

Diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo Basado en la Metodología
RCM para una Electrosoldadora de Malla.

David Ricardo Marín Ardila

Trabajo de Grado para Optar al Título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director: Daniel Ortiz

Magister en Gerencia de Mantenimiento

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicomecánicas

Escuela de Ingeniería Mecánica

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Bogotá

2022

Dedicatoria

Este logro deseo dedicarlo a Dios, a mis padres NANCY ARDILA y RAUL MARIN, a mi abuela MARTHA BALLESTEROS, a mis hermanos MATEO y SANTIAGO MARIN y a mi esposa ALEJANDRA CHAVARRO quienes son seres muy importantes para mí y me han apoyado dura este proceso. Sin el amor, el apoyo y la confianza de ustedes este logro no hubiera sido posible.

Agradecimientos

Todos los agradecimientos los dedico a Dios, a la vida, a toda mi familia y allegados quienes aportan de forma positiva a mi crecimiento personal y profesional. Gracias al ingeniero Juan Pablo Barreto por su tiempo y colaboración, gracias al ingeniero Daniel Ortiz por su guía y acompañamiento durante el desarrollo de este importante logro.

Tabla de Contenido

Glosario.....	14
Resumen.....	16
ABSTRACT.....	17
Introducción	20
1. Objetivos.....	22
1.1. Objetivo General.....	22
1.2. Objetivos Específicos.....	22
2. Marco Teórico.....	23
2.1. Gestión Integral del Mantenimiento	23
2.1.1. Mantenimiento Preventivo.....	24
2.1.2. Mantenimiento Correctivo	25
2.1.3. Mantenimiento Predictivo.....	26
2.1.4. Mantenimiento Cero Horas (Over-haul).....	27
2.1.5. Mantenimiento en Primario	27
2.2. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM.....	28
2.2.1. Primera Generación.....	29
2.2.2. Segunda Generación	29
2.2.3. Tercera Generación.....	30
2.3. Metodología RCM	32
2.3.1. Funciones	34
2.3.1.1. Funciones Primarias.....	34
2.3.1.2. Funciones Secundarias.....	34

2.3.2.	Fallas Funcionales.....	35
2.3.3.	Modos de Falla.....	36
2.3.4.	Clasificación de los modos de falla.	37
2.3.4.1.	Reducción de la capacidad.....	37
2.3.4.2.	Aumento del funcionamiento deseado.....	37
2.3.4.3.	Incapacidad Inicial.....	38
2.3.5.	Nivel de Detalle.	38
2.4.	Análisis de Consecuencias y de Riesgos.	39
2.4.1.	Fuentes de información acerca de modos y efectos.....	40
2.5.	Tareas, Frecuencias y Recursos	40
2.6.	Aplicación del proceso RCM.....	42
2.6.1.	Planear.....	42
2.6.2.	Grupos de Revisión.....	42
2.6.2.1.	Facilitadores.....	43
2.7.	Resultados del análisis de RCM.	44
2.7.1.	Auditoría e implementación.....	44
2.8.	Logros al Aplicar la Metodología RCM	45
2.8.1.	Mayor Seguridad e Integridad Ambiental.....	45
2.8.2.	Mejora en la Producción (Resultados, Calidad del Producto y Servicio al Cliente). 45	
2.8.3.	Aumento en la Confiabilidad de la Instalación.....	45
2.8.4.	Disminución en Costos de Mantenimiento.	46
2.8.5.	Aumento del Conocimiento en el Recurso Humano.....	46
2.8.6.	La no Dependencia de los Fabricantes.....	46

3.	Descripción de la Empresa.....	47
3.1.	Cultura Organizacional.	47
3.2.	Misión.	47
3.3.	Visión.....	48
3.4.	Política integral.	48
3.5.	Productos ofrecidos por la empresa.	49
4.	Justificación del Problema	50
4.1.	Antecedentes.	50
4.2.	Formulación del Problema.....	50
4.3.	Justificación.	51
5.	Estado Actual de la Gestión de Mantenimiento.....	52
5.1.	Equipo de Trabajo Actual.	53
6.	Electrosoldadora Schlatter MG208.....	56
6.1.	Descripción del Equipo.....	56
6.2.	Descripción del Proceso.....	57
6.3.	Sistemas de la Electrosoldadora.....	60
6.3.1.	Sistema Eléctrico.	62
6.3.1.1.	Tablero Eléctrico.....	62
6.3.1.2.	Cableado de Fuerza.....	64
6.3.1.3.	Transformadores.	64
6.3.1.4.	Servomotor.....	65
6.3.2.	Sistema de Control	66
6.3.2.1.	Fuentes.	67

6.3.2.2.	Modulo.....	68
6.3.2.3.	PLC.....	68
6.3.2.4.	Pantalla.....	69
6.3.3.	Sistema Refrigeración.....	70
6.3.3.1.	Motobomba.....	71
6.3.3.2.	Torre de enfriamiento.	72
6.3.4.	Sistema Neumático:	73
6.3.4.1.	Manifold.....	74
6.3.4.2.	Actuadores.	75
6.3.4.3.	Unidades de mantenimiento.....	76
6.3.5.	Sistema mecánico carro de posicionamiento.	76
7.	Desarrollo de la Metodología.....	78
7.1.	Fronteras y Funciones de los Sistemas identificados.....	78
7.2.	Fallas funcionales.....	80
7.2.1.	Fallas Funcionales Sistema Eléctrico.....	80
7.2.2.	Fallas Funcionales Sistema de Control.....	81
7.2.3.	Fallas Funcionales Sistema de Refrigeración.	83
7.2.4.	Fallas Funcionales Sistema de Neumático.....	84
7.2.5.	Fallas Funcionales Sistema de Mecánico.	85
7.3.	Modos de Falla.....	85
7.4.	Análisis de los Modos y Efectos de Falla.	86
7.5.	Análisis de Riesgo.....	86
7.6.	Descripción de Tareas.....	87

Plan Mantenimiento Preventivo RCM-Electrosoldadora	8
Conclusiones	88
Bibliografía	89

Lista de Tablas

Tabla 1.	60
<i>Sistemas de la Electrosoldadora.</i>	60
Tabla 2.	78
<i>Funciones y Fronteras de los Sistemas de estudio.</i>	78
Tabla 3.	80
<i>Descripción Fallas Funcionales Sistema Eléctrico.</i>	80
Tabla 4.	81
<i>Descripción Fallas Funcionales Sistema Eléctrico.</i>	81
Tabla 5.	83
<i>Descripción Fallas Funcionales Sistema Refrigeración.</i>	83
Tabla 6.	84
<i>Descripción Fallas Funcionales Sistema Neumático.</i>	84
Tabla 7.	85
<i>Descripción Fallas Funcionales Sistema Mecánico.</i>	85

Lista de Figuras

Figura 1.	31
Generaciones del Mantenimiento	31
Figura 2.	43
Grupos Revisión RCM.....	43
Figura 3.	49
Representación de algunos productos de la organización.....	49
Figura 4.	53
Organigrama de Mantenimiento.	53
Figura 5.	54
Diagrama Ejecución de Actividades Preventivas.	54
Figura 6.	55
Diagrama ejecución de actividades correctivas.	55
Figura 7.	57
Electrosoldadora Schlatter MG208.....	57
Figura 8.	58
Proceso de la MG208.....	58
Figura 9.	59
Flujo de trabajo MG208.....	59
Figura 10.	62
Diagrama básico sistema eléctrico.....	62
Figura 11.	63

Plan Mantenimiento Preventivo RCM-Electrosoldadora	11
Tablero Eléctrico.....	63
Figura 12.	64
Gabinete de transformadores para electrosoldado.	64
Figura 13.	65
Transformador de Mando.	65
Figura 14.	66
Servomotor.....	66
Figura 15.	66
Sistema de Control.....	66
Figura 16.	67
Fuentes Eléctricas Sistema de Control.....	67
Figura 17.	68
Modulo soldadora Mg208.....	68
Figura 18.	69
PLC Siemens S7 300.	69
Figura 19.	70
Pantalla LCD.....	70
Figura 20.	70
Diagrama Básico Sistema de Control.	70
Figura 21.	71
Motobombas	71
Figura 22.	72
Torre de Enfriamiento.....	72

Plan Mantenimiento Preventivo RCM-Electrosoldadora	12
Figura 23.	73
Sistema Neumático	73
Figura 24.	74
Manifold.....	74
Figura 25.	75
Actuadores neumáticos.	75
Figura 26.	76
Unidades de Mantenimiento	76
Figura 27.	77
Sistema Mecánico carro de posicionamiento.....	77
Figura 28.	86
Matriz de Riesgos	86

Lista de Apéndices

Apéndice A. Contenido del trabajo de grado.....

Apéndice B.....

“Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS”

Glosario

Análisis de modos de falla (AMEF): según la NTP 679, es un método en el cual se identifican puntos de fallos potenciales que pueda presentar una estructura tangible, para así elaborar planes de acción para manejar los riesgos de manera prioritaria con el fin de mantener la supervisión y prevención de los mismos.

Contexto operacional: es el conjunto de estados existentes en los cuales opera un sistema (Moubray, 1991-1997).

Disponibilidad: de acuerdo a la norma UNE-EN 13306:2028 es la capacidad de un elemento de encontrarse en un estado para desarrollar una función requeridas bajo ciertas condiciones en un momento o intervalo de tiempo dado.

Efecto de la falla: Moubray indica que un efecto de falla sucede cuando un modo de falla ocurre, teniendo como uno de los objetivos establecer si el mantenimiento proactivo es necesario.

Equipo: activo para el uso en procesos de producción y/o suministro de bienes y/o servicios de una organización.

Falla oculta: Moubray en su libro indica que es un defecto que no se hará notable en estado normal para los operarios.

Funciones Según la norma IEC 60300-3-11 función es “acción normal característica de un ítem”.

Inspección: una inspección en términos de mantenimiento es el proceso de evaluación del estado de los equipos o maquinas. El propósito de una inspección, es determinar que herramienta,

materiales y mano de obra se necesitan para mantenerlos en buenas condiciones de funcionamiento, tomado de Upkeep.com.

Malla electrosoldada: es un sistema matriz, el cual es formado por barras o alambres en acero en direcciones longitudinales y transversales, donde sus puntos de unión se encuentran soldados formando ángulos resistentes para uso en construcciones dando un firme sostenimiento a diferentes cimentaciones, (esta definición es suministrada por la empresa de estudio).

Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM): según la norma IEC 60300 es un método para establecer el plan de mantenimiento el cual permitirá alcanzar en forma eficiente y efectiva los requerimientos de seguridad y los niveles de disponibilidad de los equipos e instalaciones, dirigido al mejoramiento de la seguridad global, la disponibilidad y la economía de la operación.

Modo de falla: son eventos razonablemente posibles que pueden haber causado cada estado de falla, según la contextualización de Moubray en su libro.

Tarea preventiva: son las acciones que ayuda a evitar fallos en un equipo antes que estos ocurran.

Resumen

Título: Diseño de un Plan de Mantenimiento Preventivo Basado en la Metodología del RCM para una Electrosoldadora de Malla *

Autor: David Ricardo Marín Ardila **

Palabras Clave: mantenimiento, funciones, RCM, confiabilidad, electrosoldadora, plan de mantenimiento.

Descripción:

El desarrollo de esta monografía pretende diseñar un plan de actividades de mantenimiento preventivo buscando tener impacto positivo sobre el actual plan y el proceder del área de mantenimiento sobre las actividades que a ellos competen en la ELECTROSOLDADORA. Lo anterior basados en la metodología del RCM o mantenimiento centrado en confiabilidad.

Iniciando con un análisis del funcionamiento actual del equipo que permita identificar los sistemas que lo componen y sus funciones requeridas durante el proceso, información obtenida en visitas a planta y lo narrado por personal de la compañía que ha intervenido el equipo en su operación y mantenimiento. Posterior a esto se listan los modos de falla que sean razonablemente posible que ocurran, esto permite identificar el impacto que cada modo de falla puede tener sobre

* Trabajo de Grado

** Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Daniel Ortiz. Magister en Gerencia de Mantenimiento.

el recurso humano, el medio ambiente y la imagen de la compañía. Esto finalmente nos permitirá definir las actividades de mantenimiento sugeridas para incluir en el plan de mantenimiento.

Como conclusión del desarrollo de esta monografía se debe mencionar la importancia de incluir a medida de las necesidades de la compañía, las diferentes estrategias que generan impacto positivo sobre la gestión del mantenimiento, se evidencia la necesidad de administrar de forma adecuada la información histórica de las fallas y se recomienda generar e implementar formatos para el desarrollo de las actividades de mantenimiento sugeridas en esta monografía, pretendiendo mejorar la confiabilidad del equipo.

ABSTRACT

Title: Design of a Preventive Maintenance Plan Based in the RCM (Reliability Centered Maintenance) Methodology for a Mesh Electrowelding*

Author(s): David Ricardo Marin Ardila**

Key Words: Maintenance, Functions, RCM (Reliability Centered Maintenance), Reliability, Electrowelding, Maintenance plan.

Description:

The development of this monograph, has the purpose of design an activities plan of prevent maintenance, seeking have positive impact on the current plan and on the performance of the maintenance area in tasks that they are responsible for the Electrowelding, the above based in the RCM (Reliability Centered Maintenance) method.

First, it begins with an analysis of the present operation of the equipment, which allows identifying the composed systems and their required functions during the process. This information is obtained by visiting the plant and speaking with the employees of the company who are working on the functioning and maintenance of the equipment (Electrowelding). After this, all the reasonably possible failure modes to occur are listed, allowing the identification of the impact that each failure mode could have on the human resource, the environment and the reputation of the company and finally, this will let define maintenance activities along with the frequency which has been recommended to be include in the maintenance plan.

* Degree Work

** School of Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management. Advisor: Daniel Ortiz, Magister en Gerencia de Mantenimiento.

To summarize, it is important to mention that tailored to the needs of the company, it is crucial to include the different strategies that generate positive impact in terms of maintenance management. It is evident the need to adequately manage the historical failures information and it is recommended to create and implement forms to the activities maintenance progress suggested in this monograph, aiming to improve the reliability of the equipment (Elctrowelding).

Introducción

La empresa que brindara la información correspondiente al equipo sobre el cual se pretende trabajar en esta monografía solicita mantener su nombre en el anonimato. Esta es una compañía colombiana líder en la comercialización y transformación de productos de acero, cuenta con su planta principal en la ciudad de Bogotá.

Como soporte a la robustez de los equipos con los que cuenta la planta de producción, la empresa dispone de un equipo de mantenimiento liderado por un ingeniero mecánico. El equipo cuenta también con técnicos y con un taller y operarios de máquinas herramientas para mecanizado, sin embargo, actualmente se desarrollan las actividades de mantenimiento sin soportarse en una metodología o técnica de mantenimiento documentada. Tampoco cuenta con un CMMS que permita gestionar el mantenimiento, lo que dificulta ejecutar, documentar y analizar la información histórica de los equipos lo cual es importante para la toma de decisiones.

La malla electrosoldada es uno de los productos más vendidos para los clientes de la empresa, y la planta de producción cuenta con un solo equipo para fabricar esta malla (ELECTROSOLDADORA). Basados en la criticidad de los procesos, la compañía ha confirmado este equipo como crítico ya que como se mencionó anteriormente solo cuenta con uno y su demanda en ventas es alta.

Basados en el párrafo anterior, el desarrollo de esta monografía busca transmitir información y aportar contenido para modificar el actual actuar del área de mantenimiento sobre las actividades que a ellos competen en relación a la electrosoldadora de malla. Para esto se ha tomado como base al mantenimiento centrado en confiabilidad que es una metodología de análisis racional y estructurado que permite definir tareas de mantenimiento con las que se pretende aumentar la confiabilidad del activo y una guía más clara para los técnicos de

mantenimiento al momento de realizar las actividades definidas.

Es importante aclarar que no se debe entender a RCM como el único aportante al procedimiento de mantenimiento para garantizar confiabilidad y seguridad al equipo y su entorno. Herramientas informáticas como el CMMS, y metodologías como Gestión de activos, RCA, FMEA, TPM, 5s entre otras, también aportan de forma paralela y positiva a la gestión del mantenimiento de cualquier equipo o planta de producción.

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Diseño de un plan de mantenimiento preventivo basado en la metodología RCM para una electrosoldadora de malla.

1.2. Objetivos Específicos

Conocer los sistemas y las funciones que estos sistemas tienen que cumplir durante el proceso de fabricación de la malla.

Identificar las fallas funcionales de los sistemas que componen la electrosoldadora de malla.

Describir los modos de falla, aquellos que sean razonablemente posible que sucedan y sus efectos durante el proceso.

Definir las actividades de mantenimiento sugeridas para complementar el plan de mantenimiento actual.

2. Marco Teórico

2.1. Gestión Integral del Mantenimiento

Durante los últimos años, en el mantenimiento se han percibido diferentes transformaciones a nivel social, económico, humano y, no menos importante, a nivel tecnológico. Dichas variaciones en este campo se deben a la globalización de los mercados junto con la competitividad que estos conllevan.

Teniendo en cuenta lo anterior, es necesario acoger bosquejos manejables con el fin de ir cambiando a medida que se van presentando dichas transiciones, para así evolucionar y obtener un buen futuro de cualquier organización.

Entonces, una gestión integral de mantenimiento, consiste en hacer sostenibles los recursos con los que cuenta una empresa a lo largo de producción, de una manera efectiva donde se tenga en cuenta, su capacidad de productividad, costos, seguridad para sus operarios, satisfacción a clientes internos y externos.

Así mismo, la gestión de mantenimiento debe ir alineada con la misión de la organización donde se deben tomar en cuenta factores como la seguridad, la productividad, el medio ambiente y la confiabilidad, con el fin de garantizar rentabilidad con el tiempo¹.

Hoy en día, el mantenimiento es el eje en el cual las empresas buscan el soporte para así cumplir con los requerimientos y requisitos que se ha planteado para suplir las necesidades y expectativas de los clientes, debido a esto es muy necesario crear diferentes estrategias de mantenimiento para cualquier posibilidad de falla. Por lo tanto, es necesario conocer los

¹ Reliabilityweb. 2022. *Gestión Integral de Mantenimiento Basada en Confiabilidad*. [en línea] Disponible en: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/gestion-integral-de-mantenimiento-basada-en-confiabilidad>.

diferentes tipos de mantenimiento que nos pueden ayudar a dar el tratamiento adecuado para cumplir con la gestión efectiva y eficiente del mismo²:

2.1.1. Mantenimiento Preventivo

Este tipo de mantenimiento busca la realización de una serie de inspecciones planificadas de forma periódica, con el objetivo de minimizar la posibilidad de defectos y/o fallas y así evitar el desgaste de instalaciones, sistemas, equipos y maquinas. En otras palabras, este mantenimiento esta basado en la intervención del bien físico, según planificaciones, programaciones y precauciones consideradas antes que suceda una falla³.

Dentro de este mantenimiento se deben realizar diferentes tareas como; adaptaciones, reemplazos, restauraciones, evaluaciones, inspecciones, etc., las cuales se deben realizar en ciclos de tiempo de acuerdo a la planeación por calendario y uso del activo físico. Los beneficios y ventajas de trabajar con esta clase de mantenimiento es reducir las fallas y posibles tiempo muertos ayudando a un incremento en la disposición del equipo, instalación y/o maquinaria, incrementa la duración del activo, mejora el uso de los recursos, reduce inventario y coopera con un ahorro significativo cuando el equipo y/o bien trabaja con mayor eficiencia⁴.

² Becerra, F., 2022. [en línea] Disponible en: <http://www.mantenimientomundial.com/notas/GestionBecerra.pdf>.

³ Torres. Mantenimiento-Su implementación y Gestión. [en línea] Disponible en: <http://www.mantenimientomundial.com/torres/Parte3.pdf>.

⁴Artículos y productos de bajo coste para mantenimiento. Mantenimiento Preventivo. [en línea] Disponible en: <http://www.mantenimientoplanificado.com/j%20guadalupe%20articulos/MANTENIMIENTO%20PREVENTIVO%20p arte%201.pdf>.

2.1.2. Mantenimiento Correctivo

También denominado mantenimiento reactivo ya que se practica al momento en el que el activo fijo va presentando averías y deja de cumplir la función, por lo tanto la finalidad de dicho mantenimiento es poner en marcha nuevamente al equipo en el menor tiempo posible para que de la misma manera no se vea afectada la productividad⁵.

De manera contraria al mantenimiento preventivo, el desarrollo de este mantenimiento no requiere de programaciones, ni previsiones sobre las actividades que se realizan con el equipo.

Cabe aclarar que también tiene sus contras los cuales no se deben subestimar, puesto que las paradas y averías pueden aparecer en momentos inesperados, la vida útil de los equipos será menor, los tipos de seguros para los equipos con alto estándar de averías excluirán riesgos por la NO realización de mantenimiento programado indicado por el fabricante, no brinda un análisis seguro debido a que la falla puede ser repetitiva sin saber el motivo de la misma (mal trato, abandono, desconocimiento, desgaste natural, entre otros). Para sumar a estas desventajas, no está de más mencionar que, además de afectar la productividad, también se pone en riesgo al recurso humano y al medio ambiente ya que las fallas pueden provocar distintos tipos de accidentes y finalmente desarrollar este tipo de mantenimiento sugerirá contar con técnicos cualificados, repuestos y diferentes recursos para

⁵ Becerra, F., 2022. [en línea] Disponible en: <http://www.mantenimientomundial.com/notas/GestionBecerra.pdf>.

su reparación.⁶ En conclusión este mantenimiento es efectuado después de la aparición del fallo.

2.1.3. Mantenimiento Predictivo

Este tipo de mantenimiento consiste en el estudio de diferentes patrones del funcionamiento de los equipos, lo cual faculta la manera de hallar una avería antes que esta se presente y así mismo se evita afectar cada uno de los procesos productivos que se generen con dicho activo físico. Esto se debe llevar a cabo en base a una planeación, evitando que los tiempos muertos aumenten y la vida útil de la máquina y/o equipo se extienda.

Para realizar dicho mantenimiento, se deben desarrollar una serie de pruebas con el fin de realizar un rastreo a la operación de los equipos, buscando signos de alarma o indicaciones de que algunos de sus elementos no está funcionando de una manera óptima, en caso que después de dicha inspección se detecte una irregularidad se revisara y se definirá la forma de intervenir para proveer el fallo⁷.

Entre sus ventajas encontramos la reducción del tiempo de detención, mejora la gestión del personal de mantenimiento, permite realizar un archivo histórico con los seguimientos realizados a los equipos y así visualizar su comportamiento y de igual manera faculta estudiar la evolución de los defectos en el tiempo. El mantenimiento predictivo objeta a la reparación de un equipo cuando se tiene el conocimiento de que se presenta una rotura o

⁶García Garrido, S., 2009. [en línea] Renovetec.com. Disponible en: <http://www.renovetec.com/mantenimientoindustrial-vol4-correctivo.pdf>.

⁷Pérez Rondón, F., 2021. [en línea] Repository.usta.edu.co. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/33276/9789588477923.pdf?sequence=4&isAllowed=y>.

avería, por consiguiente, no se intervienen equipos que se encuentran con una operación óptima.

La reducción de tiempos muertos, inventarios y compras urgentes; son de gran ventaja ya que manifiesta un rendimiento considerable en los presupuestos destinados al mantenimiento de la operación.

Varios autores incluyen este tipo de mantenimiento dentro del mantenimiento preventivo, ya que con el también se "previene" la ocurrencia de la falla.

2.1.4. Mantenimiento Cero Horas (Over-haul)

Está compuesto por un grupo de actividades, las cuales consisten en revisar a los equipos en diferentes espacios de tiempo antes que ocurra la avería. El objetivo o lo que se busca con este recurso es dejar al activo físico como si fuera nuevo, es decir, con cero horas de operatividad. Entre las tareas que se realiza en dicho mantenimiento es revisar, sustituir y/o reacondicionar todos aquellos elementos y/o piezas que están en desgaste; para así asegurar un tiempo de funcionamiento definido.

2.1.5. Mantenimiento en Primario

Este tipo de mantenimiento es el que es realizado por el usuario u operador del equipo y/o máquina. Es la forma más básica del mantenimiento ya que se realiza de acuerdo a una base fundamental de actividades como limpiezas, ajustes, inspecciones visuales, lubricación, tomas de datos, entre otros⁸.

⁸Garrido, S. Tipos de Mantenimiento [en línea]. Disponible en: <http://www.renovetec.com/index.php/mantenimiento-industrial/305-tipos-de-mantenimiento>

2.2. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM

Antes de entrar a la descripción como tal de la metodología, lo que primero se debe tener en cuenta es hacia donde se está direccionando su aplicación, por ello es necesario tener claridad sobre: cuál es el objetivo de la empresa, cual es el objetivo de la función de mantenimiento y el objetivo de un plan de mantenimiento. Teniendo claros estos tres objetivos, se puede definir el plan de mantenimiento y de igual forma se deben tener en cuenta las definiciones de Confiabilidad y Mantenimiento Centrado en Confiabilidad⁹.

La palabra confiabilidad es la “confianza” que se tiene de un equipo, elemento o sistema que realiza una función básica, durante un tiempo establecido, bajo condiciones de operación¹⁰.

De la misma manera se traduce la definición de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad según la norma IEC 60300 como “Un método para establecer el plan de mantenimiento el cual permitirá alcanzar en forma eficiente y efectiva los requerimientos de seguridad y los niveles de disponibilidad de los equipos e instalaciones, y está dirigido al mejoramiento de la seguridad global, la disponibilidad y la economía de la operación”.¹¹

Teniendo en cuenta las definiciones anteriores y de acuerdo a la evolución que ha tenido el mantenimiento a lo largo del tiempo a través de tres generaciones donde MCC o RCM se convierte en un tema importante de la tercera generación, por lo que es importante revisar las generaciones que enmarcan históricamente el mantenimiento¹²:

⁹ Ortiz, D. 2017. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – MCC - Guía Práctica*

¹⁰ Lafraia, J R (2001). *Manual de Confiabilidade Manutenibilidade e Disponibilidade*. Qualitymark Editora Ltda

¹¹ IEC60300-3-11. 1999 *Application guide-Reliability-centred maintenance*, International Electrotechnical Commission.

¹² Moubray, J., 1991-1997. *Reliability-centred maintenance*. Oxford: Butterworth-Heinemann.

2.2.1. Primera Generación

En la primera generación se considera un periodo establecido hasta la II Guerra Mundial, donde la industria no contaba con el empleo de equipos para realizar diferentes actividades en la industria, por esta razón términos de paradas o fallos no eran de gran importancia, esto debido a que la maquinaria con la que se operaba era básica y para intenciones concretas, lo que hacía que esta fuera fiable y en caso de algún daño la reparación era sencilla, es decir, que se implementaba el mantenimiento correctivo, puesto que se esperaba el momento de la avería del equipo para así repararlo.

2.2.2. Segunda Generación

En el transcurso de la II Guerra Mundial existieron cambios significativos, debido a que se abren diferentes necesidades en todo tipo de productos, debido a que la fuerza laboral disminuyó exponencialmente; conllevó a mecanizar procesos, con el transcurso del tiempo existían diversos equipos y maquinas con altas complejidades y se empezaba a depender de las mismas. En este punto fue cuando se visualizó que los tiempos de paradas debido a fallas se debían precaver de alguna manera, donde nace el concepto de mantenimiento planificado o proyectado. Para esta época la inspección que se realizaba era completa en intervalos fijos de tiempo sobre el material utilizado. Teniendo en cuenta esas novedades, se visualiza que los costos del mantenimiento incrementan de una forma acelerado con respecto a los costos de funcionamiento.

En conclusión, en este rango de tiempo, se inician las tareas de mantenimiento para prevenir averías dando inicio al Mantenimiento Preventivo.

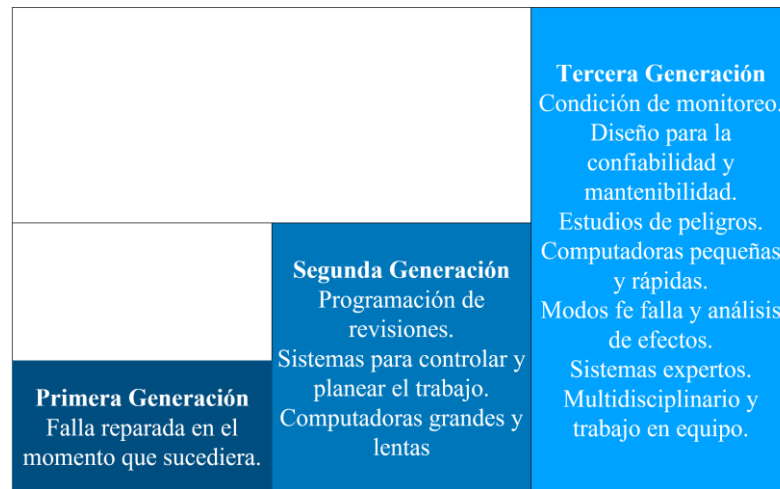
2.2.3. Tercera Generación

A partir de esta generación que cubre mediados de los años setenta, las empresas han ido evolucionando y transformándose de una manera eficaz, donde tener mecanismos en procesos de productividad se hace mucho más importante para así obtener las utilidades esperadas, tanto así que los periodos de paradas afectan considerablemente en temas económicos y de satisfacción al cliente final.

A lo anterior se le suma diferentes métodos, sistemas de producción y calidad, haciendo que las funciones del mantenimiento sean de prioridad con el fin de evitar un alto de toda la planta o producción, para lo cual aparece el mantenimiento a condición,

Aquí se solía realizar diferentes estudios causa y efecto con el fin de determinar el origen de las fallas, donde se deben tener en cuenta las áreas de producción para así tener más certeza en la detección de estos problemas¹³.

¹³ Hidalgo, F. V. V. (2021). *Generaciones del Mantenimiento Industrial*. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/49082013/Generaciones_del_Mantenimiento_Industrial

Figura 1.*Generaciones del Mantenimiento*

Nota: En este diagrama se muestra el crecimiento de los sistemas de revisión y administrativos a través de la primera a la tercera generación. Tomada de *Reliability-centred maintenance*, John Moubray, 1991, 1997, Oxford: Butterworth-Heinemann.

No obstante, la primera vez que se mencionó el término de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad fue en el año 1978 por STANLEY NOWLAN y HOWARD F. HEAP. Quienes realizaron un trabajo para la compañía United Airlines como parte de una mejora que requería la aviación civil en Estados Unidos. Tiempo después la metodología fue adaptada y mejorada en industrial de energía y generación eléctrica en centrales nucleares. De igual forma se conoce la participación de John Moubray con su libro de RCM II. Debido a la expansión de la metodología y sus variaciones, la Sociedad de Ingenieros automotrices definen criterios del RCM bajo las normas JA 1011 y su complementaria JA 1012, las cuales sirven como guía e implementación¹⁴.

¹⁴ Ortiz, D. 2017. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – MCC - Guía Práctica*

2.3. Metodología RCM¹⁵

RCM (Reliability Centred Maintenance), nace como una metodología para mantener un activo tangible, tomando como punto de partida que dicho activo es adquirido con el fin de que cumpla una serie de funciones en un proceso y así obtener un resultado, de modo que se debe tener en cuenta que para que el equipo cumpla con las funciones esperadas o deseadas, es necesario realizar actividades de mantenimiento; dando cabida al Mantenimiento Centrado en Confiabilidad como un proceso que busca determinar que hacer para garantizar que estos bienes continúen realizando lo que se desea que hagan en términos operacionales.

Por consiguiente, dicha metodóloga está basada en encontrar respuesta a las siguientes siete preguntas:

- ¿Cuáles son las funciones y parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
- ¿De qué manera falla para cumplir sus funciones?
- ¿Qué causa cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
- ¿De qué manera es importante cada falla?
- ¿Qué se puede hacer para predecir o prevenir cada falla?
- ¿Qué debería hacerse si una tarea productiva no puede ser encontrada?

¹⁵ Moubray, J., 1991-1997. *Reliability-centred maintenance*. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Seguir dichas preguntas no es la aplicación del método, se deben realizar pasos previos, durante y después del proceso, así¹⁶:

A. Preliminares a los talleres:

- Acondicionamiento del estudio: seleccionar personal y/o capacitarlo, definir y aclarar objetivos, definir requisitos del sistema, conocer o definir reglas de seguridad, medio ambiente, condiciones del entorno, definir criterios para análisis de riesgos, conocer problemas existentes en la cadena de suministro, conocer procedimiento de planeación, inventarios, repuestos, logística, estadísticas de disponibilidad y confiabilidad, plan actual de mantenimiento, entre otros.
- Recopilación y estudio de datos: Disponibilidad de datos de diseño y operación del activo de estudio, disponibilidad de personal con conocimiento, entrevistas con personal operativo y mantenimiento, disponibilidad de información de mantenimiento, disponibilidad de reglamentaciones sobre requerimientos.
- Clasificación de la planta y selección de objetos de estudio: se debe precisar el objeto de análisis, por ese motivo es conveniente iniciar desde lo más grande de la planta hasta lo más bajo determinando al menos una función principal.
- Definición de límites e interfaces: Se deben establecer los límites por condición física, describiendo que se incluye y que no se incluye, los bienes y elementos fuera de estos límites no son de interés en el estudio, se debe identificar que entra y que sale y las conexiones de sistema; de igual forma así mismo, si se encuentran

¹⁶ Ortiz, D. 2017. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – MCC - Guía Práctica*

perfectamente disponibles y permiten ser valorables o cuantificables en cada entrada o salida.

B. Para responder las siete preguntas se debe tener en cuenta lo siguiente:

2.3.1. Funciones

Se debe determinar qué desea el usuario que realice el equipo y/o sistema y asegurar que este sea capaz de hacer lo que se desea que realice.

Por esa razón, es sumamente necesario definir las funciones de cada uno de los activos tangibles en términos de operatividad, junto con los parámetros de funcionamiento. De esta forma, se define lo siguiente:

2.3.1.1. Funciones Primarias. Nos indican la razón por la cual se adquirió el activo o bien. Según la norma IEC 60300-3-11 función es “acción normal característica de un ítem”¹⁷, lo cual referencia solo a su función principal.

2.3.1.2. Funciones Secundarias. Aquí se reconocen las funciones que se espera que realice cada activo o bien, aparte de las funciones primarias, no son de fácil apreciación, estas pueden afectar el medio ambiente o generar lesiones al personal. Ayudan a ejecutar la función principal del activo, son auxiliares, permiten control del equipo o componente, entre otras.

Para definir las diferentes funciones es necesario tener claridad en el contexto operacional, el tipo de proceso, estándares de calidad, condiciones del ambiente, riesgo de

¹⁷IEC60300-3-11. 1999 *Application guide-Reliability-centred maintenance, International Electrotechnical Commission.*

seguridad, tiempos de trabajo, productos en proceso, disponibilidad y fiabilidad exigida, abastecimiento de materias primas, etc.

2.3.2. Fallas Funcionales.

Recabando en las definiciones que dan los autores sobre falla funcional, encontramos diferentes contextos, por ejemplo, *“una falla funcional es la incapacidad de un elemento (o el equipo que lo contiene) para cumplir con un estándar de rendimiento específico”*(Nowlan and Heap, 2001), otra sería *“Una falla funcional es definida como la incapacidad de que cualquier activo pueda cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable por el usuario”*(Moubray, 1991-1997), a pesar de la diferencia en las definiciones la mayoría coinciden con las siguientes características:

- Es un evento real o probable, en el momento del análisis
- Genera la pérdida de una o varias capacidades para cumplir una o varias funciones a la vez
- La pérdida de la capacidad puede ser parcial o total, dependiendo del estándar de Funcionamiento definido por el usuario.

Los objetivos del mantenimiento son definidos por la expectativa que se tienen de las funciones y de sus parámetros. Por ende, el único acontecimiento que hace que un activo no cumpla con dichas expectativas es alguna clase de falla, una falla funcional causa la pérdida de una o varias facultades para cumplir sus funciones, esta pérdida puede ser parcial o total según los requerimientos definidos por el usuario del equipo o sistema en contexto operacional.

Basados en lo anterior se pueden tener diferentes tipos de falla, entre los cuales encontramos la pérdida total de la capacidad (el equipo deja de funcionar por completo), pérdida parcial de la capacidad (el equipo sigue funcionando, pero NO cumple los requerimientos deseados) y funcionamiento erróneo (el equipo realiza otra función NO deseada).

También se pueden indicar momentos en los cuales pueden suceder dichas fallas, así: durante operación continua del equipo, cuando el equipo debe operar en un momento definido, al momento de necesitar la detención del equipo, cuando el equipo opera y no debería estar accionado.

2.3.3. Modos de Falla

Una vez se hayan identificado las fallas funcionales el siguiente paso es identificar los modos de falla los cuales son definidos como “*eventos razonablemente posibles que pueden haber causado cada estado de falla*” (Moubray, 1991-1997, p.53).

En caso que se desconozcan los modos de falla, deben tenerse en cuenta aquellos que han ocurrido en equipos y o sistemas iguales o parecidos operando en el mismo contexto, como también se deben incluir aquellas fallas que están siendo provistas actualmente por diferentes componentes del mantenimiento y en el mismo sentido las fallas que aún no han ocurrido pero que se tienen una posibilidad alta de ocurrencia.

Es común tener listas de modos de falla con temas de deterioro y/o por desgaste del equipo por el uso que se le está dando, sin embargo, en este listado es necesario incorporar las causas probables de falla causados por errores humanos y de diseño, pero en el RCM, esto no conduce a una actividad del plan de mantenimiento, si Permite elaborar un listado de modos atribuibles a errores humanos, pero no se generan tareas de mantenimiento programadas

periódicas para evitar las fallas por dicho modo. Finalmente, y no menos importante, se deben precisar las causas de cada falla con un exhaustivo detalle con el fin de no malgastar el esfuerzo y el tiempo intentando reparar afectaciones superficiales y no la causa real de la avería.

2.3.4. Clasificación de los modos de falla¹⁸.

2.3.4.1. Reducción de la capacidad. Este modo de falla es presente cuando la capacidad del activo en operación, está por debajo del funcionamiento deseado, las principales causas de la reducción de la capacidad son las siguientes:

- Deterioro
- Fallas por lubricación
- Suciedad
- Desarme
- Errores humanos los cuales reducen la capacidad

2.3.4.2. Aumento del funcionamiento deseado. El efecto en esta clasificación se da debido a que la capacidad del activo físico asciende más allá de la capacidad del mismo, luego que el equipo está en funcionamiento, lo cual incurre en falla de las siguientes dos formas:

- El rendimiento deseado aumenta hasta que el activo no puede proporcionarlo.
- Al aumentar el estrés hace que el deterioro del bien se acelere hasta el punto de que se vuelve poco fiable y lo hace efectivamente inútil.

¹⁸Moubray, J., 1991-1997. *Reliability-centred maintenance*. Oxford: Butterworth-Heinemann

El aumento del funcionamiento deseado está dado por la sobrecarga constante y deliberada, por la sobrecarga constante no intencional y por una sobrecarga no intencional imprevista.

2.3.4.3. Incapacidad Inicial. Es deseado que cualquier activo fijo este dentro del alcance de su capacidad, pero existen situaciones en las que dicho bien se sale de los límites de dicha capacidad para lo cual fue diseñado desde el inicio. Dicho problema puede que no afecto el activo completamente, es probable que solo halla afectación de una o dos funciones de algunos componentes, más sin embargo afecta la cadena de operación. El primer paso a dar solución a este tipo de modo de falla debe estar enunciado en el FMEA con el fin de rectificar dicho defecto.

2.3.5. Nivel de Detalle.

El nivel de detalle de los modos de falla debe ser descrito de una forma puntualizada, con el fin de seleccionar la estrategia de gestión de fallas más apropiada, se debe tener cuidado con el nivel de detalle, pues no se busca desgastar tiempo en proceso de análisis en sí. En ocasiones este tipo de detalle resulta un poco arduo, pero es importante realizarlo ya que afecta la valides del FMEA. Para encontrar un nivel apropiado en el grado de profundidad de los modos de falla es necesario tener a la vista la causalidad (análisis de causa raíz), la probabilidad y las consecuencias¹⁹.

¹⁹ Mora Flórez. J.J. (2008). *Desarrollo de una Metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para líneas de transmisión de alta tensión.* Universidad Tecnológica de Pereira. [en línea]. Disponible en: repositorio.utp.edu.co

2.4. Análisis de Consecuencias y de Riesgos.

En este análisis se describe lo que le sucede al equipo en falla, teniendo en cuenta aquellos equipos que interactúan con el que presenta falla (cuando hay fallas ocultas), con esta explicación se realiza un listado de los efectos de fallas, el cual describe lo que ocurre cuando sucede cada modo de falla, aquí se debe incluir la información necesaria y útil para apoyar la evaluación de las consecuencias de fallas, como:

- Evidencia existente de la falla que ha ocurrido (en caso que exista).
- De qué modo es una amenaza para la seguridad y el medio ambiente (si es que existe amenaza).
- De qué manera es afectada la producción o las operaciones (si las afecta)
- Que daños físicos han sido a causa de las fallas (si los hay)
- Que se debería hacer para reparar dicha falla.

En caso que la falla sea oculta, esta deberá describirse como tal; en RCM se define una falla oculta como aquella que no es fácil de encontrar por el personal operativo en condiciones de operación.

Los efectos de las fallas describen que sucede cuando un modo de falla ocurre, teniendo como uno de los objetivos establecer si el mantenimiento proactivo es necesario²⁰.

²⁰ Moubray, J., 1991-1997. *Reliability-centred maintenance*. Oxford: Butterworth-Heinemann

Realizando una descripción completa de las consecuencias que resultan de cada modo de falla y la valoración de sus riesgos, se podrá considerar una clasificación de equipos para la compañía y no solo para mantenimiento.

2.4.1. Fuentes de información acerca de modos y efectos²¹.

Para la realización de un análisis de modo y efectos de falla (AMFE), se debe ser dinámico, para así estar abierto a situaciones de lo que podría ocurrir como a lo que ha ocurrido. Para organizar este tipo de información se recurre a las siguientes fuentes:

- Fabricante o Proveedor del equipo
- Listas genéricas de modos de falla
- Otros usuarios del mismo equipo
- Personas que operan y mantienen el equipo

2.5. Tareas, Frecuencias y Recursos

En este paso se deberán fijar tareas de mantenimiento, con el ánimo de reducir los riesgos. Con el fin de identificar dichas tareas es importante tener en cuenta un árbol de decisiones (a criterio de las organizaciones, teniendo en cuenta los derechos de autor). Para esto, se sugiere el siguiente orden para la elección de dichas tareas:

- Actividades de monitoreo de condición: predictivas en línea.
- Actividades de reacondicionamiento o cambio: preventivas programadas.
- Actividades de detención de fallas ocultas: detectivo.
- Actividades que surgen de la combinación de las anteriores

²¹ Smith, A., 1993. *Reliability-centered maintenance*. New York: McGraw-Hill.

- Actividades de rediseño
- Ninguna actividad de mantenimiento

Teniendo en cuenta esta secuencia, se debe tener certeza de lo que representan dichas actividades y lo que se puede definir como mantenimiento predictivo, preventivo, correctivo o detectivo²².

Existen mecanismos para la definición de la frecuencia con la que se deben aplicar dichas tareas, exceptuando el mantenimiento correctivo; es decir, que aplica para actividades de monitoreo, preventivos, búsqueda de fallas.

En cuanto a la definición del recurso humano, deberá realizarse de acuerdo a las indicaciones del personal ejecutor y de Ingeniería, indicando a los técnicos necesarios, según consideración de la organización o en caso de definirse por medio de grupos de trabajo. Todo debe estar alineado con la forma de operatividad el sistema de información y la manera de registrar las actividades, tiempos y recursos.

Los materiales a utilizar serán requeridos para el reacondicionamiento o cambio en caso que se requieran.

Finalmente, las herramientas van a depender de trabajo que se seleccione tanto para monitoreo, reacondicionamientos o cambios.

²² Ortiz, D. 2017. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – MCC - Guía Práctica*

2.6. Aplicación del proceso RCM

2.6.1. Planear.

El RCM conduce a mejoras notables en la eficacia del mantenimiento y frecuentemente lo hace con una sorprendente prontitud. Para tener éxito en la aplicación del RCM se depende de una planeación minuciosa la cual debe contener la siguiente serie de elementos²³:

- Definir los bienes tangibles (equipos y/o maquinarias) que tienes altas posibilidades de beneficiarse de este proceso y así mismo tener claro cómo se beneficiarían.
- Evaluar que recursos son los necesarios para aplicar esta metodología, para tener claridad si se justifica la inversión.
- Decidir quién, cuándo y dónde se realizará la auditoria correspondiente y quien se dispondrá a obtener la formación adecuada en el tema, con el fin de asegurarse que el contexto operativo del activo se entienda claramente.

2.6.2. Grupos de Revisión.

Como se pudo observar anteriormente, RCM tiene siete preguntas las cuales son resueltas por personal de producción o de operaciones, puesto que los requerimientos de las mismas poseen temas de funciones, del funcionamiento deseado, fallas, efectos de fallas y consecuencias de fallas. Por esta razón, la revisión de los requerimientos en términos de mantenimiento para cualquier activo físico deberá ser llevada a cabo por grupos en donde por lo menos se incluya una persona del área de mantenimiento y una del área de operaciones; todos los miembros de estos equipos deben tener conocimiento sobre el equipo de estudio y debe estar entrenado en

²³ Moubray, J., 1991-1997. *Reliability-centred maintenance*. Oxford: Butterworth-Heinemann.

mantenimiento centrado en confiabilidad. En la siguiente figura, se puede observar la conformación del grupo de revisión RCM:

Figura 2.

Grupos Revisión RCM



Nota: Este diagrama representa la conformación de los grupos de revisión del RCM. Tomada de *Reliability-centred maintenance*, John Moubray, 1991, 1997, Oxford: Butterworth-Heinemann.

2.6.2.1. Facilitadores. Son aquellas personas que están altamente entrenadas y se reconoce como especialistas en RCM, en otras palabras, son las personas más importantes en el proceso de revisión del mantenimiento centrado en confiabilidad. Este role se encarga de asegurar:

- Que el RCM sea llevado a cabo en el nivel correo, que los límites del sistema sean claramente definidos y que los resultados del análisis sean registrados adecuadamente.
- Que el RCM es entendido y aplicado correctamente, por cada uno de los miembros del equipo de revisión.
- Que el grupo llegue a un consenso de manera eficaz y ordenada, manteniendo el compromiso de cada uno de los miembros.

- Que el análisis desarrollado progrese razonablemente rápido y finalice a tiempo.

2.7. Resultados del análisis de RCM.

Si este importante método es aplicado correctamente, el análisis tiene tres resultados palpables:

- Programas o cronogramas de mantenimiento a realizar por el área de mantenimiento.
- Procedimientos operativos a ser revisados por los operarios del equipo y/o máquina.
- Una lista de áreas en las que se deben realizar cambios puntuales en el diseño del bien o en la forma en la que este es operado para hacer frente a las situaciones en las que este no puede ofrecer el rendimiento deseado según su configuración actual.

2.7.1. Auditoría e implementación.

Después que la revisión ha sido completada por cada uno de los activos estudiados, los altos directivos quienes tienen la responsabilidad general del grupo, deben asegurarse que las decisiones tomadas por el equipo sean sensatas y defendibles. Así mismo, después de que cada revisión es aprobada, las recomendaciones son implementadas por medio de la incorporación de programas de mantenimiento dentro de la planeación y control del sistema de mantenimiento; como también la integración de los cambios realizados a los procedimientos de operación estándar y las recomendaciones de los cambios en el diseño de los activos fijos.

2.8. Logros al Aplicar la Metodología RCM²⁴

Además de la consecución de los diferentes resultados mencionados anteriormente por la aplicación del método y/o proceso de Mantenimiento centrado en Confiabilidad, se indican los siguientes resultados y logros que se aseguran obtener al finalizar la implementación del mismo:

2.8.1. Mayor Seguridad e Integridad Ambiental.

Cómo bien se mencionó en su momento, RCM toma en importante consideración este ítem y sus implicaciones en cada modo de falla antes de tenerlo en cuenta en la operatividad. Lo cual indica se tomaron las respectivas medidas para minimizar todos los peligros identificables en términos de seguridad y medio ambiente o en caso en su defecto fueron eliminados.

2.8.2. Mejora en la Producción (Resultados, Calidad del Producto y Servicio al Cliente).

En plantas de operación industrial en las cuales se han estudiado los diferentes fallos junto con sus modos, se busca la implementación de las medidas necesarias según los resultados del proceso para evitarlos. Lo cual impacta altamente en la productividad, calidad y servicio al cliente, dejando beneficios óptimos a la organización.

2.8.3. Aumento en la Confiabilidad de la Instalación.

El RCM nos da una visión de cercanía con el termino confiabilidad, debido a que la identificación de fallos probables que pueda tener la instalación y la aceptación de las medidas acordadas a prevenir, con una alta importancia en estos fallos, lo cual ayuda a un crecimiento exponencial en el parámetro de fiabilidad basado en técnicas de análisis de fallos.

²⁴ Aguirre Vera, H.M. Bonilla Escobar C.I. (2010). *Modelo de Gestión de Mantenimiento a la Empacadora Merello ME-104 Basado en RCM*. Universidad Industrial de Santander. Disponible en Biblioteca Virtual UIS.

2.8.4. Disminución en Costos de Mantenimiento.

Esta metodología nos brinda la oportunidad de identificar aquellas actividades de mantenimiento condicionales las cuales son altamente efectivas, ayudando a la disminución de costos y aumentando la disponibilidad y confiabilidad del activo físico.

2.8.5. Aumento del Conocimiento en el Recurso Humano.

Todo el personal que ha adquirido los conocimientos de RCM, permite que aquellas personas que se encargan de la manipulación de los tangibles tengan un conocimiento profundo del mismo de su funcionamiento y de su importancia, lo cual beneficia en la toma de decisiones en el área de operación y mantenimiento.

2.8.6. La no Dependencia de los Fabricantes.

Con esta práctica de RCM, se disminuye o se anula la dependencia técnica que se tiene para con los fabricantes de los equipos. Tener las capacidades y habilidades para reconocer instrucciones de instalación o planes de mantenimiento durante cualquier tipo de inspección o inclusive reparación, da un alto valor agregado a la metodología.

3. Descripción de la Empresa

La empresa que brinda la información correspondiente al equipo con el cual se trabaja en esta monografía solicita mantener su nombre en el anonimato. Siendo esta una compañía colombiana líder en la comercialización y transformación de productos de acero. Está compuesta por tres centros de producción ubicados en el centro del valle de aburra, la capital del país y en el norte del país. Participa en el mercado local y regional por espacio de más de 60 años. Desarrolla sus actividades con las UPES (Unidad productiva eficiente y sostenible) laminación, figuración y trefilado. Su talento humano trabaja fundamentado en valores corporativos como el RESPETO, EQUIDAD, HONESTIDAD Y COMPROMISO, respaldando la propuesta de valor mediante la interpretación de las necesidades del mercado y posteriormente la adaptación de productos y servicios como alternativas de solución.

3.1. Cultura Organizacional.

Su cultura organizacional está orientada a los resultados, a la satisfacción del cliente y a la ética en los negocios, constituye un marco de referencia en el desempeño de sus actividades buscando consolidar la excelencia en el servicio al Cliente, proyecta su desarrollo en un crecimiento sostenido basado en la estructuración de un amplio portafolio de productos y servicios que permitan las mejores relaciones con sus clientes.

3.2. Misión.

Generar seguridad, confianza y calidad con productos derivados del acero mediante su transformación y comercialización con destino a la construcción, el comercio, la industria metalmecánica y el agro generando valor a sus grupos de interés.

3.3. Visión.

2020

- Ser referente del mercado Trefilado y figurado en el país con el mayor número de productos y servicios innovadores.
- Ser reconocidos como uno de los 20 mejores lugares para trabajar en Colombia.

3.4. Política integral.

Empresa colombiana líder en la comercialización y transformación de productos de acero, en cumplimiento de sus objetivos estratégicos, se compromete con la implementación, mantenimiento y mejora continua de la eficacia y del desempeño de su sistema de gestión integral, así como un servicio excepcional, la prevención de la contaminación, de las lesiones y las enfermedades.

A través de la identificación de peligros y aspectos ambientales, de la valoración de riesgos e impactos, y del establecimiento de controles operacionales, la compañía se compromete a proteger el ambiente, la seguridad y salud de todos los trabajadores, así como a promover la calidad de la vida laboral.

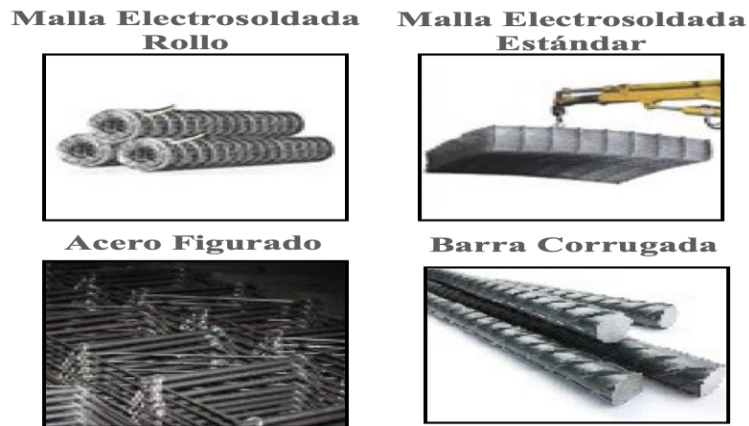
Adicionalmente se compromete a cumplir los requisitos legales aplicables, contractuales y otros requisitos que la organización suscriba relacionados con los productos y/o servicios, aspectos ambientales y sus peligros de seguridad y salud en el trabajo.

3.5. Productos ofrecidos por la empresa.

Malla panel electrosoldada, varilla y alambre grafiado, malla electrosoldada rollo, malla hexagonal, malla gallinero, canasta para pilotes, juntas de transferencia, canastillas pasa juntas, joist, acero en chipa, acero figurado, barra corrugada, barras redondas entre otros productos para el agro y la construcción. En la siguiente imagen se representan algunos de los productos mencionados.

Figura 3.

Representación de algunos productos de la organización.



Nota: Estas imágenes muestran algunos de los productos que se fabrican en la empresa de estudio. Autor, 2022.

4. Justificación del Problema

4.1. Antecedentes.

Actualmente la compañía no cuenta con metodologías de mantenimiento que faciliten la gestión de los activos, programar sus mantenimientos y realizar un seguimiento de las órdenes de trabajo y tampoco de un CMMS (sistema computarizado de gestión de mantenimiento). Esto impide desarrollar un estudio y/o tomar decisiones con base en los datos históricos recolectados sobre los mantenimientos ejecutados en el pasado. En la actualidad la compañía emplea para la programación y archivo de sus actividades diarias la herramienta ofimática Excel, por medio de la cual se realiza seguimiento a las actividades realizadas por el personal técnico y se mantiene una base de datos con la trazabilidad de las actividades correctivas, preventivas o adecuaciones desarrolladas en los activos en planta, áreas locativas y a vehículos de carga.

4.2. Formulación del Problema.

La malla electrosoldada es uno de los productos más vendidos para los clientes de la empresa, y la planta de producción cuenta con un solo equipo para fabricar esta malla (electrosoldadora). Basados en la criticidad de los procesos, la compañía ha confirmado este equipo como crítico ya que como se mencionó anteriormente solo cuenta con uno y su demanda en ventas es alta, esto lleva a que el departamento de mantenimiento asegure una alta confiabilidad de este equipo. Promediando los tiempos de fabricación de malla en los diferentes calibres de varilla que puede manejar este equipo (2.5mm a 8mm), se dice que el activo puede fabricar 1.5 unidades de malla por minuto y generalmente está programada para trabajar 3 turnos de 8 horas 7 días a la semana. El valor comercial promedio de un panel de malla electrosoldada en el mercado oscila alrededor de los \$170.000 COP lo que indica que una hora

de fallo puede representar aproximadamente \$15.300.000 COP precio de venta al cliente.

Sabiendo ya que el equipo requiere de una confiabilidad para cumplir con las exigencias de la producción, se evidencia como oportunidad de mejora introducir una herramienta que ayude al cumplimiento de esta confiabilidad requerida, para este caso el RCM. Sin embargo, es importante recordar que no se debe entender a RCM como el único aportante al proceso de mantenimiento para mejorar la confiabilidad y seguridad al equipo y su entorno. Otras metodologías como gestión de activos, RCA, FMEA, TPM, 5s entre otras, y herramienta como un CMMS son algunas que también deben aportar de forma paralela y positiva a la gestión del mantenimiento.

4.3. Justificación.

La electrosoldadora marca schlatter al igual que los demás equipos de la planta de producción no cuentan con un modelo de mantenimiento preventivo acorde a sus necesidades. Con lo ya mencionado en este texto, sabiendo que la compañía carece de herramientas que apoyen la gestión del mantenimiento actual y los ocurridos fallos mecánicos y eléctricos evidencian la oportunidad de diseñar un plan de mantenimiento preventivo, correspondiente a una serie de actividades que agreguen valor al proceder del área de mantenimiento pretendiendo aumentar la confiabilidad de la electrosoldadora. La guía para estructurar estas actividades está basada en la metodología del RCM o mantenimiento centrado en confiabilidad.

5. Estado Actual de la Gestión de Mantenimiento.

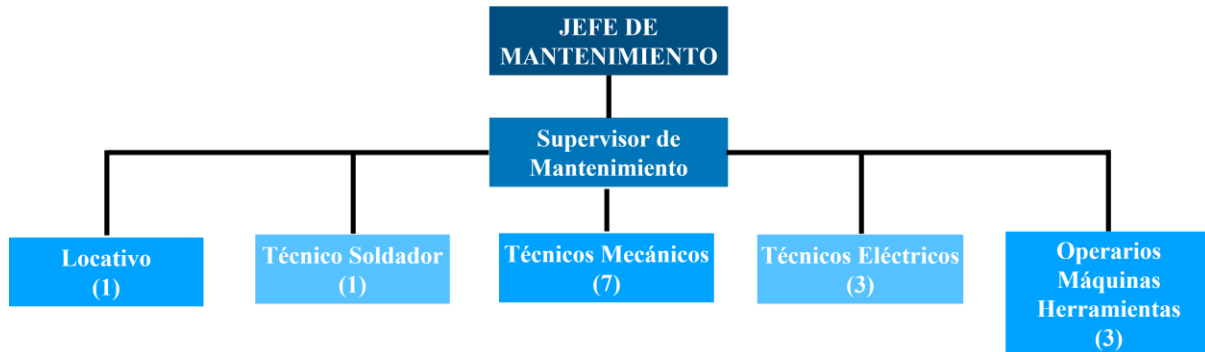
Actualmente la compañía carece de la implementación de herramientas y metodologías estandarizadas que ayuden a la gestión del área de mantenimiento, la compañía se apoyada en la herramienta Excel, para realizar seguimiento a las actividades realizadas, mantener una base de datos y programar las actividades correctivas y preventivas desarrolladas en los activos en planta, áreas locativas y a vehículos de carga.

El equipo de mantenimiento tiene la labor de garantizar que los equipos sean confiables y estén disponibles para el departamento de producción, departamento que trabaja bajo el requerimiento y especificaciones técnicas requeridas por el cliente. Esto implica un constante cambio de las condiciones operacionales de los equipos por la necesidad de obtener productos de diferentes medidas, diámetros e incluso materiales, esto ligado a la gran participación de la compañía en el mercado que genera una alta demanda de trabajo para los equipos de la planta.

5.1. Equipo de Trabajo Actual.

Figura 4.

Organigrama de Mantenimiento.



Nota: En este diagrama se muestra el organigrama del área de mantenimiento de la organización. Autor, 2022.

El equipo de trabajo de mantenimiento dispone para el desarrollo de sus actividades con un conjunto de personal técnico en mecánica y electricidad, operarios de máquinas herramientas (torno, fresadora, sierras entre otros), locativo, soldador y personal administrativo quienes son los responsables de llevar a cabo los mantenimientos correctivos, preventivos y las mejoras o adecuaciones que se requieran siguiendo las directrices de la gerencia general.

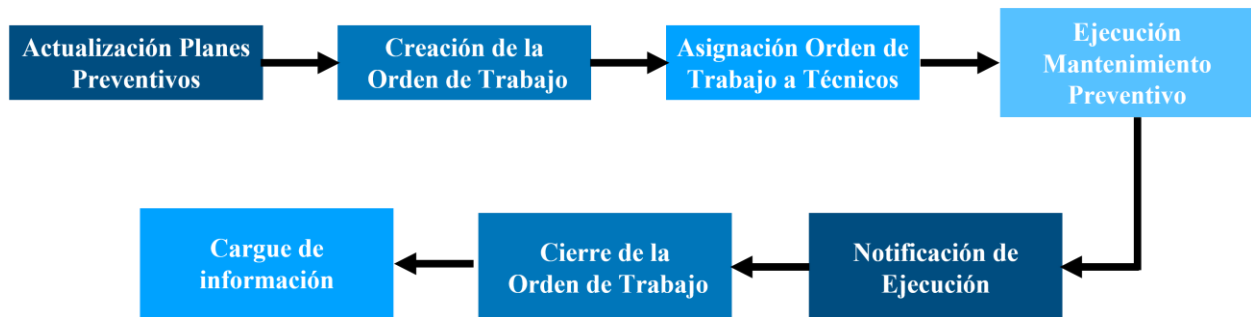
El equipo de trabajo se conforma por el personal gestor y el ejecutor. El personal gestor está conformado por un ingeniero mecánico (jefe de mantenimiento) y un supervisor quienes trabajan en sinergia para dar un manejo a las órdenes de trabajo y los requerimientos que producción pueda generar. Adicional, programar y asignar las actividades pendientes por cerrar, controlar los tiempos de ejecución de las actividades, gestión de repuestos para su salida del almacén y el requerimiento a compras para adquirir aquellos que no se encuentren disponibles en

el almacén para brindar las herramientas requeridas a los técnicos y garantizar la ejecución de las actividades.

Por otra parte, el personal técnico y los operarios de máquinas herramientas trabajan bajo el direccionamiento del personal gestor, son los encargados de ejecutar las órdenes de trabajo para los mantenimientos preventivos y correctivos, adecuaciones y mejoras. Los operarios de máquinas herramientas, al igual que los técnicos trabajan bajo el direccionamiento del personal gestor, enfocados en la fabricación de repuestos, apoyo en la reparación de averías de los equipos en planta y mecanizado de piezas que se pueden considerar consumibles para el desarrollo de los procesos de la planta de producción como lo es el cobre.

Figura 5.

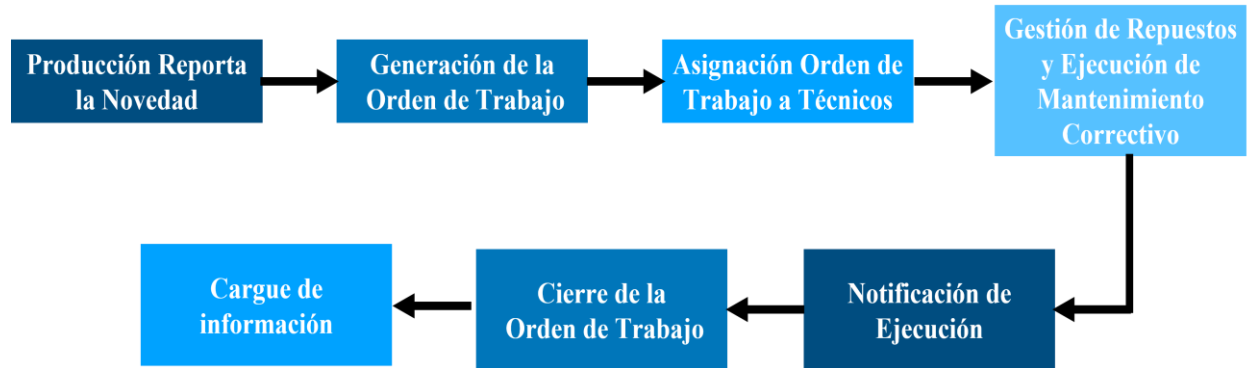
Diagrama Ejecución de Actividades Preventivas.



Nota: En este diagrama se muestra el proceso de las Actividades Preventivas. Autor, 2022.

Figura 6.

Diagrama ejecución de actividades correctivas.



Nota: En este diagrama se muestra el proceso de las Actividades Correctivas. Autor, 2022.

5.2 Infraestructura de Mantenimiento.

El equipo de mantenimiento realiza sus intervenciones principalmente en las líneas de producción, es decir a todos los equipos que se encuentran en planta y que de una u otra manera deben estar disponibles para permitir el desarrollo de la misma. Estas actividades se ejecutan en su mayoría por el personal técnico de manteniendo propio de la compañía, en ocasiones y en requerimientos puntuales se genera la necesidad de acceder a los servicios de contratistas.

Dentro del alcance del equipo de mantenimiento también se encuentra el mantenimiento a una pequeña flota de vehículos de carga y todas las áreas locativas de las tres plantas de producción, estas dos últimas se ejecutan en un gran porcentaje por personal contratista y en ocasiones apoyado por el personal interno de la compañía, pero, claro está, que son actividades gestionadas y supervisadas por el área de mantenimiento.

6. Electrosoldadora Schlatter MG208.

6.1. Descripción del Equipo.

La electrosoldadora de malla Schlatter MG208 es un sistema de soldadura para mallas en alambre liso o corrugado, a pesar de las múltiples aplicaciones del producto, la compañía fabrica malla para el refuerzo de concreto de frecuente uso en el sector de la construcción. Sin embargo, los equipos para fabricación de mallas industriales Schlatter se emplean para la fabricación de mallas a la medida en múltiples campos, algunos ejemplos son los paneles para almacenamiento, exposición, tiendas y bandejas para electrodomésticos. Generalmente se trata de mallas planas como parrillas o cestas y jaulas, que puede crear productos típicos como son carros y cestas que se encuentran en los supermercados, expositores de productos y estantería, así como las rejillas y bandejas para neveras, cocinas y lavavajillas.

El equipo cuenta con un sistema de alimentación semiautomático pues requiere de una alimentación manual de alambres longitudinales y transversales. Este equipo tiene capacidad de fabricar mallas con alambres o varillas desde 4mm hasta 8.5mm de diámetro y la referencia de producción según la compañía es que promediando los tiempos de fabricación de malla en los diferentes calibres de varilla que puede manejar este equipo se dice que el activo puede fabricar 1.5 unidades de malla por minuto²⁵.

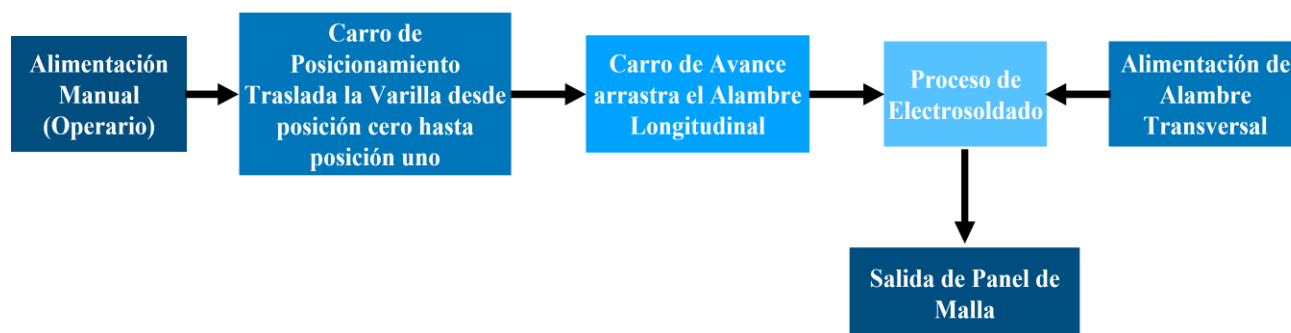
²⁵ Schlattergroup.com. 2022. Sistemas de soldadura para mallas industriales y cercas | Schlatter Group. [en línea] Disponible en: <<https://www.schlattergroup.com/es/instalaciones-de-soldadura/sistemas-de-soldadura-para-mallas-industriales-y-cercas/>>

Figura 7.*Electrosoldadora Schlatter MG208*

Nota: En esta imagen se visualiza la Electrosoldadora de estudio. Autor, 2022.

6.2. Descripción del Proceso.

La siguiente imagen muestra un esquema simplificado del proceso de la MG208 para fabricación de malla electrosoldada en paneles:

Figura 8.*Proceso de la MG208.*

Nota: En este diagrama se muestra el proceso simplificado de Electrosoldado. Autor, 2022.

Para dar una mejor explicación al proceso, se lista una secuencia de actividades generalizadas que se cumplen en el activo durante la fabricación del panel.

- En el carro de posicionamiento (posición cero) se realiza la alimentación del alambre longitudinal de forma manual, el operario por medio de guías ubica los alambres de forma correcta para iniciar el proceso.
- El operario oprime el pulsador de inicio y las prensas neumáticas del carro de posicionamiento se activan aprisionando los alambres y la guía de tope se oculta.
- El carro de posicionamiento avanza desde la posición cero hasta la posición uno y ubica los alambres ahora sobre el carro de avance una vez las prensillas del carro de posicionamiento se desactivan liberando los alambres para finalmente retornar a la posición cero.
- El carro de avance por medio de prensillas neumáticas genera un ciclo de avance (prensillas activadas que arrastran el alambre) y retroceso (prensillas desactivadas

retornan sin carga) cuantas veces se requiera para lograr el avance longitudinal hasta que el panel de malla se haya terminado.

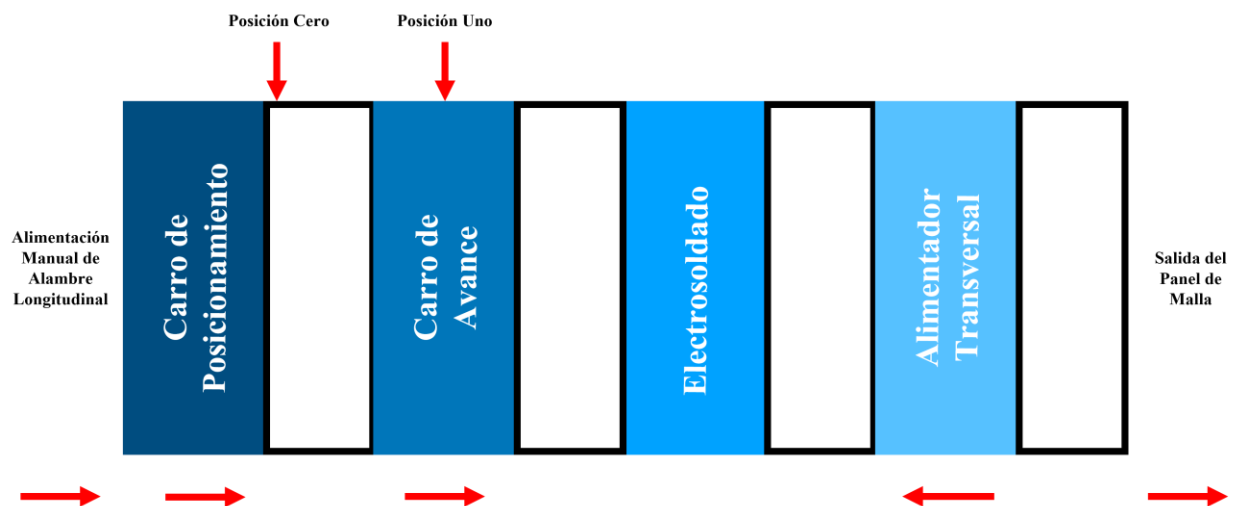
- Sistema de electro soldado, por medio de un arco eléctrico generado por electrodos y presión emitida por las prensas neumáticas se genera la soldadura del alambre.

- Alimentador de alambre transversal, encargado de alimentar el alambre en esta posición y al igual que el carro de avance este ciclo de alimentación se repite cuantas veces se requiera hasta que el panel de malla se haya terminado.

- Salida del panel de malla.

Figura 9.

Flujo de trabajo MG208.



Nota: En este flujograma se muestra el proceso simplificado de Electro soldado. Autor, 2022.

6.3. Sistemas de la Electrosoldadora.

Para estructurar las actividades de mantenimiento se ha dividido el equipo en cinco sistemas: sistema eléctrico, sistema de control, sistema de refrigeración, sistema neumático y sistema mecánico carro de posicionamiento.

Tabla 1.

Sistemas de la Electrosoldadora.

SISTEMA DE ESTUDIO	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL SISTEMA	CONDICIONES OPERACIONALES	CONDICIONES AMBIENTALES
Sistema Eléctrico	Gabinete con puesta a tierra, cuenta con un selector principal y tres breakers de fuerza, cableado principal # 2/0 en cobre.	Voltaje de alimentación 440v tres fases y 60Hz, voltaje de trabajo requerido 220v y 24v.	Polvo de calamina.
Sistema de Control	PLC siemens S7 300, Pantalla LCD táctil, sensores micro, de proximidad, y posición. Componentes electrónicos marca Moeller.	Voltaje de operación requerida de 220 v y 24v DC.	Polvo de calamina.
Sistema de Refrigeración	Motobomba hidráulica presión máxima de 11bar, 5hp a 440v motor trifásico diámetro de succión 2", diámetro descarga 1 1/2".	Temperatura de agua en el sistema máximo 55°C, presión de agua mínima 7bar vigilada por presostato.	Polvo de calamina.

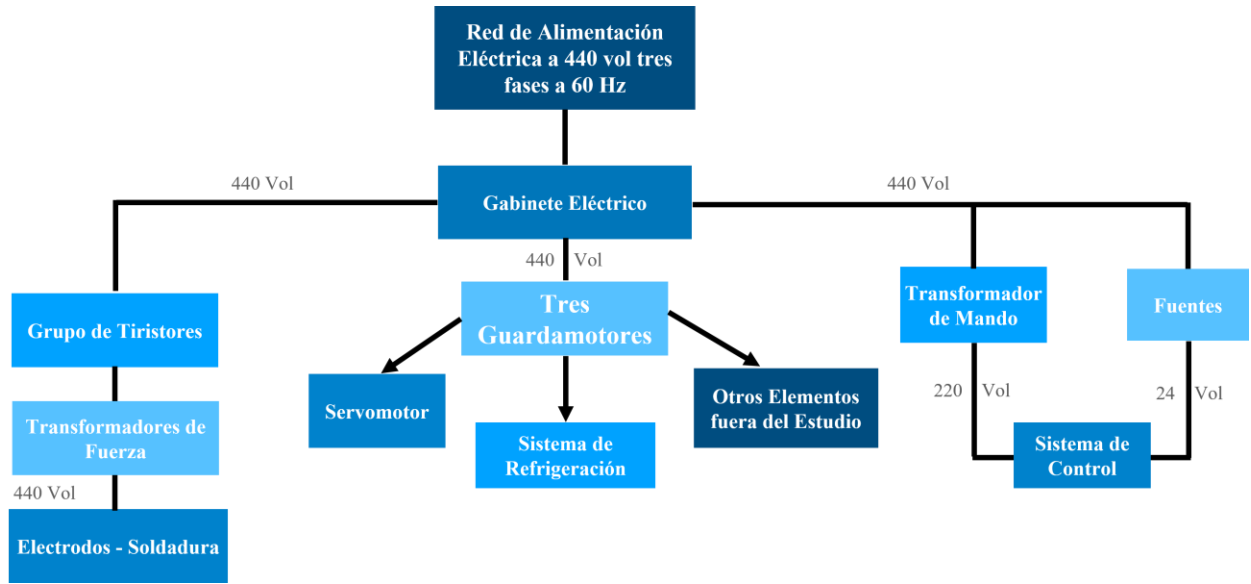
Sistema Neumático	Manifold con conexión de entrada 2" y descarga 1-1/2", electroválvulas 3/2 monoestables con accionamiento eléctrico y retorno por muelle y eléctrico bobina 24v ac, actuadores marca y válvulas marca Micro, diámetro de conectores rápidos y mangueras 6mm, unidades de mantenimiento con conexiones de 1-1/2" a 1".	Aire de la red a 7.5bar, reguladores de presión manuales, dosificadores de aceite lubricante con ajuste manual, drenaje de condensado automático.	Polvo de calamina.
Sistema Mecánico carro de posicionamiento.	Eje de transmisión, piñones y cadena.	Generar el avance y el retorno del carro de posicionamiento.	Polvo de calamina.

Nota: En esta tabla se muestran los sistemas de estudio de la electrosoldadora y algunas de sus características. Autor, 2022.

6.3.1. Sistema Eléctrico.

Figura 10.

Diagrama básico sistema eléctrico.



Nota: En este diagrama básico se muestra el Sistema de Fuerza Eléctrica. Autor, 2022.

Comprendido como el sistema de fuerza - potencia eléctrica encargado de transmitir y transformar la energía para alimentar todos los componentes eléctricos y electrónicos que conforman al activo, algunos de sus componentes son:

6.3.1.1. Tablero Eléctrico. Gabinete metálico con puesta a tierra y maniobra mecánica para control de apertura y cierre de su puerta, cuenta con un selector principal marca Moeller de 250 amperios y tres breakers de fuerza marca Eaton, adicional cuenta con un grupo de fusibles de protección de fases y un grupo de guarda motores.

Figura 11.

Tablero Eléctrico.



Nota: En esta imagen se observa el tablero eléctrico o de fuerza de la electrosoldadora.

Autor, 2022.

6.3.1.2. Cableado de Fuerza. Es un elemento utilizado para conducir energía eléctrica, en este caso la acometida principal cuenta con un cable número 2/0 con filamentos en cobre calibre y es quien genera la interconexión de la salida del tablero eléctrico hasta los componentes eléctricos y electrónicos del sistema.

6.3.1.3. Transformadores. El sistema cuenta con dos tipos de transformadores, por una parte, cuenta con 7 transformadores de fuerza entrada - primario 440v y salida - secundario 440v tipo seco y son los encargados de transmitir la fuerza eléctrica a los electrodos que generan el electrosoldado.

Figura 12.

Gabinete de transformadores para electrosoldado.



Nota: En esta imagen se observa el gabinete de los transformadores de fuerza. Autor, 2022.

Por otra parte, cuenta con un transformador de mando marca Ismet tipo seco de 10 amperios quien se encarga de transformar de 440v a 220v para alimentar la maniobra del sistema

de control (pulsadores, contactores).

Figura 13.

Transformador de Mando.



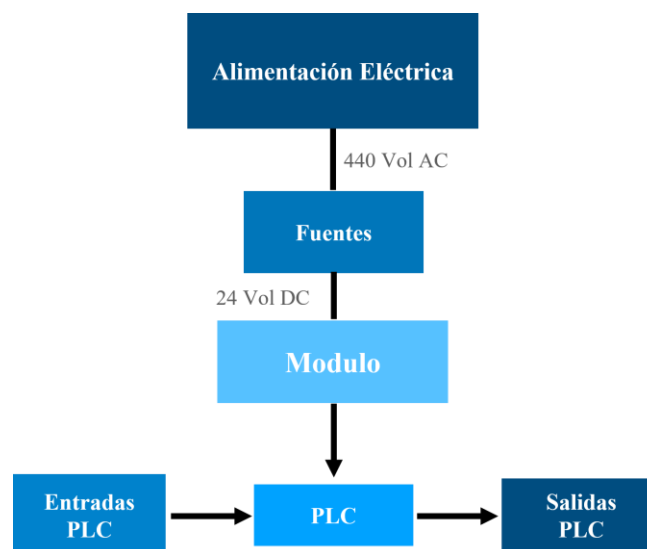
Nota: En esta imagen se observa el transformador de mando. Autor, 2022.

6.3.1.4. Servomotor. Este actuador rotativo permite controlar de forma precisa la posición, aceleración y velocidad, capacidades con las que no cuenta un motor eléctrico convencional. Para esta aplicación específica el servomotor es el encargado de transmitir potencia al sistema mecánico del carro de posicionamiento, trasladando los alambres longitudinales desde el punto cero hasta el punto uno justo en la posición requerida para iniciar el proceso de electro soldado. Servomotor marca Lenze de 3750 RPM a 440v y 9.1 amperios.

Figura 14.*Servomotor*

Nota: En esta imagen se observa el Servomotor eléctrico. Autor, 2022.

6.3.2. Sistema de Control

Figura 15.*Sistema de Control.*

Nota: En este diagrama básico se muestra el Sistema de Control. Autor, 2022.

Este sistema está compuesto por un conjunto de elementos y dispositivos electrónicos que están interconectados para administrar las funciones del activo permitiendo ejecutar sus movimientos de forma estructurada, algunos componentes son:

6.3.2.1. Fuentes. El sistema cuenta con dos fuentes eléctricas marca Puls y son las encargadas de transformar la alimentación eléctrica del sistema de control, convirtiendo 440v ac a 24v dc.

Figura 16.

Fuentes Eléctricas Sistema de Control.



Nota: En esta imagen se observa las fuentes eléctricas del sistema de control. Autor, 2022.

6.3.2.2. Modulo. Módulo de programación marca schlatter, responsable de almacenar y procesar el programa de funcionamiento del equipo diseñado y cargado por su fabricante, trabaja en sinergia con el PLC a quien le suministra la información del programa diseñado.

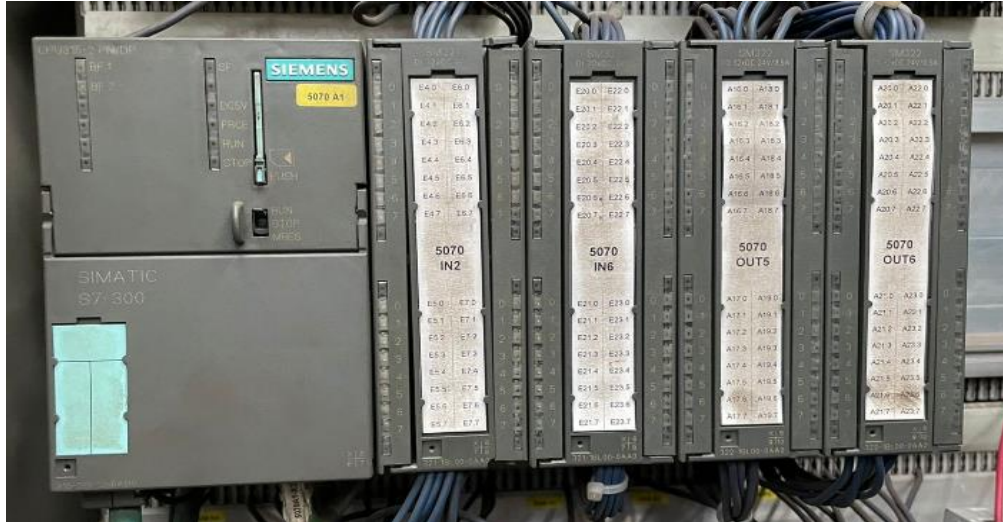
Figura 17.

Modulo soldadora Mg208



Nota: En esta imagen se observa el modulo del sistema de control. Autor, 2022.

6.3.2.3. PLC. PLC por sus siglas en ingles es un controlador lógico programable para este caso un Siemens S7 300 que ejecuta las funciones cargadas en el módulo, se encarga de administrar el funcionamiento secuencial del sistema y apoyado por los demás componentes electrónicos controla la seguridad del personal operativo, el proceso y el activo.

Figura 18.*PLC Siemens S7 300.*

Nota: En esta imagen se observa el PLC del Sistema de Control. Autor, 2022.

6.3.2.4. Pantalla. Esta pantalla tipo LCD permitir la comunicación del equipo con el operador. Es el medio por el cual se podrán ajustar parámetros requeridos y visualizar alarmas que se generen en el sistema y es desde donde se genera el ON / OFF del activo.

Figura 19.

Pantalla LCD

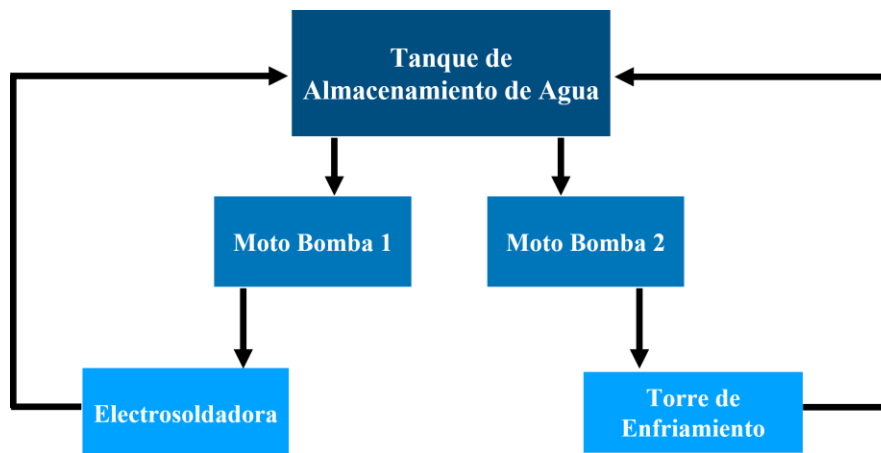


Nota: En esta imagen se observa la pantalla LCD del Sistema de Control. Autor, 2022.

6.3.3. Sistema Refrigeración.

Figura 20.

Diagrama Básico Sistema de Control.



Nota: En este diagrama básico se muestra el Sistema de Refrigeración. Autor, 2022.

Sistema diseñado para suministrar agua de enfriamiento a los electrodos de soldado entregándola a temperatura ambiente según las condiciones operativas, adicional debe contener el agua durante todo el ciclo de refrigeración sin fugas. Algunos componentes son:

6.3.3.1. Motobomba: El sistema está compuesto por dos motobombas de las mismas características: presión máxima de 11bar, 5hp a 440v motor trifásico diámetro de succión 2", diámetro descarga 1 1/2". Son responsables de la recirculación del agua entre tanque de almacenamiento a electrosoldadora y entre tanque de almacenamiento a torre de enfriamiento.

Figura 21.

Motobombas



Nota: En esta imagen se observa las Motobombas del Sistema de Refrigeración. Autor, 2022.

6.3.3.2. Torre de enfriamiento: Este equipo se encarga de realizar la transferencia de calor del agua del proceso al medio ambiente. Durante el funcionamiento, el agua fluye mediante los paneles de enfriamiento donde se genera la transferencia de calor con la ayuda de un motor ventilador que inyecta aire a temperatura ambiente contribuyendo a la transferencia de calor.

Figura 22.

Torre de Enfriamiento.

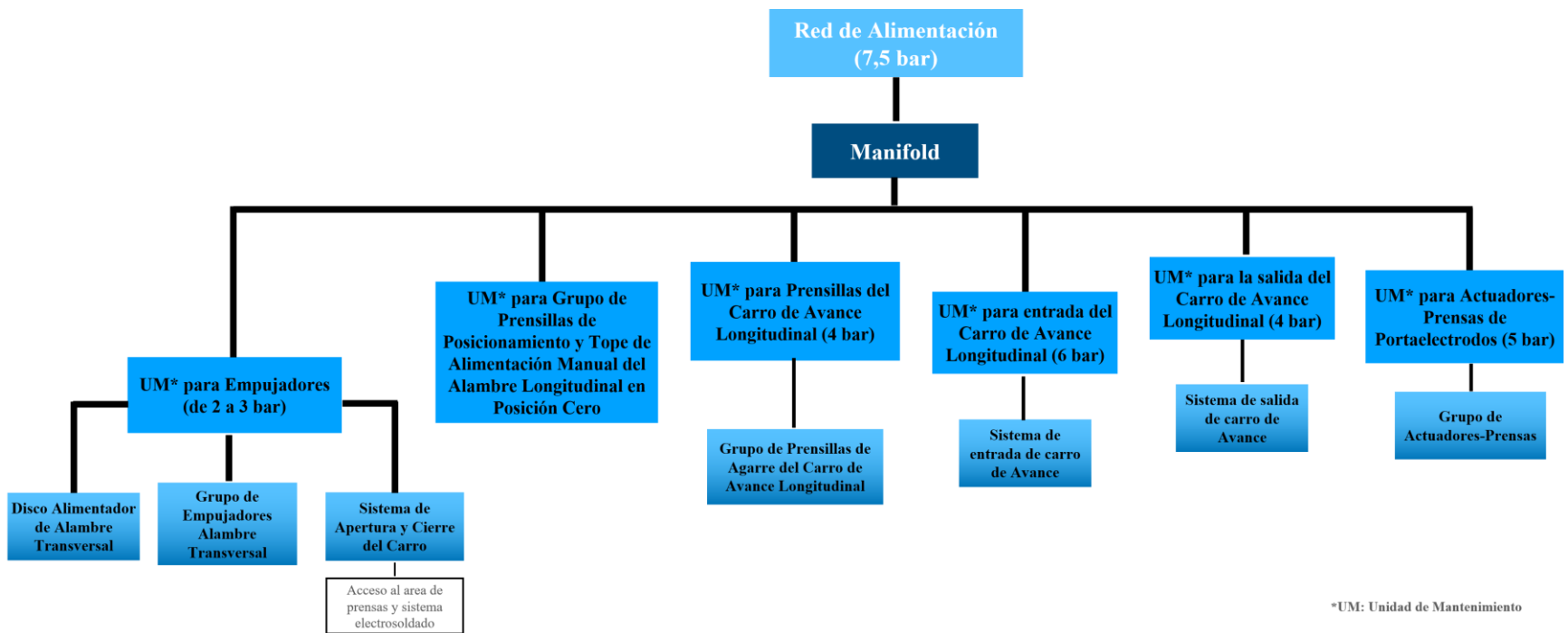


Nota: En esta imagen se observa la Torre de Enfriamiento del Sistema de Refrigeración. Autor, 2022.

6.3.4. Sistema Neumático:

Figura 23.

Sistema Neumático



Nota: En este diagrama básico se muestra el Sistema Neumático de la Electrosoldadora Autor, 2022.

El sistema neumático utiliza aire comprimido suministrado por una red principal para transmitir movimiento y fuerza. En este proceso el sistema neumático genera accionamientos indispensables algunas como activación de prensillas de posicionamiento, prensillas de avance, prensas de electrosoldado, y activación de movimiento en el carro de avance, alimentador transversal entre otros. Algunos componentes del sistema se describen a continuación:

6.3.4.1. Manifold. En este bloque es alimentado por la red principal de aire, aquí se agrupan unidades de mantenimiento mediante las cuales se inicia la ramificación de aire comprimido para alimentar los sub-sistemas neumáticos que componen al activo bajo las condiciones operacionales requeridas.

Figura 24.

Manifold



Nota: En esta imagen se observa el Manifold del Sistema Neumático. Autor, 2022.

6.3.4.2. Actuadores. Los actuadores utilizan el aire comprimido suministrado por el sistema para transmitir movimiento y fuerza. En este proceso el sistema neumático cuenta con algunos actuadores como prensillas de posicionamiento y avance, movimientos del carro de avance, prensas para generar presión sobre los electrodos, el alambre transversal y el longitudinal durante el electrosoldado entre otros, la siguiente imagen nos muestra algunos de estos:

Figura 25.

Actuadores neumáticos.



Actuadores – Prensas de electrosoldado. Actuadores – movimiento carro de avance.

Nota: En esta imagen se observa alguno de los actuadores de la Electrosoldadora.

6.3.4.3. Unidades de mantenimiento: Conocido también como FRL por las iniciales de filtros, reguladores y lubricador. En estas unidades se genera el paso de aire para atender necesidades del sistema como lo es evitar el paso de impurezas solidas a los actuadores, regular la presión y circular un aire lubricado que permita transportar el aceite a todas las piezas móviles y contar con un sistema lubricado.

Figura 26.

Unidades de Mantenimiento



Nota: En esta imagen se observan algunas de las Unidades de Mantenimiento de la Electrosoldadora. Autor, 2022.

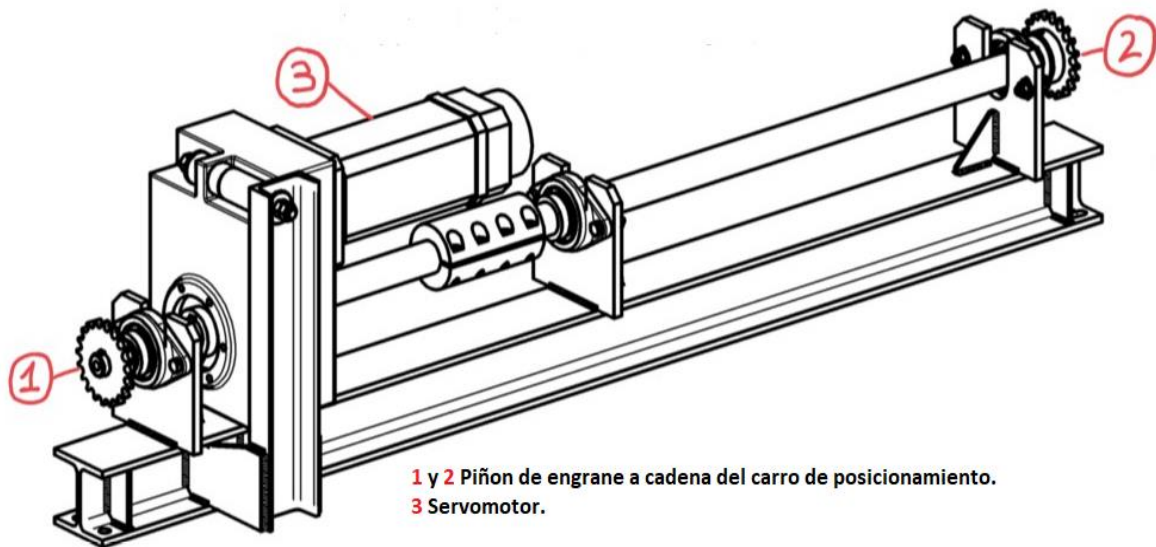
6.3.5. Sistema mecánico carro de posicionamiento.

Este sistema mecánico esta alimentado por la potencia transmitida desde el servomotor, consta de un eje y un par de piñones acoplados en sus extremos donde engranan con una cadena que transmite potencia al carro de posicionamiento permitiéndole desplazarse de la posición cero a la posición uno. Este sistema junto con las prensillas neumáticas son los encargados de trasladar el alambre longitudinal y entregarlo al carro de avance para iniciar el proceso de

electrosoldado. A continuación, se muestra una imagen con la representación isométrica de la transmisión:

Figura 27.

Sistema Mecánico carro de posicionamiento.



Nota: En esta figura se muestra la transmisión mecánica del carro de posicionamiento. Autor, 2022.

7. Desarrollo de la Metodología.

7.1. Fronteras y Funciones de los Sistemas identificados.

Tabla 2.

Funciones y Fronteras de los Sistemas de estudio.

SISTEMA DE ESTUDIO	FRONTERAS (PLANO-DIAGRAMA)	Cód Fun.	FUNCIONES
Sistema Eléctrico	Desde la alimentación del tablero eléctrico hasta la alimentación de los electrodos para soldado.	FSE-01	Entregar energía eléctrica a 440v y 24v.
		FSE-02	Mantener aislado el flujo de la energía eléctrica.
		FSE-03	Desconectar el sistema si se detecta la caída de una o más fases.
Sistema de Control	Alimentación del tablero de control hasta la conexión del cable de alimentación de los componentes electrónicos.	FSC-01	Dirigir la secuencia de trabajado del equipo administrando sus funciones.
		FSC-02	Generar señales de alarma cuando algún parámetro de seguridad sea vulnerado.
		FSC-03	Enviar señales de corte (interrupción) de secuencias del proceso para preservar la seguridad de los operarios y los elementos del sistema cuando los parámetros de programación estén fuera de las condiciones operacionales y de seguridad.

		FSC-04	Permitir la comunicación del equipo con el operador para ajustar parámetros requeridos y visualizar alarmas.
Sistema de Refrigeración	Circuito completo, incluye motor eléctrico, bomba y torre de enfriamiento.	FSR-01	Suministrar agua de enfriamiento a los electrodos de soldado entregándola a temperatura ambiente según las condiciones operativas.
		FSR-02	Contener el agua durante todo el ciclo de refrigeración sin fugas.
Sistema Neumático	Desde la entrada del manifold hasta los actuadores.	FSN-01	Entregar aire entre 2 y 6 bar a los actuadores, según la secuencia de movimientos indicadas por el PLC.
		FSN-02	Contener el aire comprimido sin fugas.
		FSN-03	Atender (mediante bobinas) las señales del PLC para lograr una correcta secuencia de movimientos requeridos por el sistema de electrosoldado.
		FSN-04	Drenar automáticamente los condensados generados en el sistema para mantenerlo bajo condiciones óptimas de secado.

Sistema Mecánico carro de posicionamiento.	Desde la entrada de potencia del sistema mecánico hasta la cadena de desplazamiento	FSMAL-01	Trasladar los alambres desde la posición cero a la posición 1 para el inicio del proceso de soldadura.
		FSMAL-02	

Nota: En esta tabla se identifican las fronteras y las funciones de los sistemas de interés. Autor, 2022.

7.2. Fallas funcionales.

7.2.1. Fallas Funcionales Sistema Eléctrico.

Tabla 3.

Descripción Fallas Funcionales Sistema Eléctrico

Cód. Func.	Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional
FSE-01	Entregar energía eléctrica a 440v y 24v.	FFEL-01	No entrega 440v a los componentes requeridos.
FSE-01	Entregar energía eléctrica a 440v y 24v.	FFEL-02	No entrega 24v a los componentes requeridos.
FSE-02	Mantener aislado el flujo de la energía eléctrica.	FFEL-03	Pérdida parcial de aislamiento eléctrico en el sistema.
FSE-03	Desconectar el sistema si se detecta la caída de una o más fases.	FFEL-04	No se desconecta el sistema cuando se genera la caída de una o más fases.

FSE-03	Desconectar el sistema si se detecta la caída de una o más fases.	FFEL-05	Se desconecta el equipo cuando NO se ha generado caída de alguna fase.
--------	---	---------	--

Nota: En esta tabla se identifican las fallas funcionales del Sistema Eléctrico. Autor, 2022.

7.2.2. Fallas Funcionales Sistema de Control

Tabla 4.

Descripción Fallas Funcionales Sistema Eléctrico

Cód. Func.	Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional
FSC-01	Dirigir la secuencia de trabajado del equipo administrando sus funciones.	FFCO-01	No dirige ninguna secuencia, el sistema no da inicio.
FSC-01	Dirigir la secuencia de trabajado del equipo administrando sus funciones.	FFCO-02	No dirige algunas secuencias, el sistema arranca pero presenta descoordinación.
FSC-02	Generar señales de alarma cuando algún parámetro de seguridad sea vulnerado.	FFCO-03	No generar señales de alarma cuando algún parámetro de seguridad sea vulnerado.
FSC-02	Generar señales de alarma cuando algún parámetro de seguridad sea vulnerado.	FFCO-04	No genera bloqueo cuando algún parámetro de seguridad sea vulnerado.
FSC-02	Generar señales de alarma cuando algún parámetro de seguridad sea vulnerado.	FFCO-05	No generar señales de alarma NI de bloqueo cuando algún parámetro de seguridad sea vulnerado.

FSC-03	<p>Enviar señales de corte (interrupción) de secuencias del proceso para preservar la seguridad de los operarios y los elementos del sistema cuando los parámetros de programación estén fuera de las condiciones operacionales y de seguridad.</p>	FFCO-06	<p>No Protege el sistema cuando los parámetros de programación están fuera de las condiciones operacionales.</p>
FSC-03	<p>Enviar señales de corte (interrupción) de secuencias del proceso para preservar la seguridad de los operarios y los elementos del sistema cuando los parámetros de programación estén fuera de las condiciones operacionales y de seguridad.</p>	FFCO-07	<p>Sistema bloqueado cuando los parámetros de programación están dentro de las condiciones operacionales.</p>
FSC-04	<p>Permitir la comunicación del equipo con el operador para ajustar parámetros requeridos y visualizar alarmas.</p>	FFCO-08	<p>Imposibilita la comunicación del equipo con el personal.</p>

Nota: En esta tabla se identifican las fallas funcionales del Sistema Control. Autor, 2022.

7.2.3. Fallas Funcionales Sistema de Refrigeración.

Tabla 5.

Descripción Fallas Funcionales Sistema Refrigeración

Cód. Func.	Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional
FSR-01	Suministrar agua de enfriamiento a los electrodos de soldado entregándola a temperatura ambiente según las condiciones operativas.	FFRE-01	Agua del sistema a una temperatura superior a los 70°C.
FSR-02	Contener el agua durante todo el ciclo de refrigeración sin fugas.	FFRE-02	Ciclo de refrigeración con fugas.
FSR-03	Suministrar agua a una presión no menor a los 7bar.	FFRE-03	Suministrar agua a una presión menor a los 7bar.

Nota: En esta tabla se identifican las fallas funcionales del Sistema Refrigeración. Autor, 2022.

7.2.4. Fallas Funcionales Sistema de Neumático.**Tabla 6.***Descripción Fallas Funcionales Sistema Neumático*

Cód. Func.	Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional
FSN-01	Entregar aire entre 2 y 6 bar a los actuadores, según la secuencia de movimientos indicadas por el PLC.	FFNE-01	No entrega aire.
FSN-01	Entregar aire entre 2 y 6 bar a los actuadores, según la secuencia de movimientos indicadas por el PLC.	FFNE-02	Entrega aire fuera del rango de operación requerida entre 2bar y 6bar.
FSN-02	Contener el aire comprimido sin fugas.	FFNE-03	Sistema neumático con fugas.
FSN-03	Atender (mediante bobinas) las señales del PLC para lograr una correcta secuencia de movimientos requeridos por el sistema de electrosoldado.	FFNE-04	No atiende las señales del PLC.
FSN-04	Drenar automáticamente los condensados generados en el sistema para mantenerlo bajo condiciones óptimas de secado.	FFNE-05	No drenar los condensados generados en el sistema.

Nota: En esta tabla se identifican las fallas funcionales del Sistema Neumático. Autor, 2022.

7.2.5. Fallas Funcionales Sistema de Mecánico.

Tabla 7.

Descripción Fallas Funcionales Sistema Mecánico

Cód. Func.	Función	Cód. FF	Descripción Falla Funcional
FSMCP-01	Trasladar los alambres desde la posición cero a la posición 1 para el inicio del proceso de soldadura.	FFMAL-01	Generar el avance y el retorno del carro de alimentación longitudinal pero no lo ubica en la posición requerida.
FSMAL-01	Trasladar los alambres desde la posición cero a la posición 1 para el inicio del proceso de soldadura.	FFMAL-02	No generar el avance y el retorno del carro de alimentación longitudinal, sistema no da inicio.

Nota: En esta tabla se identifican las fallas funcionales del Sistema Mecánico. Autor, 2022.

7.3. Modos de Falla

Listadas las fallas funcionales, se procede ahora con la identificación de los posibles modos de fallas que podrían darse sobre la electrosoldadora.

En el apéndice B (hoja RCM) de este estudio, específicamente en la columna G se listan todos los modos de falla identificados.

7.4. Análisis de los Modos y Efectos de Falla.

En el apéndice B adjunto (hoja RCM) columna H, se lista la descripción de los efectos sobre el análisis de los modos de falla. Esta columna H agrupa la información de las columnas I/J/K/L/M que junto con la columna N donde se clasifica si la falla es oculta o no para el operario, dan la entrada al siguiente paso correspondiente al análisis del riesgo.

7.5. Análisis de Riesgo.

Las columnas P/Q/R/S/T agrupan la clasificación del riesgo que las fallas identificadas podrían tener sobre el recurso ambiental, humano, económico y la imagen de la compañía. Esta clasificación se obtiene basados en la matriz que se muestra a continuación. Ver apéndice B (hoja matriz de riesgo).

Figura 28.

Matriz de Riesgos

CONSECUENCIAS				CONSECUEN CIA	PROBABILIDAD						Riesgo para Matriz	Riesgo para RCM
HUMANAS	AMBIENTALES	COSTOS	IMAGEN		IMPOSIBLE	IMPROBABL	REMOTO	OCASIONAL	MODERADO	FRECUENTE		
Mas de un muerto	Efectos irreversibles	>100.000.000	Internacional	Catastrofico								
Incapacidad permanente	Efectos irreversibles en menos de 2 años	< \$30.000.000	Nacional	Critico								
Incapacidad temporal	Efectos reversibles en menos de 6 meses	< \$5.000.000	Regional	Marginal							ALTO	INACEPTABLE
Lesiones	Efectos pueden ser controlados	< \$2.000.000	Local	Insignifican							MEDIO	INACEPTABLE
Ninguna	No afecta el medio ambiente	0 \$ COP	Ninguno	Ninguno							BAJO	ACEPTABLE
					> 2 Años.	> 1 Año.	< 1 año	± 6 mes.	1 mes	± 1 semana.		
					A	B	C	D	E	F		

Nota: En esta figura se visualiza la matriz de riesgo de los efectos de falla, Autor, 2022.

La clasificación del riesgo nos permite definir los tipos de decisión y así obtener las tareas recomendadas.

7.6. Descripción de Tareas.

Según los requerimientos del RCM para la toma de decisión de la tarea que se va a desarrollar se debe seguir las indicaciones de un diagrama de decisión cuyo resultado de este estudio se relaciona en el apéndice adjunto (hoja RCM) columna V, esto así, permite finalmente establecer las tareas de mantenimiento, para este caso se listan en el apéndice adjunto (hoja RCM) columna W.

Dentro de las tareas recomendadas, se encuentran las preventivas, tareas correspondientes a inspección del funcionamiento del equipo, limpieza, ajuste de parámetros que ayuden a prolongar la confiabilidad. Monitoreo de condición, tareas con la que se pretende “monitorear” el estado actual del equipo, para este caso su condición de operación como funcionamiento, estado físico del activo, niveles de contaminación o cualquier anomalía. Correctivas, con estas actividades se recomienda correr a falla y realizar el cambio del componente que se requiera ya que por sus bajos costos de adquisición y su diseño, no es viable un mantenimiento antes de su falla. Las columnas X/Y listan las frecuencias y el recurso humano recomendado para la ejecución de las tareas.

Conclusiones

Se definieron los sistemas y elementos que componen la electrosoldadora Schlatter MG 208, con el fin de realizar un análisis detallado de los posibles modos de falla y de esta manera poder establecer las tareas de mantenimiento para mejorar la confiabilidad del equipo.

Se realizó un análisis de los modos de falla y efecto AMEF de los sistemas del equipo, basado en la recopilación de información obtenida en las visitas a planta y entrevistas a personal técnico y operativo.

El desarrollo del análisis de riesgo nos permitió clasificar la criticidad de los efectos de las fallas identificadas encontrando cuatro de valor alto, setenta y seis de valor medio y siete de valor bajo basados en la matriz de clasificación.

Se definieron las actividades de mantenimiento para complementar el plan de mantenimiento actual, como resultado se obtuvieron 56 tareas preventivas, 16 tareas de monitoreo, 13 tareas correctivas y 2 tareas para detección de fallas de los sistemas de estudio.

Bibliografía

Aguirre Vera, H.M. Bonilla Escobar C.I. (2010). Modelo de Gestión de Mantenimiento a la Empacadora Merello ME-104 Basado en RCM. Universidad Industrial de Santander. Disponible en Biblioteca Virtual UIS.

Artículos y Productos de Bajo Coste para Mantenimiento. Mantenimiento Preventivo. Disponible en: www.mantenimientoplanificado.com/j%20guadalupe%20articulos/MANTENIMIENTO%20PREVENTIVO%20parte%201.pdf.

Becerra, F., 2022. Disponible en: www.mantenimientomundial.com/notas/GestionBecerra.pdf.

García Garrido, S., 2009. Renovetec.com. Disponible en: <http://www.renovetec.com/mantenimientoindustrial-vol4-correctivo.pdf>.

Gestión De Inspecciones En Mantenimiento, Evtech. 2020. Evtech.Cl. Disponible en: <https://evtech.cl/que-tan-efectiva-es-su-gestion-de-inspecciones-pm/>.

Hidalgo, F. V. V. (2021). Generaciones del Mantenimiento Industrial. Disponible en: https://www.academia.edu/49082013/Generaciones_del_Mantenimiento_Industrial

IEC60300-3-11. 1999 Application guide-Reliability-centred maintenance, International Electrotechnical Commission.

Lafraia, J R (2001). Manual de Confiabilidade Mantenabilidade e Disponibilidade. Qualitymark Editora Ltda

Mora Flórez. J.J. (2008). Desarrollo de una Metodología de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para líneas de transmisión de alta tensión. Universidad Tecnológica de Pereira. Disponible en: repositorio.utp.edu.co

Moubray, J., 1991-1997. Reliability-centred maintenance. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Nowlan, S. and Heap, H., 2001. Reliability-centered maintenance. Springfield, Va.: NTIS.

NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos. AMFE. (2004). Disponible en:

https://www.insst.es/documents/94886/326775/ntp_679.pdf/3f2a81e3-531c-4daa-bfc2-2abd3aaba4ba?version=1.0&t=1528460825650

Ortiz, D. 2017. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – MCC - Guía Práctica

Pérez Rondón, F., 2021. Repository.usta.edu.co. Disponible en:

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/33276/9789588477923.pdf?sequence=4&isAllowed=y>.

Reliabilityweb. 2022. Gestión Integral de Mantenimiento Basada en Confiabilidad. Disponible en: <https://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/gestion-integral-de-mantenimiento-basada-en-confiabilidad>.

Schlattergroup.com. 2022. Sistemas de soldadura para mallas industriales y cercas | Schlatter Group. Disponible en: <https://www.schlattergroup.com/es/instalaciones-de-soldadura/sistemas-de-soldadura-para-mallas-industriales-y-cercas/>

Smith, A., 1993. Reliability-centered maintenance. New York: McGraw-Hill.

Torres. Mantenimiento-Su implementación y Gestión. Disponible en:

<http://www.mantenimientomundial.com/torres/Parte3.pdf>.

UNE-EN 13306:2018 Mantenimiento. Terminología del mantenimiento.