de mantenimiento de la empresa, tomando en cuenta, la seguridad del personal, el ambiente, las operaciones, los costos y beneficios.

3.1.2. Definición del mantenimiento basado en la confiabilidad

La definición formal de MCC o RCM por sus siglas en inglés, Reliability Centred Maintenance, es: el proceso que se usa para determinar los requerimientos del mantenimiento de los elementos físicos en su contexto operacional.

El proceso de aplicación, involucra la identificación de las funciones que debe realizar una maquinaria o equipo bajo las condiciones particulares en las que opera, analiza las causas de los estados de falla y sus efectos, lo cual permite establecer una actividad de mantenimiento que elimine o reduzca, según el caso, los efectos de las fallas a un valor aceptable.

La empresa que desee aplicar este tipo de mantenimiento, tienen que tener claro que no va a mejorar la operación normal de su maquinaria o equipo, sino que va a prolongar su vida útil, manteniendo sus propiedades básicas de operación.

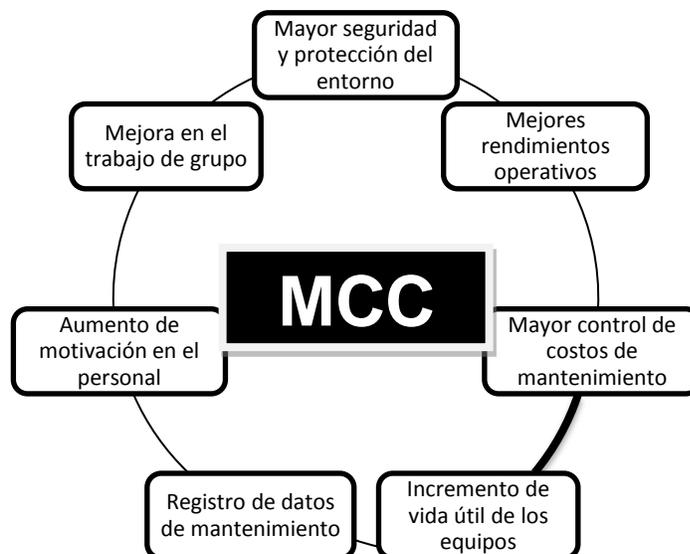
3.1.3. Razones del mantenimiento basado en la confiabilidad

Entre las principales razones por las cuales vale la pena aplicar el mantenimiento centrado en confiabilidad, está el aumento de la vida útil de los activos físicos de la empresa, devuelve las propiedades operacionales normales a los objetos de aplicación, disminuye el volumen de producto no conforme, disminuye costos de operación y de mantenimiento, reduce el riesgo de accidentes ocupacionales y también el riesgo de incidentes al medio ambiente.

3.1.4. Beneficios de la confiabilidad

El mantenimiento centrado en la confiabilidad ha sido aplicado en diversidad de industrias, debido a múltiples beneficios que brinda al ser aplicado correctamente, entre estos están:

Figura 11. Beneficios del MCC



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

- Se obtiene mayor seguridad y protección del entorno, debido a:
 - Mejora en el mantenimiento de los dispositivos de seguridad existentes y disponibilidad de los mismos
 - Revisión sistemática de las consecuencias de cada fallo antes de considerar la cuestión operacional.
 - Estrategias para prevenir los modos de fallo que puedan afectar a la seguridad, y para las acciones que deban tomarse si no se pueden encontrar tareas preventivas apropiadas.

- Mejores rendimientos operativos, debido a:
 - Un mayor énfasis en los requisitos del mantenimiento de elementos y componentes críticos.
 - Un diagnóstico más rápido de los fallos mediante la referencia a los modos de fallo relacionados con la función y a los análisis de sus efectos.
 - Menor daño secundario a continuación de fallos de poca importancia, como resultado de una revisión extensa de los efectos de los fallos.
 - Intervalos más largos entre las revisiones, y en algunos casos la eliminación completa de ellas.
 - Listas de trabajos de interrupción más cortas, que llevan a paradas más cortas, más fáciles de solucionar y menos costosas.

- Mayor control de costos, debido a:
 - Menor mantenimiento rutinario innecesario, previniendo o incluso eliminando las fallas costosas.
 - Políticas de funcionamiento más claras, especialmente en cuanto a los equipos de reserva.
 - Menor necesidad de usar personal experto de alto costo, porque todo el personal tienen mejor conocimiento de sus funciones.
 - Pautas claras para la adquisición de nueva tecnología de mantenimiento.
- Incremento en la vida útil de las máquinas o equipos, debido al aumento del uso de las técnicas de mantenimiento a condición.
- Registro de datos de mantenimiento, que permiten adquirir mayor conocimiento de la empresa en el contexto operacional y reducen los efectos de la rotación del personal con la pérdida consiguiente de su experiencia y competencia.
- Mayor motivación de las personas, especialmente a las que están interviniendo en el proceso de revisión, contribuyendo a que las soluciones tengan mayores probabilidades de éxito.
- Mejora en el trabajo de grupo, que conlleva a la mejora en la comunicación y cooperación entre las diferentes áreas de la empresa.

3.1.5. Análisis enfocado en la implementación del MCC

Para el análisis es necesario tomar como base una metodología de implementación. Esta metodología, permite que cualquier empresa que quiera implementar el mantenimiento centrado en confiabilidad, pueda hacerlo de forma fácil y eficientemente, siguiendo los pasos que se presentan:

- Análisis primario
- Selección de los componentes del sistema
- Evaluación de criticidad
- Análisis de modos de falla y efecto
- Análisis de toma de decisión
- Aplicación del sistema de confiabilidad establecido

3.1.5.1. Análisis primario

Cuando se introduce una nueva metodología, política o proceso, es necesario tener claro lo que se quiere alcanzar, cómo se va a lograr y toda la información de lo que se piensa implementar, por medio de un análisis primario que contenga las respuestas a las inquietudes expuestas inicialmente. Dichas inquietudes, se abarcan en tres interrogantes, que se enfocan en la aplicación específica de un sistema basado en el mantenimiento centrado en confiabilidad. En el caso específico de la empresa MTI, al realizar el análisis primario se obtienen las siguientes respuestas:

- ¿Qué es?, tal como se mencionó anteriormente, el mantenimiento centrado en confiabilidad, es un proceso que permite determinar las actividades de mantenimiento necesarias para que las maquinarias, equipos o áreas, sigan realizando las funciones para las cuales fueron

creadas, velando por la seguridad del personal y por la integridad del medio ambiente.

- ¿Por qué se necesita?, porque actualmente, la empresa no cuenta con un sistema de mantenimiento que permita identificar los estados de falla en su maquinaria y equipo, así como sus efectos y posibles soluciones.
- ¿Qué se busca?, se busca aumentar la disponibilidad de las instalaciones de la empresa, disminuir el volumen de producto no conforme, reducir los costos de mantenimiento y de operación y minimizar los riesgos de accidentes.

La metodología MCC, propone un procedimiento que permite identificar las necesidades reales de mantenimiento de los activos en su contexto operacional, iniciando con el análisis de modo y efecto de falla, planteado en siete preguntas que se presentan a continuación:

- ¿Cuáles son las funciones? Conforme a funciones y criterios de funcionamiento de la maquinaria o equipo en condiciones normales.
- ¿De qué forma falló? Referente a los fallos funcionales más comunes que puede presentar una maquinaria o equipo, basados en sus especificaciones técnicas o experiencia operacional.
- ¿Qué causa el falló? Se especifican el origen y los modos de fallos.
- ¿Qué sucede cuando hay fallo? Se identifican los efectos globales de la ocurrencia de fallos en máquinas o equipos.

- ¿Qué ocurre si falló? Se determina la importancia de cada uno de los fallos que se pueden dar en cada máquina o equipo.
- ¿Qué se puede hacer para prevenir los fallos? Se formulan las medidas preventivas.
- ¿Qué sucede si no puede prevenirse los fallos? Se establecen las acciones a tomar para cuando se llegan a dar fallos, aun cuando se han tomado las medidas preventivas necesarias.

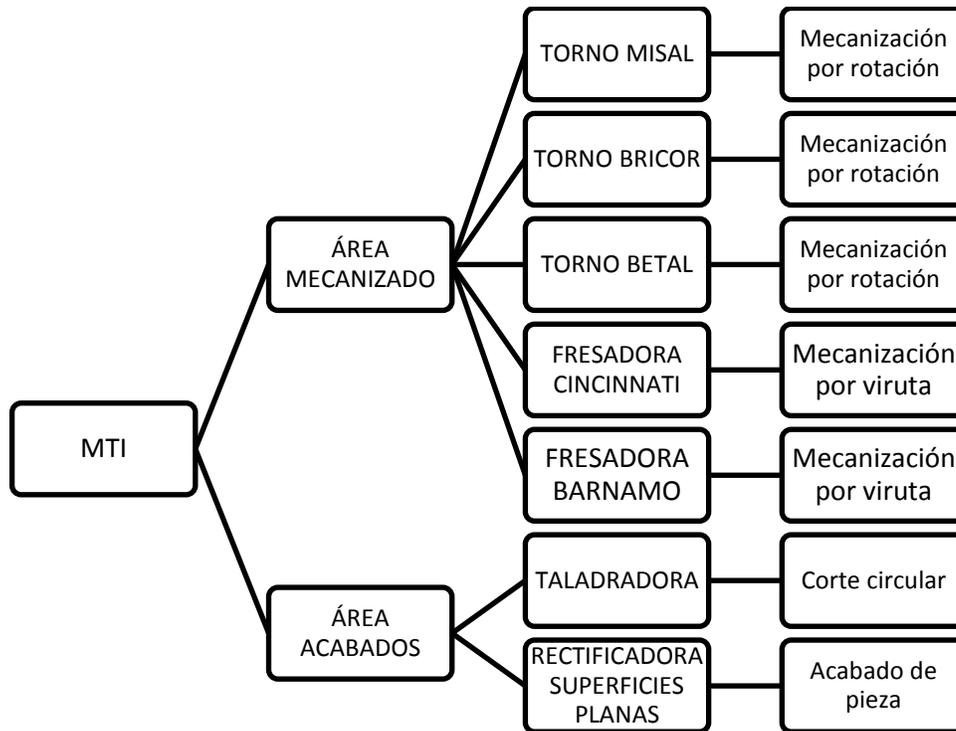
3.1.5.2. Selección de los componentes del sistema

El MCC se centra en definir qué tipo de elementos físicos existen en la empresa y seleccionar los componentes que deben estar sujetas al proceso de revisión.

Cada elemento, equipo o maquinaria en el registro de la planta, debe de haberse adquirido con propósitos determinados; para lo cual, deben cumplir con características técnicas, mecánicas y funcionales específicas. La pérdida total o parcial de estas funciones, puede afectar a la empresa a pequeña o gran escala.

Al realizar la selección, se dividen los activos fijos en sistemas, desde lo más general hasta lo más específico, tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 12. Selección de componentes del sistema



Fuente: elaboración propia.

El proceso de MCC comienza por definir las funciones y los estándares de comportamiento funcional asociados a cada elemento de los equipos en su contexto operacional.

Cuando se establece el funcionamiento deseado de cada elemento, el MCC pone un gran énfasis en la necesidad de cuantificar los estándares de funcionamiento siempre que sea posible, por ello es necesaria la consideración de los siguientes factores:

- Parámetros de calidad establecidos en la empresa
- Disponibilidad de equipos de respaldo

- Reglamentos y normativas medio ambientales relevantes
- Disponibilidad de repuestos, herramientas y personal
- Parámetros de seguridad
- Organización de turnos

Los estándares de funcionamiento se extienden a la producción, calidad del producto, servicio al cliente, problemas del medio ambiente, coste operacional y seguridad.

Al cumplir lo anterior, se procede a determinar las funciones principales y secundarias que la empresa quiere que el sistema realice. Las principales están relacionadas con las razones que han dado lugar a su adquisición, tales como la capacidad de producción o la calidad del producto. En cambio las secundarias, se refieren a las características adicionales que permiten al sistema cumplir con sus funciones principales, relacionadas con la seguridad, el control o la integridad estructural.

3.1.5.3. Evaluación de criticidad

El MCC evalúa la criticidad de cada uno de los sistemas para la empresa, a manera de permitir que se analice prioritariamente los sistemas que perjudiquen a la empresa en mayor grado. Entre los criterios que se consideran para estos casos son:

- Tiempo de duración de fallas, TDF
- Frecuencia con que se presentan las fallas, FF
- Impacto en seguridad interna de la empresa y en el medio ambiente, ISA
- Consecuencias de calidad en el producto final, CC
- Costos de mantenimiento, CM

Para la evaluación, se realiza una tabla comparativa que permita realizar una evaluación cuantitativa de la incidencia de cada variable de los sistemas seleccionados, bajo los criterios mencionados con anterioridad bajo una escala de calificación. Si se establece una escala de calificación de 1 a 10 para los criterios mencionados, el cuadro de criticidad quedaría de la siguiente forma:

Tabla I. **Comparación de criticidad valorativa**

SISTEMA	TDF	FF	ISA	CC	CM
TORNO	8	5	6	7	9
FRESADORA	5	4	5	7	6
TALADRADORA	7	3	6	6	4

Fuente: elaboración propia.

La tabla de criticidad también puede presentarse conforme a una clasificación de sistemas por tipo de criticidad, tomando en cuenta si los equipos han dado problema, según órdenes de trabajo anteriores, por ejemplo:

- Tipo A: son los más críticos, generalmente equipos grandes que han recibido más de 5 mantenimientos correctivos anuales, además del mantenimiento preventivo programado.
- Tipo B: con criticidad media, que recibe mantenimiento correctivo menos de 5 veces al año, además de su mantenimiento regular preventivo.
- Tipo C: estos no son críticos, generalmente equipos pequeños cuyo mantenimiento preventivo es mínimo y no han requerido mantenimientos correctivos.

Tabla II. **Comparación de criticidad por tipo**

SISTEMA	TIPO A	TIPO B	TIPO C
TORNO	X		
FRESADORA	X		
TALADRADORA			X

Fuente: elaboración propia.

3.1.5.4. Análisis de modos de falla y efecto

Este análisis conlleva a un proceso esquematizado en donde para cada función, se determinan sus fallas funcionales, sus modos de falla y sus efectos. Cada uno de ellos se describe posteriormente de forma detallada.

3.1.5.4.1. Fallos funcionales

Una vez que las funciones y los estándares de funcionamiento de cada equipo se han definido, lo que corresponde es identificar cómo puede darse el fallo en cada elemento durante la realización de sus funciones. Esto lleva al concepto de un fallo funcional, que se define como la incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado.

3.1.5.4.2. Modos de fallos

Es necesario identificar los modos de fallos que tienen más posibilidad de causar la pérdida de una función, para poder comprender que es lo que puede suceder que sea indispensable prevenir. Para determinar los modos de falla, es necesario considerar como mínimo lo siguiente:

- La probabilidad de ocurrencia
- El historial, que incluya los modos de falla ocurridos y los prevenidos
- Principales causas, como desgaste, defecto de diseño, error humano

Con base en lo anterior, cuando se realiza la determinación de modos de fallo, es necesario estimar la probabilidad de ocurrencia, tomando en cuenta las principales causas en el historial de mantenimiento, ya que si los mantenimientos realizados han sido por error humano, por ejemplo, en lugar de invertir tiempo en reparaciones o planificando más mantenimiento preventivo, se puede enfocar los recursos en mayor capacitación de personal para disminuir la incidencia y no desperdiciar tiempo tratando los síntomas en lugar de las causas.

3.1.5.4.3. Efectos de fallos

Cuando se identifican los modos de fallo, los efectos de los fallos también deben registrarse, ya que estos indican lo que pasaría si ocurriera cada modo de fallo identificado. Este paso permite decidir la importancia de cada fallo, y por lo tanto, también el nivel de mantenimiento preventivo que sería necesario, en caso ocurriera. Cuando se describen los efectos de falla, es importante considerar los siguientes factores:

- Evidencia: se requiere que se incluya toda la evidencia de que el modo de falla se ha presentado.
- Excluir acciones preventivas: la descripción del efecto de un modo de falla, no debe incluir las tareas específicas que se estén haciendo para anticiparse o prevenir la falla.

- Riesgos: si un modo de falla pone en riesgo la seguridad de las personas o la integridad del medio ambiente, también se debe incluir en la descripción, como esto puede suceder.
- Restauración: es importante indicar los pasos para restaurar una función del sistema, luego de la ocurrencia de una falla funcional.

3.1.5.4.4. Consecuencias de los fallos

Una vez que se hayan determinado las funciones, los fallos funcionales, los modos de fallo y los efectos de las mismas en cada elemento significativo, el próximo paso en el proceso del MCC es definir la importancia del fallo.

Las consecuencias de cada fallo indican la necesidad de prevenirlas. Si la respuesta es positiva, también sugieren con qué esfuerzo se debe tratar de encontrar los fallos. Hay cuatro grupos de consecuencias de las fallas en el MCC que tienen impacto directo, pero exponen a la empresa a otras fallas con consecuencias serias, a menudo catastróficas.

- Consecuencias de las fallas no evidentes:
Las fallas que no son evidentes son difíciles de prevenir y aunque no tienen un impacto directo, pueden exponer a la empresa a fallas múltiples, cuando se dan, se debe actualizar ágilmente con relación a su mantenimiento.
- Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente:
Una falla tiene consecuencias sobre la seguridad si puede afectar físicamente a alguien. Tiene consecuencias sobre el medio ambiente si infringe las normas gubernamentales relacionadas con el medio ambiente.

- Consecuencias operacionales:
Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción, en cuanto a capacidad, calidad del producto, servicio al cliente o costos industriales en adición al costo directo de la reparación.
- Consecuencias que no son operacionales:
Las fallas evidentes que caen dentro de esta categoría no afectan ni a la seguridad ni a la producción, por lo que el gasto directo es la reparación.

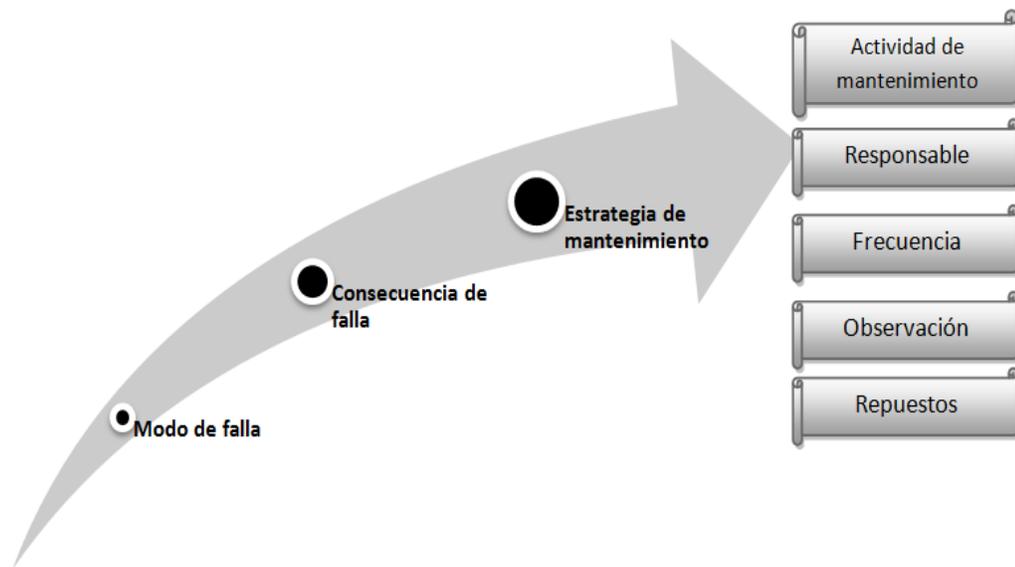
Si una falla tiene consecuencias significativas en los términos de cualquiera de las categorías antes mencionadas, es importante tratar de prevenirlas. Por otro lado, si las consecuencias no son significativas, entonces no merece la pena hacer cualquier tipo de mantenimiento sistemático que no sea el de las rutinas básicas de lubricación y servicio.

Por eso en este punto del proceso del MCC, es necesario preguntar si cada falla tiene consecuencias significativas. Si no es así, la decisión normal a falta de ellas es un mantenimiento que no sea sistemático. Si por el contrario fuera así, el paso siguiente sería preguntar qué tareas sistemáticas, si las hubiera, se deben realizar.

3.1.5.5. Análisis de toma de decisión

Cuando se habla del análisis de toma de decisión en el MCC, se refieren al proceso por medio del cual, se determinan las consecuencias de falla y se describen las estrategias necesarias para prevenir o mitigar el efecto de las mismas. Este proceso puede representarse de la siguiente forma:

Figura 13. Aplicación del proceso MCC



Fuente: elaboración propia.

Con base en el diagrama, se puede decir que para cada modo de falla que se identifica, se puede determinar la consecuencia producida por cada una de ellas. La herramienta que se puede utilizar para determinar la estrategia de mantenimiento, es el diagrama lógico de decisión.

En este diagrama, se evidencia el tipo de consecuencia asociada con el modo de falla y con base en ambas se determina la estrategia de mantenimiento que se ha de ejecutar. Los parámetros para este diagrama lógico son:

- Preguntas
 - ¿Es evidente a los operarios?
 - ¿Afecta a la seguridad o al medio ambiente?
 - ¿Afecta a las operaciones?

- Acciones
 - Se establece una tarea de condición
 - Se evalúa la necesidad de un reacondicionamiento cíclico
 - Se determina si se realiza una búsqueda de fallas
 - Se evidencia la necesidad de una combinación de tareas
 - Se programan mantenimientos

3.1.5.6. Aplicación del sistema de confiabilidad establecido

En la aplicación del sistema de confiabilidad establecido, se pueden identificar cuatro etapas que son la planeación, grupos de revisión, resultados del MCC y la auditoría tras implementación. La división de los activos de una organización en sistemas, la evaluación de criticidad y la selección de sistemas que se han de analizar, forman parte de la primera etapa.

En la segunda etapa, se refiere a la constitución de grupos de revisión multidisciplinarios, incluyendo a un facilitador del proceso MCC y sus especialistas en producción y mantenimiento.

Los resultados del proceso de MCC se tienen que resumir en los planes de mantenimiento y forman la tercera etapa. El plan de mantenimiento, es el resumen y la agrupación de las tareas en mantenimiento obtenidas a partir del proceso de toma de decisión.

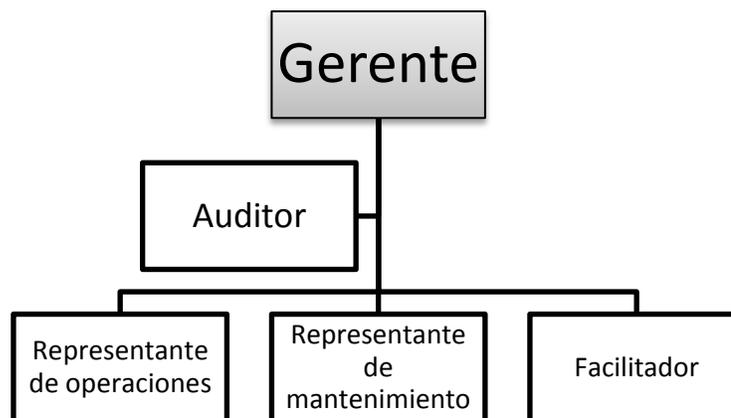
Para la etapa final, se da a conocer el plan de mantenimiento y los estándares de ejecución, a través de los medios disponibles en la empresa. Este proceso incluye la evaluación continua por medio de revisiones o auditorías en períodos establecidos no mayores a un año.

3.1.6. El personal implicado

El proceso del MCC, inicia con la búsqueda de información a través de la formulación de siete preguntas básicas. Estas preguntas no pueden ser respondidas por personal ajeno a producción y mantenimiento con vasto conocimiento en ambas áreas, por eso se busca la conformación de equipos multidisciplinarios que contribuyan en este proceso. Al formar un equipo de esta índole, se puede obtener información respecto al funcionamiento deseado en las máquinas, los efectos de las fallas y las consecuencias de los mismos en términos de calidad, costos, tiempo y producción. Lo cual brinda un amplio panorama de las necesidades de la empresa en cuanto a mantenimiento.

Una revisión de los requerimientos del mantenimiento de cualquier equipo, debe como mínimo, hacerse por equipos de trabajo reducidos que incluyan una persona de la función del mantenimiento, otra de la función de producción y otra a nivel gerencial que lo lidere.

Figura 14. Organigrama básico para implementación del MCC



Fuente: elaboración propia.

3.1.6.1. Los facilitadores

Los grupos de revisión, trabajan bajo la asesoría de un especialista bien entrenado en el MCC, que se conoce como un facilitador. Los facilitadores son muy importantes en el proceso de revisión del MCC su papel es asegurar que:

- Se aplique el MCC correctamente, que se hagan las preguntas correctamente y en el orden previsto, y que todos los miembros del grupo las comprendan.
- Que el personal del grupo, especialmente el de producción y mantenimiento, consiga un grado razonable de consenso general acerca de cuáles son las respuestas a las preguntas formuladas.
- Que no se ignore cualquier componente o equipo.
- Que las reuniones progresen de forma razonable.
- Que todos los documentos del MCC se llenen debidamente.

3.1.6.2. Los auditores

Inmediatamente de que se haya completado la revisión de cada elemento de los equipos importantes, el personal gerencial que tenga la responsabilidad total de la planta, necesita comprobar que ha sido hecha correctamente y que está de acuerdo con la evaluación de las consecuencias de las fallas y la selección de las tareas.

Este personal, no tiene que efectuar la intervención personalmente, sino que pueden delegarla en otros, que en su opinión, estén capacitados para realizarla.

3.1.7. Confiabilidad de los procesos

Es una técnica que permite conocer y determinar los parámetros de las operaciones de una empresa sin importar su índole, de manera que se puede mantener un entendimiento preciso de los mismos.

La confiabilidad de los procesos implica la operación de equipos dentro de los rangos de funcionamiento establecidos, o por debajo de la capacidad de diseño, es decir sin que los equipos sufran una sobrecarga.

3.1.8. Mantenibilidad de equipos

La mantenibilidad de equipos, es el conjunto de acciones que están destinadas a mantener o reajustar maquinaria, equipo o elemento en un estado que le permita cumplir con sus funciones.

En otros términos, la mantenibilidad de equipos puede definirse como la probabilidad de que un equipo pueda ser restaurado a su estado operacional en un período de tiempo determinado.

Depende de la fase de diseño de los equipos y su confiabilidad es inherente al diseño de la confiabilidad de los equipos de trabajo. Se puede medir en un estado que le permita cumplir sus funciones, a través del indicador TMPR, que es el tiempo medio para reparar.

La mantenibilidad puede definirse, en términos probabilísticos, como la probabilidad de restablecer las condiciones específicas de funcionamiento de un sistema, en límites de tiempo deseadas, cuando el mantenimiento es realizado en las condiciones y medios predefinidos.

3.1.9. Confiabilidad de equipos

Es un conjunto de herramientas aplicadas para conducir al mejoramiento y lograr la efectividad global dentro de las empresas y de esta forma se pueda extender el tiempo entre fallos de un sistema o componente.

La confiabilidad de equipos es determinada por las estrategias de mantenimiento, consiste en la probabilidad de que un equipo se encuentre en condiciones operables, durante un período de tiempo. La efectividad del mantenimiento, se puede medir a través del indicador tiempo medio entre fallas (TMBF).

Un proceso de desarrollo de la confiabilidad operacional implica cambios en la cultura de la empresa, creando un organismo diferente con un amplio sentido de la productividad y con una visión clara de los fines del negocio. La confiabilidad como cultura busca que todas las actividades de producción y en general todas las tareas se efectúen bien desde la primera vez y por siempre; no se acepta que se hagan las cosas precariamente o a medias.

3.2. Equipos eléctricos bajo el MCC

Los equipos eléctricos son los que tienen motores eléctricos con capacidad de transformar energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas.

En la empresa los equipos eléctricos a los cuales se les aplicará el mantenimiento centrado en confiabilidad, son los tornos, las fresadoras, la rectificadora y la taladradora. Para ello se define los puntos a evaluar en cada uno de ellos, además se incluye la definición de motores AC y DC para una mejor comprensión de cómo funcionan estos en los equipos eléctricos.

3.2.1. Tornos

En los tornos, para determinar su criticidad de acuerdo a la clasificación ABC, se establece la cantidad de horas de uso, el porcentaje de utilización, se le da una ponderación para determinar el índice relativo y el índice acumulado.

Tabla III. Criticidad de tornos clasificación ABC

Equipo	Horas	porcentaje utilización	Ponderación	Índice		Clasificación
				relativo	acumulado	
Torno misal	32,00	46 %	10	0,09	17,59	A
Torno briscor	31,00	44 %	10	0,08	25,98	A
Torno Betal	30,00	43%	10	0,08	42,48	B

Fuente: elaboración propia.

Para establecer el grado de confiabilidad de los tornos, es necesaria la evaluación de las características operativas, la edad del equipo, el área de trabajo, la carga de trabajo y la apariencia física; calificándolas de acuerdo a la ponderación de cada uno de los factores, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla IV. **Grado de confiabilidad de los tornos**

Equipo	Factor	Ponderación	Calificación	total
Tornos misal	Edad del equipo	10	5	65 %
	Ambiente de trabajo	20	10	
	Carga de trabajo	40	25	
	Apariencia física	8	6	
	Características	22	19	
Torno briscor	Edad del equipo	10	7	79 %
	Ambiente de trabajo	20	15	
	Carga de trabajo	40	30	
	Apariencia física	8	7	
	Características	22	20	
Torno betal	Edad del equipo	10	8	83 %
	Ambiente de trabajo	20	17	
	Carga de trabajo	40	30	
	Apariencia física	8	8	
	Características	22	20	

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a la evaluación anterior, el torno misal tiene una confiabilidad del 65 %, mientras que el torno briscor del 79 % y el torno betal tiene una confiabilidad del 83 %.

También es necesario determinar la mantenibilidad de los tornos conforme a los factores que pueden afectar que sean de mayor relevancia para la empresa, estos pueden ser la calidad, la producción y el rendimiento, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla V. **Grado de mantenibilidad de tornos**

Equipo	Afecta calidad	Afecta producción	Afecta rendimiento	Grado de mantenibilidad	
				Medio	alto
Torno misal	x	x	x		x
Torno briscor	x	x	x		x
Torno betal	x	x		X	

Fuente: elaboración propia.

3.2.2. Fresadora

Para determinar la criticidad de las fresadoras conforme a la clasificación ABC, se establece la cantidad de horas de uso, el porcentaje de utilización, se le da una ponderación para determinar el índice relativo y el índice acumulado.

Tabla VI. **Criticidad de fresadoras clasificación ABC**

Equipo	Horas	porcentaje utilización	Ponderación	Índice		Clasificación
				relativo	acumulado	
Fresadora CL	27,00	39 %	10	0,07	73,33	B
Fresadora B	25,00	36 %	9	0,06	79,42	B

Fuente: elaboración propia.

Para el grado de confiabilidad de las fresadoras, al igual que con el torno, es necesaria la evaluación de las características operativas, la edad del equipo, el área de trabajo, la carga de trabajo y la apariencia física, tal como se muestra en la siguiente tabla. En la que la confiabilidad de la fresadora CL queda en un 79 % y la fresadora B tiene una confiabilidad de 85 %.

Tabla VII. **Grado de confiabilidad de las fresadoras**

Equipo	Factor	Ponderación	Calificación	total
Fresadora CL	Edad del equipo	10	8	79 %
	Ambiente de trabajo	20	15	
	Carga de trabajo	40	31	
	Apariencia física	8	6	
	Características	22	19	
Fresadora B	Edad del equipo	10	9	85 %
	Ambiente de trabajo	20	17	
	Carga de trabajo	40	32	
	Apariencia física	8	7	
	Características	22	20	

Fuente: elaboración propia.

Además se determina la mantenibilidad de las fresadoras de acuerdo a los factores que pueden afectar de mayor relevancia para la empresa, estos pueden ser la calidad la producción y el rendimiento, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla VIII. **Grado de mantenibilidad de fresadoras**

Equipo	Afecta calidad	Afecta producción	Afecta rendimiento	Grado de mantenibilidad	
				Medio	Alto
Fresadora CL	x	x		X	
Fresadora B		x		X	

Fuente: elaboración propia.

3.2.3. Rectificadora y taladradora

Para determinar la criticidad de la rectificadora y taladradora, de acuerdo a la clasificación ABC, se establece tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla IX. **Criticidad de rectificadora y taladradora clasificación ABC**

Equipo	Horas	porcentaje utilización	Ponderación	Índice		Clasificación
				relativo	acumulado	
Rectificadora	15,00	21 %	8	0,03	91,19	C
Taladradora	1,50	2 %	6	0,00	98,88	C

Fuente: elaboración propia.

Para determinar el grado de confiabilidad de estos equipos, es necesaria la evaluación de los factores tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla X. **Grado de confiabilidad del taladradora y la rectificadora**

Equipo	Factor	Ponderación	Calificación	total
Rectificadora	Edad del equipo	10	8	86 %
	Ambiente de trabajo	20	18	
	Carga de trabajo	40	35	
	Apariencia física	8	6	
	Características	22	19	
Taladradora	Edad del equipo	10	9	91 %
	Ambiente de trabajo	20	17	
	Carga de trabajo	40	38	
	Apariencia física	8	7	
	características	22	20	

Fuente: elaboración propia.

Conforme a la tabla anterior, la confiabilidad de la rectificadora es del 86 % y del taladradora es de 91 %. Lo cual significa que son las máquinas herramientas de mayor confiabilidad

Además, se determina la mantenibilidad de la taladradora y la rectificadora, considerando factores como la calidad, la producción y el rendimiento, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla XI. **Grado de mantenibilidad del taladradora y la rectificadora**

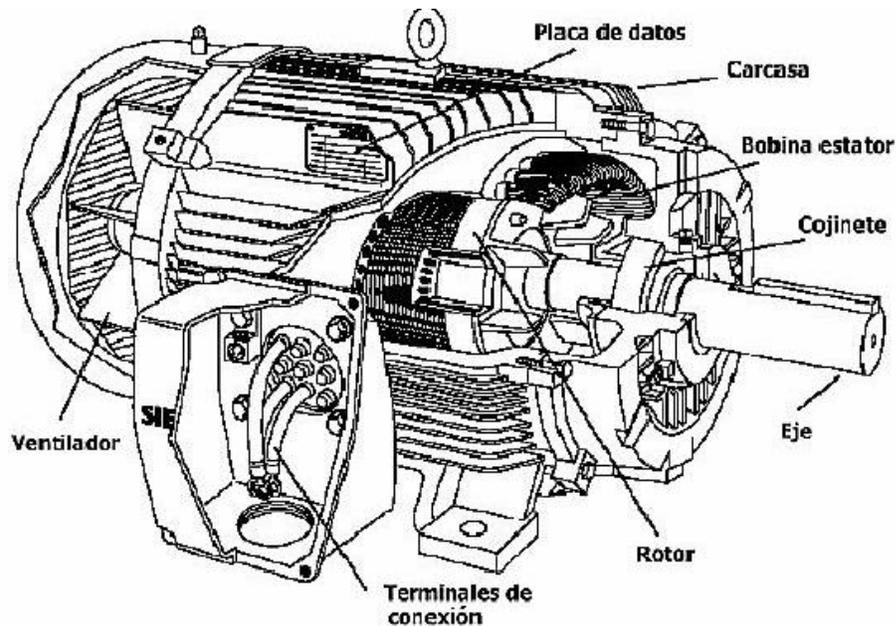
Equipo	Afecta calidad	Afecta producción	Afecta rendimiento	Grado de mantenibilidad	
				Medio	Alto
Rectificadora	x	x	x		x
Taladradora			x	X	

Fuente: elaboración propia.

3.2.4. Motores AC y DC

Los dos principales grupos de motores AC son los de tipo inducción y síncrono. Los motores de tipo inducción incluyen los monofásicos, trifásicos y rotor bobinado. Los motores tipo síncrono incluyen los autoexcitados y DC excitados. De los tipos de motores AC nombrados, el más usado es el motor de inducción de jaula de ardilla. En la siguiente figura se puede ver el motor jaula de ardilla, en el cual se visualiza que el estator presenta un bobinado trifásico simétricamente distribuido entre sus ranuras formando un ángulo de 120° mecánicos.

Figura 15. **Motor jaula de ardilla**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

También se observa que el rotor lo conforman un núcleo de hierro laminado atravesado longitudinalmente por varillas de aluminio unidas en sus extremos por anillos del mismo material. Al aplicar en el estator un voltaje de alimentación trifásico desfasado 120° eléctricos, se forma un campo magnético giratorio, de acuerdo al teorema de Ferraris, de magnitud y velocidad constante que gira a una velocidad denominada sincronismo.

3.3. **Departamento de Mantenimiento**

En la empresa se practica el mantenimiento correctivo y no se cuenta con un Departamento de Mantenimiento que se haga cargo de la planificación como corresponde. Hay dos mecánicos de planta y un auxiliar que se encarga de la limpieza general de las máquinas.

Con base en lo anterior, se propone la creación de un Departamento de Mantenimiento, habilitar en el área de herramientas un espacio para oficina, nombrar al mecánico con mayor experiencia como encargado del mismo, capacitarlo respecto a la metodología para la planificación y proporcionarle las herramientas para que lleve el control de la documentación necesaria.

3.3.1. Codificación de áreas

La codificación de áreas es útil para el encargado del Departamento de Mantenimiento, ya que de esta forma podrá identificar más fácilmente cada área a la hora de planificar los mantenimientos periódicos, asignar recursos para cada uno de ellos y diagramar las rutas de forma abreviada y entendible para todos los del equipo.

Tabla XII. **Codificación de áreas**

CÓDIGO	ÁREA	PRIORIDAD	BLOQUE	INICIAL
31T	Tornos	3	1	T
22F	Fresadoras	2	2	F
13A	Acabados	1	3	A
44O	Oficinas	4	4	O
45D	Descarga	4	5	D
46P	Parqueo	4	6	P
47M	Mantenimiento	4	7	M

Fuente: elaboración propia.

El primer número de la codificación corresponde a la prioridad de atención, el segundo es el bloque y la letra pertenece a la inicial del área. La prioridad 1 la

tienen las áreas con máquinas que no tienen reemplazo, la prioridad 2 las que tienen las máquinas que con un reemplazo, la prioridad 3 son las áreas que tienen máquinas con más de un reemplazo y la prioridad 4 la tienen las áreas que no tienen máquinas relacionadas con la producción. El bloque 1 es el de los tornos, el 2 de fresadoras, el 3 de acabados, el 4 de oficinas, el 5 de descarga, el 6 del parqueo y el 7 es el de mantenimiento, así como se muestra en la tabla.

3.3.2. Maquinaria en líneas de producción

La maquinaria que forma parte de las líneas de producción dentro de la empresa, también es clasificada según su prioridad de atención en mantenimiento correctivo y su antigüedad; esto se ve reflejado en el código que se le asigna a cada una de ellas.

3.3.2.1. Clasificación

Para clasificar la maquinaria en las líneas de producción de la empresa, se le asigna un código. Este está compuesto por un número que indica la prioridad de atención en caso de requerir mantenimiento correctivo, su inicial y su antigüedad.

Los de prioridad 1 son los que no tienen reemplazo y que afectan la producción; los de prioridad 2 son los que solo cuentan con un reemplazo o los que son más necesarios en la línea por la calidad de sus productos aunque tengan reemplazo; los de prioridad 3 son los que tienen reemplazo y que tienen poca producción asignada. La antigüedad 1 corresponde a las máquinas de un mismo tipo que ingresaron primero a la empresa, el 2 es la segunda máquina adquirida por la empresa y así sucesivamente. La clasificación de maquinaria se muestra en la siguiente tabla.

Tabla XIII. **Clasificación de maquinaria en producción**

CÓDIGO	MAQUINARIA	PRIORIDAD	INICIAL	ANTIGUEDAD
3TM1	Torno misal	3	TM	1
3TB2	Torno briscor	3	TB	2
3TB3	Torno Betal	2	TB	3
2FC1	Fresadora CL	2	FC	1
2FB2	Fresadora B	2	FB	2
1R1	Rectificadora	1	R	1
1T1	Taladradora	1	T	1

Fuente: elaboración propia.

3.3.2.2. Sistemas de lubricación

Hay diferentes tipos de lubricación, dependiendo de las necesidades y habilidades del encargado de la aplicación, entre las que se utilizan en la empresa se tienen las siguientes:

Baño de aceite: conocido como el método de lubricación más sencillo. El aceite utilizado por los componentes giratorios del rodamiento se distribuye por todo el interior del rodamiento y después regresa al baño de aceite, en caso de que el rodamiento se encuentre inactivo el aceite debe tener un nivel inferior al centro del elemento rodante.

Anillo de lubricación o elevador de aceite: en los rodamientos que funcionan a una alta velocidad, se utiliza lubricación por aceite y un anillo elevador de aceite, el cual se utiliza para inducir la circulación de aceite.

Este anillo está en el eje a un costado del rodamiento que se sumerge en el depósito de aceite en la base del canalón de recogida, el anillo gira con el rodamiento.

Circulación de aceite: el funcionamiento de los rodamientos a altas velocidades aumenta su temperatura y acelera el envejecimiento del aceite utilizado. Con el objetivo de disminuir los cambios de aceite se utiliza la circulación de aceite, este sistema se logra gracias a una bomba, esto permite la refrigeración del aceite y por ende aumenta.

Chorro de aceite: en altas velocidades el rodamiento necesita una cantidad suficiente de aceite, pero no excesiva, con el propósito de que la temperatura de funcionamiento sea la adecuada. El método adecuado es el chorro de aceite. Que consiste en enviar un chorro de aceite a alta presión para que penetre por toda la tubería.

Proyección de gotas: también denominado método de aceite y aire, consiste en alimentar los rodamientos con cantidades de aceite muy pequeñas transportadas por aire comprimido, esta mínima cantidad permite que los rodamientos conserven una temperatura adecuada, todo se alimenta a través de un medidor.

3.3.2.3. Arranques, paros y cambios

Los arranques en el área de producción, se refieren a la acción de encender una máquina para iniciar el proceso de producción durante un determinado período de tiempo. En la empresa, los tornos y las fresadoras son las que tienen un arranque promedio de 25 al mes; mientras que el taladro y la rectificadora tienen un arranque promedio de 20 al mes.

Para la producción en la empresa, los paros representan la interrupción del funcionamiento de una máquina por diferentes motivos. Entre los motivos más comunes de un paro está, la avería de una máquina que requiere mantenimiento correctivo, la falta de materia prima y la falta de energía eléctrica entre otros. En la empresa se tiene un promedio de 12 paros promedios al mes en los tornos, 10 paros promedio al mes en las fresadoras, 4 paros al mes en las rectificadoras

Los cambios en el área de máquinas, se refieren a la sustitución de una herramienta, proceso, material o característica que se va a trabajar. En la empresa, la producción es intermitente porque cada pieza tiene características específicas y por eso hay que cambiar algunas herramientas o modificar la maquinaria, calibrarla y programarla con el fin de cumplir con las especificaciones dadas.

3.3.3. Formatos de mantenimiento

Los formatos propuestos para el Departamento de Mantenimiento, se han creado para facilitar el trabajo de los técnicos mecánicos y para poder llevar un control más eficiente de los mantenimientos preventivos y correctivos que se realicen como parte del sistema a implementar. Entre estos formatos están los siguientes:

- Formato de mantenimiento diario: es proporcionado a los operarios de las máquinas, quienes se encargan de ejecutar el mantenimiento de cada día por ser tareas simples que pueden realizarse al iniciar o finalizar operaciones. Las seis fichas llenas, las recolecta el técnico mecánico los sábados y verifica si hay alguna observación que deba ser atendida como parte del mantenimiento semanal o mensual.

- Formato de mantenimiento semanal: es proporcionado al técnico mecánico los sábados, después de recolectar y revisar las fichas de mantenimiento diario, ejecuta el mantenimiento considerando las anotaciones diarias y las revisiones estipuladas en este formato. La entrega de estas fichas al encargado de mantenimiento, se realizan los lunes.
- Formato de mantenimiento mensual: se utiliza para el chequeo que el técnico mecánico debe realizar en las máquinas herramientas cada mes; este trabajo se planifica para que se lleve a cabo en los primeros cinco días del mes y debe ser supervisado por el encargado de mantenimiento.
- Formato de mantenimiento anual: utilizado en la última semana del año, cuando cesan las operaciones, para tener el tiempo y espacio necesario. Es archivado para análisis y para la presentación de resultados anuales del mantenimiento a la Gerencia General.
- Formato de mantenimiento correctivo: creado para llevar el historial de fallas que no han sido contenidas por el mantenimiento preventivo, para su estudio y la creación de medidas que permitan eliminarlas o disminuirlas. Es importante anotar en ellas la cantidad de horas en que se para la producción, la disponibilidad de repuestos y materiales, el problema encontrado y el trabajo que se realiza.

En el siguiente capítulo se presenta cada uno de estos formatos, los cuales son presentados al gerente general para que se apruebe su impresión y distribución dentro de la empresa y así, poder empezar a aplicarlos, verificando su eficiencia.

Figura 16. Formato de mantenimiento diario

		FICHA DE CONTROL MANTENIMIENTO DIARIO MÁQUINAS HERRAMIENTAS					
Código de máquina: _____ Operario a cargo: _____ Fecha de inicio: _____ Fecha de entrega: _____							
Instrucciones: en las casillas marcar con una "X" la tarea que haya realizado en el día que corresponda							
MANTENIMIENTO DE INICIO		L	M	M	J	V	S
Verificar que las conexiones eléctricas no estén expuestas a factores que sean causa de cortocircuito, como el agua.							
Revisar que el nivel de refrigerante sea mayor al 25 % del depósito.							
Revisar que el nivel de aceite sea mayor al 25 % del depósito.							
MANTENIMIENTO FINAL							
Retirar las virutas o residuos de materiales de las partes internas de la máquina.							
Limpiar las virutas o residuos de materiales del exterior de la máquina y de los alrededores.							
Apagar la máquina al terminar las operaciones y verificarlo antes de retirarse del área.							
Notificar al técnico mecánico si identifica algún desperfecto o daño en la máquina.							
OBSERVACIONES							

Fuente: elaboración propia.

Figura 17. Formato de mantenimiento semanal

		FICHA DE CONTROL MANTENIMIENTO SEMANAL MÁQUINAS HERRAMIENTAS																	
Técnico Mecánico cargo:		_____																	
Fecha del mantenimiento:		_____																	
Instrucciones: en la lista de revisión marcar con una "X" el ítem que haya revisado y en la lista de trabajos realizados marque con una "A" cuando realice ajustes y "C" cuando realice cambios.																			
LISTA DE REVISIÓN																			
Código de máquina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
	Interruptores on/off	Fipón y fusibles	Voltaje y amperaje	Válvulas	Mangueras	Ejes	Depósitos	Poleas	Fajas	Pistones	Cojinetes	Rodamientos	Tornillos	Filtros	Sellos	Empaques	Limpieza general	Fichas mantenimiento diario	
3TM1																			
3TB2																			
3TB3																			
2FC1																			
2FB2																			
1R1																			
1T1																			
LISTA DE TRABAJOS REALIZADOS																			
Código de máquina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
3TM1																			
3TB2																			
3TB3																			
2FC1																			
2FB2																			
1R1																			
1T1																			
OBSERVACIONES																			

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Formato de mantenimiento mensual

		FICHA DE CONTROL MANTENIMIENTO MENSUAL MÁQUINAS HERRAMIENTAS												
Técnico Mecánico a cargo: _____ Fecha del mantenimiento: _____														
Instrucciones: en la lista de revisión marcar con una "X" el ítem que haya revisado y en la lista de trabajos realizados marque con una "A" cuando realice ajustes y "C" cuando realice cambios.														
LISTA DE REVISIÓN														
Código de máquina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
	Servicio general	Mantenimiento a motor	Vibraciones en la máquina	Sistema de ventilación	Sistema de lubricación	Sistema de desplazamiento	Sistema de rodamiento	Sistema eléctrico	Tuercas	Tornillos	Cojinetes	Fajas	Alineación	
3TM1														
3TB2														
3TB3														
2FC1														
2FB2														
1R1														
1T1														
LISTA DE TRABAJOS REALIZADOS														
Código de máquina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
3TM1														
3TB2														
3TB3														
2FC1														
2FB2														
1R1														
1T1														
OBSERVACIONES														

Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Formato de mantenimiento anual

		FICHA DE CONTROL MANTENIMIENTO ANUAL MÁQUINAS HERRAMIENTAS											
Técnico Mecánico a cargo: _____ Fecha del mantenimiento: _____													
Instrucciones: en la lista de revisión marcar con una "X" el ítem que haya revisado y en la lista de trabajos realizados marque con una "A" cuando realice ajustes y "C" cuando realice cambios.													
LISTA DE REVISIÓN													
Código de máquina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Fugas en depósitos	Fugas en mangueras	Cambio de tornillos o tuercas	Cambio de fajas y poleas	Estado de sistema eléctrico	Estado sistema ventilación	Estado del sistema de desplazamiento	Estado del tablero	Estado de motor	Limpeza y cambio total de aceite en depósito	Limpeza y cambio total de refrigerante en depósito	Limpeza y cambio de pintura en la máquina	Cimentación de la máquina	
3TM1													
3TB2													
3TB3													
2FC1													
2FB2													
1R1													
1T1													
LISTA DE TRABAJOS REALIZADOS													
Código de máquina	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3TM1													
3TB2													
3TB3													
2FC1													
2FB2													
1R1													
1T1													
OBSERVACIONES													

Fuente: elaboración propia.

4. FASE DE DOCENCIA

Al desarrollar el ejercicio profesional supervisado, es necesario documentar todo el proceso que evidencie el trabajo realizado y los resultados obtenidos.

En la empresa MTI, el trabajo empieza con un diagnóstico de la situación inicial de las máquinas herramientas en funcionamiento del área de producción, y del tipo de mantenimiento que se estaba aplicando hasta ese momento.

Se diseña un sistema de confiabilidad para el mantenimiento de dichas máquinas, estableciendo las bases de implementación que serán presentadas en un documento impreso al gerente general de la empresa y al personal involucrado en el proceso como parte de la inducción al proyecto.

4.1. Presentación de resultados

El Ejercicio Profesional Supervisado, realizado en la empresa MTI, da como resultado la creación de un sistema de confiabilidad para el mantenimiento de las máquinas herramientas que conforman sus líneas de producción.

A continuación se presenta el diagnóstico de la situación inicial, la documentación que integra el sistema de confiabilidad, las recomendaciones de aplicación y la calendarización propuesta.

4.1.1. Resumen de actividades para el diseño del sistema

Con base en los fundamentos teóricos para el diseño de un sistema de confiabilidad para el mantenimiento de las máquinas herramientas de una empresa, se desarrollan las siguientes actividades

- Selección del equipo para la aplicación del sistema: este se conforma por un líder, un auditor, un representante de las áreas involucradas y un facilitador que es el conocedor del sistema y generalmente el diseñador del mismo. Para la empresa estos son: el gerente de MTI, el encargado de Mantenimiento, el encargado de Producción y un facilitador externo.
- Reunión inicial: donde el facilitador da a conocer de qué se trata el sistema de confiabilidad e insta a los participantes a intercambiar opiniones respecto a las necesidades operativas y de mantenimiento en la empresa. En ella se recopila información y se crea la base para la programación de inspecciones, entrevistas y observación del desarrollo de actividades propias de producción y mantenimiento.
- Diseño del sistema: se determina la criticidad, confiabilidad y mantenibilidad de las máquinas herramientas de la empresa; se procede a codificar cada una de ellas conforme a su prioridad y ubicación; se establece la necesidad de mantenimiento por período de tiempo y por tipo, calendarizándola y creando los formatos para el registro correspondiente.
- Elaboración de formatos: el sistema diseñado se apoya en la creación y utilización de formatos que establecen el mantenimiento que se debe llevar a cabo por personas seleccionadas y capacitadas, en los períodos de tiempo establecidos.

4.1.2. Diagnóstico de la situación inicial

Para presentar el diagnóstico de la situación inicial de las máquinas herramientas de la empresa se utiliza la siguiente tabla, que contiene el nombre de cada máquina, las horas que están en funcionamiento, su porcentaje de utilización, su criticidad de acuerdo a la clasificación ABC, el porcentaje de confiabilidad y por último el grado de mantenibilidad.

Tabla XIV. Diagnóstico situación inicial

Equipo	Horas	Porcentaje utilización	Clasificación	Confiabilidad	Mantenibilidad
Torno misal	32,00	46 %	A	65 %	Alto
Torno briscor	31,00	44 %	A	79 %	Alto
Torno Betal	30,00	43%	B	83 %	Medio
Fresadora CL	27,00	39 %	B	79 %	Medio
Fresadora B	25,00	36 %	B	85 %	Medio
Rectificadora	15,00	21 %	C	86 %	Alto
Taladradora	1,50	2 %	C	91 %	Medio

Fuente: elaboración propia.

4.1.2.1. Criticidad

La criticidad de las máquinas clasificación A, indica que al fallar cualquiera de ellas, afectan la producción de la empresa más que las de clasificación B; mientras que las máquinas de clasificación C, tienen el menor impacto negativo en producción a la hora de fallar. Esto significa que debe priorizarse el mantenimiento de las máquinas clasificación A, seguido de las máquinas clasificación B y por último las de clasificación C; tanto para la programación de mantenimientos como para la aplicación del mantenimiento correctivo.

4.1.2.2. Confiabilidad

La confiabilidad de las máquinas, indica la probabilidad de que un equipo se encuentre en condiciones operables durante un período de tiempo. Con base en los datos de la tabla y la definición anterior, se puede afirmar que las máquinas herramientas de la empresa tienen una confiabilidad en riesgo, cuando están en un rango del 61 al 75 %, aceptable cuando están entre 76 al 90 %, buena cuando están entre 91 al 95 % y excelente cuando están entre el 96 al 100 %.

4.1.2.3. Mantenibilidad

La mantenibilidad indica el grado en que puede restablecerse el funcionamiento en una máquina, si se definen las condiciones y medios para realizar el mantenimiento de forma efectiva. Las máquinas con mantenibilidad alta, son las que al programarle y efectuarle el mantenimiento adecuado, tienen mayor probabilidad de recuperar o mantener sus propiedades operativas óptimas. Si la mantenibilidad fuera baja, quiere decir que el mantenimiento debe ser básico y no exhaustivo, porque no hay mucho que pueda hacerse para prolongar su vida útil.

4.1.2.4. Generalidades

Además de establecer la criticidad, confiabilidad y mantenibilidad de las máquinas herramientas, también se observan las siguientes deficiencias:

- Todo el mantenimiento que se realiza es correctivo
- No hay planificación de mantenimiento
- No hay documentación de los trabajos que se realizan

- Los técnicos mecánicos tienen mucho tiempo de ocio
- No siempre apagan las máquinas al retirarse de las instalaciones
- Dejan las luces de toda la planta encendida
- El área de trabajo está desordenada

4.1.3. Asignación de responsabilidades

Para que la implementación de un sistema de confiabilidad sea efectiva, se requiere de la colaboración y compromiso de todos los que intervienen en él. Es por ello que las responsabilidades de cada una de las personas involucradas en la implementación del nuevo sistema de confiabilidad, son descritas a continuación:

Gerente general: proporcionar todo el material, herramientas y equipo que se solicite para efectuar los mantenimientos programados. Además de revisar los informes de mantenimientos presentados por el encargado de mantenimiento.

Encargado de operaciones: informar al encargado de Mantenimiento de las fallas o eventos que afecten el funcionamiento normal de las máquinas que reporten los operarios o de los que pueda percatarse. Asimismo, de los cambios en los ritmos de producción para que sean considerados en la programación.

Operadores: realizar el mantenimiento diario utilizando las fichas y anotando cualquier observación en cuanto al funcionamiento que requiera de la revisión de parte del técnico mecánico.

Encargado de mantenimiento: responsable de la planificación del mantenimiento y la distribución de trabajo diario, mensual y anual. Realiza

informes de los trabajos realizados presentándolos al gerente general, solicita los repuestos, herramientas y materiales necesarios para el mantenimiento programado y correctivo, supervisando todos los trabajos realizados.

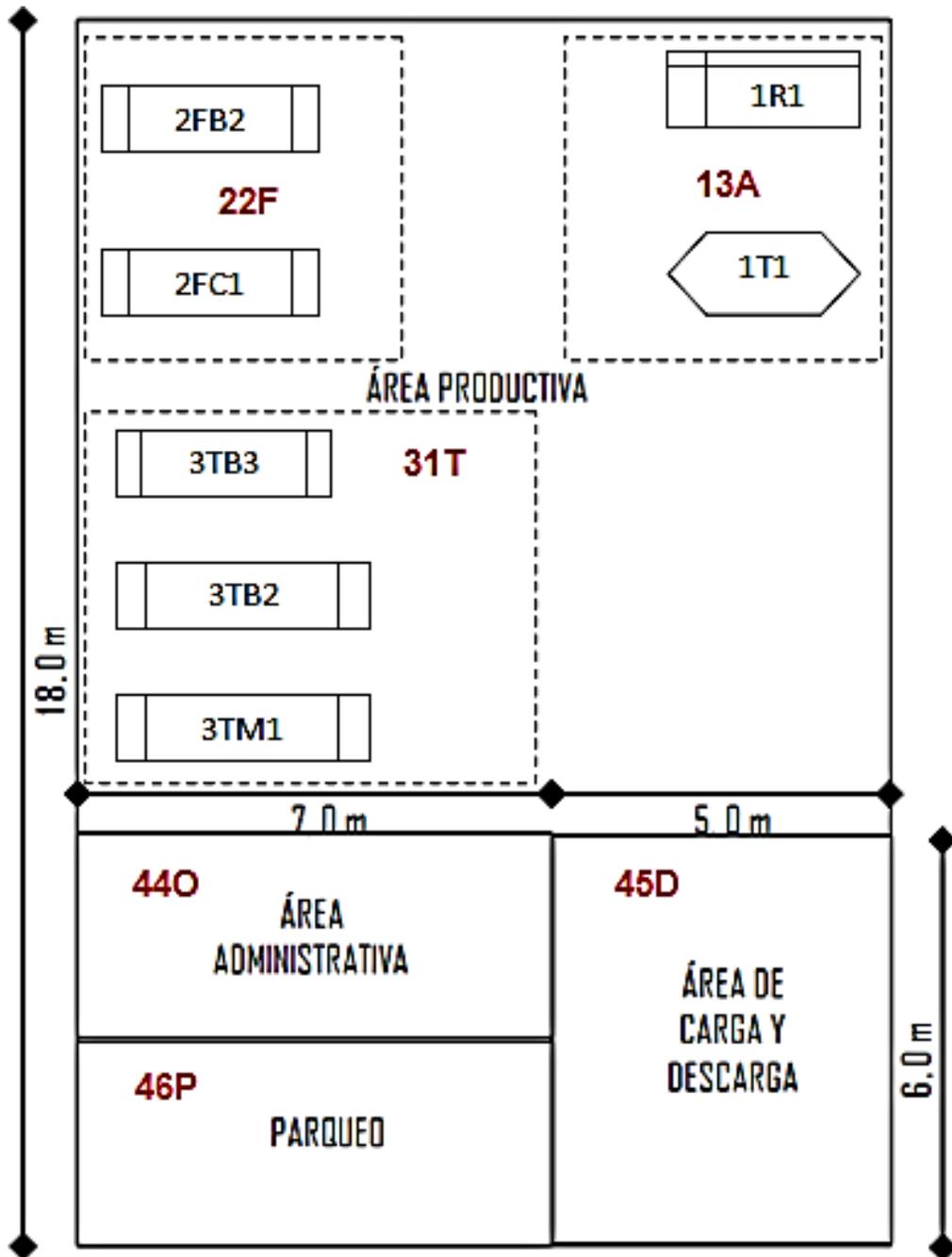
Técnico mecánico: es el encargado de ejecutar el mantenimiento programado, revisa las fichas de mantenimiento diario para verificar que se haya ejecutado, analizando las observaciones realizadas y archivándolas donde corresponde, informa al encargado de mantenimiento respecto a los materiales utilizados y los que necesita para continuar con su programación.

Auxiliar: realiza las tareas de mantenimiento que el técnico mecánico le asigna, asistiéndolo en los mantenimientos mensuales, anuales y correctivos cuidadosamente; además, se encarga de la limpieza y el orden del área destinada para las herramientas y los materiales de mantenimiento.

4.1.4. Codificación de áreas y maquinaria

De acuerdo a la codificación de áreas presentada en la tabla XII y a la clasificación de maquinaria en producción presentada en la tabla XIII del capítulo anterior, se presenta el siguiente plano de la distribución en la empresa con su respectiva codificación:

Figura 21. Codificación de áreas y maquinaria



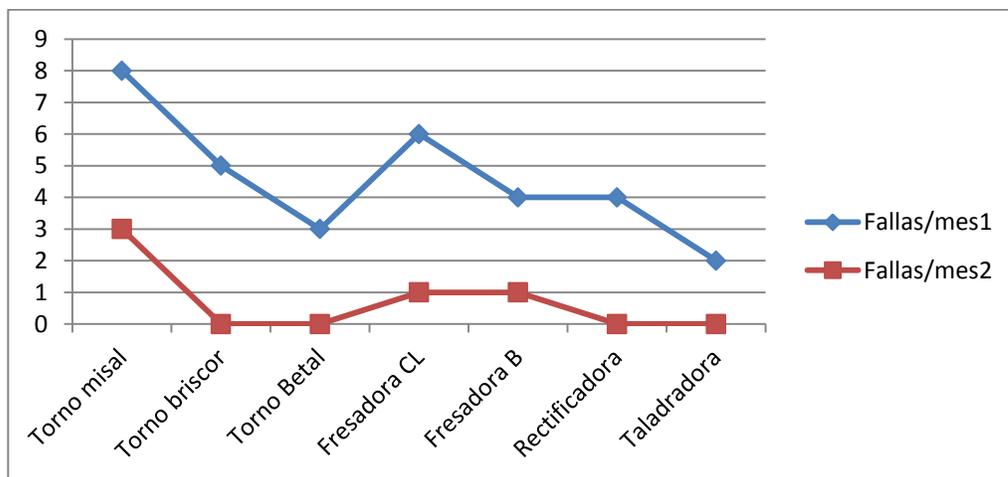
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

4.1.5. Descripción de resultados

De acuerdo a la información obtenida, en cuanto a la cantidad de mantenimientos correctivos realizados mensualmente a las máquinas herramientas, y los registrados en el primer mes de implementación se pueden percibir y graficar los siguientes resultados:

Los requerimientos de mantenimientos correctivos durante el primer mes de implementación, debido a fallas operativas en cada una de las máquinas herramientas, se disminuyen en un 84 %. En la siguiente gráfica, la línea fallas/mes1 representa la cantidad de fallas por mes en cada máquina herramienta antes de la implementación, y fallas/mes2 representa la cantidad de fallas por mes durante la implementación, del sistema, con lo cual se puede visualizar la disminución del mantenimiento correctivo.

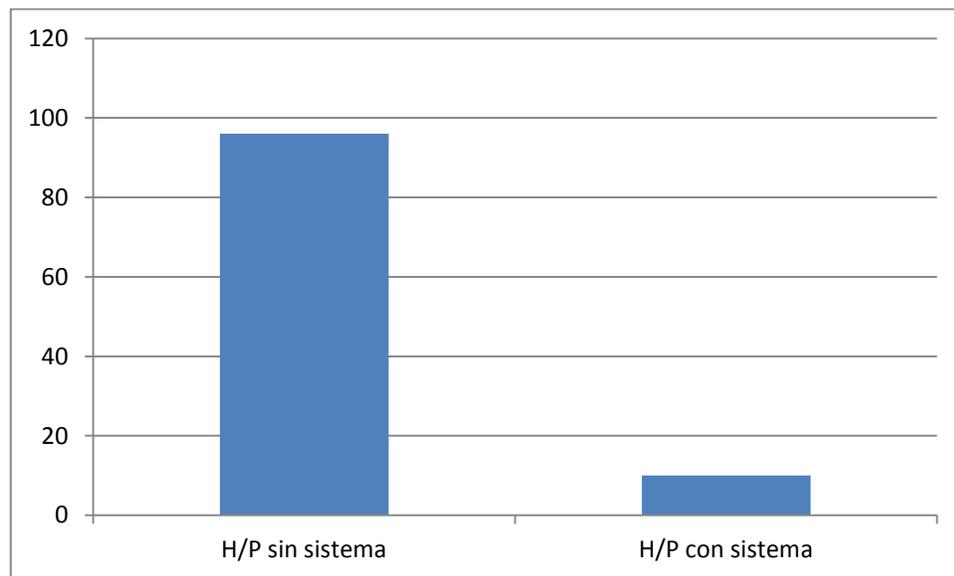
Figura 22. Comparación de fallas por mes



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

La cantidad total de horas sin producción por mes, debido a la necesidad de mantenimientos correctivos se redujo en un 89 %, tal como lo muestra la siguiente gráfica.

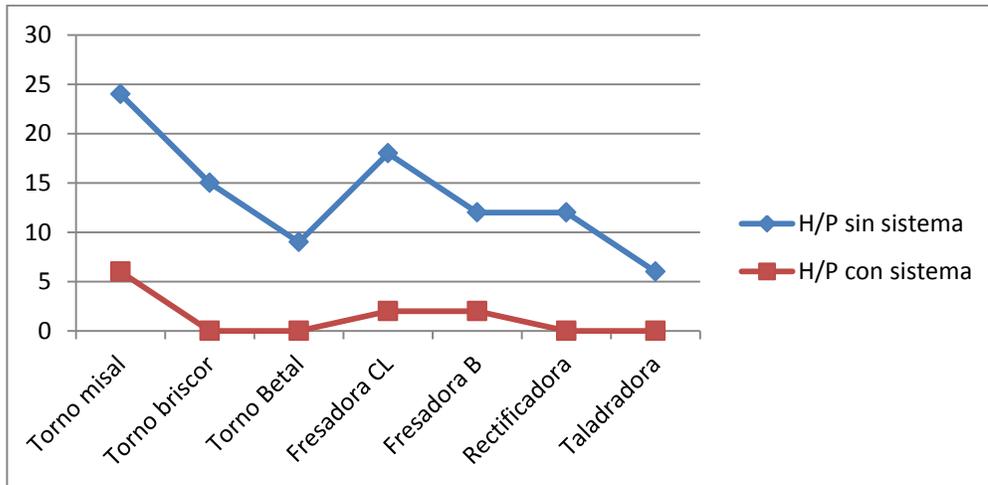
Figura 23. **Comparación de tiempo improductivo**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

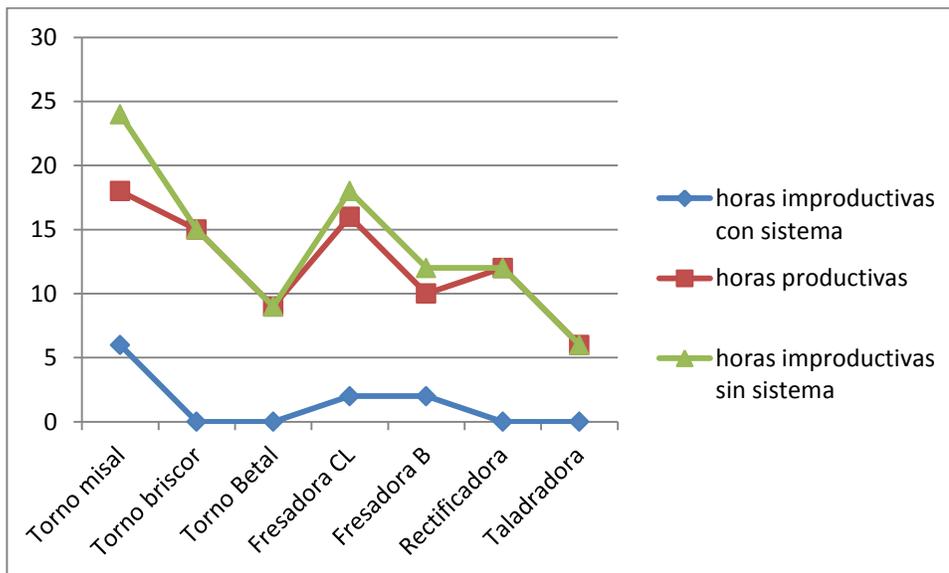
Es lógico deducir que la cantidad de horas que cada máquina herramienta ha parado su producción, es directamente proporcional a la cantidad de veces en que ha requerido mantenimiento correctivo, tal como se muestra en la primera gráfica. La mejora en cada una de las máquinas, con la implementación del sistema de confiabilidad, se hace más evidente en la segunda gráfica; en ella se refleja la reducción de tiempo improductivo y por tanto el aumento de la productividad en ellas.

Figura 24. **Comparación de tiempo improductivo por máquina**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

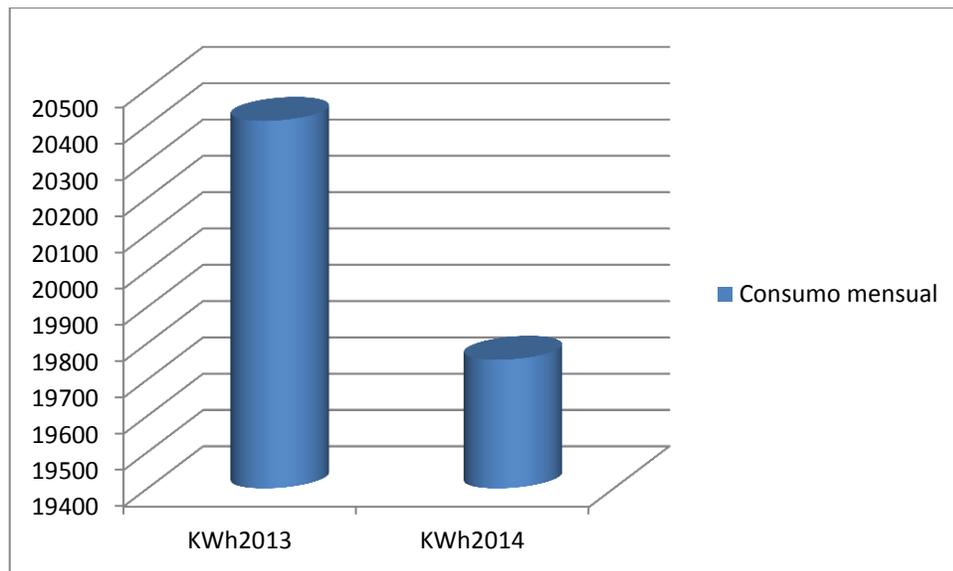
Figura 25. **Incremento de productividad**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Gracias al plan de ahorro energético, se ha alcanzado una reducción del 3,22 % en el consumo de kilovatio hora en el primer mes de implementación, lo cual se refleja en la siguiente gráfica. La comparación se ha realizado con la facturación del mes de septiembre de 2013, respecto a la facturación de septiembre de 2014, en la cual se ha mantenido el ritmo productivo y la cantidad de actividades.

Figura 26. **Ahorro energético**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Al realizar la comparación entre agosto y septiembre, el porcentaje de ahorro es mayor pero es debido a la cantidad de días productivos de ese mes, por lo que se considera más equitativa la comparación entre el consumo de los mismos meses en diferente año.

4.2. Metodología de cambio

La metodología de cambio, utilizada como parte del sistema de confiabilidad para el mantenimiento de las máquinas herramientas de la empresa, se centra en:

- La utilización de los formatos de mantenimiento propuesto
- El cumplimiento de las responsabilidades asignadas
- La colaboración de todos los involucrados
- El compromiso en el cumplimiento de las actividades calendarizadas

4.2.1. Calendarización

Se efectúa la calendarización para el primer mes de implementación del sistema de confiabilidad iniciando desde que se presenta la propuesta. Para ello se propone utilizar el programa Microsoft Excel, por considerar que es una herramienta apropiada para facilitar el trabajo de programación y calendarización de actividades en el Departamento de Mantenimiento.

La nomenclatura utilizada corresponde a la codificación propuesta, no se incluyen los nombres pero si los puestos de los que integran actualmente el personal de este departamento.

4.2.2. Documentación de mantenimiento

Para iniciar con la implementación de un sistema de confiabilidad, es fundamental la documentación en el área de Mantenimiento, específicamente para el registro de toda la información de los mantenimientos realizados. Lo anterior, da lugar a la creación de un historial de mantenimiento que puede ser estudiado para la mejora continua de esta área.

El desarrollo de un sistema de control del mantenimiento, generalmente se inicia con la recopilación de datos. Como prioridad, se tienen que establecer los parámetros de control, estos han de permitir la clasificación ordenada de la información recopilada, según su importancia, área de aplicación o necesidades de la empresa. La documentación de mantenimiento, puede estructurarse de la siguiente manera:

- Inventario general
- Recolección de datos
- Programación del mantenimiento
- Orden de trabajo
- Mano de obra disponible
- Datos de operación
- Registro de medición

Este conjunto de información, correlaciona cada equipo con su respectiva área de aplicación, función, centro de costos y posición física o geográfica en la empresa.

Además, ofrece una ayuda para el personal de Gerencia en el dimensionamiento de los equipos de operación y mantenimiento, cualificación

necesaria al personal, definición de instrumentos, herramientas y máquinas, además de la proyección del plan general de construcción y distribución de los talleres de apoyo. Cada uno de los grupos que estructuran el banco de datos se describe a continuación.

4.2.3. Inventario general

En este bloque se puede encontrar información de la fabricación, adquisición, traslado, instalación, operación y mantenimiento de todos los elementos que conforman el sistema operativo de la empresa. Al identificar los equipos que forman parte del sistema, los registros se han de complementar, en la medida de lo posible, con base en un estándar, que aunadas a toda la información general, amplifican el banco informativo que permite resolver dudas respecto a las especificaciones técnicas y operativas de todos los elementos de la empresa.

El principal objetivo del inventario general, es registrar la mayor cantidad de datos posibles de los equipos, a través de formularios, manuales, pantallas estandarizadas, especificaciones técnicas del fabricante, entre otros, que al ser archivados, permitan el fácil acceso a cualquier información necesaria para la empresa, conforme a cualquier eventualidad que se presente. De esta forma, el personal encargado de efectuar el mantenimiento, podrá mantener, comparar y analizar las condiciones operativas, específicas de los elementos que se encuentran en la empresa.

De acuerdo a lo anterior, el inventario puede clasificar la información que recopila, según el tipo de consulta que se puede realizar, tal como se presenta a continuación:

- Consulta de construcción: manuales, catálogos y diseños.
- Consulta de compra: ficha de adquisición, solicitudes, presupuestos, fechas y costos.
- Consulta de origen: fabricante, proveedor, tipo y modelo.
- Consulta de transporte y almacenamiento: dimensiones, peso y recomendaciones.
- Consulta de operación: características normales y límites operativos.
- Consulta de mantenimiento: lubricantes, repuestos generales y específicos, curvas características, recomendaciones de fabricantes, límites, holguras y ajustes.

Toda la información se almacena en una base de datos computarizada, para lo cual, se crea un módulo de mantenimiento y se le asigna un código a cada elemento que conforma la máquina y equipo de la empresa. Al ingresar el código, aparece el ícono que permite desplegar el tipo de consulta que se quiere realizar y de esta forma, todo el personal que tenga acceso a esta base de datos, puede realizar sus consultas de forma fácil y rápida.

Tanto en los datos generales, como en los datos específicos, existen registros de naturaleza administrativa tales como fechas, costo, números de documentos y localización, otros registros de naturaleza técnica, entre las cuales se destaca su función en el proceso o servicio.

4.2.4. Recolección de datos

Es importante definir el tipo de información que debe ser recopilada, pero para ello, es necesario primero abordar ciertas recomendaciones que se consideran fundamentales para que dicha información sea fidedigna, y que aporte los resultados esperados de su recolección. Entre estas recomendaciones se tienen:

- **Comunicación organizacional:** todo el personal debe estar informado respecto a los objetivos de la empresa, para que contribuyan con los mismos y es por eso que al realizar cualquier cambio o mejora, se debe informar respecto a qué es, para qué sirve, cómo funciona y quiénes están involucrados directa o indirectamente con los procesos.
- **Administración de datos:** antes de iniciar la recopilación de información se planifica qué datos se desean, dónde y cómo se van a obtener; además de organizar quién lo va a recopilar, cuándo, cómo y dónde; también dirigir y controlar que todo el proceso se lleve a cabo tal como se planifica.
- **Depuración:** al recopilar datos se debe procurar que la información sea presentada de forma sencilla y que durante la recopilación, se depure la información para que solo se almacene la que sea útil a los fines de la empresa, esto evitará el archivo de datos innecesarios y obsoletos que solo ocupan espacio y alargan el proceso de búsqueda de información.
- **Material y equipo:** se debe tener previsto qué materiales se van a utilizar en la recopilación de datos así como el equipo, ya que normalmente es mejor si se tienen copias impresas y digitales de la información relevante para la empresa.

- Estandarización: sin importar que tipo de información se requiera en la empresa, esta debe establecer una metodología estándar para el procesamiento de datos, tanto en el sistema de control manual como el automatizado.
- Interrupciones: se debe evitar que la recolección de datos implique la interrupción en la ejecución de los servicios, o trabajo adicional excesivo para el personal de ejecución del mantenimiento.
- Capacitación: la empresa debe capacitar, de manera adecuada, a los responsables por la recolección de datos.

4.2.5. Programación de mantenimiento

La programación de mantenimiento, se refiere a la determinación de las actividades a realizar para que la maquinaria, equipo o elementos productivos de la empresa, trabajen de forma continua y con el mínimo de defectos o fallas. En la programación también se define la periodicidad con que deben efectuarse dichas actividades, la duración de cada una de ellas y el personal asignado para la ejecución.

Cuando se inicia el proceso de programación de mantenimiento, se verifican los cronogramas de actividades productivas, la correlación de los códigos de los equipos con la periodicidad, instrucciones de mantenimiento, historial de fallas, datos de medición, costos, recursos a utilizar, equipo de protección personal requerido en cada actividad y cualquier dato que el encargado de programación considere necesario para la prevención de fallas en los activos físicos.

La forma de presentar la programación al personal de ejecución, debe ser sencilla y entendible para que las actividades puedan ser ejecutadas sin ningún inconveniente. Dependiendo de la empresa, la programación puede ser transmitida por vía electrónica, de forma impresa, o ambas.

El documento que contenga la programación, debe contar como mínimo con un cajetín de presentación, un cuadro con las instrucciones, la descripción de los procesos, espacio para observaciones o notas y un cajetín de firmas.

4.2.6. Orden de trabajo

La fuente de datos relativos a las actividades desarrolladas por el personal de ejecución de mantenimiento, debe incluir el tipo de actividad, su prioridad, falla o el defecto encontrado y cómo fue reparado, duración, los recursos humanos y materiales utilizados, y otros datos que permitan evaluar la eficiencia de la actuación del mantenimiento y sus implicaciones con costos y programación.

Las ordenes de trabajo, son específicas para cada empresa, en función de la actividad, organización, cantidad y tipos de mano de obra, equipos que posee entre otros, sin embargo, existe una serie de datos comunes en cualquier ramo industrial o de servicios, que deben estar presentes en este instrumento de información, como: el número consecutivo, el tipo de la actividad de mantenimiento, la prioridad, los registros de historial, si los instrumentos de supervisión actuaron correctamente o no, si la intervención perjudicó la producción, el período de indisponibilidad del equipo y la duración real del mantenimiento.

En algunas órdenes de trabajo, el esquema para un modelo impreso cuenta con un cajetín para la identificación del equipo y del problema, ubicado en la parte superior, en la parte media, se incluyen los datos de planificación y en la parte inferior, los datos de ejecución que incluyen el sumario del servicio ejecutado, comentarios del problema, horas-hombre consideradas y utilizadas y algunas firmas para validación de datos.

4.2.7. Mano de obra disponible

Se entiende, como mano de obra disponible de un órgano de ejecución del mantenimiento, el resultado de las horas-hombre efectivas, o sea, el producto del número de empleados de ese órgano por el número de horas trabajadas en horario normal y extra, menos el número de horas-hombre no presentes por motivo de vacaciones, enfermedad, servicio en otras unidades de la empresa, capacitación externa, accidente o cualquier otro motivo autorizado o no, que haya provocado la ausencia del personal.

Para la recolección de datos de disponibilidad de personal, para la ejecución del mantenimiento propio y de refuerzo en otras áreas de la empresa o de contratistas, es necesario el desarrollo de un formulario, que debe ser completado por el órgano administrativo de cada unidad de producción, a partir de los registros de las tarjetas horarias u otro sistema de control de horario adoptado en la empresa.

4.2.8. Datos de operación

Para permitir el procesamiento de información relativa a los informes de gestión de equipos y costos, debe ser previsto el registro de los datos provenientes de operación, que deberán constar básicamente de las horas de

funcionamiento de los equipos por período de control pérdida o reducción de la producción debido al mantenimiento, además de la referencia a cada intervención, normalmente hecha a través de la indicación del número de la orden de trabajo.

Estos registros, deben ser hechos por los propios operadores y, como en el caso anterior, habiendo integración, esta información puede ser obtenida directamente de los bancos de datos de operación.

4.2.9. Registro de medición

Para el registro de las mediciones efectuadas, durante el mantenimiento de los equipos, estos primero deben ser clasificados como prioritarios o secundarios.

A los prioritarios se les llamará de Clase A y a los secundarios Clase B, pero ambos deben archivarse para complementar el historial de mantenimientos que pueden servir posteriormente para las programaciones de mantenimiento de los años siguientes. También es importante la estandarización del mecanismo de registro específico para cada empresa, para evitar pérdida de tiempo y que la información sea ordenada de una forma específica y funcional.

Es importante mencionar que los valores resultantes de medición, generalmente se procesan para obtener las curvas de generación. Los resultados prácticos del seguimiento de variación en las características del equipo, se archivan con el objetivo de facilitar el análisis funcional, que finalmente permitan generar alertas plasmadas en la programación de mantenimientos preventivos.

CONCLUSIONES

1. Con base en el trabajo presentado, se puede observar la importancia que tiene la implementación de un sistema de confiabilidad para las máquinas herramientas de una empresa. De acuerdo a una programación adecuada de mantenimiento, a los componentes críticos con alta mantenibilidad, se pueden evitar paros en la producción; que a su vez, generan costos altos en la reparación y sobre todo paros en la producción. Por lo tanto, también se genera descontento en los clientes por no entregar a tiempo los productos que se ofertan.
2. El diagnóstico indica que los tornos son los de mayor criticidad, más baja confiabilidad y alta mantenibilidad, es decir, tienen mayor carga de trabajo, la producción depende en su mayoría de ellas y su rendimiento puede mantenerse o mejorarse si se establece un mantenimiento preventivo efectivo. Las fresadoras tienen una criticidad y mantenibilidad media, su confiabilidad es mayor y por ello se le da una prioridad media en la programación. En la rectificadora la mantenibilidad es alta pero por tener poca carga de trabajo, al igual que la taladradora, se le asigna prioridad tres en el mantenimiento, ambas son las que tienen mejor confiabilidad.
3. El éxito de las metodologías basadas en la confiabilidad, depende en gran parte, de las herramientas de planificación y ejecución del sistema, así como del compromiso adquirido por el personal de la planta involucrado en el proceso. Por eso se calendarizan las actividades del

mantenimiento, se atribuyen responsabilidades y se crean fichas de control.

4. Es importante seguir los mantenimientos preventivos como indica el fabricante de cada equipo, para mantener sus propiedades operativas y prolongar su vida útil, estas indicaciones fueron integradas en los formatos propuestos. Estos formatos fueron diseñados como herramientas para la ejecución del mantenimiento de la maquinaria, estableciendo el momento en que deben ser utilizadas, las personas que van a utilizarlos y las personas que van a analizar y archivar la información que estos contengan.

5. También se reconoce la importancia de la actualización del stock de repuestos necesarios de acuerdo a los equipos que fallan frecuentemente y que generan paros inesperados; ya que hay repuestos que tardan mucho tiempo en ser despachados.

RECOMENDACIONES

Al jefe de Mantenimiento

1. Tomar en cuenta la edad de la maquinaria y el tiempo de vida útil especificado para cada máquina al programar el mantenimiento preventivo, ya que con estos datos se puede establecer el período de reemplazo del equipo, para que se realicen por parte del personal de compras los procedimientos administrativos.
2. Capacitar e incentivar al personal de Mantenimiento, para que utilice correctamente los formatos propuestos, ya que son una ayuda para la ejecución del mantenimiento y de las revisiones que se han de realizar por período de tiempo.
3. Utilizar para la programación de nuevos mantenimientos y para la elaboración del reporte mensual, los indicadores del área de Mantenimiento, siendo importante que la información sea verídica y lo más precisa posible.
4. Establecer las características de calidad que se tiene en los repuestos, herramientas, equipos y materiales que se requiere en el Departamento de Mantenimiento, para que este pueda incrementar su eficiencia y evitar retrasos en la reparación de maquinaria que presente fallas operativas y que, además, tienen efectos representativos en la producción.

Al gerente general

5. Considerar la implementación de equipos gemelos, para aquellos que son considerados críticos en la planta, con el objetivo de prevenir paros inesperados.

6. Programar capacitaciones para concientizar al personal de la planta sobre la aplicación del presente estudio y promoverlo, no solo desde el punto de vista de mantenimiento, sino, como mejora de las condiciones de trabajo, enfocado en la optimización de recursos disponibles de la empresa.

BIBLIOGRAFÍA

1. AMENDOLA, Luis José. *Gestión de proyectos de activos industriales*, España: Universidad Politécnica de Valencia, 2006. 120 p.
2. _____. *Modelos mixtos de confiabilidad, Departamento de Proyectos de Ingeniería e Innovación*. España: Universidad Politécnica de Valencia, 2004. 210 p.
3. ESPINOZA FUENTES, Fernando. *Confiabilidad operacional de equipos, metodologías y herramientas*. Santiago: Universidad de Talca, 2004. 180 p.
4. Generalitat de Catalunya. *Manual para la identificación y evaluación de riesgos laborales*. Barcelona: IDDIC, 2006. 150 p.
5. *Seminarios de Gestión: gestión estratégica del mantenimiento de clase mundial*. Estados Unidos: IMG&C, 2008. 178 p.
6. TAVARES, Lourival Augusto. *Administración moderna de mantenimiento*. Brasil: Novo Polo, 2005. 180 p.

