



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

**DISEÑO DE PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL PARA LOS EQUIPOS DE
SOLDADURA ELÉCTRICA, SOLDADURA MIG Y SOLDADURA TIG DEL TALLER METAL MECÁNICA
DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO GUATEMALA SUR, UBICADO EN PALÍN ESCUINTLA**

Juan Carlos González Alvarez
Asesorado por el Ing. Oscar Ernesto Jurado Godoy

Guatemala, octubre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL PARA LOS EQUIPOS DE SOLDADURA ELÉCTRICA, SOLDADURA MIG Y SOLDADURA TIG DEL TALLER METAL MECÁNICA DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO GUATEMALA SUR, UBICADO EN PALÍN ESCUINTLA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JUAN CARLOS GONZÁLEZ ALVAREZ

ASESORADO POR EL ING. OSCAR ERNESTO JURADO GODOY

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADORA	Inga. Nora Leonor García Tobar
EXAMINADORA	Inga. María Martha Wolford de Hernández
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL PARA LOS EQUIPOS DE SOLDADURA ELÉCTRICA, SOLDADURA MIG Y SOLDADURA TIG DEL TALLER METAL MECÁNICA DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO GUATEMALA SUR, UBICADO EN PALÍN ESCUINTLA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 18 de enero de 2012.



Juan Carlos González Álvarez

Guatemala, 10 de enero de 2013.

Ingeniero:

César Ernesto Urquizú Rodas

Director de Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Facultad de Ingeniería

Guatemala.

Respetable ingeniero:

Por medio de la presente le informo que he procedido a revisar el trabajo de graduación elaborado por el estudiante: Juan Carlos González Álvarez con carné 200110911 de la carrera de Ingeniería Industrial, cuyo título es:

DISEÑO DE PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL PARA LOS EQUIPOS DE SOLDADURA ELÉCTRICA, SOLDADURA MIG Y SOLDADURA TIG DEL TALLER METAL MECÁNICA DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO GUATEMALA SUR, UBICADO EN PALIN ESCUINTLA.

Considero que el trabajo presentado ha sido desarrollado cumpliendo con los reglamentos y siguiendo las recomendaciones de asesoría, por lo que doy mi aprobación y solicito trámite correspondiente

Sin otro particular me suscribo de usted.


OSCAR ERNESTO JURADO GODOY
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL
COLEGIADO No. 8604

Oscar Ernesto Jurado Godoy

Ingeniero Mecánico Industrial

Colegiado No. 8604



REF.REV.EMI.121.013

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO DE PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL PARA LOS EQUIPOS DE SOLDADURA ELÉCTRICA, SOLDADURA MIG Y SOLDADURA TIG DEL TALLER METAL MECÁNICA DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO GUATEMALA SUR, UBICADO EN PALIN ESCUINTLA**, presentado por el estudiante universitario **Juan Carlos González Alvarez**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

*Ing. Roberto Valle González
Ingeniero Industrial
Colegiado 2505*

Ing. Roberto Valle González
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, julio de 2013.

/mgp



REF.DIR.EMI.273.013

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de **DISEÑO DE PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL PARA LOS EQUIPOS DE SOLDADURA ELÉCTRICA, SOLDADURA MIG Y SOLDADURA TIG DEL TALLER METAL MECÁNICA DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO GUATEMALA SUR, UBICADO EN PALIN ESCUINTLA**, presentado por el estudiante universitario **Juan Carlos González Álvarez**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, octubre de 2013.

/mgp

Universidad de San Carlos
de Guatemala

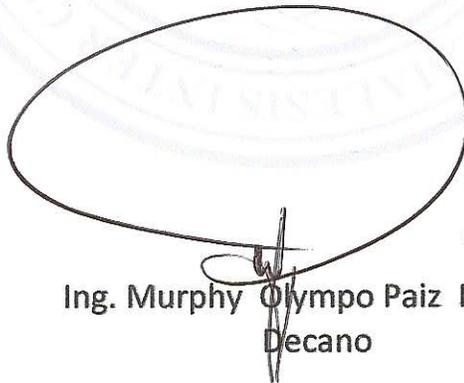


Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 736.2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL PARA LOS EQUIPOS DE SOLDADURA ELÉCTRICA, SOLDADURA MIG Y SOLDADURA TIG DEL TALLER METAL MECÁNICA DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO GUATEMALA SUR, UBICADO EN PALÍN ESCUINTLA**, presentado por el estudiante universitario **Juan Carlos González Álvarez**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 23 de octubre de 2013

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por permitirme completar una fase más en el área académica y por su misericordia y amor.
- Mis padres** Ángel Custodio González Ruiz y Sara Alvarez de González, por su amor, apoyo, consejos y comprensión.
- Mis hermanos** José Manuel, Aury, Luis Alfredo, Julio Roberto, Cesar Eliseo, Gloria, Gary Francisco y Ángel Eduardo González Alvarez, porque directa o indirectamente me apoyaron e inspiraron para llegar a este momento.
- Mis amigos** Por ser un apoyo y motivación durante tan arduo camino.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por administrar la educación superior y hacer posible este triunfo.
Facultad de Ingeniería	Por la formación profesional que imparte y por su esfuerzo, por hacer bien tan apreciada labor.
Asesor	Oscar Jurado Godoy, por su apoyo y comprensión durante todo el proceso de este trabajo de graduación.
Ingeniero	Roberto Valle González, por apoyarme y motivarme a completar mis estudios.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES GENERALES Y CONCEPTOS BÁSICOS DEL TPM	1
1.1. Nombre y descripción de la institución	1
1.2. Historia	1
1.3. Ubicación	3
1.4. Misión	3
1.5. Visión	3
1.6. Estructura organizacional	4
1.7. Descripción del Taller de Metal Mecánica	26
1.8. Mantenimiento Productivo Total (TPM)	26
1.8.1. Definición del Mantenimiento Productivo Total	27
1.8.2. Características del Mantenimiento Productivo Total	28
1.8.3. Pilares del Mantenimiento Productivo Total	29
1.8.3.1. Mejoras enfocada	29
1.8.3.2. Mantenimiento autónomo	33

1.8.3.3.	Mantenimiento planificado o progresivo.....	34
1.8.3.4.	Mantenimiento de calidad	35
1.8.3.5.	Control inicial o prevención del mantenimiento	35
1.8.3.6.	Capacitación o entrenamiento	36
1.8.3.7.	Mantenimiento administrativo	36
1.8.3.8.	Seguridad higiene y ambiente.....	37
1.8.4.	Objetivos principales del Mantenimiento Productivo Total	37
1.8.5.	Pasos para la implementación del Mantenimiento Productivo Total	38
1.8.5.1.	Preparación	39
1.8.5.2.	Introducción	41
1.8.5.3.	Implementación	41
1.8.5.4.	Consolidación	42
1.8.6.	Beneficios del Mantenimiento Productivo Total	42
1.8.7.	Limitaciones para la implementación del Mantenimiento Productivo Total	43
2.	DIAGNÓSTICO DE OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS DE SOLDADURA	45
2.1.	Equipos para soldadura eléctrica con electrodo revestido	45
2.1.1.	Características de las máquinas de soldadura	45
2.1.1.1.	Componentes	45
2.1.1.2.	Voltaje de entrada.....	48
2.1.1.3.	Corriente de entrada	48
2.1.1.4.	Corriente de salida.....	48
2.1.1.5.	Ciclo de trabajo.....	49

2.1.2.	Fallas frecuentes.....	51
2.1.3.	Condiciones de funcionamiento	51
2.1.3.1.	Ambiente	51
2.1.3.2.	Frecuencia de uso.....	52
2.1.3.3.	Amperajes de salida más utilizados	52
2.2.	Equipos para soldadura MIG (Metal inert gas).....	53
2.2.1.	Características de las máquinas de soldadura	53
2.2.1.1.	Características generales.....	55
2.2.1.2.	Componentes.....	56
2.2.1.3.	Voltaje de entrada	57
2.2.1.4.	Corriente de entrada	58
2.2.1.5.	Corriente de salida	58
2.2.1.6.	Ciclo de trabajo	58
2.2.2.	Fallas frecuentes.....	59
2.2.3.	Condiciones de funcionamiento	60
2.2.3.1.	Ambiente	60
2.2.3.2.	Frecuencia de uso.....	60
2.2.3.3.	Amperajes de salida más utilizados	60
2.3.	Equipos para soldadura TIG (Tungsten inert gas)	61
2.3.1.	Características de las máquinas de soldadura	61
2.3.1.1.	Características generales.....	62
2.3.1.2.	Componentes.....	62
2.3.1.3.	Voltaje de entrada	64
2.3.1.4.	Corriente de entrada	64
2.3.1.5.	Corriente de salida	64
2.3.1.6.	Ciclo de trabajo	65
2.3.2.	Fallas frecuentes.....	65
2.3.3.	Condiciones de funcionamiento	66
2.3.3.1.	Ambiente	66

	2.3.3.2.	Frecuencia de uso	66
	2.3.3.3.	Amperajes de salida más utilizados	67
2.4.		Proyecciones de uso de los equipos	67
2.5.		Análisis de habilidades disponibles del instructor	69
2.6.		Programa actual de mantenimiento	69
2.7.		Análisis de aprovechamiento de los equipos	70
2.8.		Análisis de costo por deterioro acelerado	71
3.		PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL	73
3.1.		Programa de mantenimiento autónomo	73
	3.1.1.	Programa de mantenimiento autónomo para los instructores	74
	3.1.1.1.	Limpieza inicial	74
	3.1.1.2.	Medidas de contención de fuentes de contaminación	76
	3.1.1.3.	Estándares de limpieza	77
	3.1.1.4.	Inspección general	77
	3.1.1.5.	Inspección autónoma	77
	3.1.1.6.	Mejorar el proceso de aseguramiento de la calidad	79
	3.1.2.	Supervisión autónoma	79
3.2.		Programa de mantenimiento enfocado	80
3.3.		Mantenimiento planificado	83
	3.3.1.	Programa de mantenimiento preventivo	83
	3.3.2.	Programa de mantenimiento correctivo	86
	3.3.3.	Sustitución de equipos	93
3.4.		Programa de capacitación	94
3.5.		Programa de control inicial	94
3.6.		Programa de higiene y ambiente	95

3.7.	Programa de mantenimiento administrativo.....	103
3.8.	Indicadores de eficiencia de los equipos.....	105
4.	IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL.....	117
4.1.	Presentación del Programa de Mantenimiento Productivo Total	117
4.2.	Implantación de coordinación y comunicación entre Dirección, Comité Directivo, coordinación administrativa y coordinación del Taller Metal Mecánica.....	118
4.3.	Formación de equipos de trabajo y asignación de responsabilidades.....	119
4.4.	Programa de capacitación	120
4.4.1.	Filosofía TPM.....	120
4.4.2.	Mecánica básica	121
4.4.3.	Máquinas de soldadura.....	122
4.4.4.	Electricidad básica sobre equipos de soldadura ...	122
4.5.	Implantar estándares de mantenimiento	123
4.6.	Mantenimiento subcontratado (<i>outsourc</i> e)	123
4.7.	Controles del programa del Mantenimiento Productivo Total .	124
4.7.1.	Controles del coordinador del Área de Metal Mecánica	124
4.7.2.	Controles de la coordinación de mantenimiento....	125
4.7.3.	Diseño de solicitud de trabajos de mantenimiento <i>outsou</i> ce.....	125
4.7.4.	Diseño de historial de mantenimiento de equipos .	125
4.7.5.	Diseño de requisición de repuestos y materiales ..	126
4.8.	Creación de inventarios de herramienta, insumos y repuestos para el mantenimiento preventivo y correctivo	126

4.9.	Creación de banco de datos de empresa de servicio de reparación de equipos de soldadura	127
4.10.	Asignación de recursos al Mantenimiento Productivo Total...	128
4.11.	Costos y beneficios por implementación del TPM	129
5.	SEGUIMIENTO DEL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL	135
5.1.	Evaluación del Programa de Mantenimiento Productivo Total.....	135
5.1.1	Implantación de indicadores de eficiencia de las máquinas de soldar	136
5.1.2.	Monitoreo de los equipos de trabajo	137
5.1.3.	Evaluación de conocimientos de mantenimiento de equipos de soldadura	138
5.1.4.	Ajustes al Programa de Mantenimiento Productivo Total	138
5.1.4.1.	Capacitación para nuevos integrantes de los equipos	139
5.1.4.2	Capacitación sobre nuevas máquinas de soldar	139
5.1.4.3	Actualización de programas de capacitación.....	140
5.1.5.	Cronograma de reuniones del equipo de Mantenimiento Productivo Total	140
	CONCLUSIONES	143
	RECOMENDACIONES	145
	BIBLIOGRAFÍA.....	147
	APÉNDICES	149

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama estructural.....	24
2.	Elementos principales del equipo Yamato BC-K-300A.....	46
3.	Transformador para soldadura con derivación del devanado secundario	47
4.	Fuente de potencia de C.A. de derivación móvil	47
5.	Variables de soldadura por arco de gas y metal a pulsos.....	54
6.	Circuito base para la operación a pulsos sinérgicos	54
7.	Equipo básico para soldadura por arco de metal y gas	57
8.	Equipo básico para soldadura por arco de tungsteno y gas	63

TABLAS

I.	Manual de organización del ITUGS.....	4
II.	Estadísticas generales de laboratorios Facultad de Ingeniería ciclo académico 2011	68
III.	Estadísticas generales de laboratorios Facultad de Ingeniería ciclo académico 2012	68
IV.	Estadísticas generales de inscripción ciclo académico 2011	68
V.	Estadísticas generales de inscripción ciclo académico 2012	69
VI.	Gastos generados por mantenimiento correctivo y preventivo en 3 años de funcionamiento	71

VII.	Significado de las cinco S	75
VIII.	Guía de localización de fallas mientras el equipo de soldadura está funcionando.....	87
IX.	Códigos para las máquinas de soldadura del Taller Metal Mecánica	106
X.	Pérdidas de disponibilidad	108
XI.	Inversión de tiempo y dinero debido a capacitación, reuniones y trabajos de mantenimiento	130
XII.	Inversión por capacitación	131
XIII.	Inversión en herramienta y maquinaria	132
XIV.	Inversión en insumos y accesorios para un período de 2 años	132

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
%	Porcentaje
°C	Grados Celsius
Q	Quetzales

GLOSARIO

Arranques verticales	Estrategia para lograr arranques eficientes, es decir que arranque bien desde la primera vez y no luego de repetidas y eternas modificaciones durante la operación.
Bobina	Devanado hecho con un conductor eléctrico regularmente de aluminio o cobre.
CA	Corriente Alterna.
CD	Corriente Directa.
CFC	Cloro Fluoro Carbonados.
CNC	Control Numérico por Computadora.
Contactador	Interruptor controlado eléctricamente utilizado para la conmutación de un circuito de potencia.
Electrodo	Varilla metálica utilizada en soldadura diseñada para conducir corriente eléctrica, según el proceso de soldadura puede ser desnudo o con revestimiento.
Fuente de potencia	Nombre que reciben las máquinas de soldadura eléctrica.

Halones	Productos químicos que tienen la capacidad de extinguir el fuego mediante la captura de los radicales libres que se generan en la combustión.
ITUGS	Son siglas cuyo significado completo son Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur.
JIT	Es un sistema de organización de la producción para las fábricas, de origen japonés. También conocido como método Toyota o JIT, permite aumentar la productividad. Permite reducir el costo de la gestión y pérdidas en almacenes debido a acciones innecesarias.
Manómetros	Instrumento de medición que sirve para medir la presión de gases contenidos en recipientes cerrados.
Máquina MIG	Máquina de soldadura que utiliza un electrodo en forma de hilo que es suministrado de forma continua con protección gaseosa.
Máquina TIG	Máquina de soldadura que utiliza un electrodo de tungsteno no consumible con protección gaseosa.
Metal Base	Pieza metálica en la cual se deposita el metal líquido de soldadura.
MIG	<i>Metal Inert Gas</i> (metal en gas inerte).

MSDS	<i>Material Safety Data Sheet</i> (Hoja de Seguridad).
MTBF	<i>Mean time between failures</i> (tiempo medio entre fallos).
NEMA	Es una asociación de los fabricantes de equipos eléctricos, fundada en 1926 y con sede en Arlington, Virginia. Es un campeón marcapasos para la seguridad, la innovación, la interoperabilidad, el ambiente y la mejora del mercado a través de la promoción, la información del negocio y las normas para productos, sistemas y tecnologías.
OSHA	<i>Occupational Safety and Health Administration</i> (Administración de Salud y Seguridad).
Pistola de soldadura	Herramienta utilizada para suministrar el electrodo en las máquinas MIG.
Plan maestro	Nombre que recibe la planificación de cada uno de los pilares del Mantenimiento Productivo Total.
Potenciómetro	Resistor cuyo valor de resistencia es variable.
PVC	Policloruro de Vinilo.
SMAW	<i>Shielded metal arc welding</i> (Soldadura por Arco de Metal Protegido).

SMED	<i>Single-Minute Exchange of Die</i> (cambio de herramienta en un solo minuto).
TIG	<i>Tungsten Inert Gas</i> (tungsteno en gas inerte).
TPM	Es una estrategia de gestión empresarial cuyo objetivo es mejorar la competitividad de las organizaciones por medio del mejoramiento de la calidad y la productividad; involucra a la alta dirección y a todos los empleados de una organización, es un sistema que busca reducir los costos de producción y mantenimiento, evitando accidentes, eliminando averías o fallos y aumentando la calidad de los productos.
TQM	Es una estrategia de gestión orientada a crear conciencia de calidad en todos los procesos de organización. Se le denomina «total» porque concierne a la organización de la empresa globalmente considerada y a las personas que trabajan en ella.
UV	Ultravioleta.
Voltaje trifásico	Sistema de tres tensiones alternas acopladas y desfasadas 120° entre sí.

RESUMEN

El Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur (ITUGS) es una dependencia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, encargada de desarrollar un modelo de formación científica y tecnológica para formar técnicos de educación superior, de alto rendimiento y competitividad, integrales, éticos, con una visión humanística cuyo trabajo permita incrementar los índices de productividad y eficiencia que provoquen un cambio socioeconómico positivo en Guatemala.

El Consejo Directivo, máxima autoridad del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur, busca llevar al ITUGS a ser la institución de mayor desarrollo y reconocimiento en la región centroamericana, apoyado en un equipo de trabajo altamente efectivo.

El Programa de Mantenimiento Productivo Total (TPM por sus siglas en inglés) es una estrategia de mejora que involucra a la alta dirección y a todos los empleados de una organización, sistema que se adapta perfectamente a las características del ITUGS, busca mejorar la competitividad mediante la reducción de costos de producción y mantenimiento, evitando accidentes, eliminando averías o fallos y aumentando la calidad.

La metodología de trabajo del TPM aplicada a las máquinas de soldar del módulo 8 del Taller Metal Mecánica, busca conservar la eficiencia y aprovechar la vida útil de dichas máquinas, las cuales son máquinas eléctricas de alto rendimiento.

El mantenimiento planificado es uno de los pilares más importantes del TPM, es el encargado de programar las acciones predictivas, preventivas y correctivas. En su programación incluye estándares, características de calidad, registro de información, seguridad, tiempo, herramientas y otros elementos necesarios para alcanzar la meta cero averías.

La implementación del TPM es un trabajo arduo ya que es un cambio de cultura de trabajo. El control y una evaluación continua del TPM y los ajustes o acciones correctivas permiten mejorarlo. Los cambios positivos al programa evitan su deterioro y fracaso.

OBJETIVOS

General

Diseñar un programa de mantenimiento con base en la filosofía del Mantenimiento Productivo Total para los equipos de soldadura eléctrica, soldadura MIG y soldadura TIG del Taller Metal Mecánica del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur.

Específicos

1. Diagnosticar las condiciones de servicio de los equipos de soldadura eléctrica, soldadura MIG y soldadura TIG.
2. Establecer un programa de mantenimiento planificado para los equipos de soldadura.
3. Implementar el I Mantenimiento Productivo Total.
4. Reducir costos por mantenimiento correctivo y remplazo de equipos.
5. Capacitar a las personas que tengan contacto con los equipos.
6. Organizar equipos de trabajo del I Mantenimiento Productivo Total.
7. Identificar las fallas más frecuentes de los equipos de soldadura.

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento es un pilar fundamental para el funcionamiento correcto de las empresas industriales, es un concepto que ha evolucionado a la par del desarrollo industrial, tomando diversos nombres según los enfoques, uno de los productos de dicha evolución es el Mantenimiento Productivo Total (TPM), no es un concepto moderno pero para algunos países americanos no industrializados si lo es. El TPM es una filosofía de trabajo flexible que permite aumentar la productividad y logra que las empresas funcionen como un sistema, es decir, logra que el Departamento Administrativo, de Producción y Mantenimiento se encaminen hacia un mismo objetivo, el cual es obtener mayor competitividad mediante reducción de costos de mantenimiento y producción.

En el presente trabajo de graduación se adaptó el TPM al ámbito educativo, teniendo el cuidado de no perder la metodología de trabajo. En esencia la información que se presenta es un programa de mantenimiento para las máquinas de soldadura del Taller Metal Mecánica.

En el capítulo uno de este trabajo se muestran las características de la institución; ubicación, organización, misión y visión; también se presentan conceptos básicos del TPM; definición de los siete pilares básicos que sostienen el concepto del TPM, la descripción de las metodologías que utiliza cada pilar, etcétera. El propósito es presentar de manera teórica el concepto del Mantenimiento Productivo Total y dar a conocer las características de la institución para la cual se diseñó el programa.

El capítulo dos es un diagnóstico de las máquinas de soldadura que abarca todos los parámetros de funcionamiento, además se incluye un análisis completo del área donde se ubican dichas máquinas.

En los últimos tres capítulos se expone la propuesta, implementación y mejora continua del programa Mantenimiento Productivo Total adaptado para dar mantenimiento a máquinas de soldadura que se utilizan con fines educativos.

1. ANTECEDENTES GENERALES Y CONCEPTOS BÁSICOS DEL TPM

1.1. Nombre y descripción de la institución

El Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur (ITUGS) es una dependencia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, descentralizada con patrimonio propio, encargada de desarrollar un modelo de formación científica y tecnológica para el desarrollo de país.

1.2. Historia

El Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur (ITUGS) proyecto que se inició en el gobierno de Oscar Berger y se concluyó en el gobierno del ingeniero Álvaro Colom; originalmente diseñado para la formación de técnicos a nivel medio, su finalidad fue modificada para el nivel universitario bajo la responsabilidad académica de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

En un principio, la creación del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur -ITUGS, se estableció ante la necesidad de definir un nuevo modelo pedagógico en Guatemala, que permitiera instaurar una alternativa de educación superior basada en un prototipo innovador, como el detonador del desarrollo que el país requiere en estos momentos, el cual fue asignado al Ministerio de Educación.

El Gobierno de Guatemala, a través del Fondo Nacional para la Paz -FONAPAZ-, completó el estudio de factibilidad del proyecto, en el cual se identifica la problemática de la educación tecnológica en el país, proponiendo y justificando la creación de un instituto con características tecnológicas que permita la superación integral de ciudadanos a través de capacitación tecnológica a nivel universitario.

Ante tales demandas, el presidente de la república, ingeniero Álvaro Colom Caballeros, acordó el traslado del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur a la Universidad de San Carlos de Guatemala, con el propósito de abrir una nueva vía de formación que permita a los estudiantes egresados del citado instituto, en un tiempo menor integrarse a diversas actividades productivas, sin perder de vista en todo momento, la necesidad de una permanente reflexión para lograr la capacidad de adaptarse a un ambiente tecnológico en constante cambio, sea por su propia evolución o por la transformación del mismo.

Por medio de Acuerdos De Rectoría No. 0718 Y 0936-2008 de fechas 24 de abril y 21 de mayo, respectivamente, por medio de los cuales el señor rector Lic. Carlos Estuardo Gálvez Barrios nombró la Comisión que tendrá a su cargo sistematizar y ejecutar el traslado de la infraestructura, bienes y equipo del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur a la Universidad de San Carlos de Guatemala, así como, realizar el análisis, evaluación y diseño del currículo de estudios de las carreras que se impartirán en dicha unidad académica.

1.3. Ubicación

El Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur -ITUGS- está ubicado en el kilómetro 45 de la antigua ruta a Escuintla en la finca Jurún Marinalá Palín, Escuintla.

1.4. Misión

“Somos los responsables de la formación teórica-práctica y la educación profesional en las áreas tecnológicas con una perspectiva integral que requiere de una eficiente educación superior técnica y de alto rendimiento y competitividad, en concordancia con el desarrollo humanístico y ético que le permita complementar su formación ciudadana y comprometida con la construcción de un país democrático y abierto a las diferencias culturales”.¹

1.5. Visión

“Ser el instituto de mayor desarrollo y reconocimiento en la región centroamericana por los técnicos-profesionales que egresan en las diferentes áreas, por su valor estratégico en el desarrollo social y económico de las diferentes comunidades, empresas y sector público, en el marco de una perspectiva del desarrollo humano, ambiente sostenible y del mandato de excelencia académica de la Universidad de San Carlos de Guatemala”.²

¹Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur.

²*Íbid.*

1.6. Estructura organizacional

El Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur, para su funcionamiento y gobierno, está estructurado con los siguientes organismos o unidades: Consejo Directivo, director, consejo académico, personal docente y personal administrativo. La siguiente información es el Manual de organización del ITUGS, en él se muestran los objetivos y funciones de cada unidad.

Tabla I. **Manual de organización del ITUGS**

“Estructura organizativa:

D. Consejo Directivo

a. Definición

Es la máxima autoridad del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur y se integra por los decanos de las Facultades de Agronomía, Ingeniería, Ciencias Químicas y Farmacia, Director del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, el director general de Docencia y el director del Instituto.

El Consejo contará con un presidente, cargo que con excepción del director general de Docencia y del director del Instituto, será ocupado por el período de un año y en forma rotativa por el decano o director de las Unidades Académicas representadas en el mismo, con más antigüedad en el puesto o si todos tuviesen el mismo tiempo de servicio por el de más edad.

Continuación de la tabla I.

b. Base legal

Según ARTÍCULO 7, del PROYECTO DE REGLAMENTO DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO GUATEMALA SUR.

c. Objetivos específicos

Son objetivos específicos del Consejo Directivo, los siguientes:

- i. Dirigir y administrar el Instituto.
- ii. Velar por el cumplimiento de las leyes universitarias, Estatuto de la Universidad, Reglamento del Instituto y demás disposiciones legales.

d. Funciones específicas

Son funciones específicas del Consejo Directivo, las siguientes:

- i. Nombrar al personal docente y administrativo observando el procedimiento de oposición correspondiente.
- ii. Elaborar y aprobar el presupuesto del Instituto y autorizar erogaciones para gastos conforme lo determina el Estatuto de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- iii. Proponer al Consejo Superior Universitario todas las medidas y proyectos para beneficio del Instituto.

Continuación de la tabla I.

- iv. Dar trámite y resolver, si este fuere el caso, los asuntos relativos al orden y disciplina de profesores y estudiantes conforme al Estatuto de la Universidad de San Carlos de Guatemala y el Reglamento de la Carrera Universitaria del Personal Académico
- v. Evaluar periódicamente las actividades del Instituto.
- vi. Presentar un informe anual al Consejo Superior Universitario

- vii. Deberá celebrar sesiones ordinarias dos veces al mes y extraordinarias cuando lo decida el propio Consejo, el Director de propia iniciativa o a solicitud de alguno de los demás miembros del Consejo Directivo

E. Director General De Docencia

a. Definición

Es designado para un período de dos años, por el Consejo Directivo dentro de un listado integrado por dos catedráticos titulares por cada una de las Unidades Académicas que integran el Consejo Directivo a propuesta del Decano o Director de ellas.

b. Funciones específicas

- i. Presidir el Consejo Directivo

Continuación de la tabla I.

- ii. Convocar y presidir las sesiones ordinarias y extraordinarias del Consejo Directivo.
- iii. Informar mensualmente al Consejo Directivo de la asistencia de los profesores y de los alumnos y del cumplimiento de sus deberes.
- iv. Cumplir con las comisiones que le asigne el Consejo Directivo
- v. Todas aquellas compatibles con el cargo y que se encuentren señaladas en la legislación universitaria.

F. Dirección

a. Definición

Es la unidad encargada de Planificar, Organizar, Integrar, Dirigir y Controlar la ejecución de los programas que avala el Consejo Directivo, así como la responsable directa que se cumplan con los lineamiento de las autoridades superiores. Está a cargo de un Director, que es designado por el Consejo Directivo del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur.

b. Base Legal

Según Artículo 13, del Reglamento del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur y Dictamen de Creación DARHC No. 585-2008 de fecha 28 de noviembre de 2008.

Continuación de la tabla I.

c. Objetivos

- i. Velar por el buen desarrollo de los procesos establecidos por la Universidad de San Carlos de Guatemala y el Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur.
- ii. Velar por la armonía de los entes que conforman la estructura organizacional del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur.
- iii. Realizar una gestión ágil y eficiente a través de la comunicación y relación con entes que promuevan el desarrollo y fortalecimiento de la educación superior.
- iv. Implementar procesos de dirección estratégica a todo nivel, afín de promover la toma de decisiones que fortalezcan el crecimiento de la Unidad Académica.

d. Funciones

Son funciones de la Dirección, las siguientes:

- i. Representar al Instituto en sus relaciones internas con la Universidad de San Carlos de Guatemala y presidir los actos oficiales del Tecnológico.
- ii. Convocar y presidir las sesiones ordinarias y extraordinarias del Consejo Directivo.

Continuación de la tabla I.

- iii. Ejecutar las decisiones del Consejo Directivo y Consejo Superior Universitario.
- iv. Velar por el buen funcionamiento de las actividades académicas y administrativas del Instituto e informar periódicamente al Consejo Directivo de las marchas de las labores del Tecnológico.
- v. Autorizar los gastos de funcionamiento del Tecnológico que le compete.
- vi. Conceder licencias al personal, de conformidad con lo establecido en las Normas y Procedimientos.
- vii. Presentar la memoria anual de labores desarrolladas por el Tecnológico.
- viii. Firmar conjuntamente con las autoridades propias de la Universidad, los diplomas de los egresados del Tecnológico.
- ix. Coordinar las actividades del personal administrativo del Tecnológico velando por el cumplimiento de sus funciones.
- x. Ejecutar y controlar el presupuesto del Tecnológico.
- xi. Tramitar y resolver los asuntos de carácter administrativo y financiero del Tecnológico que este dentro de su competencia.
- xii. Velar por el registro y presentación oportuna de la información estadística necesaria para el buen funcionamiento del Tecnológico.

Continuación de la tabla I.

- xiii. Controlar la adquisición de materiales, ser vicios o equipos, dando cumplimiento a las leyes de la materia.
- xiv. Supervisar la elaboración y ejecución de las nominas de sueldos del personal docente y administrativo del Tecnológico.
- xv. Nombrar al personal administrativo del Tecnológico.
- xvi. Cumplir con las comisiones que le asigne el Consejo Directivo
- xvii. Todas aquellas compatibles con el cargo y que se encuentren señaladas en la legislación universitaria tanto a Decanos como a Directores de otras Unidades Académicas.

e. Estructura Organizativa

La Dirección del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur, está integrada de la siguiente manera: Coordinación Académica, Departamento Administrativo, Profesional de Planificación y Coordinación y Mantenimiento de conservación de áreas verdes.

Continuación de la tabla I.

G. Coordinadora Académica

a. Definición

Es la unidad responsable de la coordinación de la docencia y la investigación del Instituto, así como del aseguramiento de la calidad del proceso docente metodológico, en el marco de Políticas y lineamientos establecidos por el Instituto, y por la otra de la orientación técnica funcional de las unidades académicas con el propósito de fomentar el desarrollo de la gestión docente a través de la incorporación de enfoques y métodos pedagógicos centrados en el aprendizaje y la participativa activa del estudiante. Esta bajo la responsabilidad de un Coordinador Académico y pertenecen los/as docentes que ejercen la docencia en el Instituto.

b. Base Legal

Según artículo 15, del Reglamento del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur.

c. Son objetivos de la Coordinación Académica los siguientes:

- i. Desarrollar el proceso enseñanza-aprendizaje conforme a los planes y programas aprobados por el Consejo Directivo del Instituto.
- ii. Proyectar y participar en los programas de docencia e investigación del Instituto.

Continuación de la tabla I.

- i. Desarrollar los lineamientos institucionales para el mejoramiento curricular.
- ii. Promover el vínculo entre docencia, investigación y extensión.
- iii. Propiciar la participación activa del estudiante en su proceso de aprendizaje, incluyendo estrategias pedagógicas centradas en la solución de problemas con contextos reales de aprendizaje.
- iv. Perfeccionar los Diseños Curriculares de las Carreras en el Marco de las Nuevas Políticas Institucionales, los requerimientos del mercado laboral, de la época y de la profesión.

d. Funciones

Son funciones de la Coordinación Académica, las siguientes:

- i. Planificar, coordinar e impulsar las actividades de docencia, investigación, extensión y servicio del Instituto.
- ii. Promover el estudio para el establecimiento de nuevas carreras y determinar los requisitos académicos para su creación.
- iii. Proponer los currícula de estudios e impulsar cambios y ajustes curriculares de las distintas carreras que se imparten en el Instituto, de acuerdo a las necesidades y posibilidades de desarrollo de las mismas, en el área de influencia.

Continuación de la tabla I.

- iv. Impulsar la investigación de los problemas regionales, en función del desarrollo nacional.
- v. Dictaminar sobre solicitudes de exámenes especiales o extraordinarios que estén contemplados en el Reglamento de Evaluación del Rendimiento Estudiantil.
- vi. Dictaminar sobre equivalencias de cursos, traslados de estudiantes a otras carreras y demás aspectos relacionados con los planes de estudio.
- vii. Elaborar y proponer los normativos relativos a asuntos académicos o docentes.
- viii. Promover la constante superación científica y pedagógica de los profesores.
- ix. Supervisar la metodología y técnicas aplicables para la enseñanza-aprendizaje.
- x. Velar por la disponibilidad de los recursos necesarios para la docencia.
- xi. Otras relacionadas con su condición de ente académico.

El Coordinador Académico del Instituto será designado por el Consejo Directivo a propuesta del Director y desempeñara el cargo durante un tiempo que estará comprendido dentro del periodo en que ejerza sus funciones el Director que lo propuso, sin perjuicio de poder ser propuesto nuevamente en terna por un nuevo Director, y tendrá las siguientes atribuciones:

Continuación de la tabla I.

- xii. Velar por el cumplimiento del Reglamento de Evaluación del Rendimiento Estudiantil de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- xiii. Promocionar la información relacionada con la selección de profesores y estudiantes que deseen gozar de becas para estudios, y enviarla a donde corresponde.
- xiv. Velar porque la enseñanza en el Instituto se imparta con la mayor eficiencia.
- xv. Elaborar el plan general de actividades docentes y someterlo a consideración del Director.
- xvi. Organizar cursos, cursillos, conferencias y demás actividades tendientes a la superación de la docencia y la investigación.
- xvii. Promover reuniones de profesores para la programación y desarrollo de las actividades docentes.
- xviii. Impartir docencia directa, acorde a su condición de profesor.
- xix. Informar al Director y al Consejo Directivo de las actividades académicas docentes del Instituto.
- xx. Velar por el buen desarrollo de las actividades de control y registro académico del Instituto.
- xxi. Cualquier otra que tienda a la constante superación de las labores académicas y docentes

Continuación de la tabla I.

e. Estructura Organizativa

La Coordinación Académica del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur. Está integrada por Control Académico, docentes de área y auxiliares de cátedra.

E. Control Académico

a. Definición

Dependencia Administrativa encargada de llevar el control de la situación académica de los estudiantes del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur.

b. Base Legal

Dictamen de Creación DARHC No. 026-2010 de fecha 02 de febrero de 2010.

c. Objetivos

- i. Atender estudiantes en asuntos relacionados con su proceso de formación en forma rápida y eficazmente.

Continuación de la tabla I.

- ii. Controlar la situación académica de cada uno de los estudiantes del Instituto.
- iii. Controlar la entrega de notas por parte de los docentes del Instituto.
- iv. Mejorar el flujo de información de otras dependencias.
- v. Obtener, proteger y procesar toda la información, datos y expedientes de la vida académica del estudiante.
- vi. Proveer información actualizada y veraz relacionada al desarrollo académico de los estudiantes y egresados del Instituto.

d. Funciones

- i. Conocer todas las normas, reglamentos y acuerdos emitidos por el Consejo Directivo, el Consejo Superior Universitario, Registro y Estadística o la Dirección, relacionados al control académico.
- ii. Permanecer actualizado en las reformas académicas que el Consejo Directivo apruebe.
- iii. Atender con cordialidad, profesionalidad, respeto y veracidad a estudiantes, personal docente y académico y toda persona que requiera información.
- iv. Programar las actividades relacionadas a asignaciones de cursos ordinarias y extemporáneas.

Continuación de la tabla I.

- v. Velar por la seguridad de la información que se procesa en Control Académico.
- vi. Controlar el archivo de cuadros de notas, actas de graduados expedientes de estudiantes, expedientes de graduados y programas de cursos.
- vii. Procesar datos estadísticos que le sean requeridos para los estudios de rendimiento.
- viii. Certificar verazmente las notas, cursos, cierres de pensum y/o actas a los estudiantes activos o inactivos, o a egresados que lo requieran, previo pago en Tesorería.
- ix. Informar y/o solicitar a Registro y Estadística datos que sean requeridos o necesarios para el buen funcionamiento de Control Académico.

F. Departamento Administrativo

a. Definición

Es la instancia de apoyo administrativo que se encarga de planificar, organizar, integrar, dirigir y controlar las actividades administrativas y de servicio del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur que conduzcan al desarrollo pleno del Instituto.

Continuación de la tabla I.

b. Base Legal

Dictamen de Creación DARHC No. 585-2008 de fecha 28 de noviembre de 2008.

c. Objetivos

- i. Coordinar las actividades del personal administrativo, a efecto de brindar el apoyo necesario a las actividades académicas.
- ii. Supervisar el cumplimiento de las funciones y horarios asignados al personal administrativo.
- iii. Mantener un sistema de información adecuado entre los sectores de docencia.
- iv. Administración y servicio para el buen desarrollo de las actividades específicas respectivas.
- v. Velar por gestión patrimonial y contable del Instituto, conforme al Reglamento de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- vi. Velar por la protección, cuidado y mantenimiento de la infraestructura física, equipo y recursos materiales dentro del Instituto.

Continuación de la tabla I.

d. Funciones

- i. Planificar, organizar, dirigir y controlar las labores administrativa y de servicio del Instituto.
- ii. Apoyar a las autoridades del Instituto en aspectos administrativos y de servicio.
- iii. Proveer de condiciones de espacio físico, equipamiento, materiales, suministros y otros recursos necesarios para el eficiente desarrollo de las funciones académicas y administrativas del Instituto.
- iv. Proponer normativos, instructivos, manuales y otros instrumentos administrativos que contribuyan al desarrollo eficaz y eficiente de las funciones a su cargo.
- v. Programar cursos de capacitación al personal administrativo.
- vi. Propiciar la elaboración de instrumentos administrativos para fortalecer y agilizar la gestión administrativa.
- vii. Llevar un eficiente control del uso y mantenimiento de los vehículos del Instituto.
- viii. Supervisar y controlar la ejecución de la compra de materiales, suministros y servicios que demanda el Instituto.
- ix. Distribuir los materiales de acuerdo a requerimientos autorizados.

Continuación de la tabla I.

e. Estructura Organizativa

El Departamento Administrativo del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur está integrado por Tesorería, Coordinación de Áreas Verdes, mantenimiento, servicios y guardianía.

G. Tesorería

a. Definición

Es el área administrativa-financiera del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur encargada de controlar y ejecutar los procesos del Sistema Integrado de Salarios, Sistema Integrado de Ingresos y Sistema Integrado de Compras y otros de carácter financiero de la Unidad, así como del control y ejecución de la programación presupuestaria del Instituto.

b. Base Legal

Dictamen de Creación DARHC No. 585-2008 de fecha 28 de noviembre de 2008.

c. Objetivos

- i. Brindar asesoría financiera a las autoridades superiores del Tecnológico.

Continuación de la tabla I.

	<ul style="list-style-type: none">ix. Dirigir, coordinar, ejecutar y e valorar eficientemente las actividades relacionadas con el control y la ejecución presupuestal.x. Optimizar el uso de los recursos financieros del Instituto y cumplir con las obligaciones contraídas.xi. Contar con controles internos eficientes en los procesos administrativos-financieros.
d.	<p>Funciones</p> <ul style="list-style-type: none">i. Dirigir, coordinar, ejecutar, controlar y evaluar las actividades relacionadas con el control y ejecución de la programación presupuestaria y demás registros auxiliares contables.ii. Llevar el control de las operaciones relacionadas con ingresos y egresos.iii. Llevar el control de los bienes inventariables que son patrimonio del Institutoiv. Brindar asesoría financiera a las autoridades superiores del Instituto.v. Elaborar certificaciones para el personal administrativo y docentes.vi. Dirigir, coordinar y supervisar las labores relacionadas con la custodia, registro, control de valores, nóminas de sueldos y otras cuentas por pagar.vii. Elaborar sistemas, procedimientos, métodos y controles para agilizar la realización de sus actividades.

Continuación de la tabla I.

- viii. Supervisar y controlar la ejecución de la compra de materiales, suministros y servicios que demanda el Instituto.
- ix. Llevar el control de la ejecución presupuestal mensual, transferencias de fondos, readecuaciones presupuestarias y otros.
- x. Elaborar control de los bienes de inventario de cada trabajador que labora en el Instituto.
- xi. Tramitar la autorización de tarjetas, formularios y libro de Almacén ante la Contraloría General de Cuentas.
- xii. Elaborar, ingresar y operar tarjetas de kardex de materiales descritos en la solicitud de almacén así como, certificar el ingreso en las facturas respectivas.
- xiii. Distribuir los materiales de acuerdo a requerimientos autorizados.

e. Estructura Organizativa

La Tesorería está integrado por un tesorero, un auxiliar, un oficinista y un guarda almacén.

Continuación de la tabla I.

<p>H. Coordinación de Mantenimiento y Conservación de Áreas Verdes</p> <p>a. Definición</p> <p>Es la unidad administrativa del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur encargada del control del mantenimiento y conservación de las áreas verdes que están en jurisdicción del Instituto.</p> <p>b. Base Legal</p> <p>Dictamen de Creación DARHC No. 585-2008 de fecha 28 de noviembre de 2008 y Acta número 18-2000 del Consejo Superior Universitario de fecha 30 de junio de 2000.</p> <p>c. Objetivos</p> <ul style="list-style-type: none">i. Mantener en óptimas condiciones las áreas verdes que están bajo la jurisdicción del Instituto.ii. Utilizar las técnicas, equipos y materiales necesarios para garantizar el ornato de todas las áreas verdes del Instituto.
--

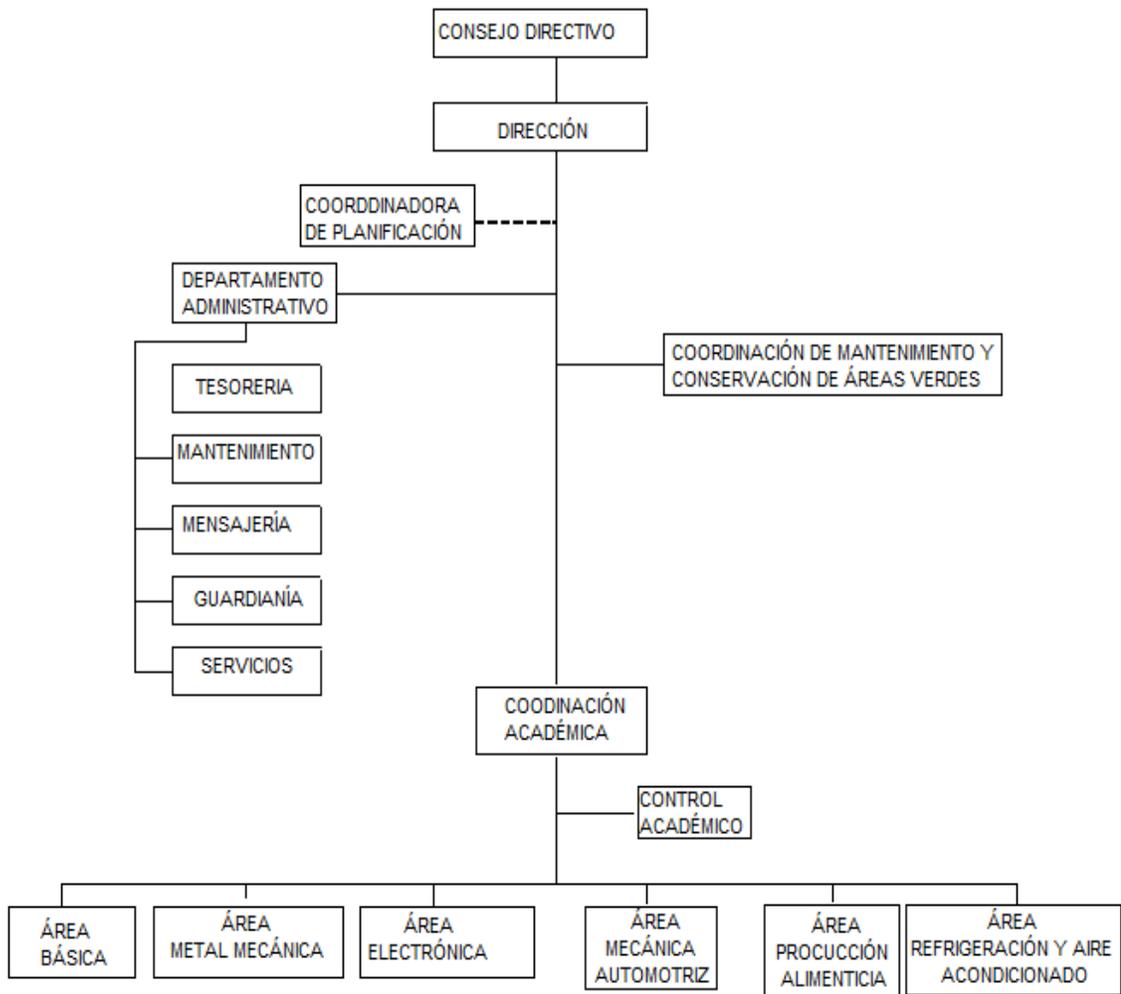
Continuación de la tabla I.

d. Funciones

- iii. Elaborar la requisición de los materiales, equipos y herramientas necesarios para efectuar el trabajo asignado.
- iv. Operar maquinaria especializada para el mantenimiento de jardines y áreas verdes.
- v. Administrar de mejor manera los recursos humanos y económicos asignados a su cargo.
- vi. Coordinar los trabajos con la administración y la Dirección.
- vii. Generar programas y proyectos para el embellecimiento de las áreas verdes y su mantenimiento.
- viii. Fumigar y aplicar tratamiento con productos químicos a plantas y árboles para protegerlos de hongos y plagas.
- ix. Remodelar áreas verdes, siembra de plantas ornamentales y crear motivos artísticos en las zonas verdes del Instituto.
- ix. Eliminar malezas del sendero y otras zonas verdes. Mantener limpio y en orden equipos y sitios de trabajo.
- x. Cumplir con las Normas y procedimientos de seguridad integral establecidos por la Universidad de San Carlos de Guatemala y el Instituto.
- xi. Realizar cualquier función que se le asigne para la prevención, protección y conservación de los recursos naturales y medio ambiente que están bajo la responsabilidad del Instituto.

Fuente: Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur.

Figura 1. Organigrama estructural



Referencia:

————— Línea de mando

----- Línea de asesoría

Fuente: Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur.

1.7. Descripción del Taller de Metal Mecánica

El Taller Metal Mecánica, (módulo 8) se compone de dos alas, alberga el equipo necesario para realizar los laboratorios de las carreras de Técnico en Procesos de Manufactura y Técnico en Metal Mecánica. Además del equipo, cuenta con salones de clase, oficinas, bodegas, servicios sanitarios de hombres y mujeres y duchas de emergencia.

Cada ala del módulo 8 cubre un área de 400 metros cuadrados, el techo del módulo es de dos aguas hecho de estructura metálica y lámina troquela con sus respectivas canales, la parte baja del techo está ubicada a una altura de 5 metros aproximadamente; una ala de dicho módulo es ocupada por los equipos utilizados en los procesos de mecanizado, se puede encontrar en esta ala: tornos, fresadoras, cepillos, tornos CNC, etcétera. La otra ala se divide en área de soldadura y área de conformación.

El área de soldadura es de 2,35 metros de ancho por 20 metros de largo, en esta área están distribuidas máquinas de soldadura MIG, TIG, equipo de soldadura Oxiacetilénica y máquinas de soldadura para electrodo revestido. La cantidad de máquinas de soldadura que se encuentran en dicha área son: 3 máquinas de soldadura TIG, 3 de soldadura MIG, 5 máquinas de soldadura para electrodo revestido y 5 equipos oxiacetilénicos.

1.8. Mantenimiento Productivo Total (TPM)

Mantenimiento Productivo Total (*Total Productive Maintenance*, TPM) es un modelo de mantenimiento originario del Japón, se enfoca en la eliminación de pérdidas asociadas con paros por averías de equipos, calidad y costos en los procesos de producción industrial.

Las siglas TPM fueron registradas por el JIPM (Instituto Japonés de Mantenimiento de Planta). El TPM es una filosofía de vida que busca agrupar a toda la cadena productiva con miras a cumplir objetivos específicos.

El TPM es orientado a la mejora de la efectividad global de las operaciones para ser más competitivos, transforma los lugares de trabajo hasta proyectarlos de buena apariencia elevando el nivel de conocimiento y capacidad de los trabajadores de mantenimiento y producción e involucrando al 100% del personal. Con la participación del personal se tiene más motivación, sugerencias de mejora y deseos de éxito, debido al cambio de pensamiento que se da al interior de la organización. El TPM es una cultura que aprovecha y multiplica las ventajas que dan las destrezas habilidades, liderazgo y compromiso de todos los miembros de la organización, tiene la capacidad de transformar entornos, mejorar procesos y optimizar recursos utilizando herramientas como el liderazgo, la perseverancia y disciplina para lograr un mejoramiento continuo.

1.8.1. Definición del Mantenimiento Productivo Total

TPM es una estrategia de mejora que involucra a la alta dirección y a todos los empleados de una organización, es un sistema que busca mejorar la competitividad de una organización industrial o bien de servicio mediante la reducción de costos de producción y mantenimiento, evitando accidentes, eliminando averías o fallos y aumentando la calidad de los productos.

TPM necesita del trabajo en grupos, que sean autónomos y permitan consolidar tareas específicas, en lo administrativo, productivo y en la gestión de mantenimiento que conduzcan a procesos más eficaces para lograr el objetivo general de la empresa y los objetivos propios.

El TPM es la integración de varios modelos de mantenimiento, tales como el mantenimiento preventivo, el mantenimiento predictivo, mantenimiento basado en el tiempo, mantenimiento centrado en la fiabilidad; también por modelos gestión de calidad y administración de la producción como lo es el TQM (*Total Quality Management*) y el JIT (*Just In Time*).

1.8.2. Características del Mantenimiento Productivo Total

Las características del TPM son:

- Su implantación es de forma gradual y progresiva.
- Cambia la manera de pensar de toda la organización, guiándola a un pensamiento productivo y de cooperación.
- Acciones de mantenimiento en todas las etapas del ciclo de vida del equipo.
- Las acciones son autocontroladas por el personal que interviene.
- Participación amplia de todas las personas de la organización.
- Es observado como una estrategia global de empresa, en lugar de un sistema para mantener equipos.
- Orientado a la mejora de la Efectividad Global de las operaciones, en lugar de prestar atención a mantener los equipos funcionando.
- Es sinérgico con otras estrategias de mejora de las operaciones.
- Intervención significativa del personal involucrado en la operación y producción en el cuidado y conservación de los equipos.
- Procesos de mantenimiento fundamentados en la utilización profunda del conocimiento que el personal posee sobre los procesos.
- El TPM se orienta a la mejora de dos tipos de actividades directivas:
 - Dirección de operaciones de mantenimiento.
 - Dirección de tecnologías de mantenimiento.

1.8.3. Pilares del mantenimiento Productivo Total

Los cimientos o los procesos fundamentales que apoyan la construcción de un sistema de producción ordenado y productivo son llamados pilares del TPM.

Los pilares en los cuales se sustenta el TPM son:

- Mejoras enfocadas
- Mantenimiento autónomo
- Mantenimiento planificado o progresivo
- Mantenimiento de calidad
- Control inicial o prevención del mantenimiento
- Capacitación o entrenamiento
- Mantenimiento administrativo
- Seguridad higiene y medio ambiente

1.8.3.1. Mejoras enfocadas

Son actividades cuyo objeto es maximizar la efectividad global de los equipos, procesos y plantas, a través de un trabajo organizado en equipos funcionales e interfuncionales que atacan los problemas desde la raíz y con previa planificación para saber cuál es la meta y en cuánto tiempo se logra. Se busca eliminar sistemáticamente las grandes pérdidas ocasionadas con el proceso productivo. Las pérdidas pueden ser:

- Fallas en los equipos principales
- Cambios y ajustes no programados
- Fallas de equipos auxiliares

- Ocio y paradas menores
- Reducción de velocidad
- Defectos en el proceso
- Arranque
- Pérdidas de energía
- Pérdidas por mala calidad de los productos

El pilar de mejoras enfocadas identifica y cuantifica todas las pérdidas para eliminarlas y reducirlas, dando prioridad a los problemas que afectan en mayor medida la eficacia de la planta o el proceso.

Las mejoras enfocadas se desarrollan siguiendo este procedimiento:

Paso 1. Selección de tema de estudio

Cuando se inicia un proyecto de mejoras enfocadas se evalúa y se registra el tema seleccionado.

El tema de estudio se elige con base a los siguientes criterios:

- Objetivos de la alta dirección
- Problemas de calidad y entrega al cliente
- Criterios de la organización
- Correspondencia con otros procesos de mejora
- Incrementar la competitividad
- Factores de innovación

Paso 2. Crear la estructura para el proyecto

La estructura que se debe utilizar es la de un equipo interfuncional integrado por lo menos por un representante de cada una de las áreas que intervienen en el proceso productivo. El éxito del proyecto dependerá de la funcionalidad de los equipos.

Paso 3. Identificar la situación actual y formular objetivos

En este paso se realiza un análisis del problema, se identifican las pérdidas principales relacionadas con el problema seleccionado. Una vez realizado el análisis del problema se deben plantear los objetivos que orienten los esfuerzos de mejoras.

Paso 4. Diagnóstico del problema

Las técnicas utilizadas para determinar y entender el problema elegido son las que se usan en el campo de la calidad. Las técnicas empleadas para el análisis del problema son:

- Análisis de causa primaria
- Análisis modal de fallos y efectos
- Método PM o de función de los principios físicos de la avería
- Técnicas de ingeniería del valor
- Análisis de datos
- Técnicas tradicionales de mejora de la calidad: siete herramientas
- Análisis de flujo
- Justo a tiempo como el SMED o cambio rápido de herramienta

Entre las técnicas la más recomendada por los expertos es el método PM que permite llegar a un nivel de cero averías después de su correcta implementación.

Paso 5. Formular plan de acción

En el plan de acción se deben incorporar actividades para el personal especialistas o miembros de soporte como ingeniería, proyectos, mantenimiento, etcétera. Como también acciones que deben ser realizadas por los operadores del equipo y personal de apoyo rutinario de producción como maquinistas, empacadores, etcétera. Durante este paso es debido consultar al personal que se involucrará en las actividades de mejora.

Paso 6. Implantar mejoras

En este paso como en cada paso de mejoras enfocadas es necesaria la participación de todas las personas involucradas en el proyecto incluyendo el personal operador. Durante la implantación se debe convencer a todo el personal involucrado de las mejoras ya que todo el trabajo puede quedar truncado en esta fase.

Paso 7. Evaluar los resultados

Es de vital importancia observar y medir los resultados obtenidos para verificar que las acciones tomadas para la resolución del problema dan los efectos esperados. Los resultados deben hacerse públicos para que todo el personal pueda observar el resultado del esfuerzo y sirva de fuente de motivación para todo el equipo de mejora.

1.8.3.2. Mantenimiento autónomo

El enfoque del mantenimiento autónomo es conservar en buenas condiciones el equipo durante su vida útil con la participación del usuario u operador, es decir, que los operadores se hacen cargo del mantenimiento del equipo en el cual trabajan diariamente, lo mantienen y desarrollan la capacidad para detectar a tiempo fallas potenciales. No se trata de que cada operario cumpla el rol de un mecánico, sino de que cada operario conozca y cuide su equipo.

El mantenimiento autónomo es un conjunto de actividades que se realizan diariamente por todos los trabajadores en los equipos que operan, incluyendo inspección, lubricación, limpieza, intervenciones menores, cambio de herramientas y piezas, estudiando posibles mejoras, analizando y solucionando problemas menores del equipo y acciones que conduzcan a mantener el equipo en las mejores condiciones de funcionamiento. Estas actividades se deben realizar siguiendo estándares previamente preparados. Los operarios deben ser entrenados y deben contar con los conocimientos necesarios para dominar el equipo que opera.

El mantenimiento autónomo puede prevenir:

- Contaminación por agentes externos
- Rupturas de ciertas piezas
- Desplazamientos
- Errores en la manipulación

Los objetivos del mantenimiento autónomo son:

- Emplear el equipo como instrumento para el aprendizaje y adquisición de conocimiento.
- Desarrollar nuevas habilidades para el análisis de problemas y creación de un nuevo pensamiento sobre el trabajo.
- Establecer los estándares para evitar el deterioro del equipo.
- Mejorar el funcionamiento del equipo con el aporte creativo del operador.
- Construir y mantener las condiciones necesarias para que el equipo funcione sin averías y rendimiento óptimo.
- Mejorar la seguridad en el trabajo.
- Lograr un total sentido de pertenencia y responsabilidad del trabajador.
- Mejorar la moral en el trabajo.

1.8.3.3. Mantenimiento planificado o progresivo

El mantenimiento planificado es un conjunto de actividades sistemáticas y metódicas para lograr mantener el equipo y el proceso en condiciones óptimas, los objetivos de este pilar son: cero averías, cero defectos, cero despilfarros, cero accidentes, reducir el coste de mantenimiento reducción espera de trabajos y cero contaminaciones. Este conjunto de labores deberán ser ejecutadas por personal especializado en mantenimiento.

Este pilar abarca tres formas de mantenimiento: correctivo, preventivo y predictivo. El mantenimiento planificado involucra las acciones que los técnicos deben desarrollar para mejorar la eficacia del sistema de mantenimiento que tenga la industria, dando seguimiento a la información obtenida a lo largo de la vida del equipo.

1.8.3.4. Mantenimiento de calidad

El mantenimiento de calidad son acciones de mantenimiento orientadas al cuidado del equipo para que este no genere defectos de calidad, prevenir defectos de calidad certificando que la maquinaria cumple las condiciones para cero defectos y que estas se encuentran dentro de los estándares técnicos. Algunas acciones del pilar del mantenimiento de calidad son: observar las variaciones de las características de los equipos para prevenir defectos y tomar acciones adelantándose a las situaciones de anormalidad potencial; realizar estudios de ingeniería del equipo para identificar los elementos del equipo que tienen una alta incidencia en las características de calidad del producto final, realizar el control de estos elementos de la máquina e intervenir estos elementos.

1.8.3.5. Control inicial o prevención del mantenimiento

Son actividades que se realizan durante la fase de diseño, construcción e instalación de los equipos, se pretende que los equipos sean fiables, fáciles de mantener, fáciles de operar con el objeto de reducir el deterioro de los equipos actuales y los costos de mantenimiento durante su explotación. Se apoya en la obtención de información acerca del comportamiento de los equipos con los que cuenta actualmente una empresa, se fundamenta en la teoría de la fiabilidad.

En la prevención del mantenimiento se deben incluir los equipos en proceso de adquisición ya que estos deben cumplir con los requisitos de fiabilidad para que su mantenimiento sea el mínimo.

1.8.3.6. Capacitación o entrenamiento

La capacitación de los empleados es una de las primeras etapas del TPM, El objetivo principal en este pilar es aumentar las capacidades y habilidades de todo el personal. Es importante que el operario posea los mínimos conocimientos de mantenimiento para no dañar el equipo a su cargo.

La capacitación se debe diseñar después de haber analizado las capacidades del personal que interviene directamente o indirectamente con los equipos. Para realizar la capacitación se puede aprovechar al personal que posea las competencias necesarias y sólo en casos que dicha opción no sea viable se buscará asesoría externa.

1.8.3.7. Mantenimiento administrativo

Los procesos administrativos influyen de gran manera sobre la eficiencia del proceso productivo, por lo tanto dichos procesos deben ser eficientes. El mantenimiento administrativo está enfocado en hacer que todas las áreas administrativas funcionen eficientemente aplicando metodologías como las 5 S y de mejora continua. Además del buen funcionamiento, la gerencia debe estar informada de todas las mejoras hechas en el área productiva y de las actividades del departamento de mantenimiento con el fin de una integración completa de la empresa.

1.8.3.8. Seguridad higiene y ambiente

El propósito de este pilar es mantener las instalaciones seguras y evitar que se produzcan contaminantes medioambientales. El pilar de seguridad y ambiente debe gestionar actividades para eliminar todas las causas de accidentes y contaminación tales como mala distribución y mal funcionamiento de los equipos, velar por que se apliquen Buenas Prácticas de Manufactura. Este pilar puede ser apoyado por otros pilares del TPM para lograr sus objetivos.

1.8.4. Objetivos principales del Mantenimiento Productivo Total

Los principales objetivos del TPM es la reducción de averías de los equipos, formación del personal, utilización eficaz de los equipos existentes, reducción de tiempo de espera y preparación de los equipos, conservación de los recursos naturales, la obtención de instalaciones seguras y economía de energéticos; estos objetivos se pueden clasificar como objetivos estratégicos, operativos u organizativos de la empresa.

- Objetivos estratégicos

Son guía del comportamiento empresarial que permiten incrementar la productividad gracias a la mejora de la efectividad de los sistemas productivos, flexibilidad y capacidad de respuesta, reducción de costos y conservación del conocimiento industrial, y como consecuencia desarrollan capacidad competitiva.

- Objetivos operativos

El propósito operativo del TPM es obtener cero averías y fallas, eliminar toda clase de pérdida, mejorar la fiabilidad de los equipos y emplear verdaderamente la capacidad instalada.

- Objetivos organizativos

El propósito organizativo del TPM es orientar los esfuerzos para lograr fortalecer el equipo de trabajo, motivar al personal para dar lo mejor de ellos, incrementar la moral del trabajador, crear un entorno de trabajo seguro y productivo.

1.8.5. Pasos para la implementación del Mantenimiento Productivo Total

La implementación del TPM es un proceso largo que puede llevar de 3 a 5 años, en el que se invertirá un altísimo esfuerzo, no sólo de los directivos, sino de todo el personal.

Para una implementación exitosa del TPM es necesario asignar presupuesto suficiente, debido a que cada una de las acciones implican gastos; por ejemplo, la recuperación del deterioro acumulado de los equipos, remplazo de equipos, capacitación, etcétera.

El TPM se implementa normalmente en cuatro fases:

- Preparación
- Introducción

- Implantación
- Consolidación

1.8.5.1. Preparación

Se debe elaborar una planificación extremadamente cuidadosa, tratando de tener en cuenta hasta los más mínimos detalles, desarrollando los siguientes pasos:

Paso 1: la alta gerencia anuncia su decisión de introducir el TPM. Todos los empleados deben comprender el por qué, de la introducción del TPM en su empresa y estar convencidos de su necesidad.

Paso 2: educación introductoria para el TPM. Normalmente las empresas contratan empresas especializadas para capacitación, puesto que por ser un programa tan amplio, requiere de una gran experiencia y de medios didácticos adecuados, lo cual no se consigue simplemente leyendo libros sobre el tema o asistiendo a una charla de un día sobre el tema.

La capacitación la recibe un grupo de directivos y empleados que a su vez divulgarán la información adquirida al resto de empleados ayudados por la empresa contratante para que al final todos los empleados tengan un conocimiento básico, sólido y comprendan sus fundamentos y técnicas.

Paso 3: crear una organización de promoción del TPM. Se promueve a través de una estructura de pequeños grupos en toda la organización. En este sistema los líderes de pequeños grupos de cada nivel de la organización son miembros de pequeños grupos del siguiente nivel más elevado. También la alta dirección constituye en sí misma un pequeño grupo.

Se debe establecer una oficina de implementación del TPM que se responsabilice de desarrollar y promover estrategias eficaces para el entrenamiento y seguimiento de todos los pasos. Para ser eficaz la oficina debe funcionar con personal permanente de plena dedicación, ayudado por varios comités y subcomités. Sus funciones incluyen tareas como preparar el plan maestro de TPM. Y coordinar su promoción. Crear procedimientos para mantener las diversas actividades de TPM por el camino previsto, dirigir campañas sobre temas específicos, diseminar información, organizar la publicidad y coordinar el entrenamiento.

Algunas empresas inicialmente no requieren personal dedicado tiempo completo como una oficina de TPM sino que se dedica medio tiempo a un Ingeniero o coordinador de mantenimiento a este programa y en cambio se contrata asesoría externa permanente para ésta labor.

Paso 4: establecer políticas y objetivos básicos de TPM. Las políticas y objetivos deben estar en todo de acuerdo a la visión y misión de la empresa. Es necesario fijar objetivos numéricos en el máximo grado posible. Los objetivos deben ser desafiantes, pero alcanzables a mediano y largo plazo. Se deberán definir objetivos concretos, metas, estrategias para cada uno de los pilares o programas de TPM.

Para diseñar un plan maestro de implementación inicialmente se deben decidir las actividades a poner en práctica para lograr los objetivos. Se deberán definir tareas específicas para cada objetivo de los pilares y planearlos como un todo, con el fin de evitar duplicación de funciones y así aprovechar al máximo las actividades y reuniones de cada grupo. Debe tenerse en cuenta que las actividades necesitan presupuestos y orientaciones claras y deben supervisarse apropiadamente al menos en su fase inicial.

1.8.5.2. Introducción

Se hace el lanzamiento oficial del proyecto empresarial de TPM y normalmente se oficializa en una reunión a la que se invitan a clientes y proveedores externos; en dicha reunión de carácter social, la Dirección confirma su compromiso de Implementar el TPM y se informan los planes desarrollados y el trabajo realizado en la etapa de preparación; de esta forma la Dirección queda comprometida al apoyo al programa TPM hasta sus últimas consecuencias.

1.8.5.3. Implementación

Se implementan todos los programas y actividades conducentes a maximizar la eficiencia de producción. Esta fase puede tomar de 3 a 5 años. Se implementan y desarrollan el entrenamiento y la capacitación que requiera el personal de mantenimiento, operación de equipos, aspectos administrativos, comunicación eficaz, solución de problemas, etcétera.

Se implementa paso a paso cada una de las etapas del programa de mantenimiento autónomo, enfocado en la mejora continua de los equipos, empezando con limpieza para inspección. Implantar cada uno de los programas o pilares en que se basa TPM tal como la implantación del mantenimiento planificado, programa de gestión temprana de nuevos equipos, programa de salud e higiene, etcétera.

1.8.5.4. Consolidación

Se afinan detalles y se consideran objetivos cada vez más elevados, como mejora en el diseño del equipo. Se incorporan las tecnologías de punta que sean las apropiadas en ese momento. Se introducen fases adicionales con objeto de ganar un premio Internacional en implementación de TPM para crear una cultura de sana competencia internacional.

1.8.6. Beneficios del Mantenimiento Productivo Total

El TPM es la integración de toda la empresa en busca de la productividad total, al implementar el TPM todos los niveles de la empresa obtiene beneficios entre los más importantes están:

- Comunicación más eficaz y permite controlar mejor la operaciones
- Reduce los costos.
- Aumenta la productividad, sin reducir la calidad de producto.
- Evita las pérdidas de todo tipo.
- Mejora la calidad del producto final logrando la satisfacción a todos los clientes.
- Reduce los accidentes.
- Permite el control de contaminantes medioambientales.

Algunos de los beneficios secundarios del Mantenimiento Productivo Total:

- Aumenta el nivel de confianza del personal.
- Hace más limpias y más atractivas, las zonas de trabajo.
- Implementa el trabajo en equipo.
- Relación personal fuerte entre obreros y sus máquinas y equipos.

- Aumenta las habilidades del personal.
- Incentiva la participación, iniciativa, creatividad, la disciplina y respeto por las normas.

1.8.7. Limitaciones para la implementación del Mantenimiento Productivo Total

El TPM es de origen japonés los cuales tienen una cultura muy diferentes a las sociedades latinoamericanas; la sociedad japonesa ha sido siempre una cultura altamente enfocada al autocuidado del ser, tanto el interno (yo como persona) como el externo (naturaleza, objetos), lo que conlleva por lo tanto a que se ejecuten las tareas del día a día con más cuidado, interés y apreciación; caso contrario a la cultura occidental, en donde el cuidado y apreciación por las actividades son poco importantes.

Es por esta razón que uno de los principales objetivos a tener en cuenta en la implementación del TPM en una industria occidental, debe ser el enfoque en el cambio cultural del personal de la compañía, de manera que haciéndolos cada vez más participes del proceso productivo. Con este tema dominado lo que viene en adelante es fácilmente asimilado, mientras que en el caso contrario, es donde se comienzan a generar inconvenientes e inconformidades que pueden demorar y poner en riesgo el éxito en la implementación del TPM.

De igual manera, se pueden encontrar variados obstáculos para una buena implantación del TPM, entre los cuales se tienen:

- Falta de planeamiento y estrategias de desarrollo
- Necesidad de resultados inmediatos, que pueden acarrear en pasar por alto pasos importantes

- No tener una base firme en cuanto a metodologías de mejoramiento
- Sindicatos fuertes y problemáticos
- Plantas de producción separadas geográficamente
- Sistemas de producción incompatibles
- Inconformidad por el crecimiento de tareas del personal de producción, que antes hacía mantenimiento

2. DIAGNÓSTICO DE OPERACIÓN DE LOS EQUIPOS DE SOLDADURA

2.1. Equipos para soldadura eléctrica con electrodo revestido

Las máquinas de soldadura eléctrica con electrodo revestido son transformadores eléctricos marca Yamato BC-K-300A que suministran bajo voltaje y alta corriente entre un electrodo consumible y una pieza metálica de trabajo, funcionan con corriente alterna obtenida del servicio público.

2.1.1. Características de las máquinas de soldadura

El transformador monofásico Yamato BC-K-300A, según la clasificación de la NEMA es de clase II (40) y esto lo caracteriza como un equipo de alto rendimiento. El equipo transforma el voltaje y amperaje de entrada a valores voltaje y amperaje adecuados para la soldadura por arco; está diseñado para proporcionar distintos valores de amperaje para las diversas aplicaciones de la soldadura, estas máquinas proporcionan únicamente corriente alterna, esto limita los tipos de electrodos que se pueden soldar.

2.1.1.1. Componentes

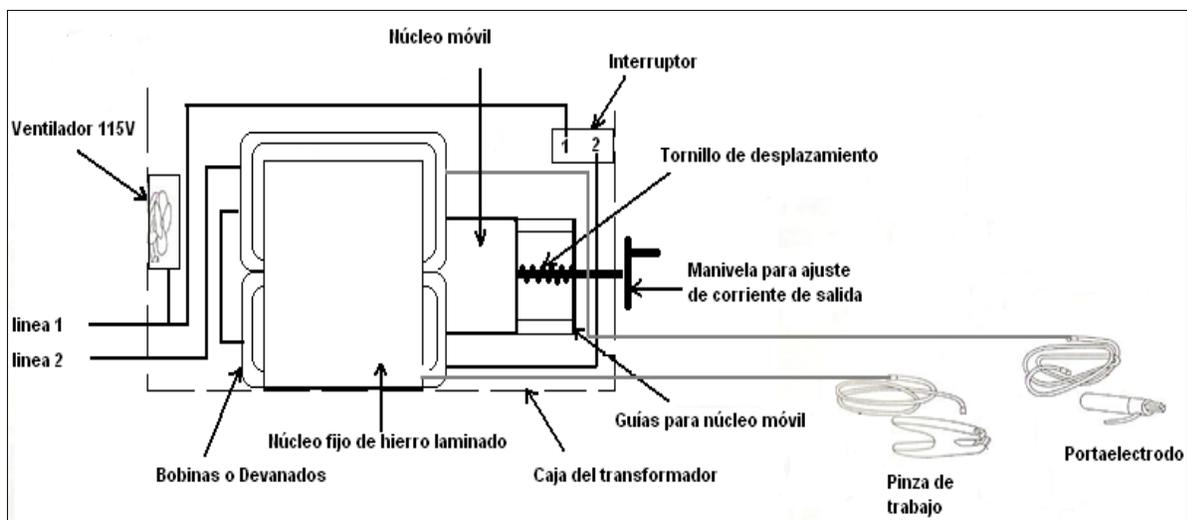
Los elementos que componen el equipo de soldadura Yamato BC-K-300A son:

- Devanado o bobina primaria
- Bobina secundaria

- Núcleo fijo de hierro
- Control de derivación móvil
- Manivela de control de derivación
- Caja del transformador
- Pinza Porta electrodo
- Cable de la pinza porta electrodo
- Tenaza de trabajo
- Cable de tenaza de trabajo
- Cables de alimentación
- Ventilador
- Interruptor

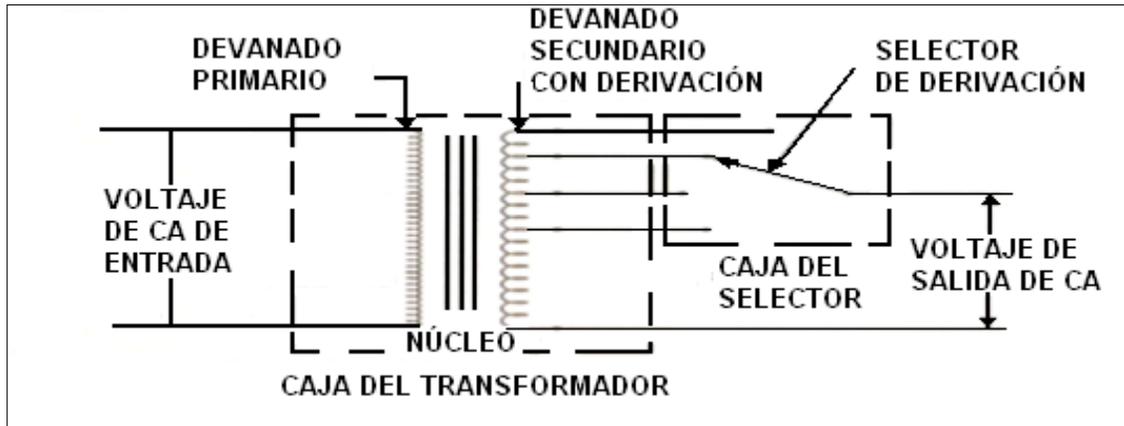
Los elementos principales del transformador monofásico se pueden observar en la figura 2, 3 y 4.

Figura 2. **Elementos principales del equipo Yamato BC-K-300A**



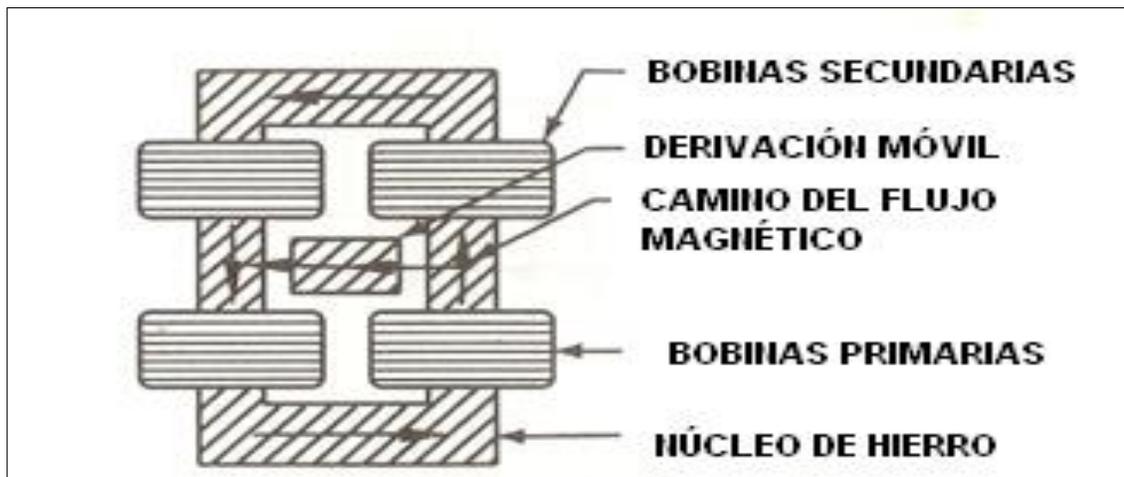
Fuente: elaboración propia.

Figura 3. Transformador para soldadura con derivación del devanado secundario



Fuente: R. L. O'Brien, Manual de soldadura AWS. p. 5.

Figura 4. Fuente de potencia de C.A. de derivación móvil



Fuente: R. L. O'Brien. Manual de soldadura AWS. p. 21.

2.1.1.2. Voltaje de entrada

El voltaje de entrada utilizado por las máquinas de soldadura Yamato BC-K-300A es de 220 voltios y es obtenido del servicio público. El voltaje de circuito abierto depende directamente del voltaje de entrada y de la razón entre las bobinas del primario y del secundario y es una característica muy importante para el proceso de soldadura.

2.1.1.3. Corriente de entrada

La corriente de entrada de los equipos Yamato BC-K-300A es alterna monofásica con un valor nominal de 50 amperios y 60 hertz de frecuencia. La magnitud de la corriente es un factor que determina el tamaño del conductor de alimentación y de los fusibles. Actualmente en estas máquinas se está utilizando cable TSJ 3 x 8 y fusibles de 100 amperios, 240 voltios - 60 hertz modelo Cutler Hammer.

2.1.1.4. Corriente de salida

Las máquinas Yamato BC-K-300A son transformadores donde las bobinas primarias y secundarias están fijas, utilizan un control de derivación móvil para proporcionar valores distintos de corrientes de salida. El control de derivación de corriente se logra mediante un núcleo móvil de hierro laminado que se mete entre las bobinas primarias y secundarias; cuando el núcleo móvil se introduce por completo entre las bobinas se obtiene el amperaje mínimo, para este modelo el amperaje mínimo es 60 amperios. Cuando el núcleo móvil está completamente afuera de las bobinas se obtiene la máxima corriente, ver figura 2; posiciones intermedias del núcleo móvil proporciona valores que están entre 60 amperios y 300 amperios.

2.1.1.5. Ciclo de trabajo

El ciclo de trabajo es la razón entre el tiempo de carga permitido y un tiempo de prueba especificado, indica el rendimiento de una máquina de soldadura. Los componentes internos de una máquina de soldadura tienden a calentarse cuando la corriente fluye por la unidad, los componentes y aislantes soportan un máximo especificado de temperatura, cuando este valor es sobrepasado los componentes fallan y se puede dañar irremediamente la máquina de soldadura. Es importante tomar en cuenta el ciclo de trabajo para que los devanados y componentes internos y sus sistemas de aislamiento eléctrico no se calienten por encima de su temperatura especificada.

El ciclo de trabajo expresa en forma porcentual, el tiempo máximo que la máquina de soldadura puede suministrar su salida especificada durante un intervalo de prueba de 10 minutos sin sobrecalentarse. Las máquinas de soldadura Yamato BC-k-300A tienen un ciclo de trabajo del 40%, quiere decir que este modelo puede suministrar corriente a 300 amperios durante 4 minutos de manera continua y se debe detener durante 6 minutos. Es importante aclarar que una máquina está suministrando corriente cuando se establece un arco eléctrico entre el electrodo y el metal base.

El ciclo de trabajo de una máquina de soldadura puede aumentar cuando se utiliza amperajes menores al especificado. Para calcular el ciclo de trabajo para valores de corriente diferentes al especificado se usan las siguientes fórmulas:

$$Ta = \left(\frac{I}{Ia}\right)^2 \times T$$

Donde:

T = ciclo de trabajo especificado en por ciento

T_a = ciclo de trabajo requerido en por ciento

I = corriente especificada con el ciclo de trabajo especificado

I_a = corriente máxima con el ciclo de trabajo requerido

Aplicando la fórmula a los valores de corriente más utilizados en el Taller Metal Mecánica se obtiene los siguientes ciclos de trabajo:

- Cuando la corriente requerida es 60 amperios, el ciclo de trabajo es 100%
- Cuando la corriente requerida es 100 amperios, el ciclo de trabajo es 100%
- Cuando la corriente requerida es 200 amperios, el ciclo de trabajo es 90%

Hay factores que afectan el rendimiento de las máquinas de soldadura, provocando una disminución en el ciclo de trabajo. Entre los factores que contribuyen a un rendimiento menor que el calculado o estimado están una temperatura ambiente elevada, insuficiente aire de enfriamiento y bajo voltaje de línea.

2.1.2. Fallas frecuentes

En dos años de funcionamiento, las máquinas de soldadura Yamato BC-K-300 amperios no han presentado mayores fallos, únicamente deterioro de los cables de salida de corriente, pinzas de trabajo y portaelectrodos.

No existe documentación sobre control de fallas actualmente, pero se aplica cierto mantenimiento periódico para evitar el deterioro del equipo. Debido al diseño, los equipos requieren poco mantenimiento.

2.1.3. Condiciones de funcionamiento

Un ambiente limpio de polvo u otros contaminantes gaseosos son las condiciones para un buen funcionamiento de los equipos de soldadura, evitar sobrecalentamientos y dar un mantenimiento preventivo adecuado; las consecuencias de mantener las soldadoras en ambientes no apropiados producirán una reducción en el rendimiento y reducción de la vida útil.

2.1.3.1. Ambiente

Los equipos de soldadura eléctrica para electrodo revestido están distribuidas en un área de 14,1 metros cuadrados; debido a que el módulo es de gran altura y las puertas de entrada son amplias, el ingreso de aire es abundante. El área de soldadura cuenta con un sistema de extracción de gases producidos por los procesos de soldadura, aunque cabe mencionar que el diseño no es el más apropiado según los modelos propuestos por los expertos en soldadura.

El ambiente donde se ubican los equipos de soldadura está libre de polvo, pero el ingreso de aire al sistema de la máquina le produce oxidación de los componentes, lo cual debe tomarse en cuenta porque puede ser la causa de deterioro prematuro. La temperatura ambiente promedio en el lugar donde están las soldadoras es de 15 grados Celsius, dicha temperatura no es un factor que afecte el rendimiento de dichos equipos; la iluminación artificial y natural es adecuada para los trabajos que se realizan. El área de soldadura no cuenta con barreras para proteger a los usuarios de los rayos UV e infrarrojos emitidos por el arco eléctrico.

2.1.3.2. Frecuencia de uso

Un promedio de 350 alumnos actualmente son atendidos en el Taller Metal Mecánica, se les imparte los laboratorios de procesos de manufactura 1 y 2. Como consecuencia los equipos son llevados al máximo y es utilizada toda la capacidad instalada.

2.1.3.3. Amperajes de salida más utilizados

El amperaje a utilizar en los procesos de soldadura depende directamente del espesor y tipo del material y diámetro del electrodo. En el Taller de Metal Mecánica regularmente se suelda y se cortan aceros al carbono en espesores que van desde 1/16 de pulgada a 1/2 pulgada aproximadamente. Para dichos grosores los valores de corriente utilizados son 60 amperios, 100 amperios y 200 amperios.

2.2. Equipos de soldadura MIG (Metal inert gas)

Estos equipos son transformadores-rectificadores eléctricos trifásico marca Synergic 254, utilizan energía eléctrica del servicio público y la rectifican a través de un placa de diodos, por medio de componentes electrónicos proporcionan una corriente a pulsos especial para este tipo de proceso. Utilizan un electrodo continuo (alambre) que es suministrado automáticamente para establecer el arco eléctrico y utilizan gas CO₂ para proteger el arco y charco de soldadura de la atmósfera.

2.2.1. Características de las máquinas de soldadura

Es una fuente de potencia a pulsos que permite reducir la potencia del arco y la rapidez de deposición del alambre. Es una fuente de potencia tipo inversor que permite ajustar de manera independiente todas las variables de los pulsos: corriente pico, corriente de fondo, duración de la corriente pico y duración de la corriente de fondo, ver figura 5. Al controlar estas variables individualmente o hacerlas interactuar, es posible tener un control casi total de transferencia de metal. Los equipos Synergic 254 utilizan controles electrónicos y de microprocesador para establecer las condiciones óptimas para el funcionamiento a pulsos con base en la velocidad de alimentación del alambre.

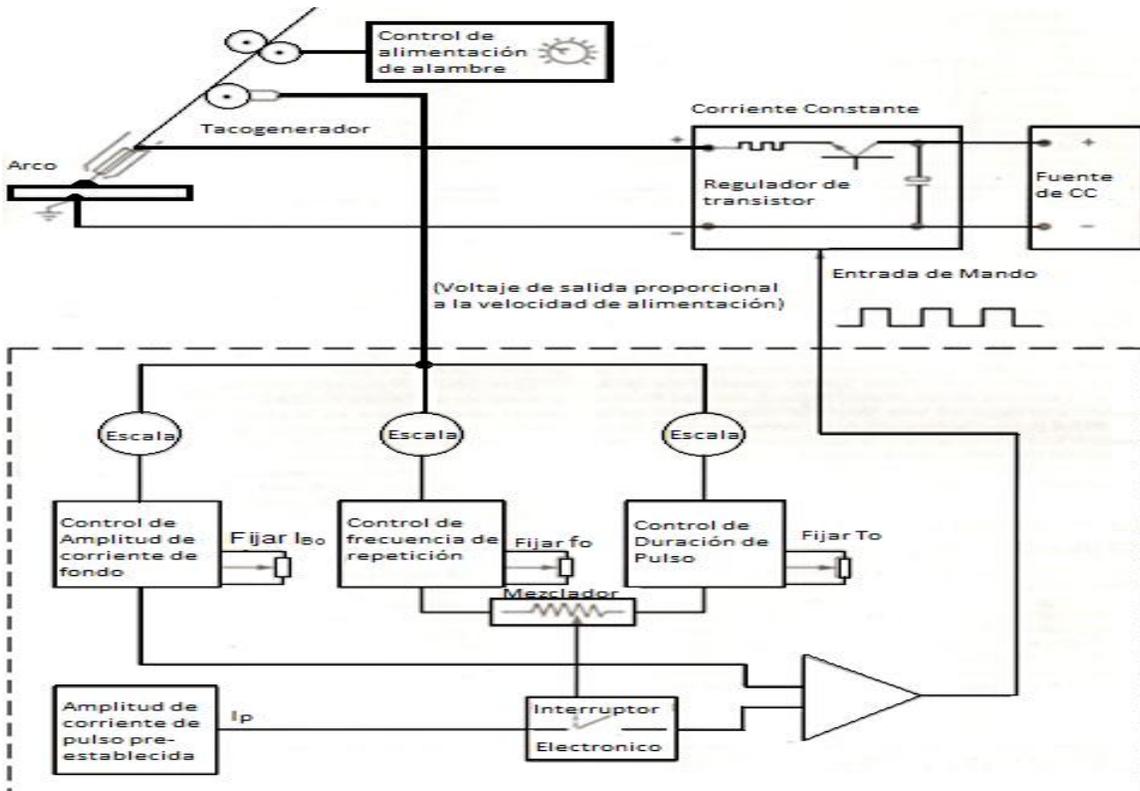
Los equipos Synergic 254 son fuentes de potencia a pulsos sinérgicos, es decir solo es necesario ajustar la velocidad de alimentación del alambre y todas las otras variables se ajustan automáticamente por controles electrónicos.

Figura 5. Variables de soldadura por arco de gas y metal a pulsos



Fuente: R. L. O'Brien. Manual de soldadura AWS. p. 36.

Figura 6. Circuito base para la operación a pulsos sinérgicos



Fuente: R. L. O'Brien. Manual de soldadura AWS. p. 36.

2.2.1.1. Características generales

Estos equipos Synergic 254 constan de dos partes claramente diferenciadas. El cuerpo o parte inferior del equipo, comprende la alimentación eléctrica, el módulo y panel de control de la máquina y la pinza de trabajo. La parte superior o maleta, alberga el carrete de alimentación del material de aportación y de ella parte la antorcha de soldadura. Estas dos partes, conectadas eléctricamente, son separables, permitiendo el desplazamiento de la maleta superior en conjunto con la antorcha. Esto facilita la utilización del equipo de soldadura en zonas elevadas e interiores. El acoplamiento entre ambas secciones se realiza mediante guías, el cuerpo o parte central, que está apoyado en una plataforma rodante para su desplazamiento, incorpora el panel o tablero de mando.

La antorcha está conectada a la parte superior del equipo y alberga el gatillo de actuación, la salida del hilo de aportación y la canalización del gas protector de la soldadura. En la maleta, el equipo incorpora un potenciómetro, que permite al operario la regulación de la velocidad de salida del hilo, siempre que esté seleccionado el modo manual.

El gas de protección es suministrado a través de tubería galvanizada y el gas utilizado es CO₂. En este caso el proceso se debería nombrar GMAW (Gas Metal Arc welding), pero es costumbre llamarlo proceso MIG (Metal inert gas) aunque se utilice un gas activo y no un gas inerte como el helio o el argón.

2.2.1.2. Componentes

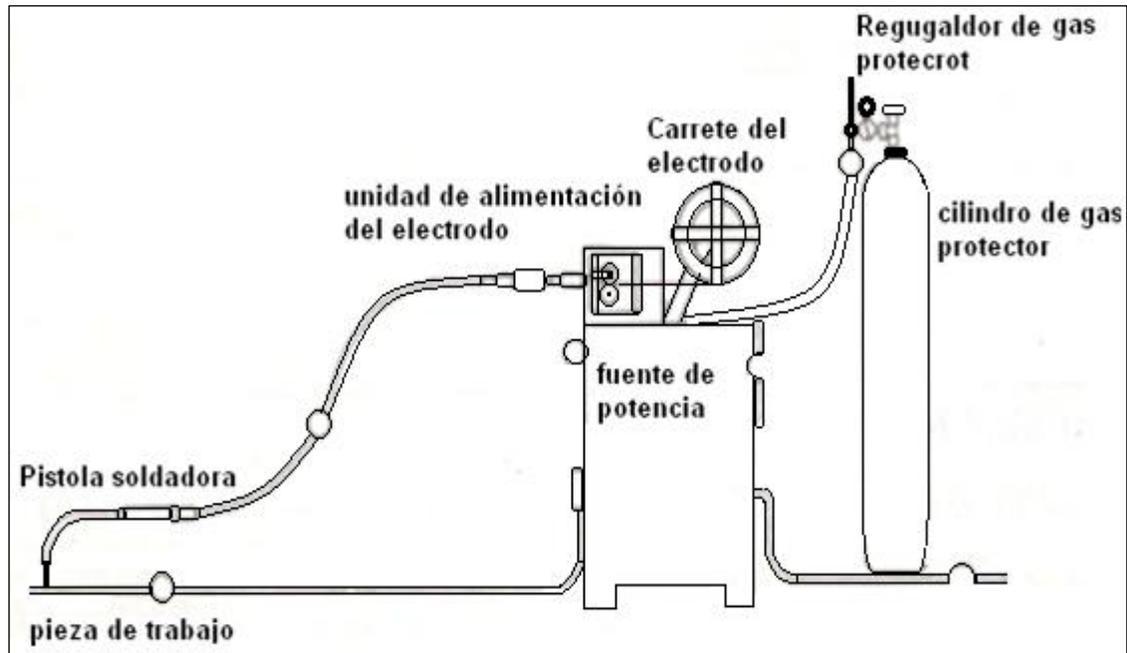
El equipo de soldadura MIG cuenta con un transformador, un rectificador para cambiar de corriente alterna a corriente continua y un conjunto de componentes electrónicos que controlan la alimentación del alambre, la corriente de pulso y la duración de dichos pulsos, que son variables fundamentales para el buen funcionamiento del equipo.

Los elementos principales del equipo de soldadura Synergic 254 son:

- Transformador (adecúa los valores de corriente)
- Rectificadores de corriente (cambio de CA a CD)
- Sistema de alimentación del electrodo
- Pistola soldadora enfriada por aire
- Control de soldadura
- Suministro regulado de gas protector
- Cables y mangueras para interconexión
- Cilindro de gas y reguladores de presión
- Manivela de control de derivación
- Tenaza de trabajo
- Cable de tenaza de trabajo
- Cables de alimentación
- Ventilador
- Interruptor

El equipo básico para la soldadura por arco de metal y gas se muestra en la figura 7.

Figura 7. **Equipo básico para soldadura por arco de metal y gas**



Fuente: R. L. O'Brien. Manual de soldadura AWS. p. 112.

2.2.1.3. Voltaje de entrada

El voltaje de entrada utilizado por las máquinas de soldadura Synergic 254 es de 220 voltios trifásico y es obtenido del servicio público. El voltaje de circuito abierto depende directamente del voltaje de entrada y de la razón entre las bobinas del primario y del secundario y es una característica muy importante para el proceso de soldadura.

2.2.1.4. Corriente de entrada

La corriente de entrada de los equipos Synergic 254 es alterna trifásica con un valor nominal de 50 amperios y 60 hertz de frecuencia. La magnitud de la corriente es un factor que determina el tamaño del conductor de alimentación y de los fusibles.

Actualmente, en estas máquinas se está utilizando cable TSJ 3 x 8 y fusibles de 100 amperios, 240 voltios - 60 hertz modelo Cutler Hammer.

2.2.1.5. Corriente de salida

Las máquinas Sinergic 254 son transformadores trifásicos donde las bobinas primarias y secundarias están fijas, utilizan un control de derivación móvil para proporcionar valores distintos de corrientes de salida. Los valores de corriente de salida varían desde 60 amperios hasta 300 amperios, esto permite al operador seleccionar el valor de corriente que le permita obtener una fusión apropiada del metal que desee soldar.

2.2.1.6. Ciclo de trabajo

La máquina de soldar Sinergic según sus especificaciones es una máquina con 50% de ciclo de trabajo, esto indica que es un equipo robusto de alto rendimiento. Con base a lo descrito en la sección 2.1.1.5 se concluye que las máquinas de soldadura Synergic 254 pueden funcionar 5 minutos continuos y parar durante 5 minutos a un amperaje de 300 amperios.

Nuevamente considerando que la soldadora no se utiliza a su máxima potencia y aplicando la fórmula descrita en la sección 2.1.1.5 y los valores de corriente más utilizados en este equipo de soldadura se obtienen los siguientes ciclos de trabajo:

La corriente más utilizada es 120 amperios, el ciclo de trabajo para dicho amperaje es 100%. Por lo tanto, para amperajes menores, las soldadoras funcionarán a 100% de ciclo de trabajo.

Al igual que todos los equipos de soldadura por arco eléctrico los factores que afectan el rendimiento de las máquinas de soldadura o que producen variaciones en el ciclo de trabajo son: la temperatura ambiente elevada, insuficiente aire de enfriamiento y bajo voltaje de línea.

2.2.2. Fallas frecuentes

En dos años de funcionamiento, las máquinas de soldadura Synergic 254 no han presentado mayores fallos, únicamente daños en la boquilla de la pistola de soldadura y en los manómetros, ver figura 7 para identificar dichos componentes.

Aunque no existe documentación sobre control de fallas, a través de entrevistas se determinó que se aplica mantenimiento periódicamente con el fin de evitar el deterioro prematuro del equipo.

2.2.3. Condiciones de funcionamiento

Las condiciones para un buen funcionamiento de los equipos de soldadura son un ambiente limpio de polvo u otros contaminantes gaseosos. Los equipos MIG son más propensos a fallar por causa de polvo debido al uso de controles electrónicos; también se debe evitar sobrecalentamientos y además dar un mantenimiento preventivo adecuado; las consecuencias de mantener las soldadoras en ambientes no apropiados producirá una reducción en el rendimiento y reducción de la vida útil.

2.2.3.1. Ambiente

Los equipos de soldadura MIG están distribuidas en un área de 9,4 metros cuadrados. El resto de los detalles del ambiente se describen en la sección 2.1.3.1.

2.2.3.2. Frecuencia de uso

En la sección 2.1.3.2 se menciona que los alumnos que actualmente son atendidos en el Taller Metal Mecánica son 350 en promedio, sin embargo, las máquinas de soldadura MIG son utilizadas con menos frecuencia produciéndose tiempos muertos en el uso de estos equipos.

2.2.3.3. Amperajes de salida más utilizados

En el Taller Metal Mecánica regularmente se suelda y se cortan aceros al carbono en espesores que van desde 1/16 de pulgada a 1/2 pulgada aproximadamente. Los equipos Synergic usualmente son graduados a 120 amperios durante los procesos de soldadura.

2.3. Equipos de soldadura TIG (Tungsten inert gas)

Estos equipos son transformadores-rectificadores eléctricos trifásico, el modelo es IGBT Controlled Inverter Tig Z-350 AC/DC, utilizan energía eléctrica del servicio público y la rectifican a través de un placa de diodos. Por medio de componentes electrónicos proporcionan una corriente a pulsos especial para este tipo de proceso. Utilizan un electrodo no consumible de tungsteno y utilizan gas argón para proteger el arco y charco de soldadura.

2.3.1. Características de las máquinas de soldadura

Es una fuente de potencia a pulsos es similar a la utilizada en el proceso MIG; es una fuente de potencia tipo inversor que permite ajustar de manera independiente todas las variables de los pulsos: corriente pico, corriente de fondo, duración de la corriente pico y duración de la corriente de fondo.

Los equipos IGBT Controlled Inverter Tig Z-350 AC/DC además del avanzado sistema eléctrico que se requiere para la operación incluyen funciones como circuitos indicadores y pendientes de corriente controladas; utilizan controles electrónicos y microprocesador para establecer las condiciones óptimas para el funcionamiento a pulsos. Se caracteriza por una variación repetitiva de la corriente del arco desde un valor de fondo hasta un valor pico. Los niveles de corriente; tanto pico como de fondo, se pueden ajustar desde un intervalo amplio. Además, es posible ajustar de manera independiente la duración de la corriente pico y la corriente de fondo.

2.3.1.1. Características generales

Los equipos IGBT Controlled Inverter Tig Z-350 AC/DC son equipos que proporcionan corriente directa y corriente alterna para satisfacer todas las aplicaciones de soldadura, con un simple *switch* el operador puede elegir la corriente que requiera el proceso. Vienen diseñadas para el proceso de soldadura TIG pero también con un *switch* el operador puede cambiar para que las máquinas funcionen como máquinas de soldadura eléctricas con electrodo revestido. El operador puede controlar el tipo de enfriamiento de la antorcha de soldadura, la profundidad y el ancho de la franja de soldadura, la duración de la corriente de pico y de fondo y los niveles de pico y de fondo. Este modelo cuenta con un control remoto para cambiar las características de la corriente estando lejos de la fuente de potencia.

2.3.1.2. Componentes

El equipo de soldadura TIG cuenta con un transformador, un rectificador para cambiar de corriente alterna a corriente continua y un conjunto de componentes electrónicos que controlan la corriente de pulso y la duración de dichos pulsos. Además, cuenta con un sistema de suministro de gas, el cual es utilizado para proteger el arco y el charco de soldadura de los contaminantes atmosféricos.

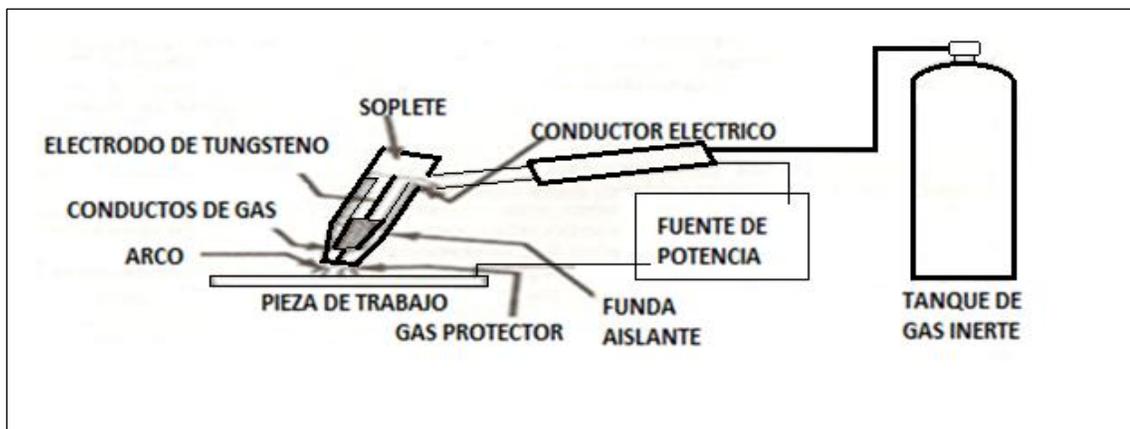
Los elementos principales del equipo de soldadura IGBT Controlled Inverter Tig Z-350 AC/DC son:

- Transformador (adecúa los valores de corriente)
- Rectificadores de corriente (cambio de CA a CD)
- Sistema de alimentación de gas

- Soplete enfriado por agua
- Control de soldadura
- Sistema de suministro de agua
- Cables y mangueras para interconexión
- Cilindro de gas y reguladores de presión
- Tenaza de trabajo
- Cable de tenaza de trabajo
- Cables de alimentación
- Ventilador
- Interruptor

El equipo básico para la soldadura por arco de metal y gas se muestra en la figura 8.

Figura 8. **Equipo básico para soldadura por arco de tungsteno y gas**



Fuente: R. L. O'Brien. Manual de soldadura AWS. P 75.

2.3.1.3. Voltaje de entrada

El voltaje de entrada utilizado por las máquinas de soldadura IGBT Controlled Inverter Tig Z-350 AC/DC es de 220 voltios trifásico, obtenido del servicio público. El voltaje de circuito abierto depende directamente del voltaje de entrada y de la razón entre las bobinas del primario y del secundario y es una característica muy importante para el proceso de soldadura.

2.3.1.4. Corriente de entrada

La corriente de entrada de los equipos IGBT Controlled Inverter Tig Z-350 AC/DC es alterna trifásica con un valor nominal de 50 amperios y 60 hertz de frecuencia. La magnitud de la corriente es un factor que determina el tamaño del conductor de alimentación y de los fusibles.

Actualmente, en estas máquinas se está utilizando cable TSJ 3 x 8 y fusibles de 100 amperios, 240 voltios - 60 hertz modelo Cutler Hammer.

2.3.1.5. Corriente de salida

Las máquinas IGBT Controlled Inverter Tig Z-350 AC/DC son transformadores trifásicos donde las bobinas primarias y secundarias están fijas. Cuando se usa corriente alterna los valores de corriente de salida varían desde 25 amperios hasta 370 amperios y cuando se utiliza corriente directa los valores de corriente varían de 15 amperios hasta 350 amperios; esto permite al operador seleccionar el valor de corriente que le permita obtener una fusión apropiada del metal que desee soldar.

2.3.1.6. Ciclo de trabajo

Según las especificaciones de la máquina de soldar IGBT Controlled Inverter Tig Z-350 AC/DC tiene un ciclo de trabajo de 80%, esto indica que es un equipo robusto de alto rendimiento.

Con base en lo descrito en la sección 2.1.1.5 las máquinas Z-350 pueden funcionar 8 minutos continuos y parar durante 2 minutos con un amperaje de 350 amperios.

Aplicando la fórmula descrita en la sección 2.1.1.5 y los valores de corriente más utilizados se obtienen los siguientes ciclos de trabajo:

La mayor corriente requerida es 150 amperios, el ciclo de trabajo para dicha máquina de soldadura es 100%.

Al igual que todos los equipos de soldadura por arco eléctrico los factores que afectan el rendimiento de las máquinas de soldadura son: temperatura ambiente elevada, insuficiente aire de enfriamiento y bajo voltaje de línea.

2.3.2. Fallas frecuentes

En los dos años de funcionamiento de los equipos no se han presentado mayores fallas, únicamente daños en la tobera de porcelana y en los electrodos de tungsteno.

2.3.3. Condiciones de funcionamiento

El correcto funcionamiento de los equipos de soldadura depende de un ambiente limpio de polvo u otros contaminantes gaseosos, los equipos TIG son más propensos a fallar por causa de polvo porque posee demasiados controles electrónicos; también se debe evitar sobrecalentamientos y además deben tener un mantenimiento preventivo adecuado; no proporcionar las condiciones apropiadas producirá reducción del rendimiento y reducción de la vida útil de los equipos.

2.3.3.1. Ambiente

Los equipos de soldadura TIG están distribuidas en un área de 20,25 metros cuadrados. El resto de los detalles del ambiente se describen en la sección 2.1.3.1.

2.3.3.2. Frecuencia de uso

Un promedio de 350 alumnos actualmente son atendidos en el taller de Metal Mecánica, se les imparte los laboratorios de procesos de manufactura 1 y 2. A pesar de que los equipos están diseñados para trabajo duro, las soldadoras TIG se utilizan poco, regularmente se utilizan sólo para dar demostraciones de funcionamiento; esto ocurre porque se requiere gran habilidad de parte del soldador para utilizar dichos equipos, requerimiento que no cumplen los estudiantes.

2.3.3.3. Amperajes de salida más utilizados

Los equipos IGBT Controlled Inverter Tig Z-350 AC/DC usualmente son graduados a 90 amperios durante los procesos de soldadura y es la única corriente que se utiliza.

2.4. Proyecciones de uso de los equipos

Durante el 2011 y 2012 el Taller Metal Mecánica ha atendido un promedio de 382 alumnos por semestre como se observa en las tablas II, III, VI y V. Los cursos que se imparten en este taller y hacen uso de las máquinas de soldadura son los laboratorios de procesos de manufactura 2 de la carrera de Ingeniería Industrial y Mecánica Industrial y los laboratorios de procesos de soldadura industrial para la carrera de Técnico en Metal Mecánica y Técnico en Procesos de Manufactura.

Como se observa en las tablas I, II, III y IV, los alumnos que causan mayor desgaste en las máquinas de soldadura son los estudiantes de Ingeniería, aunque por el diagnóstico realizado anteriormente las máquinas de soldadura están diseñadas para soportar dicha exigencia.

Se espera que la cantidad de alumnos que necesiten hacer uso de las máquinas de soldadura para los próximos años se mantenga estable, según los datos observados en las tablas I y II; aunque por ser pocos datos no es tan confiable dicha conclusión, se espera que la población crezca debido a que el conocimiento de las carreras del ITUGS va en aumento.

Tabla II. **Estadísticas generales de laboratorios Facultad de Ingeniería ciclo académico 2011**

Laboratorio	Primer semestre	Subtotal	Segundo semestre	Subtotal
Procesos de manufactura 2	170	170	165	165

Fuente: Control Académico, Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur.

Tabla III. **Estadísticas generales de laboratorios Facultad de Ingeniería ciclo académico 2012**

Laboratorio	Primer semestre	Subtotal	Segundo semestre	Subtotal
Procesos de manufactura 2	160	160	154	154

Fuente: Control Académico, Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur.

Tabla IV. **Estadísticas generales de inscripción ciclo académico 2011**

Carreras	Primer semestre			Segundo semestre			Ret
	Pi	Re	Subt	Pi	Re	Subt	
Técnico en procesos de manufactura							
Técnico en metal mecánica	21		21	21		21	8
Pi = Primer Ingreso; Re = Reingreso; Ret= Estudiante Retirado							

Fuente: Control Académico, Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur.

Tabla V. **Estadísticas generales de inscripción ciclo académico
2012**

Carreras	Primer semestre			Segundo semestre			Ret
	Pi	Re	Subt	Pi	Re	Subt	
Técnico en procesos de manufactura	15	4	19	15	4	19	6
Técnico en metal mecánica		7	7		7	7	2
Pi = Primer Ingreso; Re = Reingreso; Ret= Estudiante Retirado							

Fuente: Control Académico, Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur.

2.5. Análisis de habilidades disponibles del instructor

El instructor a cargo de los equipos de soldadura tiene conocimientos amplios en los equipos y los procesos de soldadura. Es quien actualmente da mantenimiento a los equipos y gracias a su experiencia en este campo se ha logrado un mantenimiento satisfactorio y así se han conservado en buenas condiciones las máquinas de soldadura.

2.6. Programa actual de mantenimiento

Actualmente no hay un programa de mantenimiento ni documentación de control para los equipos del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur, pero existe una coordinación de servicios y mantenimiento de las instalaciones que es responsable que todo el entorno de la maquinaria esté en óptimas condiciones.

Los ingenieros a cargo de los diferentes módulos son los que han dado mantenimiento a la maquinaria y a los equipos durante los dos años de funcionamiento con ayuda de personal de mantenimiento del edificio. No hay un presupuesto asignado directamente para mantenimiento, los gastos por mantenimiento han sido sufragados por el presupuesto general asignado al ITUGS para su funcionamiento.

Por iniciativa del ingeniero a cargo de las máquinas de soldadura, estas han recibido mantenimiento periódico lo cual ha permitido su conservación, aunque no se cuenta con registros de fallas encontradas, reparaciones y mantenimiento predictivos o preventivos.

El Taller Metal Mecánica es apoyado por personal de mantenimiento del edificio para dar mantenimiento a la maquinaria, dichas actividades son supervisadas por el ingeniero encargado.

2.7. Análisis del aprovechamiento de los equipos

Con base en las entrevistas, los equipos para electrodo revestidos se utilizan con mucha frecuencia pero como se describió en las secciones anteriores estas máquinas fueron diseñadas para este tipo de trabajo. Para dar solución a dicho problema se sugiere que en el perfil de ingreso se requiera un manejo básico de los procesos de soldadura y diseñar prácticas de laboratorio orientadas al desarrollo de las habilidades en dichos procesos. Cualquier cambio se debe presentar al consejo académico para su respectivo análisis.

2.8. Análisis de costos por deterioro acelerado

Los costos por deterioro han sido bajos, lo único que se ha cambiado o reparado son conductores eléctricos, pinzas de trabajo (tenaza de tierra o masa), pinzas portaelectrodos y reparaciones menores en manómetros, esto es debido a que los equipos adquiridos son robustos de alto rendimiento y el tiempo en uso ha sido poco.

Los gastos generados se consideran gastos normales de funcionamiento que no son significativos para el presente análisis. En la tabla VI se muestran los insumos utilizados en las reparaciones menores.

Tabla VI. **Gastos generados por mantenimiento correctivo y preventivo en 3 años de funcionamiento**

Cantidad	Descripción	Costo unitario (quetzales)	Subtotal (quetzales)
3	Cintas de aislar	25,00	75,00
6	Bote de grasa para uso general	24,00	144,00
25	Tornillos de 1/2" x 3/16"	0,10	2,50
5	Pinzas porta electrodo	82,00	410,00
	TOTAL		631,5

Fuente: elaboración propia.

3. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL

Con base en el análisis de las necesidades y los objetivos del Instituto Tecnológico Universitario Guatemala Sur la adaptación de la filosofía de trabajo japonesa TPM es la opción más adecuada ya que por más de 5 décadas ha dado buenos resultados, tales como: aumento de competitividad y productividad.

Una de las características del TPM es la adaptabilidad según la región en que se pretenda utilizar, con base en esto es posible utilizar como modelo al TPM en las instalaciones y en los procesos del ITUGS, ya que permitirá alcanzar los objetivos institucionales deseados.

3.1. Programa de mantenimiento autónomo

El mantenimiento autónomo es uno de los pilares del TPM que busca conservar en buenas condiciones el equipo durante su vida útil con la participación del usuario u operador, es decir, que los operadores se hacen cargo de vigilar el buen funcionamiento de los equipos en los que trabajan diariamente. El operador debe efectuar actividades de mantenimiento menores como identificar alguna variación de funcionamiento, eliminar averías menores, limpieza, engrase y aprietes. El operador debe recibir capacitación antes de realizar alguna de las actividades mencionadas.

3.1.1. Programa de mantenimiento autónomo para los instructores

Por las características de la institución el instructor encargado del módulo 8 debe enfocarse en actividades de inspección periódica de las máquinas en el área de soldadura. Debe revisar el buen funcionamiento de los equipos de soldadura y que estos estén en un espacio apropiado, limpio y libre de agentes que puedan dañarlos. El instructor debe ser capaz de orientar a los alumnos y capacitarlos para que estos puedan hacer todas las actividades del mantenimiento autónomo. Dicha capacitación debe ser incluida como unidad de estudio en la programación del curso o los cursos que hagan uso de los equipos de soldadura. Es recomendable que los alumnos que se involucren en el mantenimiento de las máquinas de soldadura sean los de las carreras de Técnico en Metal Mecánica y Técnicos en Procesos de Manufactura.

3.1.1.1. Limpieza inicial

Es necesario hacer una limpieza adecuada como actividad número uno del mantenimiento autónomo. El polvo, aceite, humedad, etcétera. Son agentes que provocan que los equipos de soldadura funcionen en forma deficiente por lo tanto el lugar donde se ubiquen debe estar y permanecer limpio; además, el interior y exterior de los equipos de soldadura deben limpiarse periódicamente de la manera que se indica en la sección 3.3.1. Es imperativo implementar un programa 5 S en toda el área de soldadura para lograr un ambiente adecuado de trabajo y para la conservación de las máquinas soldadoras.

La metodología 5 S es sumamente sencilla en su concepción pero requiere mucha disciplina, dedicación y control. Cada S es la letra inicial de una palabra en japonés escrita con símbolos del Alfabeto Latino, en la tabla VII se muestra el significado en español el concepto y el objetivo en particular de cada S.

Tabla VII. **Significado de las cinco S**

Denominación		Concepto	Objetivo particular
Español	Japonés		
Clasificación	整理, Seiri	Separar innecesarios	Eliminar del espacio de trabajo lo que sea inútil.
Orden	整頓, Seiton	Situar necesarios	Organizar el espacio de trabajo de forma eficaz.
Limpieza	清掃, Seisō	Suprimir suciedad	Mejorar el nivel de limpieza de los lugares.
Normalización	清潔, Seiketsu	Señalizar anomalías	Prevenir la aparición de la suciedad y el desorden.
Disciplina	躰, Shitsuke	Seguir mejorando	Fomentar los esfuerzos en este sentido.

Fuente: método 5 S. [Http://es.wikipedia.org/wiki/5S](http://es.wikipedia.org/wiki/5S). [Consulta: mayo de 2013].

La implementación de cada una de las 5 S se lleva a cabo siguiendo cuatro pasos:

- Preparación: formación respecto a la metodología y planificación de actividades.
- Acción: búsqueda e identificación, según la etapa, de elementos innecesarios, desordenados (necesidades de identificación y ubicación), suciedad, etcétera.
- Análisis y decisión en equipo de las propuestas de mejora que a continuación se ejecutan.
- Documentación de conclusiones establecidas en los pasos anteriores.

3.1.1.2. Medidas de contención de fuentes de contaminación

Para evitar contaminación o la presencia de agentes contaminantes que dañen los equipos de soldadura se debe establecer normas que permitan evitar la contaminación del área de soldadura. Se debe colocar rótulos o señales que indiquen los comportamientos o las acciones que no se permiten. Algo que no se debe permitir es comer en el área de trabajo, porque puede ocurrir algún derrame de alguna bebida sobre componentes eléctricos o electrónicos que puede producir un grave daño al equipo de soldadura y un serio incidente o accidente. También es necesario evitar plagas como cucarachas y roedores ya que pueden ocasionar daños especialmente en los componentes electrónicos de la soldadura TIG y MIG.

3.1.1.3. Estándares de limpieza

El Departamento de Mantenimiento debe definir las reglas para realizar la limpieza de cada soldadora y del área donde se ubican. Se debe llevar un control de cada acción para estabilizar el funcionamiento de todas las reglas definidas y posteriormente estandarizarse, los estándares deben ser simples y objetivos.

3.1.1.4. Inspección general

Esta etapa requiere de conocimiento profundo sobre la composición de las máquinas de soldadura y de los procesos de soldadura para identificar y reconstruir el deterioro. Las inspecciones iniciales las realiza el operador siguiendo las instrucciones de un tutor especialista. En esta clase de inspecciones deben producirse acciones de mejora que eviten la reincidencia de los problemas identificados mediante las acciones de inspección generales. En esta etapa es donde el operador debe efectuar actividades de mantenimiento menores como identificar alguna variación de funcionamiento, eliminar averías menores, limpieza, engrase y aprietes de los equipos.

3.1.1.5. Inspección autónoma

En esta etapa cumple una primera función de conservar los logros alcanzados en las etapas anteriores o el equivalente de asegurar en el Ciclo Deming; posteriormente, se debe conducir a mejorar los estándares y la forma de realizar el trabajo autónomo que se viene realizando. Se evalúan los estándares de limpieza, lubricación y apriete establecidas en las etapas previas, se mejoran sus métodos y tiempos con base en la experiencia acumulada por el operador.

Las principales actividades de esta etapa están relacionadas con el control de los equipos y la calidad de los mismos, condiciones y estado de ellos como de las herramientas. Uno de los aportes significativos de esta etapa consiste en el incremento de la eficiencia de la inspección, al mejorar métodos de trabajo y los estándares utilizados.

El desarrollo de esta etapa incluye los siguientes trabajos prácticos:

- Evaluar los procedimientos utilizados hasta el momento en las actividades autónomas. Por ejemplo, los estándares de limpieza, lubricación y apriete. Las preguntas más frecuentes son: ¿Los tiempos que utilizamos son los mejores? ¿Hemos dejado pasar fallos? ¿Existe recurrencia de fallos? ¿Se han presentado errores de inspección? ¿El manual de inspección que utilizamos realmente está completo? ¿Podremos incorporar otros puntos al manual de inspección?
- Se analizan los estándares para identificar si se pueden eliminar algunos puntos de inspección de alta fiabilidad, realizar trabajos en paralelo para reducir los tiempos de inspección ¿Podremos transferir algunas de estas actividades de inspección al trabajo?
- Se evalúan los controles visuales que hemos utilizado. ¿Son adecuados? ¿Han ayudado a mejorar la inspección? ¿Faltan puntos? ¿Se pueden introducir nuevos elementos transparentes para facilitar la inspección visual? o ¿Se deben realizar modificaciones para detectar con facilidad los problemas?

3.1.1.6. Mejorar el proceso de aseguramiento de la calidad

Los equipos de soldadura se deben analizar desde el punto de vista de la calidad de servicio que estén proporcionando. La calidad de la soldadura depende directamente del buen funcionamiento del equipo de soldadura y de la pericia que tenga el soldador, este último factor es difícil obtenerlo porque los usuarios de las máquinas de soldadura regularmente son soldadores no experimentados, por lo tanto, para medir la calidad de la soldadura, que es el producto final, cada máquina deberá ser sometida a prueba por un soldador experimentado, este verificará el buen funcionamiento o detectará anomalías, ya que aunque el equipo esté funcionando, ciertas variaciones en algunos elementos de las máquinas (regularmente en la soldadura TIG) pueden causar soldaduras defectuosas.

3.1.2. Supervisión autónoma

Las auditorías de mantenimiento son el principal instrumento de gestión para lograr una verdadera transformación de la cultura de la institución. El concepto de auditoría no se debe asumir como vigilancia, sino como un proceso de reflexión y conversación que genere compromiso para la acción. Estos enfoques conceptuales pueden servir de base para el desarrollo de metodología de intervención y transformación institucional, necesarias en la aplicación del TPM.

Aplicación:

Las auditorías de mantenimiento autónomo bajo los conceptos teóricos anteriores deben tener las siguientes características:

- Facilitar el autocontrol por parte de los operarios.
- Servir para aprender más del proceso seguido.
- Evaluar lo que se hace y la forma cómo se hace las auditorías de mantenimiento autónomo se diseñan para que sean aplicadas por el grupo de operarios, especialmente con la intervención de su líder.

Auditorías de paso

Las auditorías de paso desde el punto de vista conceptual deben incluir los siguientes puntos:

Deben servir para crear acciones de conversación sobre los temas previstos y crear nuevo conocimiento en el puesto de trabajo. Las debe realizar directamente el Departamento de mantenimiento y este debe informar a la dirección de la institución los avances y las propuestas de mejora.

3.2. Programa de mantenimiento enfocado

El mantenimiento enfocado es un conjunto de actividades cuyo objeto es maximizar la efectividad global de los equipos y procesos, a través de un trabajo organizado en equipos interfuncionales que atacan los problemas desde la raíz y con previa planificación para saber cuál es la meta y en cuánto tiempo se logra. En la sección 1.10.3.1 se indica el procedimiento para desarrollar el pilar de mantenimiento enfocado.

Por las características de los equipos de soldadura las pérdidas que pueden afectar el proceso de formación de los estudiantes y el alcance de los objetivos son:

- Pérdidas por fallas de las máquinas
- Pérdidas por fallas de equipos auxiliares
- Pérdidas por reducción de velocidad
- Pérdidas por defectos en el proceso
- Pérdidas de energía

Con base en el listado anterior y el diagnóstico efectuado en el capítulo 2 del presente trabajo, los posibles temas a investigar para evitar dichas pérdidas son:

- Equipos auxiliares: entre estos se pueden mencionar las mangueras alimentadoras de gas, ventiladores, controles de amperaje de salida, accesorios (tenaza de tierra, tenaza porta electrodo, toberas de soldadura MIG y soldadura TIG) y alimentadores de electrodo continuo.
- Fallas en las máquinas: las máquinas pueden fallar y así dar un mal servicio cuando por el uso continuo los sistemas de encendido y apagado sufran desgaste, por cortocircuitos debido a un mal mantenimiento de los conductores eléctricos, atascamiento de los sistemas móviles y cojinetes y daños a circuitos electrónicos.
- Reducción de velocidad: equipos auxiliares que no funcionen en óptimas condiciones pueden causar una disminución significativa de velocidad en los procesos de soldadura.

- Defectos en el proceso: en este caso en el proceso está involucrado el elemento humano, el cual por causa de no estar bien capacitado puede mal utilizar los equipos no aprovechando las características de los equipos y ocasionando con ello defectos en el proceso de soldadura.
- Pérdida de energía: la utilización de conductores eléctricos no adecuados produce pérdidas de tensión y como consecuencia reducción de la eficiencia de los equipos; los tornillos con mal apriete también pueden causar pérdidas de energía y además producir sobrecalentamiento en partes importantes de las máquinas de soldadura.

El equipo de mantenimiento enfocado deberá realizar inspecciones periódicas, se recomienda que inicialmente se hagan cada mes para detectar y evitar fallas, posteriormente con base a la experiencia, el tiempo entre cada inspección lo podrá estandarizar el equipo de mantenimiento enfocado. Otras anomalías deberán ser analizadas por especialistas externos con apoyo del equipo de mantenimiento enfocado debido a la complejidad de algunos elementos de los equipos de soldadura MIG y TIG. Para facilitar la localización de fallas o de alguna variación en el funcionamiento en los equipos de soldadura se puede consultar la guía para la localización de fallas en la sección 3.3.2.

El equipo de mantenimiento enfocado deberá llevar un control de los problemas encontrados y de las soluciones para facilitar el trabajo en un futuro, cada caso ocurrido deberá documentarse adecuadamente, anotando las causas de las averías y las acciones tomadas para mejorar o solucionar el problema, en cada caso el equipo de mantenimiento enfocado deberá informar a la dirección de la institución.

3.3. Mantenimiento planificado

El mantenimiento planificado es uno de los pilares más importantes en la búsqueda de beneficios en una organización, el objetivo del mantenimiento planificado es programar las acciones preventivas, predictivas y correctivas. Utiliza información obtenida de los otros pilares del TPM y del equipo de mantenimiento de la empresa y con ello realiza una programación adecuada que incluya el tipo de estándar a cumplir, características de calidad, registro de información, seguridad, tiempo, herramientas y otros elementos necesarios para alcanzar la meta cero averías. El mantenimiento planificado está basado en inspecciones periódicas, mejora continua y en el apoyo de otros pilares.

3.3.1. Programa de mantenimiento preventivo

Todas las máquinas de soldadura requieren un tipo parecido de mantenimiento preventivo, aunque hay algunas variaciones para los equipos de soldadura MIG y TIG porque poseen elementos electrónicos que controlan el tipo de corriente de salida y otras variables de soldadura.

La primera acción de mantenimiento preventivo la ejecuta el equipo de mantenimiento autónomo, es el encargado de la limpieza, aprietes y engrase de las máquinas.

“Toda la maquinaria eléctrica debe mantenerse limpia; la suciedad y el polvo son transportados por el aire de ventilación a través de las máquinas. Esta suciedad se acumula en las partes internas, tiende a acumularse en bobinados, evitando que se enfríen en forma eficiente. La suciedad también puede acumularse al punto de obstruir la entrada de aire a las máquinas de soldadura. Debido a esto las máquinas se deberán limpiar cada seis meses.

Esta actividad debe hacerse con aire limpio, seco y comprimido a una presión de 25 a 30 psi. No se deberá usar aire a alta presión porque tenderá a impulsar suciedad hacia hendiduras lo cual reducirá la eficiencia de enfriamiento de la máquina. Se puede utilizar una aspiradora, particularmente si hay polvo metálico dentro de la caja. En esta inspección se deberá estar atento para detectar indicios de avería en los componentes auxiliares de las máquinas de soldar.

Las máquinas de soldar tienen un ventilador, el motor del ventilador debe revisarse, así como, sus cojinetes para que opere libremente. El mismo procedimiento se debe aplicar para todas las partes móviles de las máquinas. Los cojinetes deben revisarse mensualmente, los cojinetes sellados no necesitan grasa; sin embargo, cuando se requiere grasa, los cojinetes deben limpiarse completamente hasta eliminar la grasa vieja. Los cojinetes no deben llenarse de grasa, sino que debe haber suficiente espacio para que se mueva la grasa".³

Es imperativo que los equipos de soldadura no se utilicen cuando el ventilador de los mismos esté dañado. Para el modelo Yamato se debe revisar los ajustes mecánicos de corriente, los tornillos de guía y correderas deberán engrasarse para que el funcionamiento sea eficiente. En los puntos donde los cables flexionan deben revisarse para determinar que el aislante no esté dañado y remplazarse según se requiera, esta operación se debe hacer en todas las máquinas de soldadura.

³ Howard B. Cary. Manual de soldadura moderna. 1992. p. 354

Las máquinas de soldadura MIG y TIG cuentan con elementos electrónicos, estos deberán estar libres de polvo, esto debe hacerse con aire comprimido a una presión no mayor de 25 libras por pulgada cuadrada, después de retirar el polvo se debe aplicar un limpiador de contactos electrónicos esto permitirá obtener el máximo de vida útil de los componentes. Es importante tener a la mano la ficha de seguridad (MSDS) del limpiador de contactos electrónicos que se decida utilizar para realizar una manipulación correcta de este. En el caso de soldadura TIG “se debe prestar especial atención al oscilador de espaciamiento de chispa. El espaciador de chispa debe ajustarse con una abertura de 0,006 a 0,008 pulgadas. (0,15 o 0,2 milímetros.). Las caras del contacto deben limpiarse y si están picadas, deben alinearse de nuevo.

Las válvulas de gas o agua deben revisarse para verificar que estén funcionando y no tengan fugas, ni en los sistemas de gas y enfriamiento por agua. Se deben verificar los programadores y cronómetros en cuanto calibración y deben ajustarse según se requiera. Los retransmisores y otros puntos de contacto de circuitos de control deben verificarse para que haya un cierre y una abertura adecuados y que los puntos se alineen cuando sea necesario.

Es aconsejable mantener un registro de inspección detallada para cada máquina por código, inspección y fecha de mantenimiento periódico y por actividades adicionales o el mantenimiento que se haya requerido. Esto ayudará a determinar si las máquinas específicas requieren de una atención extraordinaria”.⁴

⁴ Howard B. Cary. Manual de soldadura moderna. 1992. p.357

Las acciones del pilar de mantenimiento enfocado es otra forma de apoyar al mantenimiento preventivo, para no sufrir el paro o pérdida total de una máquina de soldadura, es recomendable que las acciones se trabajen en conjunto con el pilar de mantenimiento planificado.

3.3.2. Programa de mantenimiento correctivo

Con base al diagnóstico realizado en el capítulo 2 se sabe que los equipos de soldadura son de alta eficiencia y muy robustos, diseñados para trabajo pesado y casi nunca presentan fallas graves. El corazón de las máquinas de soldadura es el bobinado primario y secundario (transformador) y estos tienen poca frecuencia de fallos. Es muy probable que las fallas se encuentren en equipos auxiliares como solenoides de válvulas, rectificadores de corriente, sistemas de enfriamiento y reguladores de corriente, entre otros.

En caso de que se requiera una reparación menor; como ya se mencionó; el equipo de mantenimiento autónomo podrá hacer la reparación, pero cuando el daño ocurra en las tarjetas electrónicas o en mecanismos más sofisticados, la máquina de soldadura deberá llevarse a un centro de servicio autorizado para que la reparación la efectúe personal especializado.

La localización de fallas es el primer paso para resolver problemas en una máquina de soldadura. Hay dos tipos de localización de fallas. Un método es mientras que la máquina está funcionando. Este tipo de trabajo debe hacerse con la caja de la máquina intacta. El otro método se hace con la máquina soldadora completamente desconectada, trabajando en la parte interior de la misma. Se deben realizar mediciones de voltaje y corriente en todos los circuitos, revisar que estén en buen estado cables, elementos auxiliares, transformadores y rectificadores.

En la tabla VIII se presenta una guía de localización de fallas que se debe utilizar para hacer un diagnóstico mientras la máquina está funcionando. Esta guía debe ser consultada por el equipo de Mantenimiento Planificado y Mantenimiento Enfocado para simplificar el trabajo de localización de fallas.

Tabla VIII. Guía de localización de fallas mientras el equipo de soldadura está funcionando

Problema	Falla	Remedio
La máquina no arranca. (Equipada con o sin contactor en línea)	Las líneas de corriente están muertas.	Verificar el voltaje.
	El cable de corriente se rompió.	Repare el cable.
	La línea de voltaje es incorrecta. Conexiones incorrectas.	Verificar suministro de corriente. Verificar conexiones contra diagramas.
	Fusible fundido.	Reemplazar fusible.

Continuación de la tabla VIII.

<p>La máquina no arranca. (equipada con contactor en línea solamente).</p>	<p>Retransmisor de carga suelto. Circuito abierto para el botón de arranque. Obstrucción mecánica en el arrancador. Cables rotos en el contactor en línea.</p>	<p>Recolocar el retransmisor. Reparar. Eliminar la obstrucción. Reparar.</p>
<p>El Contactor en línea rechina durante la operación de soldadura.</p>	<p>Cables de entrada demasiado pequeños. Voltaje en línea bajo.</p>	<p>Instale un cable más grande Verificar la potencia de entrada y corregir.</p>
<p>El contactor zumba.</p>	<p>Suciedad en la superficie del contactor del magneto de interruptor en línea. Alineación inadecuada de los yugos estacionarios y móviles del arrancador.</p>	<p>Limpiar las caras del magneto. Corregir alineación.</p>

Continuación de la tabla VIII.

<p>El contactor opera y funde el fusible.</p>	<p>Voltaje en línea incorrecto.</p> <p>Las articulaciones sobre el contactor en línea no están correctamente conectadas.</p> <p>Fusible demasiado pequeño.</p> <p>Rectificadores quemados (solamente para máquinas cc/ca).</p> <p>Cortocircuito en las conexiones primarias.</p> <p>Fallas del transformador.</p>	<p>Verificar el voltaje de línea y la placa de nomenclatura de la soldadora.</p> <p>Verificar y conectar.</p> <p>Instalar fusible de tamaño adecuado.</p> <p>Reemplazar rectificador.</p> <p>Eliminar cortocircuito.</p> <p>Reparar el transformador.</p>
<p>La máquina suministra corriente de soldadura pero se apaga pronto.</p>	<p>Elementos incorrectos en el retransmisor de sobrecarga.</p> <p>Máquina soldadora sobrecargada.</p> <p>Ciclo de trabajo demasiado alto.</p> <p>Cables de corriente demasiado largos o cortos.</p> <p>Temperatura del ambiente demasiado alta.</p> <p>Ventilación bloqueada.</p>	<p>Verificar con la recomendación para la parte del repuesto.</p> <p>La sobrecarga puede transportarse sólo por corto tiempo; reducir la corriente de soldadura.</p> <p>No operar continuamente corriente de sobrecarga o reducir la corriente de soldadura.</p> <p>Reemplazar con un cable más grande.</p> <p>Operar a cargas reducidas cuando la temperatura exceda de 37,8 °C.</p> <p>Verificar las aberturas de entrada y salida de aire.</p>

Continuación de la tabla VIII.

	<p>Ventilador no está operando (únicamente máquinas enfriadas por ventilador).</p> <p>Rectificadores sucios.</p>	<p>Verificar que el motor esté en buen estado, verificar voltaje y conductores del ventilador. En caso que el ventilador esté dañado reemplazar.</p> <p>Limpiar con aire seco a baja presión, no utilizar cepillos de alambre o abrasivos.</p>
<p>El contactor opera pero la máquina de soldadura no produce corriente de soldadura.</p>	<p>Terminal de soldadura acortada.</p> <p>El interruptor de rango o el interruptor de polaridad no están centrados sobre la flecha o el retén.</p> <p>El cable del transformador está abierto.</p> <p>El transformador secundario falla.</p> <p>El rectificador está quemado (únicamente para máquinas de soldadura ac-dc).</p>	<p>Cable del electrodo pueden cortarse.</p> <p>Fijar hacia la flecha o retén.</p> <p>Reparar el transformador.</p> <p>Reparar bobinado secundario.</p> <p>Reemplazar rectificador.</p>

Continuación de la tabla VIII.

<p>El arco de soldadura es ruidoso y salpica en forma excesiva.</p>	<p>El arreglo de corriente es demasiado alto.</p> <p>La polaridad es incorrecta.</p> <p>Uso de un electrodo incorrecto en CA.</p> <p>La bobina del filtro esta en corto.</p>	<p>Verificar el arreglo de salida de corriente con el amperímetro, o reducir la corriente.</p> <p>Verificar polaridad, invertir la polaridad.</p> <p>Usar electrodo para CA.</p> <p>Reemplazar la bobina del filtro.</p>
<p>El arco de soldadura está inactivo.</p>	<p>Corriente demasiado baja.</p> <p>Voltaje en línea bajos.</p> <p>Circuito de corriente monofásica (en máquinas rectificadoras trifásicas.)</p>	<p>Verificar la salida y la corriente recomendada para el electrodo que está usando.</p> <p>Verificar la potencia de entrada, notificar a la compañía de servicio eléctrico si es necesario.</p> <p>Verificar la presencia de una línea o fusible fundido.</p>

Continuación de la tabla VIII.

La perilla de control no controla la corriente de soldadura.	El reóstato se quemó.	Reemplazar.
	El rectificador de control se quemó.	Reemplazar.
	Conexión floja en el circuito de control.	Verificar las conexiones y ajustar apropiadamente.
	La bobina de control fallo.	Enviar a reparación el transformador.
El interruptor de rango o selector no controla la corriente de soldadura.	Los contactos de disco o móviles se deslizan sobre el eje.	Reemplace los contactos de disco o móviles; ajustar al eje, limpiar interruptor y engrasar.
El interruptor de polaridad no la controla.	Los contactos de disco o móviles se deslizan sobre el eje.	Reemplace los contactos de disco o móviles; ajustar al eje, limpiar interruptor y engrasar.
La máquina de soldadura opera, pero la corriente de soldadura decae.	Las conexiones del portaelectrodo o del cable de trabajo está suelta.	Limpia y sujetar todas las conexiones en el circuito de soldadura.
Se reciben descargas cuando se toca la caja de la máquina de soldadura.	La caja no está conectada a tierra.	Conectar a la caja a tierra.
Se reciben descargas cuando se tocan el cable, el trabajo o la mesa de trabajo.	La mesa y el trabajo no están conectados a tierra.	Conectar a tierra el trabajo y la masa (pinza de tierra).

Fuente: Howard B. Cary. Manual de soldadura Moderna. p 362.

3.3.3. Sustitución de equipos

La vida útil de las máquinas de soldadura oscila entre 5 a 10 años según su uso y mantenimiento, por la larga vida de estas máquinas es posible que sean remplazadas más por obsoletos que por dañados, ya que un equipo muy antiguo no estaría acorde a los objetivos de la institución. En cualquiera de los casos las nuevas máquinas deberán elegirse con base a las condiciones del momento y se deberá realizar el proceso de compra de maquinaria que la institución tenga establecido. Para efectuar la adquisición de un nuevo equipo de soldadura se deberá realizar un análisis previo para lo cual se propone una lista de características que ayudará a elegir la máquina apropiada.

- Ciclo de trabajo: el uso que se le dará al equipo de soldadura es lo que determinará el ciclo de trabajo. consultar sección 2.1.1.5 para realizar el análisis.
- Lugar de utilización: si estará estacionario o móvil.
- Voltaje de entrada.
- Tipo de electrodos con los que se desean soldar lo cual determina el tipo de corriente de salida que puede ser corriente continua o corriente alterna.
- Control de corriente: se debe elegir el control eficiente.
- Control remoto (sólo para soldadura TIG).
- Estabilizador de lata frecuencia (sólo para soldadura TIG).
- Capacidad de pulsos de corriente (sólo para soldadura TIG).
- Capacidad de balanceo de onda y compensación de voltaje de línea (sólo para soldadura TIG).

3.4. Programa de capacitación

El equipo de trabajo formado por los alumnos, instructor y personal de mantenimiento del edificio debe ser capacitado con el fin de desarrollar competencias para ejecutar de manera eficiente el nuevo programa de mantenimiento. Es posible que el personal posea algunos conocimientos sobre mantenimiento y no sea necesario capacitarlos en todas las áreas, es recomendable hacer un diagnóstico apropiado para determinar los temas de las capacitaciones.

3.5. Programa de control inicial

Este es un poderoso pilar TPM destinado a prevenir los problemas que se pueden presentar en equipos y máquinas desde las fases de diseño y desarrollo. Se emplea para identificar y prevenir problemas potenciales que una empresa puede encontrar cuando se va a comprar, instalar y poner en marcha una máquina o proceso.

Los objetivos de este pilar son:

- Aumentar la eficiencia del desarrollo de nuevos productos y de inversiones de equipo.
- Reducir los tiempos de aplicación de nuevos cambios tecnológicos.
- Lograr arranques verticales.

El pilar de control inicial consta de cuatro pasos que son:

El paso 1: investigar y analizar la situación existente, pretende tomar experiencias pasadas e identificar los puntos problemas, para ello, se utiliza un gráfico de flujo de trabajo actual, luego, se plantean posibles soluciones.

El paso 2: establecer un sistema de gestión temprana, con la información encontrada en el paso 1, se crea un nuevo sistema, para ello, se investiga y esquematiza la estructura básica del sistema de gestión temprana requerido. De igual manera se crea un sistema de información para acumular información acerca de los puntos débiles de los diseños de equipos, procesos o desarrollos, para ser utilizados en el futuro.

El paso 3: depurar el nuevo sistema y facilitar formación, el nuevo sistema se coloca en práctica por medio de diversos proyectos modelo y se evalúa el grado de comprensión del personal, la eficiencia con la que se usan las técnicas, la eficiencia de las retroalimentaciones, estos permiten modificar el sistema y sus estándares o documentos.

El paso 4: aplicar el nuevo sistema ampliando su radio de acción, en este paso se optimiza el Costo del Ciclo de Vida y se estudian cada uno de los indicadores establecidos para mejorar las condiciones del sistema.

3.6. Programa de higiene y ambiente

Siguiendo el enfoque del TPM es necesario abordar el tema de seguridad e higiene y reducción de daños al ambiente. Los procesos de soldadura pueden ser muy dañinos para el usuario y para el ambiente sino se toman las medidas adecuadas en el manejo de peligros y desechos producidos por los trabajos de soldadura.

Los trabajos de soldadura son en extremo peligrosos y es importante orientar a los estudiantes a trabajar aplicando las normas de seguridad. Los soldadores deben tener presente todos los riesgos que implica la soldadura. Los peligros a los que un soldador está expuesto son descargas eléctricas, inhalar vapores y gases de soldadura, trabajos que pueden dañar articulaciones, tendones y tejidos del cuerpo, emisión de luz ultravioleta e infrarroja, ruido, altas temperaturas, objetos cortantes, gases comprimidos, el desorden, combustibles gaseosos y combustibles líquidos. El estudiante debe tener un amplio conocimiento de los peligros ya mencionados y tener la capacidad de neutralizarlos para evitar daños.

El cuerpo humano es muy vulnerable a los peligros de soldadura lo cual da como resultado que los trabajos de soldadura sean de alto riesgo. Hay un estudio completo efectuado por la OSHA sobre peligros de la soldadura, el cual se encuentra publicado en internet con el nombre de programa de seguridad sobre peligros de la soldadura donde se mencionan los padecimientos del soldador, los cuales van desde una fiebre breve hasta la muerte del soldador. Por estas razones es imperativo que los soldadores trabajen en un espacio bien diseñado para la soldadura y utilicen el equipo de protección personal apropiado.

El equipo de protección personal que nunca debe faltar en los talleres donde se trabajan procesos de soldadura es: polainas, guantes de soldador, careta con su respectivo filtro de luz, el cual se elige con base al tipo de electrodo que se requiera soldar o según el proceso de soldadura, también es adecuado utilizar lentes oscuros especiales para soldadura, mascarillas, ropa resistente al calor, zapatos punta de acero con suela aislante, protección auditiva, lentes claros, máscara y gorros resistentes a las chispas de soldadura.

El área de trabajo debe estar limpia y ordenada, de esta manera se reduce el riesgo de accidentes y se eleva la moral de los soldadores y en este caso permitirá que los estudiantes trabajen con mayor eficiencia y en un ambiente seguro.

Tomando en cuenta que el área de soldadura está dedicada al adiestramiento, esta debe estar equipada de cabinas especiales que eviten que la luz y humos generados por la soldadura se escapen (consultar tesis 08 T(602)MI). Esta medida evitará la contaminación del ambiente del área de trabajo y como consecuencia menos padecimientos por exposición a los rayos UV y por la inhalación de humos tóxicos.

Los trabajos de soldadura no sólo son dañinos para el soldador sino también tiene efectos nocivos sobre el ambiente. El principal problema ambiental derivado de las tareas de soldadura y corte de metales es la emisión de contaminantes a la atmósfera. Se producen humos metálicos de cadmio, cobre, zinc, plomo, etcétera y gases que pueden contener dióxido de carbono, monóxido de carbono, ozono, acroleína, fosgeno, cloruros, fluoruros, óxidos alcalinos, vapores nitrosos. Incluso se producen escapes de gases empleados en los procesos de Soldadura entre los que se pueden mencionar el acetileno, argón, CO₂ y helio.

Otros contaminantes producidos son:

- Residuos urbanos: restos de alimentos, papel y cartón, latas, botellas de vidrio, plásticos, otros envases, trapos y ropa.

- Residuos industriales inertes: restos de metales como chapas de acero suave, aluminio y latón. Restos de tubos metálicos de acero suave, cobre y bronce. Restos de varillas de acero suave, latón, restos de electrodos, virutas metálicas, herramientas viejas, cristales de gafas y pantallas protectoras.
- Residuos peligrosos: partículas y polvos metálicos, filtros de campanas de extracción, aerosoles, fluorescentes, pilas.
- Ruido.

Efectos sobre el ambiente:

En el desarrollo de la actividad se contribuye a distintos problemas ambientales, en la forma que a continuación se indica:

- Agotamiento de recursos:
 - Usando energía eléctrica procedente de centrales de combustión de carbón o gas natural.
 - No aprovechando al máximo los materiales.
 - No reutilizando los restos de chapas y tubos.
- Contaminación de la atmósfera:
 - Con los humos y gases desprendidos en la soldadura.
 - Con los escapes de gases empleados en los procesos (acetileno, argón, CO₂).
 - Con el ozono desprendido en el oxicorte.

- Reducción de la capa de ozono:
 - Utilizando aerosoles con CFC
 - Con el uso de desengrasantes con CFC
 - Empleando extintores con halones

- Contaminación del agua:
 - Con las partículas metálicas de los humos que llegan al agua
 - Con las aguas sucias de la limpieza de las instalaciones

- Residuos:
 - No cambiando los filtros de los sistemas de extracción con la frecuencia necesaria para que cumplan su función.
 - No separando los distintos residuos según sus requisitos de gestión.
 - Adquiriendo productos con un embalaje excesivo.

Buenas prácticas ambientales en los trabajos de soldadura.

Con el fin de obtener menos impacto negativo sobre el ambiente y realizar una gestión correcta de los residuos se deben seguir estas recomendaciones:

- Emplear materiales y productos con certificaciones que garanticen una gestión ambiental adecuada (materiales extraídos con el mínimo impacto negativo, etcétera).
- Evitar, en lo posible, soldar materiales impregnados con sustancias que produzcan emisiones tóxicas o peligrosas.

- Desarrollar prácticas respetuosas con el medio de ahorro de materiales y energía.
- Reducir la producción de emisiones y residuos.
- Gestionar los residuos de manera que se evite el daño ambiental.
- Adquirir equipos y maquinaria que tengan los efectos menos negativos para el medio (sistemas de captación de humos y de ventilación eficaces, con bajo consumo de energía, baja emisión de humos y ruido, etcétera).
- Elegir herramientas y útiles más duraderos y con menos consumo, en su elaboración, de recursos no renovables y energía. Adquirir extintores sin halones (gases destructores de la capa de ozono).
- Estar informado para evitar el empleo innecesario de materiales que puedan transmitir elementos tóxicos o contaminantes a la atmósfera.
- Elegir, en lo posible, materiales y productos ecológicos con certificaciones que garanticen una gestión ambiental adecuada.
- Emplear, preferentemente, materiales exentos de emanaciones nocivas, duraderos, transpirables, resistentes a las variaciones de temperatura, fácilmente reparables, obtenidos con materias renovables, reciclados y reciclables.
- Evitar aerosoles con CFC y sustituirlos por pulverizadores y materiales plásticos (ejemplo, pantallas protectoras) con PVC.
- Comprar evitando el exceso de envoltorios y en envases de un tamaño que permita reducir la producción de residuos de envases.
- Conocer los símbolos de peligrosidad y toxicidad.
- Comprobar que los productos están correctamente etiquetados, con instrucciones claras de manejo.

- Elegir, en lo posible, los productos entre los menos agresivos con el medio (cera antiadherente en lugar de silicona, materiales base con la mínima cantidad de recubrimiento, metales de aportación que generen emisiones y residuos menos peligrosos; detergentes biodegradables, sin fosfatos ni cloro, limpiadores no corrosivo, etcétera).
- Garantizar que los elementos almacenados puedan ser identificados correctamente.
- Minimizar el tiempo de almacenamiento gestionando los *stocks* de manera que se evite la producción de residuos.
- Observar estrictamente los requisitos de almacenamiento de cada materia o producto.
- Evitar la caducidad de productos.
- Evitar la mala utilización y el derroche.
- Aprovechar al máximo las materias.
- Separar los residuos y acondicionar un contenedor para depositar cada tipo de residuo.
- Buscar la idoneidad también desde el punto de vista ambiental y, en su caso, valorar la posibilidad de sustitución.
- Optimizar el corte de chapas para reducir al mínimo los recortes.
- Tener en funcionamiento la maquinaria el tiempo imprescindible reducirá la emisión de ruido y contaminantes atmosféricos.
- Reutilizar, en lo posible, materiales y componentes y también los envases.
- Ahorrar energía durante el desarrollo del trabajo aprovechando al máximo la luz natural, usando aparatos de bajo consumo, colocando temporizadores, empleando luminarias de máxima eficiencia energética (las de carcasa metálica son preferibles a las plásticas y los reflectores mejores que los difusores), lámparas de bajo consumo y larga duración.

- Promover soluciones que propicien la reducción del consumo energético.
 - Reutilizar materiales y componentes y también los envases.
 - Separar los residuos y acondicionar un contenedor para depositar cada tipo de residuo.
 - Realizar revisiones regulares de los equipos y maquinaria para optimizar el consumo de energía y minimizar la emisión de humos y gases y los escapes.
 - Limpiar periódicamente las lámparas y luminarias para optimizar la iluminación.
 - Verificar que no haya fugas de agua y gases en los sistemas de alimentación de las máquinas de soldadura.
 - Adquiriendo productos que contengan materiales reciclados (ejemplo, gafas protectoras de materiales plásticos reciclados).
 - Utilizando elementos (ejemplo, pulverizadores) que posean una elevada aptitud para ser reciclados.
 - Reciclar la chatarra.
 - Rechazando los elementos que se transforman en residuos tóxicos o peligrosos al final de su uso como los aerosoles con CFC.
 - Con un manejo de los residuos que evite daños ambientales y a la salud de las personas.
 - Informándose de las características de los residuos y de los requisitos para su correcta gestión.
 - Humos y gases: aplicando las técnicas más adecuadas para evitar emisiones innecesariamente contaminantes, empleando adecuadamente los equipos y los filtros instalados para captarlas.
- Ruido: reducir estas emisiones empleando maquinaria y utensilios menos ruidosos y manteniendo desconectados los equipos cuando no se estén utilizando.

3.7. Programa de mantenimiento administrativo

Debido a la influencia que tienen los procesos administrativos sobre la eficiencia de los procesos productivos es indispensable verificar que los procesos administrativos se desarrollen de una forma adecuada.

Una forma de hacer el trabajo de oficina con mayor eficiencia es mediante la implementación de las 5 S. El método de trabajo de las 5 S Se refiere al mejoramiento continuo del ambiente de trabajo y su principal enfoque se basa en el orden y la limpieza de las cosas y en el respeto a las políticas y disciplinas de cada organización.

El primer paso es clasificar; separar lo que es necesario de lo que no lo es y tirar lo que es inútil.

¿Cómo?

- Haciendo inventarios de las cosas útiles en el área de trabajo.
- Desechando las cosas inútiles siguiendo los procedimientos establecidos para dar de baja las cosas que no son necesarias.

Después de la clasificación se obtendrá más espacio en la oficina y mejor control de los inventarios.

El segundo paso es la organización de las cosas que se clasificaron como útiles. La forma de hacerlo es ubicar los elementos necesarios en sitios donde se puedan encontrar fácilmente para su uso y nuevamente retornarlos al correspondiente sitio.

Es necesario ubicarlos por la frecuencia de uso. Los beneficios de la organización son: la ubicación de materiales y documentos se hace de forma rápida, mejora el control visual de las carpetas y la eliminación de la pérdida de tiempo de acceso a la información, mejora la imagen del área de trabajo y da la impresión de que las cosas se hacen bien.

El tercer paso en la implementación de las 5 S es el orden y la limpieza. El proceso de implementación se debe apoyar en un programa de entrenamiento y suministro de los elementos necesarios para su realización, como también del tiempo requerido para su ejecución.

El cuarto paso es la estandarización. El orden es la esencia de la estandarización, un sitio de trabajo debe estar completamente ordenado antes de aplicar cualquier tipo de estandarización. La estandarización significa crear un modo consistente de realización de tareas y procedimientos, se trata de estabilizar el funcionamiento de todas las reglas definidas en las etapas precedentes, con un mejoramiento y una evolución de la limpieza, ratificando todo lo que se ha realizado y aprobado anteriormente, con lo cual se hace un balance de esta etapa y se obtiene una reflexión acerca de los elementos encontrados para darle una solución. Con la estandarización se obtendrá guardar el conocimiento producido, mejorar el bienestar del personal al crear un hábito de conservar impecable el sitio de trabajo en forma permanente.

El último y quinto paso es la disciplina. La práctica de la disciplina pretende lograr el hábito de respetar y utilizar correctamente los procedimientos, estándares y controles previamente desarrollados. En lo que se refiere a la implantación de las 5 S, la disciplina es importante porque sin ella, la implantación de las primeras 4 S se deteriora rápidamente.

Además, de implementar las 5 S en las áreas administrativas también se deben verificar los procesos de gestión de insumos y optimizar el tiempo que requieren dichos procesos. Los pilares del TPM deben tener información del área administrativa para planificar con base a la realidad de la institución con el fin de trabajar como un solo sistema.

3.8. Indicadores de eficiencia de los equipos

Es importante calcular y registrar la efectividad de las máquinas de soldadura con el fin de orientar las acciones del TPM durante su introducción y desarrollo. El indicador de efectividad sugerido por el TPM es el indicador de efectividad global de los equipos (EGE). El EGE muestra las pérdidas reales de los equipos medida en tiempo, permite conocer la eficiencia de las máquinas y ayudan a saber cuándo es conveniente hacer un trabajo de mantenimiento o si es necesario remplazar por una nueva máquina.

El EGE se define como el producto de tres factores como se indica a continuación:

$$\text{EGE} = \text{Disponibilidad} \times \text{Eficiencia en el desempeño} \times \text{calidad}$$

El primer paso para calcular el EGE de las máquinas de soldadura es identificarlas por un código para facilitar la documentación y el control; para las máquinas de soldadura para electrodo revestido se sugiere el código BC-K-300A-Y1, el BC-K-300A indica el modelo, la Y la inicial de la marca de la máquina y el número 1 indica que es la máquina uno de cinco que existen de este tipo; para las máquinas TIG se sugiere el código Z-250-TIG-1 y para las máquinas MIG el código 250FX-MIG-1, igual que las máquinas para electrodo revestido las códigos de las máquinas TIG y MIG indican el modelo, tipo de soldadora y número de máquina. En la tabla IX se muestran todos los códigos sugeridos para los equipos de soldadura en el módulo 8 (Taller Metal Mecánica).

Tabla IX. **Códigos para las máquinas de soldadura del Taller Metal Mecánica**

No	CÓDIGO	SIGNIFICADO	DESCRIPCIÓN
1	BC-K-300A-Y1	Modelo BC-K-300A, marca Yamato, máquina # 1	Máquina de soldadura para electrodo revestido, corriente alterna, NEMA clase II
2	BC-K-300A-Y2	Modelo: BC-K-300A, marca: <i>Yamato</i> , máquina # 2	Máquina de soldadura para electrodo revestido, corriente alterna, NEMA clase II
3	BC-K-300A-Y3	Modelo: BC-K-300A, marca: <i>Yamato</i> , máquina # 3	Máquina de soldadura para electrodo revestido, corriente alterna, NEMA clase II
4	BC-K-300A-Y4	Modelo: BC-K-300A, marca: <i>Yamato</i> , máquina # 4	Máquina de soldadura para electrodo revestido, corriente alterna, NEMA clase II
5	BC-K-300A-Y5	Modelo: BC-K-300A, marca: <i>Yamato</i> , máquina # 5	Máquina de soldadura para electrodo revestido, corriente alterna, NEMA clase II
6	250FX-MIG-1	Modelo: CO2-250FX, marca: <i>Synergic 254</i> , máquina #1	Máquina de soldadura para electrodo continuo y gas, corriente alterna, NEMA clase II
7	250FX-MIG-2	Modelo: CO2-250FX, marca: <i>Synergic 254</i> , máquina #2	Máquina de soldadura para electrodo continuo y gas, corriente alterna, NEMA clase II

Continuación de tabla IX.

8	250FX-MIG-3	Modelo: CO2-250FX, marca: <i>Synergic</i> 254, máquina # 3	Máquina de soldadura para electrodo continuo y gas, corriente alterna, NEMA clase II
9	Z-250-TIG-1	Modelo: Z-250 AC/DC, marca: <i>Inverter</i> , máquina # 1	Máquina de soldadura para electrodo de Tungsteno y gas, corriente alterna, NEMA clase II
10	Z-250-TIG-2	Modelo: Z-250 AC/DC, marca: <i>Inverter</i> , máquina # 2	Máquina de soldadura para electrodo de Tungsteno y gas, corriente alterna, NEMA clase II
11	Z-250-TIG-3	Modelo: Z-250 AC/DC, marca: <i>Inverter</i> , máquina # 3	Máquina de soldadura para electrodo de Tungsteno y gas, corriente alterna, NEMA clase II

Fuente: elaboración propia.

Disponibilidad

La disponibilidad es un factor que muestra la pérdida de tiempo productivo por paradas. La disponibilidad resulta de dividir el tiempo que la máquina ha estado produciendo (tiempo de operación: TO) entre el tiempo que la máquina podría haber estado produciendo. El tiempo que la máquina podría haber estado produciendo (tiempo planificado de producción: TPO) es el tiempo total menos los períodos en los que no estaba planificado producir por razones legales, festivos, almuerzos, mantenimientos programados, etcétera, lo que se denominan paradas planificadas.

$$\text{Disponibilidad} = (\text{TO} / \text{TPO}) \times 100$$

Donde:

TPO = tiempo total de trabajo - tiempo de paradas planificadas

TO = TPO - paradas y/o averías

La disponibilidad es un valor entre 0 y 1 por lo que se suele expresar en porcentaje. Un valor de 0,7 de disponibilidad se interpreta que la máquina se está utilizando el 70 % del tiempo que se debería utilizar, es decir, se está perdiendo el 30 % del tiempo productivo. La pérdida de disponibilidad abarca dos de las seis grandes pérdidas de producción. El EGE para el presente programa de mantenimiento se ha adaptado porque las máquinas no son utilizadas para producción sino para enseñanza.

Para determinar el TO se deben observar las pérdidas de tiempo durante el TPO, la tabla X proporciona información que ayuda a enfocarse en las pérdidas de disponibilidad más probables.

Tabla X. **Pérdidas de disponibilidad**

Pérdida	Categoría de la pérdida EGE	Ejemplo de eventos	Observaciones
Avería	Pérdida por parada	Pinza porta-electrodo y pinza de tierra dañada.	Mala colocación del electrodo puede producir cortocircuitos que dañen las mordazas de sujeción de la pinza o daños por fatiga en partes móviles de las pinzas.
Avería	Pérdida por parada	Falla el sistema de selección de amperaje.	Por falta de mantenimiento del tornillo que permite la selección pueden ocurrir atascamientos.

Continuación de tabla X.

Avería	Pérdida por parada	Fusibles fundidos.	Cortocircuito o fusible de muy poca capacidad con relación a la requerida.
Avería	Pérdida por parada	Cables de pinzas de tierra y porta-electrodo rotos o quemados.	Cuando los cables entran en contacto con piezas caliente o se atascan en piezas con filos pueden dañarse. El exceso de amperaje también ocasiona daños a los cables.
Avería	Pérdida por parada	Ventilador averiado.	Regularmente el ventilador falla antes del final de la vida útil de la máquina, cuando esto ocurre hay una pérdida al efectuar la reparación.
Configuración/ajustes	Pérdida por parada	Soldar con distintos tamaños de electrodo.	Se pierde tiempo seleccionando amperaje.

Fuente: elaboración propia.

Desempeño

El desempeño es el segundo factor que constituye al EGE, para determinar dicho factor en una máquina se hace mediante el cálculo del ciclo de trabajo, se debe tener precaución al determinar el ciclo de trabajo porque este cambia según el amperaje que se esté utilizando, consultar la sección 2.1.1.5 del presente trabajo de graduación para no cometer errores.

El factor eficiencia en el desempeño se define como:

$$\text{Desempeño} = \frac{(\text{Tiempo de operación neto} - \text{Tiempo perdido}) \times 100}{\text{Tiempo de operación neto}}$$

El tiempo de operación neto se calcula con la fórmula presentada en la sección 2.1.1.5, como ya se mencionó, el ciclo de trabajo puede variar según los valores de corriente que se utilicen para soldar pero según el análisis hecho en el capítulo dos las máquinas de soldadura pueden ser operadas continuamente, es decir, el 100 % del tiempo total de trabajo (TPO).

El tiempo perdido se daría sólo cuando la máquina de soldadura tenga que parar porque se detecta sobrecalentamiento y obligue a detener la máquina, lo que significa que el ciclo de trabajo teórico ha disminuido, es decir, hay pérdida de rendimiento.

Calidad

La calidad de la soldadura se ve afectada por el mal funcionamiento de la máquina y la falta de competencia del soldador; para el presente análisis sólo tomará defectos de calidad producidos por la máquina ya que estas están siendo utilizadas para adiestramiento y no para producción.

Las discontinuidades o defectos producidos por el mal funcionamiento de las máquinas de soldadura son las porosidades, salpicaduras excesivas y falta de fusión en los cordones de soldadura. Las razón de salpicaduras excesivas es un cortocircuito en la bobina (consultar tabla VII), la interrupción del arco de soldadura puede producir defectos como porosidad y falta de fusión, dicha interrupción del arco de soldadura suele ocurrir cuando la bobina primaria o secundaria están en cortocircuito o los rectificadores están sucios (consultar tabla VII), también podría obtenerse franjas de soldadura de mala calidad por inestabilidad en el arco de soldadura debido a que el fluido de gas es reducido por el mal funcionamiento de la bombas de gas o reguladores dañados, esto sólo ocurre en las máquinas de soldadura MIG y TIG.

El factor calidad se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Calidad} = \frac{(\text{No. de piezas producidas} - \text{Rechazos}) \times 100}{\text{No. de piezas producidas}}$$

A continuación se presenta el cálculo del EGE al que están operando los equipos de soldadura del módulo de Metal Mecánica durante el primer semestre del 2013.

EGE de la máquina de soldadura BC-K-300A-Y1

Antes de determinar el EGE se calcularán los tres factores que lo componen por separado, la información que se presenta se obtuvo de la entrevista realizada al Ingeniero Francisco Paredes, actual coordinador del módulo 8.

Cálculo de disponibilidad

Datos:

El semestre en análisis es del 15 de enero al 15 de mayo

Total de horas disponibles por día= 8 horas

Total de horas disponibles por semestre = 8 horas x 30 x 4 = 960 horas

Tiempo de receso por día = 30 minutos = 0,5 horas

Tiempo de receso por semestre (TR) = 0,5 horas x 30 x 4 = 60 horas

Tiempo para almorzar por día= 1 hora

Tiempo para almorzar por semestre (TA) = 1 hora x 30 x 4 = 120 horas

Tiempo para clase teórica por día = 1 hora

Tiempo para dar clase teórica por semestre (TC) = 1 hora x 30 x 4 = 120 horas

Tiempo de preparación de herramienta y piezas a soldar (TP) por día = 30 min
= 0,5 h

TP por semestre = 0,5 h x 30 x 4 = 60 h

TPO = total de horas disponibles – TR – TA – TC – TP

TPO = 960 h – 60 h – 120h – 120 h – 60 h = 600 horas

TO = TPO - Paradas y/o Averías = 600 h – 0 h = 600 h

Disponibilidad = (TO / TPO) x 100

$$\text{Disponibilidad} = (600 \text{ h} / 600 \text{ h}) \times 100 = 100 \%$$

Cálculo del desempeño

Datos:

Tiempo de operación neto = TPO = 600 horas (recordar que según diagnóstico efectuado en el capítulo dos las máquinas pueden operar de manera continua si la rutina de trabajo no cambia).

Tiempo perdido = 0 horas (éste tiempo equivale a reducción de velocidad de producción, no pérdida por averías en las máquinas).

$$\text{Desempeño} = \frac{(\text{Tiempo de operación neto} - \text{Tiempo perdido}) \times 100}{\text{Tiempo de operación neto}}$$

$$\text{Desempeño} = ((600 \text{ h} - 0 \text{ h}) / 600 \text{ h}) \times 100 = 100 \%$$

Cálculo de calidad

Datos:

Número de electrodos consumidos por día = 60

Número de electrodos por semestre: $60 \times 30 \times 4 = 7\,200$

Número de franjas de soldadura con defecto = 0

$$\text{Calidad} = \frac{(\text{No. de piezas producidas} - \text{Rechazos}) \times 100}{\text{No. de piezas producidas}}$$

$$\text{Calidad} = ((7\,200 - 0) / 7\,200) \times 100 = 100 \%$$

Entonces,

$$\text{EGE} = \text{Disponibilidad} \times \text{Eficiencia en el desempeño} \times \text{calidad}$$

$$\text{EGE} = (1 \times 1 \times 1) \times 100 = 100\%$$

Conclusión: la máquina de soldadura BC-K-300A-Y1 está en perfecto estado de funcionamiento y no presenta ninguna avería que afecte la disponibilidad, el desempeño de la máquina y la calidad de las franjas de soldadura. En cuanto a mantenimiento sólo es necesario el mantenimiento preventivo que se propone en la sección 3.3.1.

Las otras cuatro máquinas de soldadura para electrodo revestido se encuentran en las mismas condiciones de funcionamiento que la BC-K-300A-Y1 por tal razón se omite los cálculos.

Aunque los equipos de soldadura para electrodo revestido han soportado la carga de trabajo de manera eficiente debido a su diseño robusto, es necesario adquirir nuevas máquinas de este tipo porque según lo observado la cantidad de máquinas no son suficientes para atender a todos los alumnos, específicamente cuando se imparten los laboratorios para alumnos de ingeniería.

El análisis anterior no se ha aplicado a las máquinas de soldadura MIG y TIG porque al efectuar el cálculo del EGE se obtendría un resultado errado, ya que no hay pérdidas por avería o por reducción de velocidad porque los equipos no se utilizan o se utilizan muy poco, esto es porque la mayor cantidad de prácticas de laboratorio han sido diseñadas para ser realizadas con las máquinas de soldadura para electrodo revestido; debido a lo planteado anteriormente las máquinas de soldadura MIG y TIG están subutilizadas por lo que se sugiere un rediseño de las prácticas de laboratorio con el fin de aprovechar el recurso disponible. Sin embargo, es necesario dar mantenimiento preventivo a dichas máquinas porque también pueden dañarse por estar en desuso.

4. IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL

La implementación del TPM es un trabajo arduo que se debe iniciar con mucho empeño. La fase de implementación puede tomar años ya que es un cambio de cultura de trabajo. Los retos durante la implementación son grandes por lo que desde el principio debe introducirse adecuadamente y prever inconvenientes tal como resistencia al cambio, desmotivación al no ver resultados inmediatos y presupuesto insuficiente.

El TPM se ha adaptado para las máquinas de soldadura del módulo 8, esto facilita la implementación porque es menor el trabajo y menor el personal que se debe coordinar.

4.1. Presentación del Programa de Mantenimiento Productivo Total

Antes de la presentación del TPM es necesario que un grupo de directivos se capacite y adquiera competencias para introducir adecuadamente la nueva forma de trabajo. La comisión que reciba la capacitación deberá estar formada por personal permanente, dado que el proceso de implementación durará un período aproximado de 2 años.

El grupo que reciba la capacitación será el encargado de presentar el programa al resto del personal que tendrá participación en este. Se debe empezar por convencer a todos los empleados de la necesidad existente de implementar el TPM y de los beneficios que se obtendrán.

Es conveniente implementar el TPM a través de pequeños grupos. Cada grupo tendrá un líder el cual será miembro de otro grupo de un nivel más elevado. También la alta dirección (Consejo Directivo) constituye en sí misma un pequeño grupo.

4.2. Implantación de coordinación y comunicación entre Dirección, Comité Directivo, Coordinación administrativa y Coordinación del Taller Metal Mecánica

Los grupos deben tener una estrecha relación, mantener una comunicación abierta y de doble vía, es decir, dirección debe proporcionar información pertinente al Comité del TPM y a los pilares, y, los pilares deben informar de los planes, proyecciones, avances y funcionamiento de los pilares, esto para mantener funcionando adecuadamente del TPM. La información que deben trasladar los equipos es: proyecciones de insumos o equipos auxiliares que se sepa que fallarán por el fin de su vida útil, trabajos realizados de mejoras a los equipos de soldadura, mantenimiento, número de accidentes o incidentes ocurridos y aún la forma como se controla la limpieza dentro del área de soldadura debe informarse al comité directivo del TPM y a dirección del establecimiento.

El comité directivo del TPM debe revisar los informes de cada grupo en forma periódica para verificar que el programa esté funcionando adecuadamente o hacer correcciones si fuera necesario.

4.3. Formación de equipos de trabajo y asignación de responsabilidades

Regularmente se debe establecer una oficina de implementación del TPM que se responsabilice de desarrollar y promover estrategias eficaces para el entrenamiento y seguimiento; aunque por la dimensiones de este programa no es necesario.

El TPM requiere que se forme un comité directivo. Por las características de la institución el comité directivo del TPM se sugiere que lo integre el coordinador administrativo, coordinador de mantenimiento del edificio y coordinador del Taller Metal Mecánica. Las funciones del comité directivo de TPM incluyen tareas como preparar el plan maestro, coordinar su promoción, crear procedimientos para mantener las diversas actividades de TPM por el camino previsto, dirigir campañas sobre temas específicos, diseminar información, organizar la publicidad, coordinar el entrenamiento y controlar el funcionamiento de cada uno de los pilares.

Inicialmente no requerirá personal dedicado tiempo completo ni una oficina específica del TPM, pero si el programa se extiende alcanzando todas las áreas de la institución se requerirá una oficina y personal de tiempo completo. Es necesario formar un equipo de mantenimiento autónomo, mantenimiento enfocado y mantenimiento planificado. Debido que la cantidad de máquinas de soldadura es pequeña, el equipo de mantenimiento autónomo lo puede tener a cargo una o dos personas que se sugiere que sea un empleado encargado de la limpieza del módulo 8 y es recomendable contratar un técnico mecánico eléctrico que posea más destrezas en reparación y mantenimiento de equipos como apoyo del pilar de mantenimiento autónomo.

Los pilares de mantenimiento enfocado y mantenimiento planificado se sugiere que queden integrados por el Instructor-Ingeniero encargado de las máquinas, el técnico mecánico eléctrico y los alumnos estos últimos son los que tienen contacto directo con las máquinas.

Las responsabilidades de cada pilar de mantenimiento es realizar cada actividad propuestas en el capítulo 3 e informar al Comité Directivo del TPM de todas las acciones que se hayan implementado y del buen o mal funcionamiento del equipo.

4.4. Programa de capacitación

El entrenamiento o capacitación se debe iniciar con el equipo de mantenimiento autónomo que son los encargados de la limpieza de los equipos de soldadura. Se debe prever que durante esta actividad no se dañen los equipos de soldadura por desconocimiento de los mismos.

En el presente trabajo de graduación no se presenta un programa detallado de capacitación y entrenamiento debido a que es más viable contratar consultoría externa para desarrollar los temas que se recomiendan a continuación.

4.4.1. Filosofía TPM

La capacitación sobre lo relacionado a la filosofía de trabajo del TPM la deben recibir el comité directivo del TPM; este se encargará de presentar el programa al resto de la institución por medio de metodologías que ellos estipulen.

4.4.2. Mecánica básica

La mecánica básica es el conocimiento de la herramienta que se utiliza en determinadas actividades industriales. Las personas que tengan a cargo el mantenimiento de las soldadoras es necesario que estén entrenadas en el uso de herramientas y en los trabajos de mecánica de banco (cortes, roscado, limado, trazo, etcétera).

Los participantes para esta capacitación y las que se describen en la sección 4.4.3 y 4.4.4 son: el personal de mantenimiento del edificio y alumnos que se involucren en el mantenimiento de las máquinas de soldadura. Los alumnos se deben involucrar en el mantenimiento son los alumnos de las carreras de Técnico en Procesos de Manufactura y Técnico en Metal Mecánica. El involucramiento será de gran beneficio ya que durante el proceso podrán adquirir conocimientos importantes que le servirán en el desarrollo de sus carreras ya como profesionales.

Este entrenamiento es posible que se imparta en la misma institución utilizando los recursos internos de esta debido que los contenidos del entrenamiento coinciden con los contenidos de los laboratorios que se imparten en el Taller Metal Mecánica. Si se decide por esta opción, los costos por ésta capacitación y entrenamiento serían menores que al contratar capacitadores externos ya que sólo se invertiría en materiales; los costos por pago de capacitadores sería completamente anulado.

4.4.3. Máquinas de soldadura

Esta capacitación es de las más importantes ya que por desconocimientos de los componentes de las soldadoras se puede causar graves daños, esto puede provocar la pérdida parcial o total de las máquinas; incluso esto podría ocurrir durante se efectúa la limpieza del interior de las soldadoras.

Es necesario que las capacitaciones no sean sólo fase teórica sino debe incluir prácticas que les permitan a los participantes tener contacto directo con las soldadoras y conocer sus componentes. El entrenamiento se puede aprovechar para dar el mantenimiento inicial a las soldadoras.

La capacitación debe incluir adiestramiento en los distintos procesos de soldadura, esto ayudará a evitar dar diagnósticos errados, por ejemplo, determinando que un equipo esta defectuoso cuando el problema es que no se conoce la máquina ni el proceso.

4.4.4. Electricidad básica sobre equipos de soldadura

Con relación al tema de electricidad los alumnos y personal de mantenimiento del edificio; son los que integran el pilar de mantenimiento autónomo; deben conocer las diferentes formas de realizar una conexión eléctrica, tener conocimientos básicos sobre circuitos electrónicos, voltajes, corriente eléctrica, conductores eléctricos, empalmes eléctricos y protección eléctrica. Los temas de capacitación y adiestramiento deben elegirse buscando que los soldadores desarrollen dichas capacidades.

4.5. Implantar estándares de mantenimiento

Después de implementado los distintos programas de mantenimiento autónomo y mantenimiento planificado, evaluado y mejorado por lo menos una vez el sistema, se debe establecer normas y estándares que se deberán seguir para que el programa TPM sea de larga duración.

4.6. Mantenimiento subcontratado (*outsourcing*)

La metodología del TPM fue diseñada y elaborada pensando en empresas de alta producción. Gracias a la adaptabilidad del TPM se ha utilizado en otro tipo de empresas. En este caso se ha adaptado al centro educativo ITUGS el cual cuenta con una variedad de máquinas. Tener personal de planta para dar mantenimiento a todos estos equipos resultaría demasiado costoso debido a que se estaría subutilizando dicho personal, aunque si es recomendable que se contrate un técnico mecánico eléctrico con experiencia para dar apoyo a los diferentes coordinadores de los talleres.

El mantenimiento correctivo de todas las máquinas soldadoras del ITUGS siempre se debe realizar por personal subcontratado con el fin de reducir los costos. Hay varios centros de servicio en Guatemala para reparación de máquinas de soldadura, aunque es recomendable abocarse con la empresa proveedora, estas regularmente tienen centro de reparación y mantenimiento.

El mantenimiento preventivo y predictivo se debe hacer con el personal que integra el equipo de mantenimiento autónomo, dado que, en su momento tendrán la capacidad de realizarlo.

4.7. Controles del programa del Mantenimiento Productivo Total

Una hoja de control sirve para llevar información sobre la maquinaria o equipo de la empresas, así como, de los trabajos realizados en las mismas, dicha información interesa al departamento de mantenimiento para establecer si se están cumpliendo con los objetivos trazados y en caso contrario determinar medidas correctivas. En el TPM dicha información sobre el mantenimiento y el rendimiento del equipo debe llegar hasta el consejo directivo que es la máxima autoridad del ITUGS.

4.7.1. Controles del coordinador del Área de Metal Mecánica

El coordinador del área debe llevar un control por escrito del rendimiento y servicios de mantenimiento de las soldadoras, además debe documentar accidentes ocurridos y la aplicación del programa 5 S.

El informe de rendimiento de las máquinas se debe preparar tomando en cuenta el E.G.E. que se describe en la sección 3.8; es apropiado que se presente mensualmente durante el período de implementación. Las máquinas soldadoras deben ser sometidas a un análisis mensual para verificar que su funcionamiento sea óptimo y documentar la frecuencia de las variaciones de funcionamiento. Los resultados obtenidos serán parte del informe mencionado. Para efectuar el análisis de rendimiento se debe seguir los lineamientos del mantenimiento enfocado descritos en la sección 3.2.

Los formatos de los controles mencionados se muestran en los apéndices 1, 2, 3 y 4.

4.7.2. Controles de la coordinación de mantenimiento

La figura coordinador de mantenimiento o un departamento de mantenimiento no existe en el ITUGS, pero existe una coordinación encargada del mantenimiento de las instalaciones y debe pertenecer al comité directivo del TPM, debe controlar y estar informada de todas las actividades de mantenimiento realizadas a las máquinas; debe llevar un control escrito por equipo, realizar revisiones periódicas con el fin de obtener máquinas que funcionen adecuadamente, que permitan alcanzar los objetivos institucionales.

4.7.3. Diseño de solicitud de trabajos de mantenimiento *outsourcing*

El ITUGS cuenta con un formato para solicitud de materiales reparaciones, y mantenimiento de las instalaciones del ITUGS. En este caso es conveniente su uso por la funcionalidad y adecuación a los propósitos del TPM.

4.7.4. Diseño de historial de mantenimiento de equipos

Con el fin de facilitar el mantenimiento futuro de las máquinas de soldadura es conveniente mantener un registro del mantenimiento, la documentación de las fallas y soluciones; lo cual permite en caso de que se repita, resolverlo con mayor rapidez y deducir los métodos de prevención necesarios para evitar que vuelva a suceder.

Datos que contiene un historial:

- Datos generales: nombre del equipo, marca, serie, modelo, representante, capacidad de diseño, observaciones generales, imagen del equipo.

- Componentes principales: por facilidad dividimos el equipo en componentes eléctricos, mecánicos, etcétera.
- Historia: anotación de fallas, trabajos, modificaciones, etcétera. anotando fecha, falla o trabajo, solución, si es correctivo o preventivo, tiempo, herramientas utilizadas y encargado.

En el apéndice 5 se muestran el formato de las fichas donde se llevará el control mencionado.

4.7.5. Diseño de requisición de repuestos y materiales

El ITUGS cuenta con un formato para solicitud de materiales repuestos. En este caso es conveniente utilizar dicho formato por la funcionalidad y que se adecúa a los propósitos del TPM.

4.8. Creación de inventarios de herramienta, insumos y repuestos para el mantenimiento preventivo y correctivo

La cantidad de herramienta que se requiere para el mantenimiento no es grande, si es necesario tener sumo cuidado que no falten ya que un equipo puede quedar fuera de funcionamiento tan sólo por la falta de un equipo auxiliar que no se haya podido instalar. Igual los insumos y algunos repuestos siempre deben haber en existencia, de lo contrario producirán pérdidas durante el proceso.

Las herramientas, insumos y repuestos necesarios para el mantenimiento preventivo y autónomo de los equipos de soldadura son:

- Destornilladores de cruz y de punta plana.
- Alicates (mínimo dos).
- Llaves de cola y corona de 8 mm y 10 mm.
- Multímetro.
- Cinta de aislamiento eléctrico.
- Cepillo de alambre, lima y segueta.
- Grasa para uso general.
- Terminales eléctricas.
- Cables eléctricos (ver hoja de especificaciones de la máquina de soldadura) comprar sólo cuando se requiera hacer reparaciones.
- Equipo de protección personal.
- Fusibles (consultar especificaciones).
- Pinzas para tierra.
- Portaelectrodo.
- Compresor de aire.
- Aspiradora.

4.9. Creación de banco de datos de empresas de servicio de reparación de equipos de soldadura

Previendo que los equipos pueden fallar porque algunos de los equipos auxiliares alcancen el límite de su vida útil, se debe tener un banco de datos de empresas que proporcionen servicio de mantenimiento para las máquinas de soldadura.

Las empresas que se describe a continuación son de las más reconocidas en el campo de mantenimiento de máquinas de soldadura a nivel industrial.

- Servicios Industriales: empresa con certificación Miller ubicada en segunda avenida B 1-86 pasaje Monte Bello zona 5 Villa Nueva, Teléfono: 58949558, correo electrónico arroyolink@gmail.com.
- Madisa: centro de servicio autorizado por productos del aire para reparaciones y asistencia técnicas de máquinas de soldadura. Ubicación: 41 Calle 6-27 Zona 8 Teléfono: 24210400, correo electrónico: info@productosdelaire.com

4.10. Asignación de recursos al Mantenimiento Productivo Total

La implementación y funcionamiento adecuado del TPM requiere de ciertos recursos económicos, físicos y humanos para lograr cambios realmente significativos. Para iniciar la implementación será necesario designar presupuesto para capacitar al personal que esté involucrado en el proceso. Debido que los equipos son relativamente nuevos la inversión que requieren para ponerlos a funcionar de manera óptima no es significativa. Los gastos por compra de herramienta e insumos es necesario tomarlos en cuenta ya que sin ellos no es posible poner en marcha la implementación de los distintos pilares del TPM. El recurso más importante para el buen funcionamiento del programa de mantenimiento es el tiempo que se asigne a los empleados para desarrollar labores de TPM.

4.11. Costos y beneficios por implementación del TPM

La propuesta de implementación del TPM es muy conservadora ya que sólo alcanza un pequeño sector del Instituto Tecnológico; los costos de implementación son relativamente bajos. Sin embargo, se requerirá mucho esfuerzo y fuerza de voluntad para impulsar dicha propuesta más que inversión económica. La filosofía de trabajo que se propone, más que inversiones cuantiosas, requiere buena disposición de querer hacer las cosas bien desde la primera vez, trabajando arduo en busca de la meta de cero averías en las máquinas de soldadura.

Los costos más significativos que se deben tomar para la implementación del TPM son:

Costo por mano de obra: es el tiempo expresado en quetzales que se empleará en realizar trabajos del TPM. Para este cálculo se debe considerar a todos los integrantes del comité coordinador del TPM y personal de mantenimiento. En la tabla XI se efectúa un desglose de dichos rubros.

Tabla XI. **Inversión de tiempo y dinero en capacitación**

ACTIVIDAD	Tiempo comité coordinador (horas)	Inversión (Quetzales) en dos personas.	Tiempo empleado por personal de mantenimiento (horas)	Inversión (quetzales) 2 personas
Capacitación filosofía TPM	40	4 842,00	–	–
Capacitación mecánica de banco	–	–	40	720,00
Capacitación, mantenimiento máquinas de soldadura	40	4 842,00	40	720,00
Capacitación, electricidad básica	40	4 842,00	40	720,00
Inducción a la filosofía TPM	40	4 842,00	40	720,00
Costos totales		19 360,00		2 880,00

Fuente: elaboración propia.

- Costos por adiestramiento y capacitación: es un costo eventual, tendrá importancia al inicio del programa de mantenimiento y cuando haya necesidad de adiestramiento de un nuevo integrante del equipo de mantenimiento. El costo por capacitación es posible convertirlo en costo de mano de obra si el capacitador es un catedrático-ingeniero que labore para la Universidad de San Carlos de Guatemala y posea las competencias necesarias para realizar el trabajo de adiestramiento y capacitación.

Tabla XII. **Inversión por capacitación**

Capacitaciones	Costo
Filosofía TPM	Q38 500,00 (Precio para 2 personas, incluye viáticos y valor del curso ciudad de México)
Mecánica de banco	Q4 000,00 (Incluye materiales y diploma, cuota única para un máximo de 15 personas)
Mantenimiento de máquinas de soldadura	Q4 000,00 (Incluye materiales y diploma, cuota única para un máximo de 15 personas)
Electricidad básica con enfoque a máquinas de soldadura	Q4 000,00 (Incluye materiales y diploma, cuota única para un máximo de 15 personas)
Total	Q50 500,00

Fuente: elaboración propia.

- Costos por compra de equipo, herramienta e insumos para efectuar cada una de las actividades del TPM. Un costo que en casos particulares es alto es el costo de recuperación de máquinas dañadas, en este caso no es significativo debido a que las máquinas tienen poco tiempo de uso y están en buenas condiciones.

Tabla XIII. **Inversión en herramienta y maquinaria**

Cantidad	Descripción	Costo (quetzales)
2	Destornilladores planos y Philips	41,00
2	Alicates	105,00
2	Llaves cola corona de 8 mm y 10 mm	27,00
1	Multímetro	200,00
2	Cepillos de alambre	16,00
2	Lima	67,00
1	Compresor de baja presión, tensión 115 V.	1 500,00
1	Segueta	49,00
1	Par de guantes tipo eléctricos	65,00
1	Lentes claros	20,00
1	Aspiradora Profesional Master 2.65, Potencia máxima de 2800 W, tensión de 127 V, dos motores monofásicos, tanque en acero inoxidable, capacidad del tanque de 65 l	4 410,00
		6 500,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Inversión en insumos y accesorios para un período de 2 años**

Cantidad	Insumos y accesorios	Costo (Quetzales)
4 libras	Grasa multiuso	100,00
10	Pinzas portaelectrodo	824,00
10	Pinzas de tierra	425,00
	Total	1 349,00

Fuente: elaboración propia.

Nota: los costos presentados son válidos para el 2013, de implementar la propuesta fuera del período establecido se tendrá que considerar el aumento o reducción de precios.

El costo total por implementación de programa del TPM es de Q80 589,00 el cual podría considerarse alto si solamente se relaciona con los beneficios de tener en buenas condiciones 11 máquinas de soldadura pero al considerar todos los beneficios que dicha implementación proporcionará, la inversión obtiene sentido. A continuación se mencionan los beneficios reales al implementar el TPM.

Beneficios

Al implementar el TPM se obtendrá los siguientes beneficios:

- Contar con personal capacitado en una filosofía nueva de trabajo que por décadas ha generado buenos resultados en la mejora de la calidad y la productividad.
- Posibilidad de implementar la filosofía de trabajo TPM en toda la Universidad de San Carlos de Guatemala y proyectar dicha filosofía a todo el sector empresarial guatemalteco.
- Disponibilidad: disponibilidad de las soldadoras se conservará ya que en la actualidad se tiene 100% de disponibilidad. Esto se traduce que la inversión será recuperada a través de utilizar las máquinas de soldadura durante toda la vida útil de los equipos de soldadura. También se reducirá costos al no reemplazar las máquinas con mucha frecuencia.
- Desempeño: las máquinas funcionaran con el mínimo de paros.
- Calidad: menos pérdidas de insumos por entrega de tareas en mal estado debido a un mal funcionamiento de las máquinas de soldadura.

- Aumentando confiabilidad: otro factor a considerar es el MTBF o sea el tiempo promedio entre fallas. Es un ahorro en costos de mantenimiento no planeado.
- Efectos positivos: cuesta trabajo medir el valor de una moral mejorada entre el personal de la empresa, mejoramiento de las relaciones entre Departamentos, así como, la satisfacción de tener un equipo y áreas de trabajo que se ven mejor y funcionan mejor; pero definitivamente significa un beneficio para la institución.

5. SEGUIMIENTO DEL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL

Una vez implementado el TPM es necesario llevar un control y evaluación continua de su funcionamiento y realizar ajustes o acciones correctivas. El programa propuesto tiene características flexibles que permite mejorarlo y adaptarlo. Los ajustes y mejoras al programa evitara que se deteriore o que fracase y quede relegado.

5.1. Evaluación del Programa de Mantenimiento Productivo Total

La evaluación del programa mantenimiento se refiere al conjunto de acciones que permiten identificar y analizar las desviaciones de los resultados obtenidos con relación a los esperados.

La evaluación tiene un carácter dinámico y continuo que permite orientar la gestión de mantenimiento y definir alternativas de mejora técnica y optimizar costos.

La evaluación y control se realiza en cuatro etapas: captura de los datos necesarios y cálculo de los indicadores, comparación de los resultados *versus* las metas, análisis de las desviaciones y acciones correctivas.

5.1.1. Implantación de indicadores de eficiencia de las máquinas de soldar

En la sección 3.8 se presentó un indicador de efectividad global de los equipos (EGE), para determinarlo es necesario mantener en observación continua las máquinas que estén siendo analizadas. Dado que las máquinas ya llevan tres años de funcionamiento, el período de observación recomendable para las máquinas de soldadura puede ser mensual, en caso de que se detecten muchos problemas de funcionamiento de las máquinas, el período de observación podría reducirse hasta una semana.

Es importante mantener un registro de EGE, servirá para establecer estándares tales como el tiempo entre cada revisión de mantenimiento, también con base en este indicador se tomará la decisión de cambiar las máquinas, aumentar o disminuir el número de máquinas soldadoras en el módulo lo cual también permitirá optimizar el espacio de trabajo.

Es posible mostrar por medio del EGE la reducción de pérdidas y la reducción de costos. El cálculo y registro del EGE debe estar a cargo del encargado de la maquinaria del módulo 8 y los resultados deben ser analizados por el comité directivo del TPM. Los resultados deben llegar hasta el Consejo Directivo que es el nivel jerárquico más elevado. Los resultados se deben presentar en el formato propuesto en el apéndice 1 del presente trabajo.

5.1.2. Monitoreo de los equipos de trabajo

En esta etapa se obtiene información para evaluar el trabajo de los distintos pilares implantados, el monitoreo se debe realizar con el objetivo de fiscalizar, verificar los avances, dar apoyo y reorientar las acciones de modo que se alcancen los objetivos establecidos. Es importante que el monitoreo lo efectúe personal de dirección y debe realizarse con base en una planificación bien estructurada.

Una parte indispensable en el monitoreo es la obtención de la información. Existe gran variedad de técnicas e instrumentos de recopilación de información. Su elección depende del objeto del estudio y de las posibilidades de obtener información confiable.

A continuación, se señala las técnicas de recopilación de información más utilizadas:

- Guía de monitoreo y evaluación

Consiste en la revisión de todo elemento que consigne información respecto a una actividad programada en los planes, por ejemplo, bases de datos, resoluciones, estadísticas, registro de actividades, documentos elaborados, informe, etcétera.

- Observación

Consiste en elaborar una guía de observación que permita la recolección y sistematización objetiva de ciertas actividades prioritarias o críticas, para la identificación de problemas.

- Encuestas y entrevistas

Son instrumentos de rápida aplicación y centrados en puntos específicos.

5.1.3. Evaluación de conocimientos de mantenimiento de equipos de soldadura

Es oportuno determinar qué conocimientos poseen los integrantes de los distintos pilares sobre equipos de soldadura y su mantenimiento, no como una tarea única sino como una evaluación periódica. El grado de conocimiento que se tenga sobre las máquinas de soldar determina la calidad de mantenimiento que se aplica a estos. El olvido de los procedimientos de mantenimiento y de la correcta manipulación de las máquinas de soldadura puede producir resultados no deseados y daños irremediables a dichas máquinas.

La evaluación de las competencias de los integrantes del TPM puede ser cada seis meses y se debe realizar en la modalidad teórico-práctico. Se debe llevar un registro de las evaluaciones que servirán para analizar y determinar si el personal requiere capacitación, el propósito de la evaluación es detectar debilidades para posteriormente fortalecer las áreas débiles.

5.1.4. Ajustes al Programa de Mantenimiento Productivo Total

Los resultados obtenidos en el proceso de monitoreo y evaluación del TPM deben ser discutidos en debate crítico con la finalidad de encontrar respuestas colectivas a las dificultades y desviaciones que presente el programa. En esta etapa se puede utilizar la metodología del pilar de mejoras enfocadas.

Los ajustes que se pueden dar son: aumento o reducción de presupuesto, asignación de más horas de trabajos para realizar actividades del TPM, asignación de espacio para oficina del TPM debido a la ampliación del programa, etcétera.

5.1.4.1. Capacitación para nuevos integrantes de los equipos

El remplazo de empleados es un punto que no hay que obviar en el desarrollo del TPM, también se debe pensar que el equipo de trabajo aumente debido a la ampliación del programa a otras áreas de la institución; en cada uno de los casos los nuevos integrantes deberán tener la inducción adecuada para asegurar que desde el inicio adopten la cultura de trabajo del TPM.

Es importante que desde la inserción de un nuevo integrante al equipo, se desarrolle un plan de capacitación con base a un diagnóstico de habilidades que posea el nuevo miembro y así elegir los temas de capacitación.

5.1.4.2. Capacitación sobre nuevas máquinas de soldar

La tecnología de la soldadura esta en continuo crecimiento y el ITUGS, para alcanzar sus objetivos, tendrá que adquirir nuevas máquinas de soldadura que ofrezcan mejores características en rendimiento y calidad. En este punto es necesario elaborar un plan de capacitación que permita conocer el funcionamiento y forma de mantenimiento del nuevo equipo de soldar.

5.1.4.3. Actualización de programas de capacitación

Las capacitaciones y adiestramientos deben realizarse siguiendo un plan previamente determinado por el comité directivo del TPM. El plan de capacitación debe ser adaptable debido a que la tecnología de la soldadura está en continuo cambio y se debe tener en cuenta que las formas de hacer las cosas hoy, no necesariamente funcionarán en el futuro, indudablemente hay que innovar y analizar qué métodos y procedimientos serán los adecuados aplicar en su momento.

5.1.5. Cronograma de reuniones del equipo de Mantenimiento Productivo Total

Es necesario se realicen reuniones periódicas para analizar los atrasos y avances del TPM y para reflexionar sobre soluciones a los inconvenientes que vayan surgiendo durante su desarrollo.

Las reuniones de trabajo se pueden organizar según los niveles y orden de importancia de la siguiente forma:

- Reuniones de director ITUGS y Consejo Directivo

Inmediatamente después de tomar la decisión de implantar el TPM, el Consejo directivo y el director del ITUGS debe realizar la primera reunión para formar el comité directivo del TPM. A partir de la primera reunión, el director deberá informar mensualmente los avances de la implementación.

- Reuniones de comité directivo del TPM y director del ITUGS.

El comité del TPM o un representante de este deben presentar informe al Director del ITUGS del desarrollo del programa, esta reunión es aconsejable realizarla mensualmente.

- Reuniones del comité directivo y los pilares del TPM

Estas se deben realizar semanalmente durante el periodo de implementación, posteriormente se podrían realizar con menor frecuencia. El propósito de estas reuniones es para programar actividades concretas que permitirán el funcionamiento del TPM.

CONCLUSIONES

1. Los equipos de soldadura utilizados para impartir los cursos de Metal Mecánica y Procesos de Manufactura son de alto rendimiento, lo que permite que se utilicen de forma continua sin riesgo de sobre carga.
2. El área destinada a las máquinas de soldadura es inapropiada debido a la incomodidad que se produce cuando hay dos o más estudiantes trabajando simultáneamente; además es insegura, porque los usuarios están expuestos a rayos ultra violeta y humos tóxicos por la falta de cabinas de protección y el mal diseño del sistema de extracción de gases de soldadura.
3. El conjunto de rutinas programadas, estándares y controles establecidos garantiza el perfecto funcionamiento del pilar de Mantenimiento Planificado que se considera el más importante de los pilares del TPM.
4. El TPM es una filosofía de trabajo que se ha adaptado al Instituto Tecnológico Universitario Guatemala sur con el fin de reducir pérdidas de eficiencia en los equipos y obtener cero averías y cero accidentes. Un adecuado lanzamiento y coordinación de los pilares; la eficiente comunicación, disciplina y orden; las capacitaciones continuas son indispensables para la implementación y el buen funcionamiento del Programa de Mantenimiento Productivo Total.

5. El TPM es una estrategia de reducción eliminación de averías y reduce el riesgo de accidentes o enfermedades laborales, esto se traduce en reducción de costos de operación y mantenimiento; principalmente en el mantenimiento correctivo y el remplazo de equipos por averías debido a un mal mantenimiento.

6. La capacitación es base fundamental para el buen funcionamiento del TPM, la capacitación de cada integrante del programa de mantenimiento garantiza el éxito de este, permite realizar cada actividad de manera eficiente, minimizar errores por desconocimiento de los procedimientos y permite optimizar la vida útil de las máquinas de soldadura.

7. La falta de registros de mantenimientos no permitió establecer la frecuencia de fallas y averías en los equipos de soldadura, pero a través de entrevistas y observación se determinó que los equipos de soldadura presentan averías menores en equipos auxiliares aproximadamente cada seis meses.

RECOMENDACIONES

1. Es de vital importancia mejorar la distribución de las máquinas de soldadura y la seguridad del lugar donde se ubican, la fabricación de las cabinas de soldadura es la opción para mejorar dichas deficiencias y contribuirá a obtener un ambiente con menos riesgo.
2. Implementar el TPM a todas las áreas del ITUGS para mantener el mismo nivel de eficiencia en todos los equipos que se utilizan en dicha institución.
3. Crear un Departamento de Mantenimiento de Maquinaria y equipos o como mínimo crear un puesto que tenga como función el mantenimiento de toda la maquinaria del ITUGS, el perfil que se sugiere es el de un técnico mecánico-eléctrico con tres años de experiencia mínima.
4. Al aumentar el programa de mantenimiento a todas las áreas del ITUGS es adecuado utilizar un sistema computarizado de mantenimiento, actualmente existen varias opciones de *software* para mantenimiento, pero el más popular por la eficiencia en la gestión de mantenimiento y por costo es el *Software MP*.
5. Establecer el TPM como temática del pensum de estudio de las carreras de Técnico en Metal Mecánica y Técnico en Procesos de Manufactura.

6. Evaluar al personal del TPM continuamente para diagnosticar las debilidades y corregirlas por medio de capacitaciones o por apoyo del equipo.
7. Realizar ajustes al Programa Mantenimiento Productivo Total según las necesidades que surjan en la institución debido a nuevas políticas que se implanten.
8. Integrar el comité Directivo del TPM por el coordinador Administrativo, el coordinador del Taller Metal Mecánica y el director del ITUGS.
9. Dar más participación a los estudiantes en el pilar de mantenimiento enfocado, esto permitirá mejorar las máquinas y los procesos de soldadura. Además, se obtendrá un aprendizaje significativo.

BIBLIOGRAFÍA

1. ÁLVAREZ MALDONADO, Erick Jony. *Implementación del mantenimiento productivo total, para incrementar la productividad y efectividad global de equipos en una planta industrial de alimentos*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2001. 83 p.
2. DÍAZ QUIÑÓNEZ, Jerónimo. *Diseño de un programa de mantenimiento predictivo para motores eléctricos con base en monitoreo de temperatura y vibración*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 138 p.
3. ESTEBAN GIRÓN, Esaú Juventino. *Propuesta de implementación de un mantenimiento productivo total para el mejoramiento de la calidad y productividad en la línea número dos de envasado de aceite ideal*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2004. 229 p.
4. HERMAN LÓPEZ, Herberth Rodolfo. *Diseño e implementación del mantenimiento productivo total (TPM) en el departamento de mantenimiento, Foremost Dairies de Guatemala, S.A.* Trabajo de graduación de Ing. Mecánico Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2006. 144 p.

5. HOWARD B. Cary. *Manual de soldadura moderna*. 2a ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, 1992. 317 p. ISBN 968-880-247-6. Tomo II.
6. JURADO GODOY, Oscar Ernesto. *Diseño de un plan de mantenimiento productivo total para una máquina empacadora de cereales*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 205 p.
7. RODRÍGUEZ PALMA, Otto Adolfo. *Diseño de un programa de mantenimiento productivo total en una línea de llenado de colonias en una fábrica de cosméticos*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2005. 186 p.
8. R.L. O' Brien. *Manual de soldadura American Welding Society*. 8a ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, 1996. 327 p. ISBN 968-880-767-2. Tomo I.
9. VALLE MÉRIDA, Oscar Roberto. *Implementación del programa TPM (mantenimiento productivo total) en la industria guatemalteca, mediante el análisis y desarrollo de los principios básicos*. Trabajo de graduación de Ing. Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009. 165 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. Formato para informe del EGE de las máquinas de soldadura

			MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL PILAR DE MANTENIMIENTO ENFOCADO INFORME DE EGE		
INFORME NO.		DEPARTAMENTO:		FECHA:	
MÁQUINA:		MARCA:		CÓDIGO:	
UBICACIÓN:					
DISPONIBILIDAD:					
CAUSAS DE PÉRDIDA DE DISPONIBILIDAD:					
DESEMPEÑO:					
CAUSAS DE PÉRDIDA DE DESMPENÑO:					
CALIDAD:					
CAUSA DE PÉRDIDA DE CALIDA:					
EGE :					
CONCLUSIÓN:					
RECOMENDACIONES:					
NOMBRE DEL ANALISTA:					

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Formato de informe de accidentes o incidentes**

		<p>MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL PILAR DE HIGIENE Y SEGURIDAD INFORME DE ACCIDENTES</p>		
		INFORME	NO.	SEMANA DE:
UBICACIÓN:		SECCIÓN:		
No.	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES:		
	EJECUTADO POR:			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Formato de orden de trabajo**

		<p>MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL</p> <p>PILAR DE MANTENIMIENTO PLANIFICADO</p> <p>ORDEN DE TRABAJO</p>		
		NÚMERO DE ORDEN:	ÁREA :	FECHA:
MÁQUINA:		MARCA:		CÓDIGO:
MATENIMIENTO:	Preventivo:		Correctivo:	
PROBLEMA:	Mecánico:	Eléctrico:	Electrónico:	Otros
FECHA DE INICIO:	HORA:	FECHA DE FINALIZACIÓN:	HORA:	
TIEMPO ASIGNADO:		TIEMPO UTILIZADO:		
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO				
COSTO DEL MANTENIMIENTO				
MANO DE OBRA		REPUESTOS		
TOTAL	HRS.	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	COSTO TOTAL
REALIZADO POR:				
OBSERVACIONES:				

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Formato para historial de mantenimiento de máquinas de soldadura**

		MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL PILAR DE MANTENIMIENTO PLANIFICADO HISTORIAL DE MANTENIMIENTO DE MÁQUINAS						
		ÁREA :			PERIODO:			
MÁQUINA:			MARCA:		CÓDIGO:			
FECHA:	TIPO DE FALLAS			TIPO DE MTTO			DESCRIPCIÓN DE FALLAS Y SOLUCIÓN	TIEMPO REQUERIDO EN HRS.
A= MECÁNICO B = ELECTRICO C = ELECTRONICO						1 = MANTENIMIENTO PREVENTIVO 2 = MANTENIMIENTO AUTÓNOMO 3 = MANTENIMIENTO CORRECTIVO		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Formato de Hoja de Seguimiento del Pilar de
Mantenimiento Autónomo**

		
<p>MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL</p> <p>MANTENIMIENTO ADMINISTRATIVO</p> <p>HOJA DE SEGUIMIENTO MANTENIMIENTO AUTÓNOMO</p>		
INFORME NO.	PREPARADO POR:	FECHA:
PARTICIPANTES:		
RESULTADOS ESPERADOS		
ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LAS ACTIVIDADES	
Informa de las desviaciones de funcionamiento		
Definición de estándares de limpieza de instalaciones		
Avances en la aplicación del programa 5 S.		
Definición de estándares de limpieza, lubricación y aprietes de las máquinas de soldadura		
Supervisión autónoma hecha por el coordinador del Módulo 8.		
Eliminación de daños menores.		
Presenta requerimientos de insumos.		
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS:		
LECCIONES APRENDIDAS E IMPLICACIONES PARA EL SIGUIENTE PERIODO:		

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 7. **Formato de Hoja de Seguimiento del Pilar de
Mantenimiento Enfocado**

		MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL	
		MANTENIMIENTO ADMINISTRATIVO	
		HOJA DE SEGUIMIENTO MANTENIMIENTO ENFOCADO	
INFORME NO.	PREPARADO POR:	FECHA:	
PARTICIPANTES:			
RESULTADOS ESPERADOS			
ACTIVIDADES		DESCRIPCIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LAS ACTIVIDADES	
Informa de problemas encontrados en las máquinas.			
Informa de mejoras realizadas.			
presenta proyección de insumos requeridos y presenta planes de acción			
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS:			
LECCIONES APRENDIDAS E IMPLICACIONES PARA EL SIGUIENTE PERIODO:			
RESULTADOS QUE SE ESPERAN PARA LA SIGUIENTE EVALUACIÓN:			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 8. **Formato de Hoja de Seguimiento del Pilar Seguridad e Higiene y Ambiente**

			<p>MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL</p> <p>MANTENIMIENTO ADMINISTRATIVO</p> <p>HOJA DE SEGUIMIENTO PARA</p> <p>PILAR DE SEGURIDAD E HIGIENE Y</p> <p>AMBIENTE</p>
INFORME NO.	PREPARADO POR:	FECHA:	
PARTICIPANTES:			
RESULTADOS ESPERADOS			
ACTIVIDADES	DESCRIPCIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LAS ACTIVIDADES		
Planifica el control de desechos			
controla e informa de la calidad del aire dentro del módulo			
Presenta informe del recambio de filtros de aire del área de soldadura.			
Reporta los accidentes incidentes ocurridos durante las prácticas de laboratorio.			
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS:			
LECCIONES APRENDIDAS E IMPLICACIONES PARA EL SIGUIENTE PERIODO:			
RESULTADOS QUE SE ESPERAN PARA LA SIGUIENTE EVALUACIÓN:			

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 9. **Formato de Hoja de Seguimiento del Pilar de
Mantenimiento Planificado**

			<p>MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL</p> <p>MANTENIMIENTO ADMINISTRATIVO</p> <p>HOJA DE SEGUIMIENTO PARA</p> <p>MANTENIMIENTO PLANIFICADO</p>
INFORME NO.	PREPARADO POR:	FECHA:	
PARTICIPANTES:			
RESULTADOS ESPERADOS			
ACTIVIDADES		DESCRIPCIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE LAS ACTIVIDADES	
Presenta proyecciones de repuestos e insumos según planificación de mantenimiento.			
Presenta planes de mantenimiento preventivo, predictivo.			
Presenta proyecciones de cambio de máquinas o aumento del número de máquinas.			
Informa de reparaciones efectuadas e historial de fallas.			
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS:			
LECCIONES APRENDIDAS E IMPLICACIONES PARA EL SIGUIENTE PERIODO:			
RESULTADOS QUE SE ESPERAN PARA LA SIGUIENTE EVALUACIÓN:			

Fuente: elaboración propia.