



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INDUSTRIAL

**“PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO EN EL
ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA MEGA CONS”**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL**

AUTOR/ES:

Jonathan Mauricio Sntaxi Gualotuña

Diego Fernando Toasa Acurio

TUTOR:

Ing. Diego Paul Monga Sánchez

LATACUNGA - ECUADOR

AGOSTO 2024



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Jonathan Mauricio Suintaxi Gualotuña y Diego Fernando Toasa Acurio, con cédulas de ciudadanía No. 1725919839 y 0504433210 respectivamente, declaramos ser los autores del presente **“PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: “PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA MEGACONS”**, siendo el Ing. Diego Paul Manga Sánchez, Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, agosto del 2024


Jonathan Mauricio Suintaxi Gualotuña
C.C: 1725919839


Diego Fernando Toasa Acurio
C.C: 0504433210



AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación sobre el título: “**PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA MEGACONS**”, de Jonathan Mauricio Suntaxi Gualotuña y Diego Fernando Toasa Acurio, de la carrera de Ingeniería Industrial, considero que dicho Trabajo Investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, agosto del 2024

Ing. Diego Paul Monga Sánchez.

C.C.: 0503569964

TUTOR



AV AL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y, por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: Jonathan Mauricio Suintaxi Gualotuña y Diego Fernando Toasa Acurio con números de cédulas 1725919839 y 0504433210 respectivamente, con el título del Proyecto de Investigación: **“PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA MEGA CONS”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

o, se autoriza realizar los anillados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, agosto del 2024

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)

Msc. Cristian Iván Eugenio Pilliza

CC: 1723727473

Lector 2

Ing. Esteban Alexander Salgado Gallo

CC:0503404493

Lector 3

Dr.Sc. Ruiz Carrillo Jonathan Alexander

CC: 0703323824



Astudillo Erazo Mariela Teresa

Gerente de la Empresa MEGA CONS

PRESENTE. –

En calidad de gerente de la empresa Megacons, confirma la realización del proyecto “**PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO EN EL ÁREA DE PRODUCCION DE LA EMPRESA MEGA CONS.**” desarrollado por los señores estudiantes de la Universidad Técnica De Cotopaxi de la carrera de **Ingeniería Industrial; Jonathan Mauricio Suntaxi Gualotuña y Diego Fernando Toasa Acurio**, con cédulas de ciudadanía No. **1725919839** y **0504433210** respectivamente, bajo la supervisión y coordinación de la empresa .

Representa una valiosa herramienta para ejecutar tareas de mantenimiento y mejorar la operatividad de nuestros equipos. Deseamos expresar nuestro agradecimiento a los estudiantes por su excelente trabajo y dedicación.

Es cuanto puedo certificar en honor a la verdad, se expide el presente para que los interesados puedan hacer uso para los fines que crean convenientes.

Atentamente:

**MEGA CONS H&A**
Mantenimiento de plataformas
Tel: (03) 2749116 Lasso - Latacunga

Astudillo Erazo Mariela Teresa

Gerente de la Empresa MEGA CONS

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero expresar mi gratitud a la Universidad Técnica de Cotopaxi, mi alma máter, por proporcionarme los recursos propicios para el desarrollo de este trabajo. Agradezco profundamente al Ing. Diego Monga, mi tutor, por su paciencia y conocimientos fundamentales para la culminar esta investigación. Así mismo expreso mi agradecimiento al tribunal evaluador, conformado por el Ing. Eugenio Cristian, el Ing. Esteban Salgado y el Ing. Jonathan Ruiz, por sus aportes y sugerencias, las cuales enriquecieron significativamente este trabajo. Finalmente, pero no menos importante, agradezco a mi familia y amigos por su apoyo incondicional durante todo este proceso. Su confianza y aliento fueron mi motor para seguir adelante

Jonathan S

AGRADECIMIENTO

Mis padres, cuyo apoyo constante y fe en mí han sido fundamentales para mi éxito universitario. Su confianza me ha impulsado a superar cada desafío.

Mi familia, por su amor incondicional y respaldo en cada etapa de mi vida. Han sido un refugio en tiempos difíciles y una fuente de alegría en los momentos de celebración.

Mis compañeros de trabajo en Cobyserju, por su amistad y motivación. Su energía positiva me ha inspirado a crecer profesionalmente y enfrentar retos con entusiasmo.

Mi pareja, por ser mi roca en los momentos difíciles y mi alegría en los buenos tiempos. Su amor y apoyo me han dado la fuerza para alcanzar mis metas.

La empresa Megacons, por brindarme la oportunidad de realizar mi tesis en un entorno enriquecedor. Su colaboración ha sido esencial para mi desarrollo profesional.

A todos, muchas gracias por su apoyo incondicional.

Diego T

DEDICATORIA

Con todo mi amor y gratitud, dedico este trabajo a mis padres, Pascual y Susana, mi primer y más grande apoyo que con su ejemplo y comprensión han servido de guía y fortaleza en este largo camino. A mis hermanos, William y Roberto, mis cómplices de siempre que han servido de inspiración y ejemplo a seguir a lo largo de mi vida. A Pamela, mi amor, por ser mi refugio, fortaleza y el apoyo incondicional a lo largo de mi vida universitaria. Finalmente, a mi familia y amigos, más allegados por ser mi fuerza y mi razón de ser.

Jonathan S

DEDICATORIA

A mis padres, pilares fundamentales de mi vida, les dedico esta tesis como un tributo a su amor incondicional, sabiduría y apoyo constante. Gracias por enseñarme a ser una persona recta, por creer en mí y por estar siempre a mi lado, incluso en los momentos más desafiantes.

A mis compañeros de trabajo, gracias por su amistad, orientación y confianza en mi capacidad profesional. Su apoyo y motivación me han permitido crecer y superar obstáculos, manteniéndome firme en mi camino.

Y a mi novia, mi compañera de vida, gracias por su amor, apoyo diario y paciencia. A pesar de los desafíos y problemas, siempre ha estado a mi lado, iluminando mi camino y dándome la fuerza para seguir adelante.

Esta tesis es un reflejo de su influencia positiva en mi vida y un testimonio de su impacto en mi crecimiento personal y profesional. Les agradezco desde el fondo de mi corazón."

Diego T

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI FACULTAD DE CIENCIAS DE LA
INGENIERÍA Y APLICADAS**

TEMA: PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA MEGACONS

Autores:

Jonathan Mauricio Sntaxi Gualotuña

Diego Fernando Toasa Acurio

La investigación tiene como objetivo desarrollar un plan de mantenimiento para el área de producción de Megacons, una empresa dedicada a la fabricación y mantenimiento de plataformas de tráileres. La empresa enfrenta desafíos como la falta de documentación técnica, un entorno polvoriento y la ausencia de un área específica para el mantenimiento, lo que ha llevado a una dependencia excesiva del mantenimiento correctivo, ocasionando daños significativos y paros no planificados que afectan la productividad. El plan de mantenimiento se fundamenta en un análisis de criticidad de los equipos, realizado mediante la caracterización de procesos y equipos. Dado que la empresa carecía de información crucial, se crearon flujogramas para los procesos de planificación, diseño, recepción de materiales y producción, así como un layout que integra la ubicación y distribución de equipos y servicios. La investigación de campo permitió identificar y clasificar los equipos, resultando en una codificación sistemática y un análisis de criticidad que destaca dos equipos críticos: la pistola de impacto (52) y el oxicorte (60), y equipos "Importantes" como el Compresor Campbell, la Soldadora Lincoln y el Generador Eléctrico Ingco. Se identificaron indicadores clave como MTTR (Tiempo Medio de Reparación) y MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas) para un análisis más profundo y la mejora continua. Teniendo como resultado el desarrollo de un plan de mantenimiento detallado basado en la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) que incluye estrategias preventivas, predictivas y correctivas, la creación de fichas técnicas, la identificación de modos de fallo y la definición de rutas de mantenimiento y responsabilidades operativas, con el objetivo de mejorar la gestión y operatividad de los equipos.

Palabras clave: Confiabilidad, Criticidad, Mantenimiento, Producción, RCM

INDICE GENERAL

1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. INTRODUCCIÓN	2
2.1. RESUMEN.....	2
2.2. EL PROBLEMA.....	4
2.2.1. Situación problemática	4
2.2.2. Formulación del problema	4
2.3. Objeto y campo de acción	5
2.3.1. Objeto de investigación.....	5
2.3.2. Campo de acción	5
2.4. BENEFICIARIOS	5
2.4.1. Beneficiarios directos.....	5
2.4.2. Beneficiarios indirectos.....	5
2.5. JUSTIFICACIÓN	6
3. HIPÓTESIS	6
3.1. OBJETIVOS.....	7
3.1.1. General.....	7
3.1.2. Específicos	7
3.2. SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	8
4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	11
4.1. ANTECEDENTES	11
4.2. ESTADO DEL ARTE.....	14
4.2.1. Definición de mantenimiento	14
4.2.2. Mantenimiento industrial	14
4.2.3. Plan de mantenimiento industrial	14
4.2.4. Evolución del mantenimiento.....	15

4.2.5.	Importancia del mantenimiento	16
4.2.6.	Tipos de mantenimiento	17
4.2.7.	Selección de Mantenimiento	19
4.2.8.	Modelos de mantenimiento	20
4.2.9.	ANÁLISIS DE CRITICIDAD	21
4.2.10.	Listado de equipos.....	23
4.2.11.	Análisis de equipos por niveles.....	23
4.2.12.	Codificación de equipos	24
4.2.13.	Fichas técnicas	24
4.2.14.	Observación y análisis de ruidos y vibraciones	26
4.2.15.	Apertura de equipos	27
4.2.16.	Medida y análisis de los parámetros de funcionamiento.....	27
4.2.17.	Estrategias de mantenimiento industrial.....	28
4.2.18.	Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)	28
4.2.19.	GESTIÓN DE MANTENIMIENTO.....	32
4.2.20.	Definición de fallo.....	32
4.2.21.	FALLOS FUNCIONALES Y FALLOS TÉCNICOS	32
4.2.22.	Modos de falla.....	32
4.2.23.	CLASIFICACIÓN DE FALLOS	33
4.2.24.	Nivel de análisis y límites de equipos	34
4.2.25.	Documentación técnica	35
4.2.26.	Niveles de intervención	35
4.2.27.	Indicadores de gestión de mantenimiento	36
4.2.28.	BizAgi Modeler.....	37
4.3.	Metodología.....	38
4.3.1.	Enfoque cualitativo.....	38
4.3.2.	Población y muestra.....	39

4.3.3.	Instrumentos De Investigación.....	39
4.3.4.	Evaluación de la Criticidad de Equipos: Encuesta para el Gerente.....	41
4.3.5.	Análisis del estudio realizado.....	42
4.3.6.	Definición de los modelos de mantenimiento.....	42
4.3.7.	Fichas técnicas de equipos.....	42
4.3.8.	Organización de las actividades de mantenimiento a través de la programación de rutas y gamas.....	42
4.3.9.	Planificación del mantenimiento.....	43
4.4.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	43
4.4.1.	Levantamiento de información.....	43
4.4.2.	Información general de la empresa.....	47
4.4.3.	Distribución de las áreas.....	47
4.4.4.	Planimetría de la distribución de equipos.....	48
4.4.5.	Pasos Para Desarrollar Un Plan De Mantenimiento.....	49
4.4.6.	Descripción de los equipos.....	49
4.4.7.	Análisis de equipos por niveles.....	50
4.4.8.	Codificación de equipos.....	53
4.4.9.	Análisis de criticidad de los equipos.....	53
4.4.10.	Determinación del modelo de mantenimiento.....	55
4.4.11.	Levantamiento de fichas de equipos.....	61
4.4.12.	Compilación De Datos De Mantenimiento.....	64
4.4.13.	Determinación de los fallos.....	65
4.4.14.	Determinación de medidas preventivas.....	68
4.4.15.	Organización de las labores de mantenimiento utilizando rutas y gamas de mantenimiento.....	75
4.4.16.	Rutas y gamas del área de producción.....	76
4.4.17.	Levantamiento de órdenes de trabajo.....	77

4.4.18.	Procedimientos para ejecutar las rutas y gamas de mantenimiento	80
4.4.19.	Organigrama de tareas de mantenimiento	80
4.4.20.	Identificación de indicadores de gestión de mantenimiento.....	82
4.4.21.	VALIDACION DE HIPOTESIS.....	84
5.	CONCLUSIONES	84
5.1.	RECOMENDACIONES	86
5.2.	BIBLIOGRAFIA	87
6.	ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Beneficiarios directos	5
Tabla 2.2. Beneficiarios indirectos.....	6
Tabla 2.3. Actividades del primer objetivo específico	8
Tabla 2.4. Actividades del segundo objetivo específico	9
Tabla 2.5. Actividades del tercer objetivo específico	10
Tabla 3.1. Modelos de mantenimiento	21
Tabla 3.2. Jerarquía de niveles.....	24
Tabla 3.3. características generales de un equipo [18].....	25
Tabla 3.4. Simbología de cada función	38
Tabla 4.1. Simbología del cálculo de criticidad.....	41
Tabla 4.2. Descripción de áreas	47
Tabla 4.3. Descripción de equipos	50
Tabla 4.4. Estudio por niveles de la pistola de impacto	51
Tabla 4.5. Codificación de equipos.....	53
Tabla 4.6. Rango de criticidad	54
Tabla 4.7. Cálculo de criticidad de los equipos del área de producción	54
Tabla 4.8. Resumen de cálculo de criticidad	54
Tabla 4.9. Resumen de modelos de mantenimiento.....	61
Tabla 4.10. Cuadro resumen.....	64
Tabla 4.11. Modos de fallos de la pistola de impacto	66
Tabla 4.12. Medidas preventivas para la pistola de impacto	69
Tabla 4.13. Rutas y gamas.....	76
Tabla 4.14. OT diaria para la llave de impacto.....	78
Tabla 4.15. OT mensual de la pistola de impacto	79
Tabla 4.16. Cronograma de mantenimiento general	81
Tabla 4.17. Cuadro resumen de indicadores de mantenimiento	82

INDICE DE FIGURAS

Figura 4.1. Matriz de criticidad	22
Figura 4.2. Significado de factores	22
Figura 4.3. Codificación para equipos [6].....	24
Figura 4.4. Archivo de inventario [18].....	25
Figura 4.5. Valores de referencia [18].....	26
Figura 4.6. Estructura típica de un equipo de trabajo del RCM [24].....	31
Figura 4.7. Agentes que generan fallos o desgaste [27].....	33
Figura 4.8. Organigrama de la empresa Megacons.....	43
Figura 4.9. Planificación y diseño	44
Figura 4.10. flujograma recepción de materiales.....	45
Figura 4.11. flujograma área de producción.....	46
Figura 4.12. Ubicación geográfica.....	47
Figura 4.13. Layout de la empresa Megacons	48
Figura 4.14. Pasos para desarrollar un plan de mantenimiento	49
Figura 4.15. Modelo de mantenimiento del compresor vertical.....	56
Figura 4.16. Modelo de mantenimiento del oxiacorte	57
Figura 4.17. Modelo de mantenimiento de la pistola de impacto.....	58
Figura 4.18. Modelo de mantenimiento de la máquina soldadora.....	59
Figura 4.19. Modelo de mantenimiento del generador eléctrico	60
Figura 4.20. Ficha técnica de la pistola de impacto parte A.....	62
Figura 4.21. Ficha técnica de la pistola de impacto parte B.....	63
Figura 4.22. Diagrama de formas de actuar ante un fallo	65

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto:

“Propuesta de un plan de mantenimiento en el área de producción de la empresa Megacons”

Modalidad de titulación:

Proyecto de investigación

Fecha de inicio:

Abril 2024

Fecha de finalización:

Agosto 2024

Lugar de ejecución:

Provincia Cotopaxi, Cantón Latacunga, Parroquia Tanicuchi, Av. Panamericana Troncal de la sierra.

Facultad que auspicia:

Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA).

Carrera que auspicia:

Ingeniería Industrial

Proyecto de investigación vinculado:

Optimización de los procesos productivos utilizando métodos y técnicas para el mejoramiento continuo en el sector productivo.

Equipo de Trabajo:

Tutor: Ing. Diego Paul Monga Sanchez

Estudiante investigador: Jonathan Mauricio Suntaxi Gualotuña

Estudiante investigador: Diego Fernando Toasa Acurio

Área de Conocimiento:

Ingeniería, Industria y Construcción

Línea de investigación:

Tecnología industrial, gestión de la producción, riesgos y seguridad laboral

Sub líneas de investigación de la Carrera:

Calidad, diseño de procesos productivos e ingeniería de métodos

2. INTRODUCCIÓN

2.1. RESUMEN

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

TEMA: PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LA EMPRESA MEGACONS

Autores:

Jonathan Mauricio Sntaxi Gualotuña

Diego Fernando Toasa Acurio

La investigación tiene como objetivo desarrollar un plan de mantenimiento para el área de producción de Megacons, una empresa dedicada a la fabricación y mantenimiento de plataformas de tráileres. La empresa enfrenta desafíos como la falta de documentación técnica, un entorno polvoriento y la ausencia de un área específica para el mantenimiento, lo que ha llevado a una dependencia excesiva del mantenimiento correctivo, ocasionando daños significativos y paros no planificados que afectan la productividad. El plan de mantenimiento se fundamenta en un análisis de criticidad de los equipos, realizado mediante la caracterización de procesos y equipos. Dado que la empresa carecía de información crucial, se crearon flujogramas para los procesos de planificación, diseño, recepción de materiales y producción, así como un layout que integra la ubicación y distribución de equipos y servicios. La investigación de campo permitió identificar y clasificar los equipos, resultando en una codificación sistemática y un análisis de criticidad que destaca dos equipos críticos: la pistola de impacto (52) y el oxicorte (60), y equipos "Importantes" como el Compresor Campbell, la Soldadora Lincoln y el Generador Eléctrico Ingco. Se identificaron indicadores clave como MTTR (Tiempo Medio de Reparación) y MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas) para un análisis más profundo y la mejora continua. Teniendo como resultado el desarrollo de un plan de mantenimiento detallado basado en la metodología de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) que incluye estrategias preventivas, predictivas y correctivas, la creación de fichas técnicas, la identificación de modos de fallo y la definición de rutas de mantenimiento y responsabilidades operativas, con el objetivo de mejorar la gestión y operatividad de los equipos.

Palabras clave: Confiabilidad, Criticidad, Mantenimiento, Producción, RCM

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES
INDUSTRIAL ENGINEERING DEGREE

TOPIC: PROPOSAL FOR A MAINTENANCE PLAN IN THE PRODUCTION AREA OF MEGACONS COMPANY

Authors:

Jonathan Mauricio Suntaxi Gualotuña

Diego Fernando Toasa Acurio

ABSTRACT

The research aims to develop a maintenance plan for the production area of Megacons, a company dedicated to the manufacture and maintenance of trailer platforms. The company faces challenges such as a lack of technical documentation, a dusty environment, and the absence of a designated maintenance area, leading to excessive reliance on corrective maintenance, which has caused significant damage and unplanned downtime affecting productivity. The maintenance plan is based on an equipment criticality analysis, conducted through process and equipment characterization. Since the company lacked crucial information, flowcharts were created for planning, design, material receipt, and production processes, as well as a layout integrating the location and distribution of equipment and services. Field research allowed for the identification and classification of equipment, resulting in systematic coding and a criticality analysis highlighting two critical pieces of equipment: the impact wrench (52) and the oxy-fuel cutting tool (60), and "Important" equipment such as the Campbell Compressor, Lincoln Welder, and Ingco Electric Generator. Key indicators like MTTR (Mean Time to Repair) and MTBF (Mean Time Between Failures) were identified for a more in-depth analysis and continuous improvement. The result is a detailed maintenance plan based on Reliability-Centered Maintenance (RCM) methodology, including preventive, predictive, and corrective strategies, the creation of technical datasheets, identification of failure modes, and definition of maintenance routes and operational responsibilities, with the aim of improving equipment management and operation.

Keywords: Reliability, Criticality, Maintenance, Production, RCM

2.2. EL PROBLEMA

2.2.1. Situación problemática

La planificación y programación efectivas del mantenimiento industrial son esenciales para garantizar una producción eficiente, calidad y seguridad, además de prevenir pérdidas económicas y tiempos de inactividad por fallos imprevistos. Estas actividades se centran en técnicas preventivas que aseguran que los equipos cumplan con sus funciones, evitando problemas mayores. Sin embargo, algunas industrias enfrentan problemas de productividad debido a planes de mantenimiento obsoletos que se enfocan en corregir fallas en lugar de realizar un análisis exhaustivo de los equipos, lo que puede resultar en paradas imprevistas y pérdidas financieras significativas.

MEGACONS se destaca por su sólida experiencia en el diseño y fabricación de plataformas de tráileres, un proceso meticuloso que prioriza la calidad y seguridad del producto final. Este proceso comienza con un detallado diseño que cumple con las especificaciones del cliente y las normativas vigentes, seguido por el corte preciso de materiales metálicos como el acero y su ajuste a las dimensiones requeridas. La soldadura es crucial para unir estos componentes, asegurando la resistencia estructural. Después del ensamblaje, se refuerzan los puntos críticos y se instalan accesorios según las necesidades del cliente. Finalmente, se realiza un proceso de acabado que incluye lijado y pintura para protección y mejora estética.

No obstante, la empresa enfrenta desafíos debido a un mantenimiento improvisado de sus equipos, resultando en paros no programados que afectan la producción. El mantenimiento actual no aborda de manera efectiva estos problemas, ya que se centra en soluciones correctivas al momento de presentarse un fallo, lo que ocasiona pérdida de tiempo en las reparaciones. La falta de un plan de mantenimiento adecuado, un área de mantenimiento dedicada y el entorno polvoriento han llevado a MEGACONS a realizar únicamente mantenimientos correctivos, sin llevar un registro de fallas, generando historiales de mantenimiento deficientes y reduciendo la vida útil de los equipos.

2.2.2. Formulación del problema

Megacons no dispone de un plan de mantenimiento para los equipos en el área de producción, lo que evidencia la necesidad urgente de proponer un plan de mantenimiento que contemple actividades de mantenimiento preventivo.

2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1. Objeto de investigación

El objeto de investigación en este estudio es el plan de mantenimiento para el área de producción de equipos industriales en Megacons. Este plan se enfoca en la gestión y optimización de los equipos utilizados en la fabricación de plataformas de tráileres, incluyendo su mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo para asegurar su funcionamiento óptimo.

2.3.2. Campo de acción

De acuerdo con el código de la UNESCO para la ciencia, el campo de acción detallado para este estudio es **3310.04 Gestión de Mantenimiento**. Este campo se ocupa de la administración y optimización de las actividades de mantenimiento, incluyendo la planificación, ejecución y control de tareas.

2.4. BENEFICIARIOS

2.4.1. Beneficiarios directos

Integran todo el personal de la empresa “MEGACONS” se beneficia a través de actividades administrativas y operativas. Son los participantes esenciales en encuestas y entrevistas que desempeñan un papel crucial en la investigación, en la Tabla 2.1 se presentan los beneficiarios directos.

Tabla 2.1. Beneficiarios directos

Beneficiarios directos	Cantidad
Representante legal	1
Gerente	1
Operarios	4
Total	6

2.4.2. Beneficiarios indirectos

Este conjunto de empleados está vinculado a las funciones que la empresa “MEGACONS” realiza, contribuyendo mediante sus labores a la provisión y recepción de servicios mutuos, está

compuesto tanto por proveedores como por clientes, en la Tabla 2.2 se presentan los beneficiarios indirectos.

Tabla 2.2. Beneficiarios indirectos

Beneficiarios Indirectos	Cantidad
Proveedores	15
Clientes	10
Total	25

2.5. JUSTIFICACIÓN

En cualquier proceso industrial, el objetivo primordial es garantizar la entrega puntual del producto, lo que requiere un mantenimiento regular de instalaciones, maquinaria y equipos para asegurar su óptimo funcionamiento. Esto no solo mejora la calidad y producción, sino que también favorece el rendimiento de los trabajadores y refuerza la reputación de la empresa en el mercado. La falta de un plan de mantenimiento en el área de producción de Megacons está relacionada con problemas como paradas inesperadas y un exceso de mantenimiento correctivo, agravados por su ubicación en una zona polvorienta. Estas situaciones generan pérdidas económicas y de materiales, afectando productos destinados a la exportación. La investigación tiene como objetivo proponer un plan de mantenimiento que mejore la situación actual de los equipos, buscando resolver estos problemas y aumentar la durabilidad de los mismos.

La propuesta de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM tendrá un impacto significativo en Megacons, ya que permitirá determinar el momento y la forma adecuada de realizar el mantenimiento, ayudando a los operarios a conocer mejor las necesidades de mantenimiento y a llevar un control efectivo de sus equipos. Esto contribuirá a prevenir retrabajos, limitar los tiempos de mantenimiento correctivo y mejorar las condiciones de los equipos.

3. HIPÓTESIS

Mediante la aplicación del método RCM es posible garantizar la mejora de operatividad de los equipos del área de producción de la empresa Megacons

3.1. OBJETIVOS

3.1.1. General

Proponer un plan de mantenimiento empleando la metodología RCM para la mejora del sistema de gestión de mantenimiento del área de producción de la empresa Megacons.

3.1.2. Específicos

- Caracterizar los procesos y equipos del área de producción en la empresa Megacons, para el levantamiento información.
- Analizar el estado actual de los equipos en el área de producción mediante un análisis de criticidad y los posibles fallos.
- Desarrollar un plan de mantenimiento para los equipos que forman parte del área de producción en base al análisis de criticidad.

3.2. SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 3.1. Actividades del primer objetivo específico

Objetivo	Actividad	Resultado de la actividad	Técnicas, instrumentos o medios
Caracterizar los procesos y equipos del área de producción en la empresa Megacons, para el levantamiento información.	Delimitación de las áreas de la empresa Megacons.	Planimetría detallada del área de producción, incluyendo la localización precisa de los equipos.	<ul style="list-style-type: none"> • Investigación en campo • Flexómetro • AutoCAD
	Identificación de los procesos del área de producción.	Diagrama de flujo de procesos que muestre las etapas y puntos de control de cada proceso de manera clara y concisa	<ul style="list-style-type: none"> • Investigación de campo • Observación directa • Bizagi
	Exploración de equipos por diferentes niveles.	Jerarquía de los equipos según su impacto en la operación y su valor económico.	<ul style="list-style-type: none"> • Investigación en campo • Búsqueda de información • Excel
	Codificación de los equipos que pertenecen al área de producción.	Tabla con código único para cada equipo, incluyendo su descripción, ubicación, criticidad y características técnicas.	<ul style="list-style-type: none"> • Investigación de campo • Excel

Tabla 3.2. Actividades del segundo objetivo específico

Objetivo	Actividad	Resultado de la actividad	Técnicas, instrumentos o medios Objetivo
Analizar el estado actual de los equipos en el área de producción mediante un análisis de criticidad y los posibles fallos.	Evaluación de criticidad de los equipos	Matriz de criticidad actualizada que refleje el estado actual de los equipos	<ul style="list-style-type: none"> • Investigación en campo • Encuesta • Excel
	Selección de modelos de mantenimiento	Propuesta de modelos de mantenimiento más adecuados para cada equipo, en función de su criticidad, estado actual y costos asociados.	<ul style="list-style-type: none"> • Mapa para la selección del modelo de mantenimiento
	Aplicación de encuestas al personal de operación.	Resumen de información sobre los fallos recurrentes y potenciales en los equipos, desde la perspectiva del personal que los opera.	<ul style="list-style-type: none"> • Búsqueda de información • Excel
	Inspección y desmontaje de equipos seleccionados.	Análisis detallado del estado interno de los equipos seleccionados, buscando indicios de desgaste, daños o posibles fallos.	<ul style="list-style-type: none"> • Investigación en campo • Búsqueda de información • Cámara
	Exploración de los tipos de fallo, descripción de fallo, modo de fallo y clasificación de fallos	Lista de los fallos identificados en los equipos, incluyendo su tipo, descripción, modo de fallo y clasificación.	<ul style="list-style-type: none"> • Búsqueda de información • Excel

Tabla 3.3. Actividades del tercer objetivo específico

<p>Desarrollar un plan de mantenimiento para los equipos que forman parte del área de producción en base al estudio de criticidad.</p>	<p>Recopilación datos de fallas, reparaciones para los equipos seleccionados y cálculo de indicadores.</p>	<p>Registro operación, reparación, fallas y tabla resumen de los indicadores de mantenimiento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Observación directa • Excel
	<p>Analizar los valores de MTTR y MTBF para cada equipo. Identificar patrones de falla, tiempos de reparación prolongados o inusualmente frecuentes.</p>	<p>Gráficas y Visualización de datos MTTR Y MTBF.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Excel • Diagramas estadísticos
	<p>Definición de las tareas de mantenimiento preventivo para cada equipo.</p>	<p>Tabla de tareas de mantenimiento preventivo que detalle las actividades a realizar, la frecuencia de ejecución, los recursos necesarios y los responsables.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Investigación en campo • Búsqueda de información
	<p>Elaboración de órdenes de trabajo (OT) para cada tarea de mantenimiento.</p>	<p>OT para cada tarea de mantenimiento preventivo, que incluya la descripción de la tarea, la fecha de vencimiento, los recursos asignados y las instrucciones de ejecución.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Plantillas de OT • Excel
	<p>Socialización del plan de mantenimiento al personal de la empresa Megacons.</p>	<p>Hoja de asistencia de la reunión informativa para presentar el plan de mantenimiento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Material impreso y digital • Registro de asistencia.

4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

4.1. ANTECEDENTES

El diseño del plan de mantenimiento basado en la metodología RCM, se llevó a cabo una investigación exhaustiva que involucró la revisión de diversas fuentes bibliográficas centradas en la misma línea de investigación dentro del sector manufacturero. Se destacó la aplicación exitosa de esta metodología, evidenciada por los resultados positivos obtenidos mediante las técnicas y estrategias de mantenimiento empleadas en este ámbito. Una fortaleza destacada del enfoque de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) radica en su capacidad para facilitar la comprensión y la toma de decisiones sobre las tareas proactivas técnicamente factibles en el contexto operacional actual. El RCM prioriza las acciones proactivas que valen la pena realizar al reducir o eliminar las consecuencias de las posibles fallas. Un proceso RCM efectivamente aplicado genera resultados tangibles que proporcionan información clara para la creación de planes de mantenimiento optimizados. Estos planes, esenciales para la ejecución, deben ir acompañados de procedimientos de operación o estándares, tanto para especialistas de mantenimiento como para operarios del equipo, siendo también productos derivados del RCM. Además, esta metodología permite identificar modificaciones técnicas necesarias en los equipos, así como cambios en los procedimientos y estándares de mantenimiento y operación que se integran con los rediseños

En el artículo escrito por Araujo [1], propone un plan de mantenimiento basado en la herramienta de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), en la empresa Continental Tire Andina S.A., se describen los beneficios de esta metodología en el área de mezclado. La herramienta RCM ayuda a determinar las tareas y frecuencias de mantenimiento más efectivas y técnicamente viables para los equipos críticos, identificados mediante una matriz de criticidad. Dado que esta área es fundamental para el proceso productivo, ya que suministra caucho como materia prima a las distintas líneas de producción, la implementación del plan de mantenimiento propuesto mitigaría las paradas inesperadas, aseguraría el funcionamiento de los equipos, mejoraría el control de costos y fomentaría una mejor comunicación y compromiso entre el personal de operación, mantenimiento y producción. Esto resultaría en una mayor eficiencia y eficacia en el uso de los recursos del área.

Cabe destacar el trabajo de Rodríguez [2], se enfoca en el diseño de un plan de mantenimiento preventivo para el área de sellado de una empresa de productos plásticos en Guayaquil, Ecuador, debido a las reiteradas fallas que afectan la operatividad y productividad de las máquinas. Se

emplea un enfoque mixto, combinando métodos cualitativos y cuantitativos, para analizar datos históricos y cuantificar el impacto de las paralizaciones en la producción. Se identificaron componentes críticos que contribuyen significativamente a las fallas, como pernos de la mesa de agujas y rodamientos de los rodillos safonadores. Se propone un plan de mantenimiento preventivo con una inversión inicial de \$37,834, proyectando una rentabilidad anual (TIR) del 39% en 2 años. Se espera que la implementación del plan maximice los recursos y mejore la competitividad de la empresa. El estudio subraya la importancia de adoptar un enfoque preventivo para reducir las pérdidas por fallas en las máquinas, justificando la inversión por su potencial impacto positivo en la rentabilidad y productividad de la empresa.

De igual forma para Rambay y Alvarez [3], en su proyecto surge con la necesidad de mejorar el sistema de mantenimiento de una máquina extrusora en la empresa Trilex S.A, ubicada en Guayaquil, utilizando las herramientas del Mantenimiento Productivo Total (TPM) para reducir las fallas y optimizar los procesos. Se llevaron a cabo mediciones en los equipos con un alto número de fallos y se analizaron los datos proporcionados por la empresa para comprender el estado actual de la extrusora y determinar las causas de los problemas operativos. El objetivo principal del proyecto es reducir las fallas y mejorar la eficiencia operativa. Esto se logrará mediante la identificación precisa de las fallas a través del análisis Pareto, la programación de mantenimientos preventivos específicos y el monitoreo constante del estado de los equipos, con el fin de garantizar su disponibilidad, confiabilidad y rendimiento óptimo.

Además, para Montesdeoca [4], elabora un plan de mantenimiento preventivo centrado en la confiabilidad, para el proceso de fabricación de granalla mineral abrasiva, de la empresa Vitecal s.a. en la ciudad de Riobamba, donde consistió en abordar la baja disponibilidad de los equipos debido a una gestión de mantenimiento deficiente. Para ello, se llevó a cabo un inventario jerarquizado según la norma ISO 14224, seguido de un análisis de criticidad semicualitativo para identificar los sistemas críticos y sus funciones operacionales. Se aplicó la metodología RCM, considerando los lineamientos de la norma SAE JA 1012, para definir las tareas proactivas necesarias y establecer las frecuencias de mantenimiento basadas en la experiencia y los criterios de fiabilidad utilizando parámetros de la distribución de Weibull. Se elaboró la documentación de mantenimiento requerida y se calcularon indicadores esenciales. Además, se desarrolló una matriz de mantenimiento y se estimó el presupuesto anual necesario, proponiendo una bodega de materiales y repuestos mediante un inventario de ítems requeridos. Finalmente, se concluyó con la creación de una herramienta informática en Excel para facilitar

la gestión de mantenimiento en la Empresa Vitecal y la capacitación continua del personal de mantenimiento.

Altamirano [5], en su proyecto de investigación aborda la necesidad de desarrollar un programa de mantenimiento preventivo en la empresa MEGAINGGA S.A., que había adquirido nueva maquinaria sin instructivos adecuados para realizar dicho mantenimiento. Se llevó a cabo un análisis bibliográfico y visitas técnicas para recopilar información sobre las necesidades de la empresa y las máquinas utilizadas, con el fin de identificar los componentes más propensos a fallas o averías. Se empleó el análisis modal de fallos (AMEF) para identificar los componentes más críticos de las máquinas, según los criterios establecidos por la NTP 679, así como el análisis de fiabilidad según la NTP 331. Los resultados revelaron un coeficiente de correlación del 0.79, indicando una correlación significativa entre el estado de disponibilidad de las máquinas y el desarrollo de un programa de mantenimiento preventivo. Se determinó que los elementos más críticos eran los engranajes, los filtros de aceite, los sistemas de paro de emergencia y sus respectivos tableros de control.

Caisapanta, Paucar [6], en su investigación se centró en abordar la falta de documentación técnica y la ausencia de un plan de mantenimiento programado en la empresa Pulpa Moldeada S.A. PULPAMOL, lo que llevaba a intervenciones correctivas y paros no programados en la producción debido a la frecuencia de fallos en los equipos. El objetivo general fue reducir la frecuencia de fallas y aumentar la confiabilidad de los equipos mediante la aplicación de la metodología RCM. Como resultado, se propusieron actividades programadas de mantenimiento que llevarían a una reducción de la frecuencia de fallas de 3 a 4 a 2 por mes, lo que implicaría una disminución de costos y tiempos para la empresa. Además, se planteó la implementación del software de mantenimiento MaintainX para organizar, controlar y evaluar el plan propuesto. En conclusión, la aplicación de medidas basadas en RCM y la adopción de MaintainX representan una solución efectiva para mejorar la confiabilidad de los equipos y optimizar el proceso productivo de Pulpa Moldeada S.A. PULPAMOL.

En este sentido, Urquiza [7], implemento un plan de mantenimiento preventivo (PMP). Se identificó que las labores de mantenimiento reequipo eran la causa principal de paradas no programadas. Tras analizar la criticidad de las máquinas, se implementó un PMP adaptado a cada equipo, lo que resultó en un aumento significativo del Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) y una reducción del Tiempo Medio de Reparación (MTTR). Como resultado, la disponibilidad de las máquinas críticas mejoró del 92.52% al 98.58%, representando un incremento del 6.06%.

Esto demostró la eficacia del PMP al abordar todas las etapas del mantenimiento, garantizando un funcionamiento más eficiente de los equipos.

4.2. ESTADO DEL ARTE

Este estudio se enfocará en el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), una metodología utilizada para desarrollar planes de mantenimiento basados en el análisis exhaustivo de documentación técnica, manuales de los equipos, historiales de fallos y entrevistas con el personal operativo de la empresa. Tras identificar todas las posibles causas de fallo, se determinará la estrategia de mantenimiento más adecuada para prevenir o mitigar dichas fallas. Esta estrategia se diseñará con el objetivo de asegurar el funcionamiento seguro y confiable de los equipos y procesos, cumpliendo así con los estándares de la metodología RCM.

4.2.1. Definición de mantenimiento

La definición de mantenimiento ha sido objeto de extenso análisis por parte de diversos autores, motivado por la necesidad imperante de preservar y cuidar no solo las infraestructuras, sino también cualquier elemento susceptible de deterioro a lo largo de su ciclo de vida útil. De acuerdo con una revisión realizada, se puede inferir que:

El mantenimiento son el conjunto de acciones y técnicas dirigidas a preservar una pieza o elementos en condiciones óptimas, garantizando su capacidad para cumplir con una función específica [8].

4.2.2. Mantenimiento industrial

El mantenimiento industrial es esencial para garantizar el funcionamiento óptimo de cualquier empresa en el ámbito industrial, ya que tiene un impacto directo en su proceso de producción. Es un aspecto crucial que debe considerarse en el desarrollo de cualquier actividad productiva, independientemente del sector al que pertenezca la empresa.

4.2.3. Plan de mantenimiento industrial

Un plan de mantenimiento industrial se compone de una serie de procesos coordinados con el objetivo de asegurar que los equipos de la planta operen de manera óptima y continúen funcionando durante el mayor tiempo posible. Estos planes varían según el tipo de mantenimiento que se implemente en una fábrica: correctivo, preventivo, predictivo y prescriptivo. Aunque cada uno de estos enfoques tiene sus propias características y etapas,

comparten aspectos comunes como la frecuencia de ejecución de las tareas, su duración, aspectos técnicos, necesidad de parada del equipo y requerimientos de personal especializado [9].

El plan de mantenimiento RCM es una metodología utilizada para determinar que se debe hacer para garantizar que los equipos continúen funcionando sin ningún tipo de problemas, este mantenimiento asegura que un equipo continúe operando eficientemente, dentro de los límites establecidos y a la capacidad de diseño y la confiabilidad inherente al equipo. Permitirá maximizar la confiabilidad operativa de los equipos en su contexto de uso, a través de la determinación de los requerimientos de mantenimiento dentro de la planta industrial.

Esto se utilizará como fuente además del manual de mantenimiento del fabricante, y la identificación de fallas, modos de falla y acciones preventivas conducirá a un nuevo plan basado en RCM. Además, las medidas preventivas crearán tres nuevos valores añadidos: la formación del personal, la mejora y la actualización de los procedimientos.

4.2.4. Evolución del mantenimiento

El origen del mantenimiento industrial se remonta a finales del siglo XIX, donde las reparaciones en las instalaciones fabriles eran realizadas por los operarios de producción debido a la simplicidad de la maquinaria y la percepción de que el mantenimiento carecía de relevancia. La introducción de la producción en serie por Henry Ford condujo a la creación de equipos de operarios dedicados a realizar reparaciones de manera rápida para no interrumpir los programas de producción. Sin embargo, estos equipos estaban subordinados a los mandos de producción, relegando al mantenimiento a un papel secundario.

Durante la Segunda Guerra Mundial, la industria armamentista demandó un servicio de mantenimiento más anticipatorio y profesional, llevando a la creación de equipos técnicos independientes de la producción. Posteriormente, alrededor de la década de 1950, surgió la Ingeniería de Mantenimiento para mejorar la competencia técnica y el análisis de causas de desperfectos, planificación y control de mantenimiento preventivo.

En la década de 1960, con la aparición de computadoras y mayor complejidad en instrumentos de medición, se establecieron nuevos criterios para un mantenimiento basado en diagnósticos por instrumentos. La Escuela Latina de Mantenimiento en Francia propuso la planificación y coordinación de actividades de mantenimiento a través de grupos y sistemas informáticos.

En los años 70, en Inglaterra, se introdujo el concepto de Tero tecnología, que combinaba mantenimiento con recursos financieros, evaluaciones técnico-económicas y gestión para determinar los ciclos de vida de las instalaciones. En este período, la ONU estableció que la actividad de producción incluye los conceptos de operación y mantenimiento. Desde Japón, llegó la idea de involucrar al personal de producción en el mantenimiento, dando lugar al auto mantenimiento y al concepto de TPM (Total Productive Maintenance). Este enfoque integrador busca que el propio personal realice intervenciones elementales para mejorar la eficiencia.

En la actualidad, las empresas líderes a nivel mundial adoptan un enfoque de mantenimiento donde los propios equipos de las empresas, asesorados o no por expertos externos, forman equipos de análisis y diagnóstico. Esta forma de operar conecta la gestión del mantenimiento con otras áreas, como compras y métodos, para coordinar acciones y mejorar la competitividad [10].

4.2.5. Importancia del mantenimiento

4.2.5.1. Seguridad del personal

El mantenimiento regular y adecuado de los equipos es crucial para garantizar un entorno laboral seguro, especialmente en tiempos de pandemia. La correcta operación de los equipos no solo contribuye a la eficiencia y productividad, sino que también ayuda a minimizar los riesgos de propagación de enfermedades, como en el caso de la pandemia. Equipos bien mantenidos, como sistemas de ventilación, dispositivos de desinfección, y otros equipos relacionados con la salud y seguridad, pueden reducir la posibilidad de contagio entre los empleados al garantizar un ambiente de trabajo más higiénico y controlado. En este contexto, el mantenimiento adecuado no solo protege la salud de los trabajadores, sino que también contribuye a mantener la continuidad operativa de las empresas al prevenir interrupciones debido a brotes de enfermedades en el lugar de trabajo.

4.2.5.2. Optimización de costes

El mantenimiento planificado y adecuado es fundamental para evitar fallos catastróficos y reparaciones costosas de emergencia. Identificar y solucionar problemas de forma oportuna ayuda a prevenir periodos costosos de inactividad y optimiza la utilización de recursos.

4.2.5.3. Cumplimiento de normativa

En diversos sectores industriales, se establecen regulaciones y estándares específicos que requieren un mantenimiento adecuado de los equipos para garantizar la seguridad y cumplir con las obligaciones legales. El cumplimiento de estas normativas se logra mediante el mantenimiento apropiado, lo que ayuda a evitar posibles sanciones y mantener la integridad legal de la empresa.

4.2.5.4. Prolongación de la vida útil de los equipos

El mantenimiento preventivo implica la planificación y ejecución de actividades de mantenimiento programadas para evitar fallos y maximizar la vida útil de los equipos. Esta estrategia nos permite identificar y corregir problemas antes de que se conviertan en fallos críticos, contribuyendo así a prolongar la vida útil de los equipos. Además, nos enfocamos en la optimización de los procesos y reducir costos innecesarios [11].

4.2.6. Tipos de mantenimiento

Existen cuatro categorías de mantenimiento, siendo los tres primeros esenciales, y el cuarto representa una combinación de los anteriores.

4.2.6.1. Mantenimiento Correctivo

Consiste en la reparación de las piezas del motor en el momento en que presentan fallas, rupturas, fundiciones o deterioro. Un ejemplo sería la sustitución del rodamiento tensor de la correa de distribución en caso de rotura, junto con los elementos afectados.

4.2.6.2. Mantenimiento Preventivo

Se basa en seguir las indicaciones del fabricante, tal como se detallan en el manual del vehículo, realizando los mantenimientos programados en los periodos de tiempo recomendados. Por ejemplo, realizar un cambio de aceite del motor cada 7.500 km [8].

4.2.6.3. Mantenimiento Predictivo

El mantenimiento predictivo es una estrategia proactiva que busca prevenir fallas en los equipos mediante la monitorización continua de su estado. Al detectar indicios tempranos de deterioro, se pueden tomar medidas preventivas para evitar averías inesperadas y costosas. Esta técnica permite optimizar la utilización de los equipos, reducir los costos de mantenimiento y mejorar la seguridad de las operaciones [12].

4.2.6.3.1. *Beneficios del mantenimiento predictivo*

- Reducción del tiempo muerto: Al prevenir fallas, el mantenimiento predictivo ayuda a minimizar el tiempo que los equipos están fuera de servicio. Esto puede traducirse en una mayor productividad y una reducción de los costos operativos.
- Mejora de la confiabilidad: El mantenimiento predictivo ayuda a garantizar que los equipos funcionen de manera confiable y segura. Esto puede reducir el riesgo de accidentes y lesiones.
- Optimización de la vida útil de los equipos: El mantenimiento predictivo ayuda a prolongar la vida útil de los equipos. Esto puede reducir los costos de reemplazo y mantenimiento.
- Mejora de la toma de decisiones: El mantenimiento predictivo proporciona información valiosa sobre el estado de los equipos. Esta información puede utilizarse para tomar mejores decisiones sobre el mantenimiento, la reparación y la sustitución de los equipos.

4.2.6.3.2. *Técnicas de mantenimiento predictivo*

Existen diversas técnicas de mantenimiento predictivo, entre las que se encuentran:

- Análisis de vibraciones: Esta técnica consiste en monitorizar las vibraciones de los equipos para detectar signos de desgaste o daño.
- Análisis de aceite: Esta técnica consiste en analizar el aceite de los equipos para detectar signos de desgaste o contaminación.
- Análisis termográfico: Esta técnica consiste en utilizar una cámara termográfica para detectar puntos calientes en los equipos.
- Ultrasonidos: Esta técnica consiste en utilizar ultrasonidos para detectar grietas y otros defectos en los equipos [12].

4.2.6.4. **Mantenimiento cero horas (Overhaul)**

Es el conjunto de tareas que tiene como objetivo revisar los equipos en intervalos programados, ya sea antes de que ocurra algún fallo o cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido tanto que resulta arriesgado predecir su capacidad productiva. Esta revisión consiste en dejar el equipo como nuevo, es decir, a cero horas de funcionamiento. Durante estas revisiones, se sustituyen o reparan todos los elementos, sistemas y mecanismos que se han desgastado. El propósito es asegurar, con alta probabilidad, un período de buen funcionamiento previamente establecido.

4.2.6.4.1. *Características del Mantenimiento Overhaul*

Debido a su complejidad, las empresas a menudo contratan proveedores externos para realizar el mantenimiento a cero horas. Este enfoque se adelanta a posibles daños en los equipos, ya que la maquinaria se inspecciona incluso cuando aún está operativa. Cuando los equipos empiezan a mostrar signos de envejecimiento o una disminución en la productividad, el overhauling se centra en detener este proceso y extender la vida útil de los equipos en lugar de buscar motivos para su reemplazo.

Un programa de mantenimiento a cero horas puede restaurar completamente la capacidad productiva de una máquina. Además, el overhauling puede combinarse con tecnologías predictivas para obtener mediciones más precisas, para lo cual es necesario un software de mantenimiento [13].

4.2.6.5. **Mantenimiento en uso**

El mantenimiento en uso es un tipo de mantenimiento básico que pueden realizar los propios usuarios del equipo. Incluye tareas simples como la toma de datos, inspecciones visuales y lubricación, que no requieren formación especializada [14]

4.2.7. **Selección de Mantenimiento**

Elegir el tipo de mantenimiento adecuado para tus instalaciones o equipos de trabajo no es una tarea sencilla. Depende de diversos factores, como el tipo de equipo, su estado actual y los objetivos que se persigan. En general, no existe un único tipo de mantenimiento ideal. Lo más probable es que se requiera una combinación de diferentes estrategias para garantizar el buen funcionamiento de las instalaciones y equipos.

Para tomar una decisión informada, es importante considerar diversos aspectos:

- **Costos:** tanto los asociados a la parada del equipo como a las reparaciones necesarias.
- **Impacto ambiental:** las diferentes estrategias de mantenimiento pueden tener un impacto variable en el medio ambiente.
- **Seguridad:** el mantenimiento adecuado puede ayudar a prevenir accidentes y riesgos laborales.
- **Calidad:** un mantenimiento deficiente puede afectar negativamente la calidad del producto o servicio final.

Debido a la complejidad de la elección, se recomienda utilizar modelos de mantenimiento. Estos modelos proporcionan un marco estructurado para evaluar las diferentes opciones y seleccionar la que mejor se adapte a las necesidades específicas de cada caso [15].

4.2.8. Modelos de mantenimiento

El modelo de mantenimiento se basa en identificar la combinación adecuada de los distintos tipos de mantenimiento y sus proporciones, de acuerdo con las necesidades específicas de cada instalación o equipo [15].

Independientemente del modelo de mantenimiento que se implemente, hay dos actividades que son esenciales para cualquier tipo de equipo ya que son rentables:

- a. **Inspecciones visuales:** Permiten detectar fallos potenciales en una etapa temprana, lo que reduce significativamente los costos de reparación en comparación con esperar a que el problema se agrave.
- b. **Lubricación adecuada:** Si bien implica un costo inicial por el lubricante y la mano de obra, la lubricación regular previene averías costosas relacionadas con la falta de lubricación.

A continuación, se detalla en la Tabla 3.1. los cuatro tipos principales de modelos de mantenimiento que se pueden aplicar.

Tabla 4.1. Modelos de mantenimiento

MODELO CORRECTIVO	MODELO CONDICIONAL	MODELO SISTEMÁTICO	MODELO DE ALTA DISPONIBILIDAD
<ul style="list-style-type: none"> • El más básico. • Se aplica a equipos de bajo nivel crítico (su fallo no genera grandes problemas). • Incluye: • Inspección visual. • Lubricación. • Reparación de averías detectadas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Conveniente para equipos poco usados o de baja probabilidad de fallo. • Incluye: • Inspección visual. • Lubricación. • Reparación de averías detectadas. • Pruebas y ensayos para detectar anomalías. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se aplica a equipos de disponibilidad media y cierta importancia. • Incluye: • Inspección visual. • Lubricación. • Tareas programadas sin importar el estado del equipo. • Reparación de averías detectadas. 	<ul style="list-style-type: none"> • El más exigente. • Se aplica a equipos críticos que no pueden fallar. • Incluye: • Mantenimiento predictivo para conocer el estado del equipo en funcionamiento. • Paradas programadas para revisiones y reemplazos de piezas. • No incluye mantenimiento de averías porque se busca prevenirlas.

4.2.9. ANALISIS DE CRITICIDAD

El análisis de criticidad es una metodología que permite evaluar la importancia de un componente de un sistema en función de su impacto en la seguridad, el medio ambiente y la economía. El objetivo de este análisis es identificar los componentes críticos del sistema y establecer un plan de mantenimiento y control adecuado para minimizar el riesgo de fallas.

4.2.9.1. NIVELES DE CRITICIDAD

- I. Equipos críticos: son aquellos cuyo fallo resulta en la interrupción de la línea de producción, requiriendo reparación inmediata.
- II. Equipos importantes: son aquellos cuya falla leve puede afectar la calidad del producto o la eficiencia del proceso, con reparaciones que llevan más tiempo.
- III. Equipos prescindibles: son aquellos cuyo fallo no tiene un impacto significativo en la producción.

El cálculo de la criticidad se basa en dos factores principales: la frecuencia de falla (FF) y la consecuencia (Consecuencia) de acuerdo a la matriz de criticidad de la Figura 3.1.

$$\text{Criticidad} = \text{FF} \times \text{Consecuencia}$$

$$\text{Consecuencia} = \text{IO} + \text{FO} + \text{CM} + \text{IMA} + \text{IS}$$

CRITICIDAD																						
FRECUENCIA (FF)	5	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
	4	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100
	3	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75
	2	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
	1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
	CONSECUENCIAS (CO)																					

Figura 4.1. Matriz de criticidad

La consecuencia se calcula sumando varios elementos, incluyendo el impacto operacional (IO), la flexibilidad operacional (FO), los costos de mantenimiento (CM), y los impactos en el medio ambiente (IMA) y la seguridad (IS), en la Figura 3.2. se detallan cada factor. La criticidad se determina mediante la combinación de estos factores, ponderando la frecuencia de falla y la consecuencia total, lo que permite evaluar la importancia de los equipos y su impacto en la operación global.

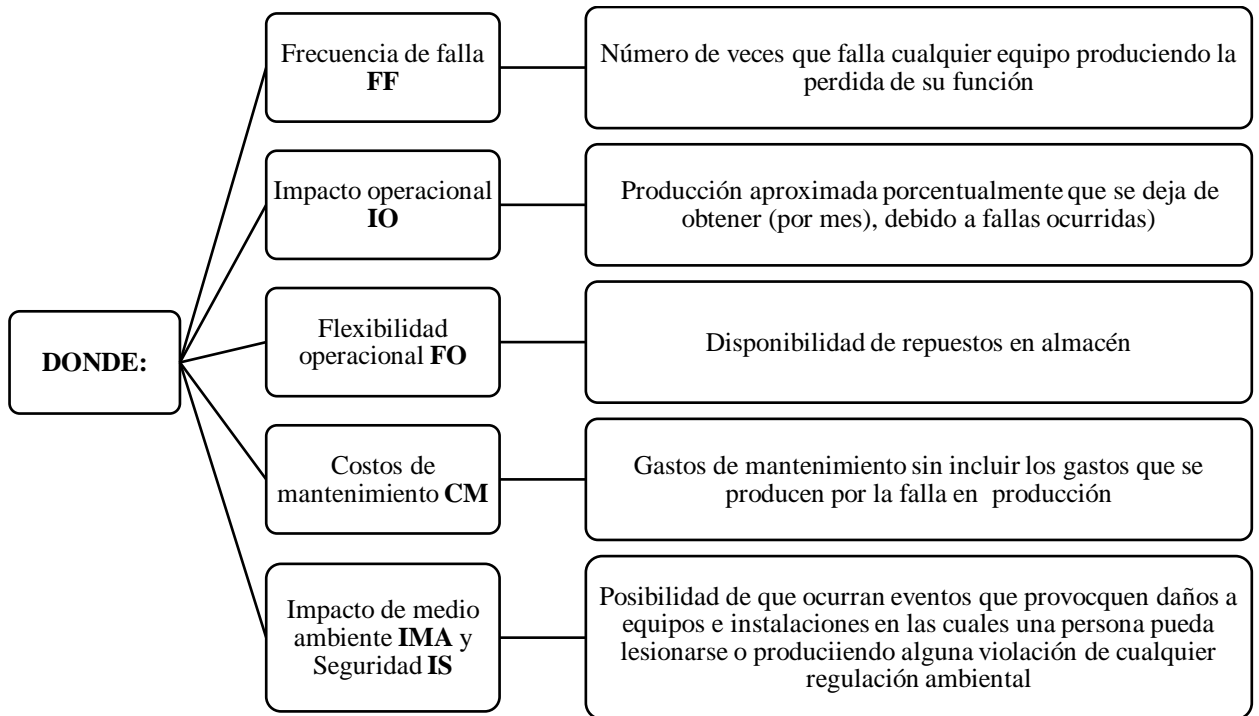


Figura 4.2. Significado de factores

Los valores referenciales de criticidad son los siguientes:

- I. **Criticidad alta:** color rojo, con valores entre 50 y 125.
- II. **Criticidad media:** color amarillo, con valores entre 30 y 49.
- III. **Criticidad baja:** color verde, con valores entre 5 y 29.

El modelo de mantenimiento a emplear se determina a partir del resultado del cálculo de la criticidad.

4.2.10. Listado de equipos

Es esencial codificar y enumerar todos los sistemas, subsistemas y equipos presentes en la planta, recopilando información como esquemas, diagramas funcionales y lógicos, que resulten útiles para abordar posibles problemas identificados.

Cuando se elabora un Plan de Mantenimiento, el proceso no comienza con la revisión del manual proporcionado por el fabricante del equipo, sino que este paso se considera más bien como el último. Esto se debe a que el fabricante, por dos motivos principales, no suele ser un mantenedor ideal:

- No tiene un interés total en la eliminación de problemas, ya que diseñar un equipo sin ninguna avería podría afectar negativamente sus ingresos.
- Su especialización radica en el diseño y montaje del equipo, no necesariamente en el mantenimiento.

Algunos fabricantes incluyen en sus manuales planes de mantenimiento completos, pero estos a menudo no abordan adecuadamente la resolución de problemas. Por ejemplo, en el caso de los planes de mantenimiento de muchos automóviles, el análisis del plan del fabricante puede no llevar a la reducción efectiva de averías, ya que solo incluye tareas sencillas. En otros casos, el plan puede ser demasiado exhaustivo, contemplando la sustitución o revisión de elementos que aún no han alcanzado su vida útil máxima, resultando en costos elevados y gastos innecesarios [16].

4.2.11. Análisis de equipos por niveles

El análisis por niveles de equipos busca reconocer, programar y valorar la función operativa, organizativa y el contexto laboral de las máquinas en las que operan. En otras palabras, mediante este análisis se busca conservar al máximo rendimiento y la seguridad de los equipos, como se especifica en la Tabla 3.2.

Tabla 4.2. Jerarquía de niveles

ANÁLISIS DE EQUIPOS POR NIVELES					
<i>Nombre de la empresa</i>					
NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4	NIVEL 5	NIVEL 6
PLANTA	AREA	EQUIPO	SISTEMAS	ELEMENTOS	COMPONENTES

4.2.12. Codificación de equipos

La asignación de códigos a los equipos implica la asignación de caracteres distintos a cada uno, con el propósito de identificarlos y distinguirlos entre sí. La codificación de equipos se compone de tres elementos que son representados en la Figura 3.3.

- Dos caracteres alfanuméricos que indican el área de la planta.
- Dos caracteres alfanuméricos que reflejan la identificación del equipo.
- Dos caracteres numéricos que denotan la redundancia del equipo.

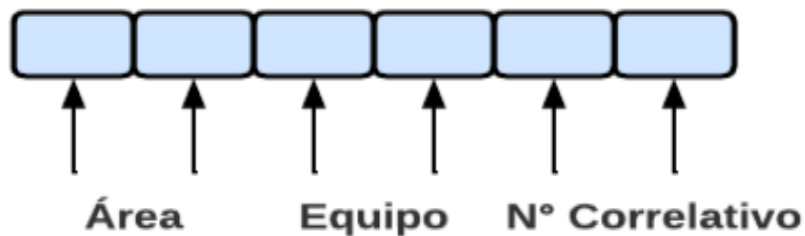


Figura 4.3. Codificación para equipos [6].

4.2.13. Fichas técnicas

Se aconseja crear fichas técnicas y formularios para cada uno de los equipos y componentes de la instalación utilizando la información proporcionada por los fabricantes, en la Figura 3.4 se muestra cómo debe tener un archivo de un inventario, siendo los manuales de los equipos de gran relevancia para este propósito [17].

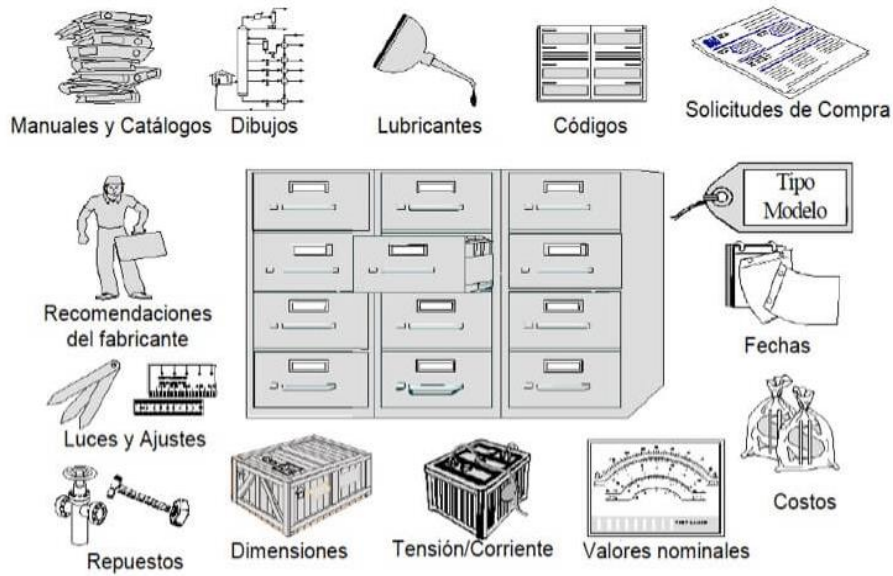


Figura 4.4. Archivo de inventario [18].

Después de examinar detenidamente la documentación técnica y llevar a cabo una o más visitas para identificar y examinar los equipos, redes, sistemas, entre otros, se procederá a realizar un inventario de los sistemas, redes, componentes y equipos presentes en las instalaciones. Se recopilará toda la información disponible para cada equipo como ejemplo en la Tabla 3.3, se sugiere encarecidamente la creación de fichas técnicas para todos estos elementos o cualquier componente esencial que deba ser objeto de mantenimiento.

Tabla 4.3. características generales de un equipo [18].

ABSORBEDOR	
Tipo	Parilla
Material	Cobre
Superficie de absorción	2.50 m ²
N.º de tubos secundarios	13
Separación entre tubos secundarios	120 mm
Soldadura	Soldadura fuerte, estaño-fosforo-plata
Unión banda-tubo	Soldadura por ultrasonidos
Presión máx. de trabajo	7 bar
Presión de prueba	10 bar
Capacidad	2,51

4.2.13.1. Cumplimentación de fichas técnicas

A medida que se realice el inventario de las instalaciones, se completarán las fichas técnicas correspondientes a cada elemento, equipo y sistema.

La ficha técnica mínima contendrá los siguientes campos, aunque se pueden añadir datos adicionales relevantes para la operación de la instalación. Se debe tener en cuenta el tiempo necesario para recopilar la información, evitando incluir datos que no se utilizarán. Los campos se presentan en la Figura 3.6 que muestra los valores de referencia de un motor:

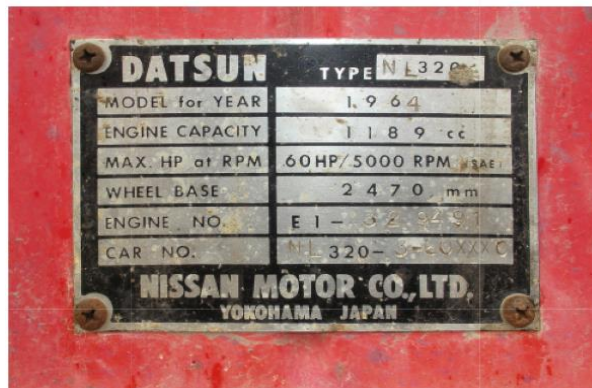


Figura 4.5. Valores de referencia [18].

- I. Identificación del equipo.
- II. Características técnicas.
- III. Datos del fabricante.
- IV. Componentes y piezas de repuesto más comunes.
- V. Operaciones de mantenimiento y frecuencia.
- VI. Estado inicial de la instalación.

Con el objetivo de planificar las compras y gestionar el stock de materiales de manera efectiva, se recomienda incluir información sobre repuestos para cada sistema y/o equipo. Es posible que durante el proceso de completar las fichas técnicas no se disponga de toda la información, por lo que puede ser necesario realizar visitas y recopilación de datos en el lugar para completar la información necesaria [19].

4.2.14. Observación y análisis de ruidos y vibraciones

Aparte de la inspección visual, es crucial prestar atención a ruidos y vibraciones en el sistema, ya que sirven como indicadores del deterioro en elementos mecánicos como bombas,

ventiladores, válvulas, actuadores, entre otros. La carencia de lubricación y el desgaste de componentes mecánicos resultan en un incremento en la fricción entre las piezas en movimiento, generando ruidos y vibraciones. Equipos que experimentan de manera repentina vibraciones y emiten ruidos pueden indicar daños. Además, la presencia de vibraciones en la instalación puede contribuir al desgaste de sus componentes.

4.2.15. Apertura de equipos

Aunque en muchas ocasiones abrir los equipos es esencial para evaluar el desgaste interno, este procedimiento puede resultar costoso en comparación con los beneficios de identificar la avería de manera temprana. Por ende, se busca aprovechar las operaciones programadas de mantenimiento que requieren la apertura de los equipos (como limpieza, engrase, etc.) para examinar el estado de desgaste de los diversos elementos [19].

4.2.16. Medida y análisis de los parámetros de funcionamiento

Para evaluar el estado de desgaste de las partes de la instalación, se emplean técnicas que se basan en la medición y análisis de parámetros del equipo, como consumos eléctricos, presiones y temperaturas, con el objetivo de localizar elementos desgastados o dañados. La observación de los parámetros de funcionamiento se realiza mediante los elementos de medida y control instalados en la propia infraestructura, así como con herramientas específicas del trabajador, como analizadores de combustión, pinzas amperimétricas, multímetros, detectores de gases y sondas de temperatura, entre otras. Cuando los equipos operan fuera de sus parámetros habituales, puede indicar posibles deterioros.

Un indicador adicional del desgaste, especialmente en motores eléctricos, es el aumento en su consumo eléctrico. Este incremento se debe al esfuerzo adicional requerido con el tiempo, debido a mayores rozamientos internos. Además, para evaluar el desgaste del aislamiento en instalaciones como tuberías, depósitos y calderas, se puede medir la temperatura superficial. Si la temperatura no es significativamente alta en comparación con la del elemento que aísla, se considera que el aislamiento es satisfactorio. En el caso de bombas y ventiladores, si no alcanzan la presión de diseño, se puede inferir desgaste, y este se verifica mediante mediciones de presión [19].

4.2.17. Estrategias de mantenimiento industrial

Las secciones relacionadas con la planificación de mantenimiento y los recursos necesarios son fundamentales en la propuesta, ya que abordan diversas tácticas o estrategias para mejorar la disponibilidad de los equipos. Estas secciones comprenden seis temas principales:

- Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).
- Despliegue de la Función de Calidad (QFD).
- Mantenimiento Basado en la Condición (CBM).
- Monitoreo por Condición (Condition Monitoring, CM).
- Mantenimiento Preventivo y Mantenimiento Productivo Total (TPM).

Puede deducirse que, dado que el 80 % de los autores coincide en la utilización del RCM, este método debería considerarse como una opción a explorar. No obstante, en la actualidad, la empresa no implementa dicho enfoque, y su adopción requeriría la realización de una serie de pasos previos, como la capacitación y formación del equipo de gestión de mantenimiento [20].

4.2.18. Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

Es un proceso sistemático empleado para identificar las acciones necesarias que garanticen que un equipo físico siga cumpliendo con las expectativas de sus usuarios en su entorno operativo actual.

La teoría del RCM emplea una secuencia de razonamiento lógico para decidir cómo abordar los escenarios de falla identificados, culminando en cinco alternativas posibles:

- Aceptar el riesgo de la falla.
- Implementar redundancia en las unidades.
- Establecer actividades de mantenimiento preventivo.
- Planificar actividades de mantenimiento predictivo.
- Proponer modificaciones en el diseño del sistema [21].

4.2.18.1. Antecedente del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM)

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM, por sus siglas en inglés) es una metodología ampliamente reconocida y ampliamente utilizada para desarrollar planes de mantenimiento que abarcan diversas estrategias, como mantenimiento preventivo, predictivo y detección de fallas, entre otras. Esta metodología tuvo su origen en la industria comercial de la aviación en los Estados Unidos, donde fue desarrollada por Stanley Nowlan y Howard Heap, empleados de

United Airlines, en 1978. Desde entonces, RCM ha sido aplicada en diversas áreas industriales alrededor del mundo para mejorar la seguridad y confiabilidad de los equipos y equipos físicos [22].

El mantenimiento centrado en confiabilidad, es un proceso utilizado para establecer los requisitos de mantenimiento de todos los elementos físicos dentro de una planta en su contexto operativo. Este enfoque se emplea para determinar las acciones necesarias para garantizar que un elemento físico continúe funcionando correctamente. El RCM se enfoca en la organización y los equipos físicos que la componen. Para llevar a cabo este tipo de mantenimiento, es crucial conocer los tipos de equipos físicos presentes en la empresa y definir cuáles de ellos deben estar sujetos al proceso de revisión del RCM.

4.2.18.2. Definición Del RCM

Proceso para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier equipo continúe haciendo lo que sus usuarios desean que haga, en su contexto operacional actual [23].

4.2.18.3. Beneficios del RCM

El RCM ha sido usado por una amplia variedad de industrias, cuando es aplicado correctamente permite obtener, entre otros, los siguientes beneficios:

- Fortalecimiento de los sistemas de protección:

Mejora del mantenimiento de los dispositivos de seguridad existentes: El RCM permite realizar un análisis exhaustivo de los dispositivos de seguridad, identificando sus puntos débiles y estableciendo planes de mantenimiento preventivo más eficientes. Esto garantiza que los sistemas de protección funcionen correctamente cuando se necesiten.

Incorporación de nuevos dispositivos de protección: Esta metodología promueve la evaluación de riesgos y la identificación de nuevas amenazas, impulsando la implementación de dispositivos de seguridad adicionales cuando sea necesario. Esto mejora la protección general contra fallas y accidentes.

- Análisis profundo de las consecuencias de las fallas:

Revisión sistemática y rigurosa: El RCM exige un análisis detallado de las posibles consecuencias de cada falla, considerando tanto los impactos operativos como los riesgos para la seguridad y el medio ambiente. Esto permite tomar decisiones informadas sobre las medidas de prevención y mitigación necesarias.

Definición de estrategias para anticipar fallas: El RCM va más allá del mantenimiento preventivo, enfocándose en la identificación de las causas potenciales de fallas que podrían afectar la seguridad. Esto permite desarrollar estrategias proactivas para anticipar y prevenir accidentes.

Acciones "a falta de": En casos donde no se puedan establecer tareas de mantenimiento periódico adecuadas, el RCM define planes de acción claros a seguir en caso de que se detecte un riesgo o una falla inminente. Esto garantiza una respuesta rápida y efectiva ante situaciones imprevistas.

- Reducción de daños secundarios:

Análisis profundo de los efectos de las fallas: El RCM considera no solo la falla en sí misma, sino también los posibles daños secundarios que podría ocasionar. Esto permite implementar medidas preventivas para minimizar el impacto en el entorno y en la salud de las personas.

- Optimización de los intervalos de mantenimiento:

Intervalos más apropiados: El RCM establece planes de mantenimiento basados en el análisis de riesgos y la confiabilidad de los equipos, evitando intervenciones innecesarias y optimizando el uso de recursos.

- Eliminación de tareas innecesarias:

En algunos casos, el RCM puede identificar que ciertas tareas de mantenimiento preventivo no son necesarias o son redundantes, lo que permite eliminarlas del plan, reduciendo costos y optimizando el tiempo [23].

Esta metodología ofrece un enfoque sistemático y riguroso para mejorar la seguridad y la protección del medio ambiente en diversos sectores industriales. Al fortalecer los sistemas de protección, analizar profundamente las consecuencias de las fallas y optimizar los intervalos de mantenimiento, el RCM contribuye a la prevención de accidentes, la reducción de daños y la creación de un entorno más seguro y sostenible.

4.2.18.4. Requisitos de proceso RCM según la norma SAE JA1011

Las 7 preguntas fundamentales del proceso RCM según la norma SAE JA1011 son:

- ¿Cuáles son las funciones que se esperan del equipo en análisis?
- ¿Qué estados de falla (o fallas funcionales) están asociados con estas funciones?
- ¿Cuáles podrían ser las posibles causas de cada uno de estos estados de falla?

- ¿Cuáles son los efectos de cada una de estas fallas?
- ¿Cuáles son las consecuencias de estas fallas?
- ¿Qué medidas pueden tomarse para predecir o prevenir estas fallas?
- ¿Qué hacer en caso de que no se pueda encontrar una tarea predictiva o preventiva adecuada?

4.2.18.5. Procedimiento para la aplicación RCM

Se puede emplear una metodología que se apoya en siete preguntas clave para identificar las necesidades reales de mantenimiento de los equipos dentro de su contexto operativo. Esta metodología se desglosa en cinco etapas interrelacionadas que se describen a continuación:

Etapla 1: Preparación para el análisis.

Etapla 2: Selección del equipamiento a ser analizado.

Etapla 3: Selección de tareas de mantenimiento.

Etapla 4: Desarrollo del programa de mantenimiento.

Etapla 5: Seguimiento y evaluación de la eficiencia del plan de mantenimiento.

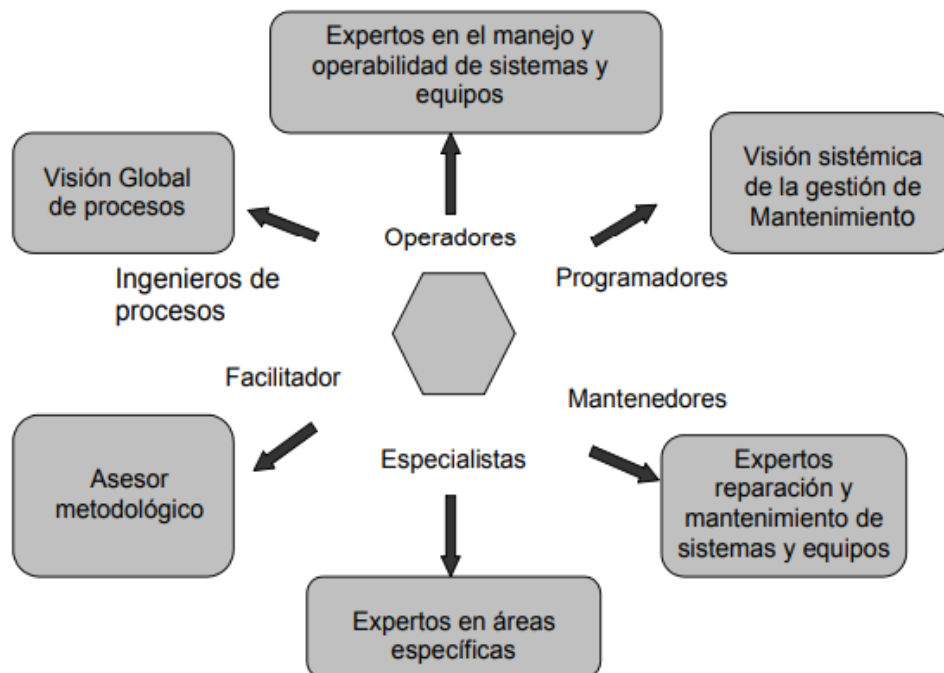


Figura 4.6. Estructura típica de un equipo de trabajo del RCM [24].

4.2.19. GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

La gestión de mantenimiento se presenta como la estrategia más idónea para prevenir posibles contratiempos ocasionados por fallos en equipos, maquinaria o instalaciones. Esto se debe a que los recursos de una empresa, ya sea financieros, humanos o temporales, son finitos.

Los estudios de mercado realizados por ingenieros de mantenimiento indican que la mayoría de las industrias no adoptan la gestión de mantenimiento en sus procesos. Inicialmente, muchos empresarios optan por el mantenimiento correctivo debido a su bajo costo. Además del mantenimiento preventivo, también se consideran el mantenimiento detective y predictivo, ya que ayudan a prevenir fallos mecánicos y, por ende, reducen las pérdidas derivadas de la interrupción de la producción [25].

4.2.20. Definición de fallo

Una falla o avería en un equipo industrial genera un estado de “no conformidad”, manifestándose a través de efectos en uno o varios de sus componentes. Las causas de las fallas pueden originarse en diversos factores, como fenómenos físicos o químicos, deficiencias en el proyecto, defectos de calidad o uso incorrecto [16].

4.2.21. FALLOS FUNCIONALES Y FALLOS TÉCNICOS

- **Falla funcional:** Se refiere a la incapacidad de un componente o sistema para cumplir con su función prevista dentro de un proceso o sistema más grande. Es la pérdida de la capacidad de un elemento para realizar su tarea principal, lo que genera consecuencias negativas en la operación general.
- **Falla técnica:** Se relaciona con el deterioro o mal funcionamiento de los componentes físicos o lógicos de un sistema. Es el origen de las fallas funcionales, ya que representa los desperfectos específicos que causan la interrupción de la función principal [26].

Las fallas funcionales y técnicas son elementos esenciales para el análisis y la toma de decisiones en un estudio RCM. Al comprenderlas y abordarlas de manera proactiva, se pueden optimizar las estrategias de mantenimiento.

4.2.22. Modos de falla

En el análisis RCM según la norma SAE JA1011, se comprende los modos de falla como posibles causas que pueden llevar a un equipo a un estado de falla. Por ejemplo, el "impulsor desgastado" es un modo de falla que puede provocar que una bomba alcance el estado de falla

caracterizado por la falla funcional "bomba menos de lo requerido". Cada falla funcional generalmente está asociada con varios modos de falla, y durante el proceso de análisis RCM, es crucial identificar todos estos modos de falla. A menudo, las listas tradicionales de modos de falla se centran en el deterioro o desgaste por el uso normal. Sin embargo, para abordar adecuadamente todas las posibles causas de falla en los equipos, es necesario ampliar esta lista para incluir errores humanos, tanto por parte de los operadores como del personal de mantenimiento, así como errores de diseño [15].

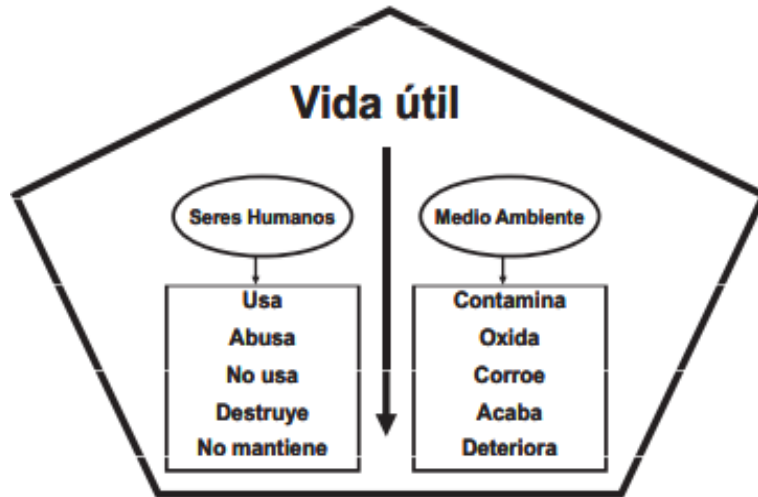


Figura 4.7. Agentes que generan fallos o desgaste [27].

Las fuentes de información sobre los modos de falla deben abarcar eventos pasados, prevención actual mediante programas de mantenimiento, y posibles fallos futuros en el contexto operacional. Se deben incluir los modos de falla previamente experimentados en equipos similares. Estas fuentes pueden ser personas con conocimiento sobre el equipo, registros técnicos y bases de datos.

En la hoja de información, deben ser listados la descripción y los modos de fallo que hayan ocurrido anteriormente, aquellos que actualmente son contrarrestados mediante el plan de mantenimiento y los que se consideran razonables de ocurrir en el contexto operacional, abarcando errores humanos, deterioro y defectos de diseño [19].

4.2.23. CLASIFICACIÓN DE FALLOS

El método RCM propone un análisis detallado de la gravedad de cada fallo y sus consecuencias. Se asigna un valor numérico a cada fallo para cuantificar su importancia. Este valor se obtiene multiplicando tres factores:

- **Gravedad del fallo:** Representa el impacto potencial del fallo en la seguridad, la producción o el medio ambiente.
- **Probabilidad de ocurrencia:** Indica la frecuencia con la que se espera que ocurra el fallo.
- **Detectabilidad del fallo:** Mide la facilidad con la que se puede identificar el fallo antes de que cause daños significativos.

Si el valor numérico resultante supera un cierto umbral, se considera que el fallo es crítico y se deben tomar medidas para prevenirlo.

En lugar de cuantificar la importancia de cada fallo, se debe determinar si es necesario evitarlo por completo o si basta con reducir sus efectos. Este enfoque simplificado puede ser más práctico y eficiente en la toma de decisiones sobre el mantenimiento.

Se centra en determinar si el fallo debe evitarse o si basta con reducir sus efectos.

- **Fallos a evitar:** Estos son fallos cuyas consecuencias son inaceptables y generan un costo muy alto. En estos casos, se deben tomar medidas preventivas para eliminar por completo la posibilidad de que ocurra el fallo.
- **Fallos a amortiguar:** Estos son fallos cuyas consecuencias son tolerables o manejables. En lugar de eliminar el fallo por completo, se buscan medidas para minimizar sus efectos en caso de que ocurra.

Evitar un fallo es generalmente más costoso que amortiguar sus efectos. Por lo tanto, la clasificación "fallo a evitar" debe reservarse únicamente para aquellos casos en que las consecuencias son extremadamente graves y el costo de prevención es justificable.

Se establece un criterio para clasificar los fallos en RCM en función de las consecuencias:

- Fallos a evitar: Consecuencias inaceptables y costo muy alto.
- Fallos a amortiguar: Consecuencias tolerables y costo de prevención menor [18].

4.2.24. Nivel de análisis y límites de equipos

Antes de iniciar el análisis de un equipo, es fundamental determinar el nivel de detalle del análisis y establecer los límites del sistema. El nivel de análisis se refiere al grado de detalle de los equipos que serán objeto del estudio. Si existe una jerarquía de equipos, el sistema a analizar automáticamente incluye todos los equipos por debajo de este en la jerarquía, salvo excepciones de subsistemas considerados insignificantes o muy complejos para un análisis separado. La

selección del nivel óptimo de análisis depende de varios factores, como la complejidad del equipo, análisis previos realizados y la facilidad de comprensión de las funciones y sus modos de falla. Se debe evitar un nivel de análisis demasiado bajo, que genere trabajo adicional y dificulte la identificación de funciones y modos de falla, así como uno demasiado alto que resulte en la omisión de modos de falla importantes. Es crucial definir claramente los límites del sistema a analizar para evitar que equipos o componentes importantes queden fuera del alcance del análisis. Esto es particularmente relevante para elementos como válvulas y bridas, que podrían quedar fuera de la evaluación si no se delimitan adecuadamente los límites del sistema [28].

4.2.25. Documentación técnica

Es altamente beneficioso obtener documentación técnica antes de examinar cualquier sistema o subsistema en particular, ya que proporciona detalles sobre la configuración física del equipo, sus componentes principales y su funcionamiento. Esta documentación puede incluir planos generales, diagramas de tuberías y cableado, manuales de operación y mantenimiento, documentos de diseño y listas de partes. En ausencia de esta documentación, es posible solicitarla a los diseñadores del sistema o a los fabricantes. La disponibilidad de esta documentación generalmente es suficiente para llevar a cabo un análisis completo. Si no se dispone de documentación específica, como planos, solo debe crearse si mejora significativamente la precisión o la facilidad del análisis.

4.2.26. Niveles de intervención

La intervención de reparación se define como un conjunto de acciones destinadas a restablecer el funcionamiento normal de un equipo, abordando las anomalías que afectan su rendimiento. Dentro del servicio de mantenimiento, estas acciones se diferencian según el nivel de intervención.

En el primer nivel, la intervención de reparación busca que la instalación vuelva a funcionar sin realizar un análisis profundo de la causa subyacente de la falla. Este enfoque no garantiza la resolución completa del problema y existe la posibilidad de que la avería se repita. Por ejemplo, empujar un automóvil para reiniciar el motor sería una intervención de este nivel.

En el segundo nivel, se analiza la causa de la avería y se actúa sobre el componente defectuoso mediante reparación o sustitución, proporcionando cierta garantía de que el problema no se repetirá durante un periodo determinado. Esta forma de reparación es común y se ilustra con el

ejemplo de cambiar una pieza en un automóvil sin profundizar en la razón detrás de la falla, como cambiar la batería.

En el tercer nivel, además de identificar la causa, se busca determinar el origen del problema y actuar sobre ambos factores para eliminar la avería y asegurar que no vuelva a ocurrir. Este nivel implica un análisis más detallado de la causa raíz y la intervención sobre los elementos responsables. Por ejemplo, en el caso de un automóvil, se investigaría y corregiría el mal funcionamiento del alternador que afecta a la batería [29].

4.2.27. Indicadores de gestión de mantenimiento

Un indicador se define como la relación entre variables cuantitativas y cualitativas que permiten observar la situación y las tendencias de cambio en un equipo o fenómeno, en comparación con los objetivos y metas establecidos. Estos indicadores pueden expresarse en valores, unidades, índices, series estadísticas, porcentajes, entre otros formatos. Son herramientas fundamentales para evaluar el logro y cumplimiento de la misión, objetivos y metas de un proceso específico.

Medir implica comparar una magnitud con un patrón establecido. Aunque existe la tentación de medirlo todo para reducir la incertidumbre, lo esencial es identificar y seleccionar las variables críticas que impactan directamente el éxito del proceso. Estas variables deben ser elegidas cuidadosamente para reflejar de manera efectiva la actividad del área de mantenimiento.

Para una gestión eficaz y eficiente, es crucial diseñar un sistema de control de gestión que apoye la administración y permita evaluar el desempeño de la empresa. Este sistema debe proporcionar al personal responsable de la planificación y el control operativo información continua e integral sobre su rendimiento, facilitando la autoevaluación y la implementación de medidas correctivas cuando sea necesario [30].

A continuación, se presentan algunos indicadores de gestión clave que pueden aplicarse en diversas industrias, independientemente de sus procesos productivos:

4.2.27.1. Tiempo medio entre fallas (TMEF / MBTF)

El Tiempo Medio entre Fallos (MTBF) mide el intervalo promedio entre averías de un equipo. Es una métrica clave para evaluar el diseño y la seguridad de equipos complejos, calculada a partir de la relación entre las horas de operación y el número de fallos. Las organizaciones pueden mejorar sus programas de Mantenimiento Preventivo (MP) monitoreando de cerca este indicador junto con métricas de rendimiento relacionadas, como el tiempo de operación y de inactividad.

$$MTBF = \frac{\text{HORAS TRABAJADAS}}{\text{Nº DE FALLAS PRESENTADAS}} \quad (4.1)$$

El indicador MTBF estará influenciado por diversas áreas de la empresa, ya que las fallas pueden deberse a factores como una operación inadecuada, reparaciones deficientes, repuestos defectuosos o fallas en el producto original. Por lo tanto, es fundamental llevar a cabo un análisis más profundo para identificar la causa raíz de las fallas [31].

4.2.27.2. Tiempo medio para reparación (TMPR / MTTR)

Este índice proporciona una medida clara de cuánto tiempo, en promedio, se tarda en reparar un equipo después de una falla, y es crucial para aquellos equipos donde el tiempo de reparación representa una porción considerable del tiempo total de operación.

$$MTTR = \frac{\text{HORA DE REPARACIONES}}{\text{NÚMERO DE PARADAS}} \quad (4.2)$$

Dado que el horómetro no funciona durante la intervención de la máquina, las horas contabilizadas son las horas solares (de reloj), sin confundirlas con horas-hombre o horas máquina (SMU). Un MTTR elevado sugiere que se dedican demasiadas horas a las reparaciones, lo que puede indicar deficiencias en la gestión. Por otro lado, un MTTR bajo indica que las tareas de mantenimiento no se realizan adecuadamente. Las mejores prácticas recomiendan que el MTTR promedio esté entre 3 y 6 horas [31].

4.2.28. BizAgi Modeler

Bizagi Modeler es un software gratuito, intuitivo y colaborativo para el mapeo de procesos de negocio. Ofrece una representación visual clara de las etapas y el flujo de un proceso, facilitando la comprensión tanto para partes interesadas técnicas como no técnicas [32].




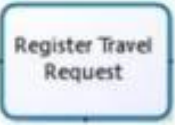


4.2.28.1. Diagramas de flujo

Los diagramas de flujo son, en esencia, algoritmos. Al planificar una tarea que involucra varias acciones y ordenarlas, estás creando un algoritmo. Un buen algoritmo especifica claramente quién hace qué y cuándo. Según la RAE, un algoritmo es un "conjunto ordenado y finito de operaciones que permite hallar la solución de un problema". Además de entender qué es un algoritmo y cómo elaborarlo de manera textual, es importante aprender a crear diagramas de

flujo. Estos diagramas permiten representar algoritmos de forma más activa, intuitiva, gráfica y secuencial [33].

A continuación, se presenta en la Figura 3.4 el significado de cada simbología:

Tabla 4.4. Simbología de cada función

	Evento de inicio simple: indica dónde inicia el proceso. No tiene algún comportamiento en particular.)
	Evento de finalización simple: Indica que el flujo finaliza.
	Conector: Señala el output de ese proceso puede ser el input de otro (el número indica el proceso de entrada)
	Operación: El símbolo de proceso representa un paso de un proceso.
	Dirección del flujo: El símbolo de conector se utiliza para conectar diferentes símbolos y mostrar el flujo del proceso.
	Punto de decisión: El símbolo representa un punto en el proceso en el que se debe tomar una decisión

4.3. METODOLOGÍA

4.3.1. Enfoque cualitativo

El enfoque se centra en métodos de recolección de datos que no están completamente estandarizados ni predeterminados. Este método implica obtener las perspectivas y puntos de vista de los participantes, incluyendo sus emociones, prioridades, experiencias y significados subjetivos. También se interesa en las interacciones entre individuos, grupos y colectividades. El investigador formula preguntas abiertas y recoge datos a través de medios escritos, verbales, no verbales y visuales, que luego describe, analiza y organiza en temas interrelacionados, reconociendo sus propias tendencias personales. Por lo tanto, el investigador se enfoca en las experiencias de los participantes tal como fueron (o son) sentidas y vividas. Los datos

cualitativos se presentan como descripciones detalladas de situaciones, eventos, personas, interacciones y comportamientos observados, junto con sus manifestaciones [34].

Este enfoque cualitativo permite entender profundamente las experiencias y perspectivas de los empleados de Megacons respecto al mantenimiento de los equipos, proporcionando información valiosa para la propuesta de un plan de mantenimiento basado en RCM. A través de esta metodología, se pueden identificar y abordar los desafíos específicos que enfrentan los empleados, proyectando una mejora en la eficiencia y efectividad del mantenimiento de la empresa.

4.3.2. Población y muestra

La población de este estudio está conformada por el personal operativo de la empresa Megacons, que incluye a los operarios y al gerente involucrados en la operación y mantenimiento de los equipos. Para la recolección de datos, se seleccionó una muestra de cuatro participantes, compuesta por tres operadores y el gerente.

La muestra seleccionada, aunque pequeña, es adecuada para los objetivos del estudio. Permite obtener una visión integral de los fallos en los equipos y establecer un plan de mantenimiento efectivo basado en los equipos con mayor criticidad.

4.3.3. Instrumentos De Investigación

4.3.3.1. Investigación de campo

La investigación en campo se llevó a cabo para obtener información directa sobre las condiciones operativas de los equipos en la empresa Megacons. Este enfoque permitió a los observar el funcionamiento de los equipos, así como identificar las situaciones que podrían estar causando fallas. Durante esta fase, se realizaron visitas al lugar de trabajo para hablar con los operarios, observar sus interacciones con los equipos y entender el entorno laboral. La investigación en campo proporcionó un contexto valioso que complementa los datos recopilados a través de entrevistas y encuestas, ofreciendo una visión holística de los problemas de mantenimiento y operación.

4.3.3.2. Búsqueda bibliográfica

La búsqueda bibliográfica fue esencial para el proyecto, enfocándose en recopilar y analizar información sobre prácticas óptimas en mantenimiento industrial y gestión de equipos. Se revisaron exhaustivamente libros, artículos, estudios de caso y normativas sobre mantenimiento

preventivo y análisis de criticidad, utilizando tanto fuentes impresas como digitales. El objetivo fue identificar estrategias efectivas para implementar un plan de mantenimiento en MEGACONS, adaptando las directrices teóricas obtenidas a las necesidades específicas de la empresa, asegurando así un plan fundamentado en conocimientos actualizados y probados.

4.3.3.3. Recolección de datos

Para la recolección de información, se utiliza la técnica de observación para evaluar cualitativa y cuantitativamente el nivel de riesgo de falla en las maquinarias a través de un estudio de criticidad. En primer lugar, se lleva a cabo un inventario y clasificación de los equipos, lo que permite profundizar en el análisis basado en la probabilidad y las consecuencias estimadas de las fallas.

Una vez completado el estudio de criticidad, se elaborará un documento detallado para cada equipo, prestando especial atención a aquellos con un índice de criticidad más alto. Finalmente, la documentación analizada y procesada se integrará en el plan de mantenimiento basado en la metodología RCM, garantizando así un enfoque estructurado y efectivo para la gestión del mantenimiento.

4.3.3.4. Observación

La técnica de observación fue esencial en el proyecto, proporcionando una visión directa del estado de los equipos en la producción de MEGACONS. A través de la observación, se identificaron problemas en los equipos y se documentaron las condiciones operativas que afectan su rendimiento. Este método permitió captar detalles que otros enfoques podrían pasar por alto, como prácticas operativas, tiempos de inactividad y métodos de mantenimiento actuales. La información obtenida fue clave para complementar otros datos y establecer una base sólida para identificar áreas críticas a mejorar en la gestión de mantenimiento de la empresa, en el **ANEXO I** se puede visualizar despiece o apertura de los equipos que nos permite identificar mediante imágenes los elementos que lo componen para la propuesta del plan de mantenimiento.

4.3.3.5. Entrevistas

La técnica de entrevista fue clave para obtener información detallada sobre fallos potenciales de los equipos, basándose en el conocimiento y experiencia de los operadores de MEGACONS. A través de un formulario de entrevista que muestra en el **ANEXO II**, se recopilaron datos sobre problemas recurrentes, causas de fallos y condiciones operativas que afectan el rendimiento.

Este método proporcionó perspectivas internas que complementaron otros enfoques de recolección de datos, permitiendo identificar fallos específicos y ajustar el plan de mantenimiento preventivo para abordar eficazmente los problemas críticos y mejorar la comprensión general de los desafíos operativos.

4.3.4. Evaluación de la Criticidad de Equipos: Encuesta para el Gerente

La técnica de encuesta, en este caso aplicada mediante una matriz de criticidad, fue crucial para identificar y evaluar los equipos más importantes en la empresa MEGACONS. A través de esta herramienta, se recopilaron opiniones y evaluaciones sobre la importancia y el impacto de cada equipo en la operación de producción. La encuesta permitió obtener una perspectiva general sobre cuáles equipos son críticos para la continuidad del proceso y cuáles presentan mayores riesgos en caso de fallas.

La información obtenida a través de la matriz de criticidad que se muestra en el **ANEXO III**, ayudó a priorizar los equipos que requieren mayor atención en el mantenimiento y a entender mejor las necesidades específicas de cada equipo. Este enfoque complementó otros métodos de recolección de datos, facilitando una visión integral del estado de los equipos y contribuyendo al desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo adaptado a las prioridades y riesgos identificados.

4.3.4.1.1. Nivel de criticidad por equipos

La importancia de los equipos no es uniforme, algunos son más cruciales que otros, y dirigir recursos hacia aquellos que tienen un mayor impacto en el funcionamiento de la empresa es esencial. Para determinar esto, se realizó una encuesta que evaluará si un equipo es crítico, importante o prescindible. La criticidad de un equipo se calcula mediante una ecuación específica. En la Tabla 4.2, se muestra los componentes utilizados para calcular la criticidad.

$$\text{Criticidad} = FF \times \text{Concecuencia} \quad (4.1)$$

$$\text{Concecuencia} = IO + FO + CM + IMA + IS \quad (4.2)$$

Tabla 4.5. Simbología del cálculo de criticidad

SIMBOLOGÍA DE CÁLCULO DE CRITICIDAD	
SÍMBOLO	SIGNIFICADO
FF	FRECUENCIA DE FALLAS

IO	IMPACTO OPERACIONAL
FO	FLEXIBILIDAD OPERACIONAL
CM	COSTO DE MANTENIMIENTO
IMA	IMPACTO DEL MEDIO AMBIENTE
IS	IMPACTO DE SEGURIDAD

4.3.5. Análisis del estudio realizado

La conclusión del análisis de criticidad habilita priorizar las acciones conforme a los problemas identificados en los equipos. Este proceso implica la categorización de esquemas según la gravedad de los inconvenientes, evaluando su impacto como crítico, importante o prescindible. El objetivo final es la elección de un modelo de mantenimiento óptimo que se ajuste a nuestro sistema.

4.3.6. Definición de los modelos de mantenimiento

En función de los cálculos realizados, es factible establecer el modelo de mantenimiento a emplear. Para equipos críticos, importantes o prescindibles, se requiere un análisis detallado de las condiciones en las que se encuentran para identificar el modelo de optimización más adecuado. El organigrama a seguir para las tareas subsiguientes se presenta en el **ANEXO IV**, que muestra los modelos de mantenimiento.

4.3.7. Fichas técnicas de equipos

Este documento proporciona información detallada sobre cada equipo, incluyendo datos generales, especificaciones, características destacadas, una fotografía del equipo, nivel de criticidad, modelo de mantenimiento, así como repuestos críticos y elementos consumibles necesarios.

4.3.8. Organización de las actividades de mantenimiento a través de la programación de rutas y gamas

El objetivo de la planificación es definir las órdenes de trabajo requeridas y la periodicidad de las tareas de mantenimiento, agrupando estas según la frecuencia necesaria y reportando las posibles incidencias que puedan surgir durante su ejecución. El formato utilizado para estas órdenes de trabajo se puede visualizar en el **ANEXO V**.

4.3.9. Planificación del mantenimiento

Se trata de una matriz diseñada para organizar las rutas y gamas de mantenimiento en periodos anuales, mensuales o diarios según la frecuencia establecida. Esta matriz detalla los meses y semanas correspondientes al año de planificación, así como las tareas de mantenimiento a llevar a cabo durante cada periodo de tiempo.

4.4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

4.4.1. Levantamiento de información

4.4.1.1. Organigrama de la empresa

En la figura 4.1 se presenta el organigrama de la empresa Megacons, una organización jerárquica con una cadena de mando clara, dividida en tres departamentos principales: Producción, Materiales y Dirección General.

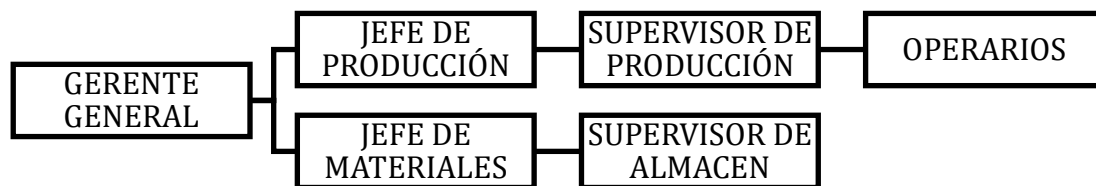


Figura 4.8. Organigrama de la empresa Megacons

4.4.1.2. Identificación De Procesos

Los diagramas de flujo que se presentan a continuación proporcionan una representación visual y detallada de los subprocesos dentro del área de producción, desde el inicio o entrada del producto hasta su salida como producto terminado. Estos diagramas ofrecen una vista previa de cómo se distribuyen las operaciones en cada estación y cómo se relacionan entre sí. En esencia, permiten visualizar la secuencia lógica de los subprocesos y cómo cada estación se conecta con las demás, proporcionando una comprensión clara de la estructura y el flujo de trabajo en el proceso de producción.

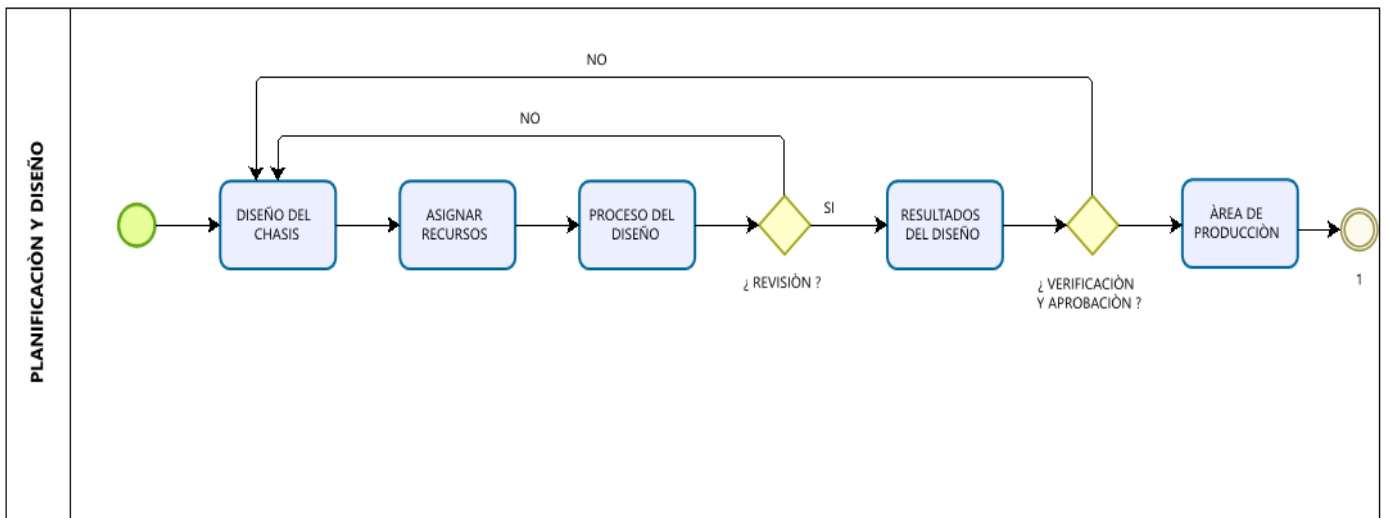


Figura 4.9. Planificación y diseño

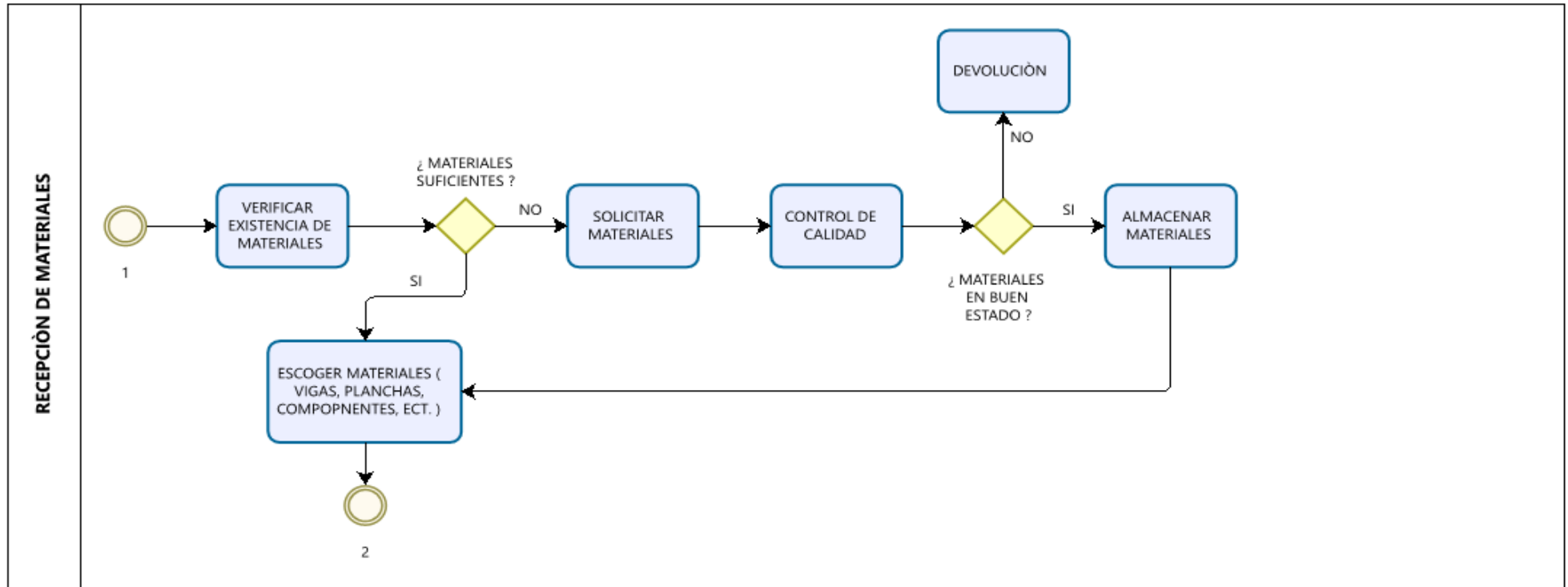


Figura 4.10. flujograma recepción de materiales

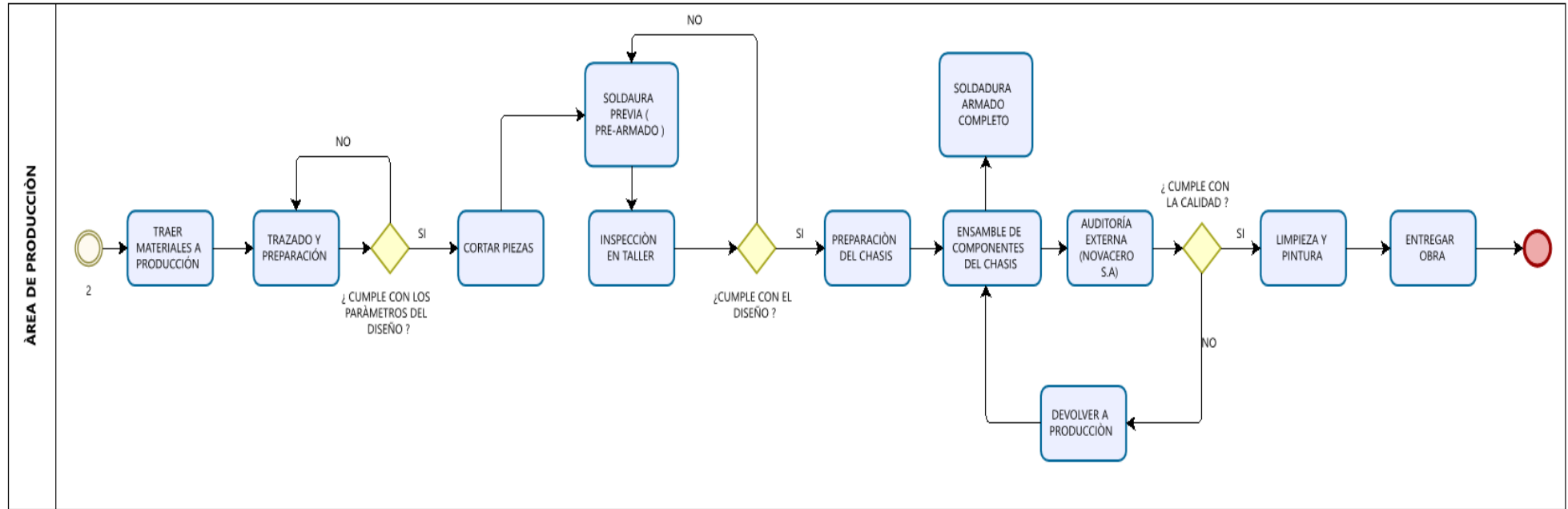


Figura 4.11. flujograma área de producción

4.4.2. Información general de la empresa

MEGACONS, una empresa establecida en el año 2018, se especializa en la construcción y mantenimiento de plataformas de tráileres. Con sede en la Parroquia Tanicuchi, en el cantón Latacunga, la empresa opera en un galpón de 480 m² situado entre la Panamericana Troncal de la sierra y la principal, la ubicación se muestra en la Figura 4.12. Cuenta con servicios básicos como alcantarillado, electricidad e internet, así como un amplio estacionamiento para camiones de materia prima y clientes. En su área de producción, cuatro operarios trabajan en modalidad de servicios prestados, utilizando cinco máquinas esenciales para el proceso, que incluyen equipos de soldadura continua (SMAW), compresores, oxicorte, pistolas de impacto, y un generador eléctrico a gasolina.



Figura 4.12. Ubicación geográfica

4.4.3. Distribución de las áreas

Tabla 4.6. Descripción de áreas

AREAS TALLER	DESCRIPCIÓN
PRODUCCIÓN	Lugar donde se construye las plataformas incluye una variedad de equipos que se dedican al proceso de fabricación y ensamblaje.
BODEGA 1	Almacenamiento de equipos y herramientas
BODEGA 2	Almacenamiento de componentes y lubricantes
ADMINISTRACIÓN	Parte administrativa de la empresa

4.4.4. Planimetría de la distribución de equipos

La empresa Megacons opera en una sola área que es la de producción que albergan una variedad de equipos esenciales que conforman para la fabricación y mantenimiento de plataformas, como se ilustra en la Figura 4.13.

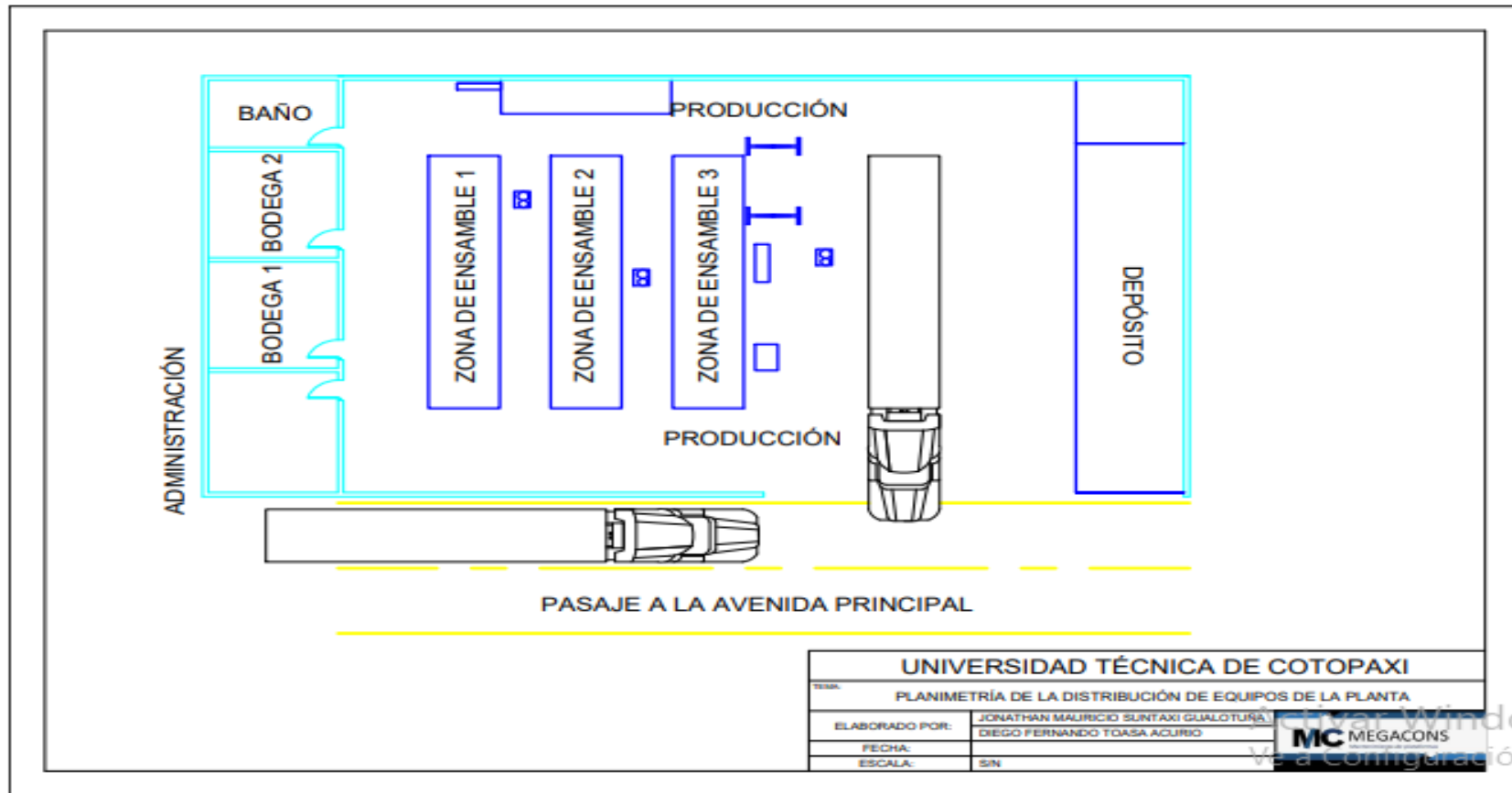


Figura 4.13. Layout de la empresa Megacons

4.4.5. Pasos Para Desarrollar Un Plan De Mantenimiento

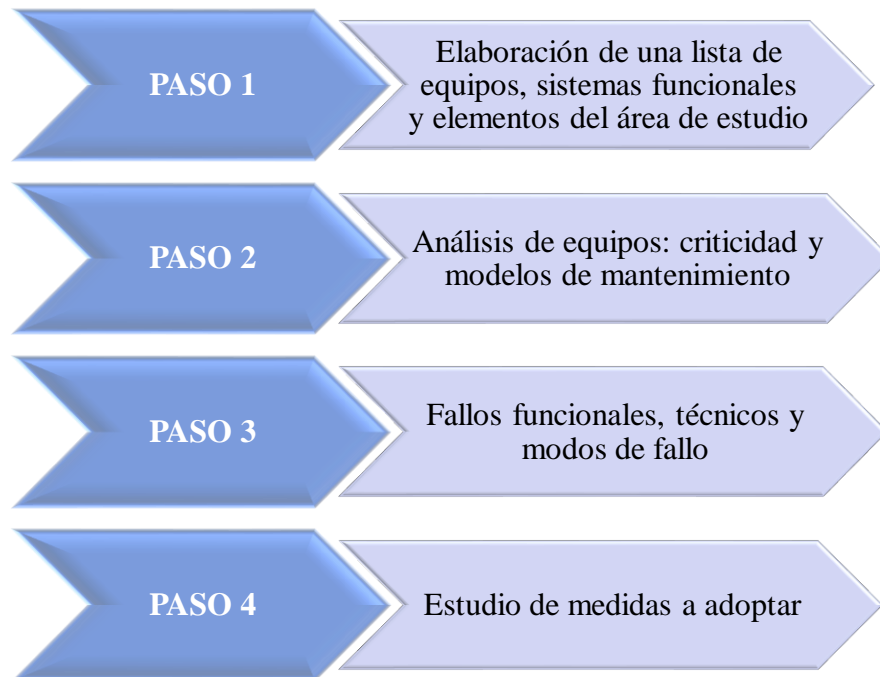



Figura 4.14. Pasos para desarrollar un plan de mantenimiento

4.4.6. Descripción de los equipos

La empresa MEGACONS cuenta con una selección de equipos vitales para la manufactura de plataformas, habiendo elegido específicamente aquellos con una criticidad importante. A continuación, se detallan los equipos más destacados e indispensables para el proceso de producción se muestra en la Tabla 4.3.

Tabla 4.7. Descripción de equipos








Área	Equipos	Descripción	Imagen
PRODUCCIÓN	Llave de impacto neumática	Una llave de impacto neumática es una herramienta utilizada en la industria para apretar o aflojar tuercas y tornillos de manera rápida y eficiente.	
	Máquina de suelda continua (smaw)	Esta máquina está diseñada para realizar soldaduras de manera continua, lo que significa que puede operar durante largos períodos de tiempo sin interrupciones significativas. Esto incluye soldar vigas, travesaños, refuerzos y otros componentes	
	Compresor vertical	Los compresores se utilizan para proporcionar aire comprimido, que es necesario para alimentar una amplia gama de herramientas neumáticas utilizadas en la fabricación. El suministro de aire comprimido permite que estas herramientas funcionen de manera eficiente y efectiva	
	Generador eléctrico gasolina	El generador eléctrico consta de un motor que puede ser alimentado por diésel, gasolina u otro combustible, conectado a un rotor que gira dentro de un campo magnético y produce una corriente eléctrica.	
	Oxicorte	Este equipo utiliza un proceso de corte térmico que emplea oxígeno y un gas combustible, como acetileno, para cortar y dar forma a metales de alta resistencia, como el acero utilizado en la fabricación.	

4.4.7. Análisis de equipos por niveles

Se llevó a cabo un análisis detallado de los equipos de la planta, desarmándolos para fotografiar cada componente y facilitar su identificación en tablas detalladas. Estas tablas incluyen el nombre del equipo, su ubicación en el área, los sistemas que lo componen y las imágenes de

sus elementos. La Tabla 4.4 muestra el análisis por nivel del primer equipo, mientras que los demás se pueden visualizar en el **ANEXO VI**.

Tabla 4.8. Estudio por niveles de la pistola de impacto

AREA	EQUIPO	SISTEMAS	ELEMENTOS	
P R D U C C I Ó N	P I S T O L A D E I M P A C T O N E U M Á T I C O M A R S H A L	S I S T E M A N E U M Á T I C O	CONECTOR DE AIRE	
			VÁLVULA	
			MOTOR NEUMÁTICO	
		S I S T E M A D E I M P A C T O	COJETES	
			JAULA MARTILLO	
			YUNQUE	
			MARTILLO	
			VÁSTAGO	
		S I S T E M A M E C Á N I C O	GATILLO	
			CARCASA	
			REGULADOR DE VELOCIDAD	
			EMPUÑADURA	

4.4.8. Codificación de equipos

Los códigos de los equipos fueron creados durante el estudio para mejorar la identificación dentro de la planta. Estos códigos se forman utilizando las iniciales del nombre de cada equipo y se aplican a múltiples equipos en el área de producción. La tabla 4.5 detalla los equipos críticos en esta área.

Tabla 4.9. Codificación de equipos

Código de equipos	Equipo
01 CR 01	Compresor Campbell
01 OX 01	Oxicorte Víctor
01 PI 01	Pistola De Impacto Marshal
01 SL 01	Soldadora Lincoln (Smaw)
01 GE 01	Generador Eléctrico A Gasolina Ingco

Dada la falta de información o documentación detallada sobre los equipos, se tomó la decisión de limitar la codificación únicamente hasta el nivel de equipos. Esto se debe a que, al desmontar los elementos, no se cuenta con una codificación de fábrica que permita una identificación precisa de cada uno. A pesar de esta limitación, este enfoque sigue siendo efectivo para gestionar el mantenimiento de manera organizada y adaptable a futuras actualizaciones de información.

4.4.9. Análisis de criticidad de los equipos

La norma internacional ISO JA1011 y JA1012 establece las ponderaciones que se deben considerar para calcular los factores de frecuencia de falla (FF), factores de consecuencia del impacto operacional (IO), factor de flexibilidad operacional (FO), costos de mantenimiento (CM), impacto medioambiental (IMA) y el factor de impacto a la seguridad (IS). Estos factores son evaluados en una escala del 1 al 5, donde el valor más alto indica mayor criticidad. Para obtener datos precisos, se realizaron encuestas al gerente general de MEGACONS. Posteriormente, se analizaron los resultados de la encuesta y se calculó la criticidad de cada uno de los equipos, como se muestra en la Tabla 4.7, y los clasificamos de acuerdo a su criticidad en Equipos críticos, importantes y prescindibles para esto nos ayudamos de la Tabla 4.6.

Tabla 4.10. Rango de criticidad

Rango	Criticidad
5 a 29	Prescindible
30 a 49	Importante
50 a 125	Críticos

Tabla 4.11. Cálculo de criticidad de los equipos del área de producción

Código De Equipos	Equipos	FF	FO	IO	CM	IMA	IS	CO	Criticidad	
01 CR 01	Compresor Campbell	4	3	4	2	2	1	12	48	Importante
01 AM 01	Amoladora Dewalt	4	2	2	1	1	1	7	28	Prescindible
01 CZ 01	Cizalla Dewalt	3	1	2	1	1	1	6	18	Prescindible
01 OX 01	Oxicorte Victor	4	4	4	1	3	3	15	60	Critico
01 HD 01	Hidro lavadora A Gasolina Eagle	1	1	1	1	2	2	7	7	Prescindible
01 PI 01	Pistola De Impacto Marshal	4	4	5	1	1	2	13	52	Critico
01 SL 01	Soldadora Lincoln	4	4	4	1	1	2	12	48	Importante
01 GE 01	Generador Eléctrico Ingco	4	3	1	2	3	1	10	40	Importante
01 TL 01	Taladro De Pedestal Power Usa	3	3	2	2	1	1	9	27	Prescindible

Una vez establecida la criticidad para los diferentes equipos del área de producción seleccionamos los que tienen los valores de criticidad más alto al no encontrarse equipos con un estado crítico como se observa en la siguiente Tabla 4.8.

Tabla 4.12. Resumen de cálculo de criticidad

Equipo	(FF)	(FO)	(IO)	(CM)	(IMA)	(IS)	(CO)	Criticidad	
Compresor Vertical Campbell	4	3	4	2	2	1	12	48	Importante
Oxicorte Victor	4	4	4	1	3	3	15	60	Critico
Pistola De Impacto Marshal	4	4	5	1	1	2	13	52	Critico
Soldadora Smaw Lincoln	4	4	4	1	1	2	12	48	Importante
Generador Electrico A Gasolina Ingco	4	3	1	2	3	1	10	40	Importante

4.4.10. Determinación del modelo de mantenimiento

Posteriormente, asignamos un modelo de mantenimiento a los equipos basado en el estudio de criticidad, el cual muestra claramente los índices de criticidad de cada equipo. Seleccionamos los equipos con índices de criticidad más altos, ya que son los más importantes para nuestro caso. Es crucial considerar las necesidades y requerimientos específicos de cada equipo, como los costos de reparación, para elegir el modelo de mantenimiento más adecuado.

A continuación, seleccionamos el modelo de mantenimiento más adecuado para cada uno de los equipos del área de producción de Megacons. Estos equipos han sido identificados como aquellos que tienen un índice de criticidad importante.

- **Compresor Campbell Hausfeld**

De acuerdo a los datos obtenidos en el estudio de criticidad representado en la tabla (estudio de criticidad) donde observamos que el nivel de criticidad de este equipo es importante ya que obtuvo una puntuación de criticidad de 48 el modelo aplicable según la figura (análisis de criticidad) el modelo de mantenimiento que le corresponde a este equipo sería correctivo, pero se toma en cuenta algunos factores adicionales ya que al no disponer de conocimiento necesario para el mantenimiento de este equipo el modelo de mantenimiento que le corresponde es Mantenimiento por Subcontrato, a continuación se presentan todos los factores tomados en cuenta para la determinación del modelo de mantenimiento.

- La frecuencia con la que falla este equipo es de 1 vez al año.
- El costo de reparación y de mantenimiento es de \$250 dólares.
- Se deja de obtener una producción del 50% (mensual) aproximadamente por fallas en este equipo.

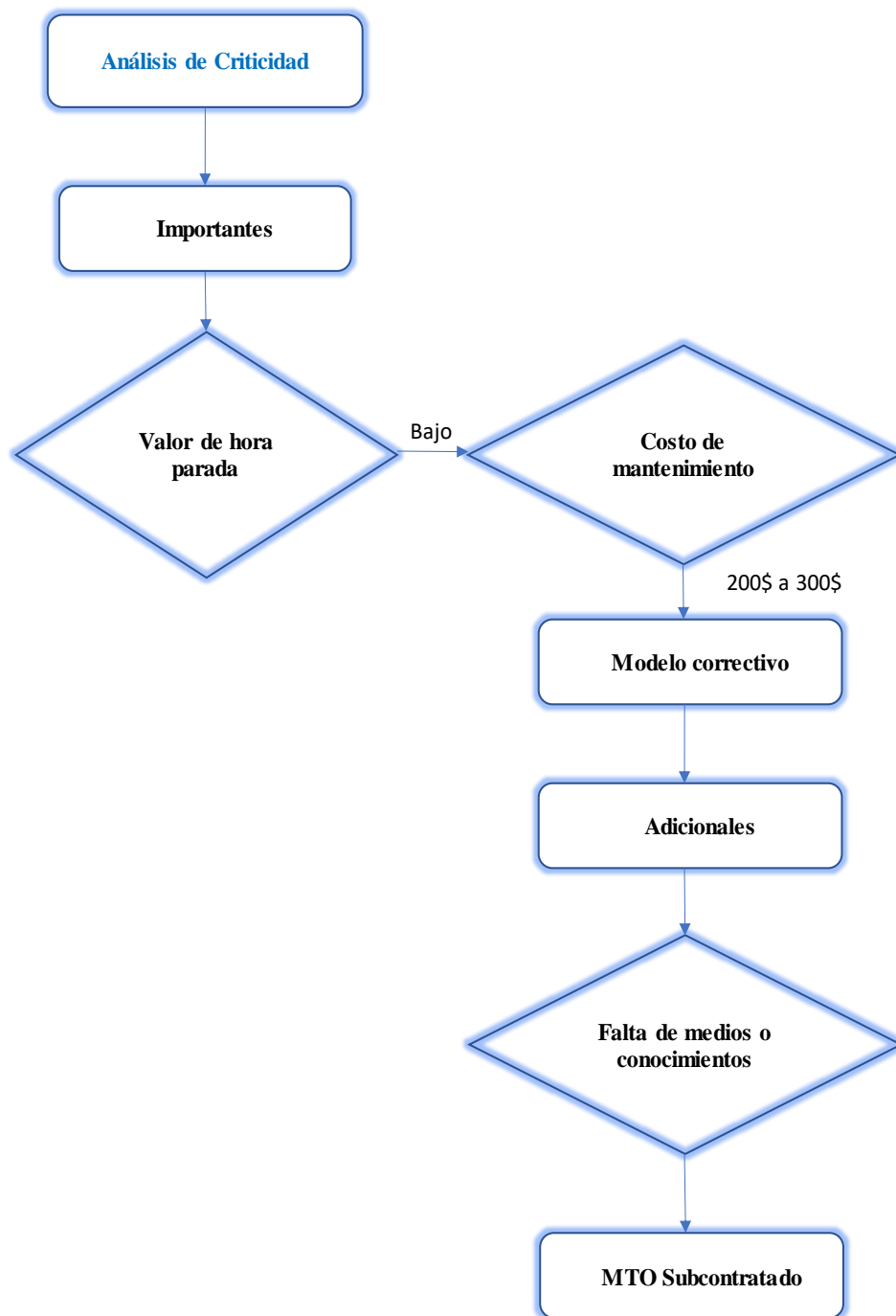


Figura 4.15. Modelo de mantenimiento del compresor vertical

- **Oxicorte marca Víctor**

El Oxicorte Víctor, con una criticidad de 60, es el equipo más crítico debido a su alta frecuencia de operación (4), impacto operacional (4), y las consecuencias severas de su fallo (15). Su impacto en seguridad (3) y la dificultad en el mantenimiento (3) también son considerables, lo que indica que cualquier problema con este equipo puede resultar en graves riesgos operacionales y de seguridad. Aunque el costo de mantenimiento es bajo (1), la frecuencia de fallo (4) y el alto impacto operacional resaltan la necesidad de una estrategia robusta para mantener su funcionalidad. El modelo aplicable según la **figura** (análisis de criticidad) el modelo de mantenimiento que le corresponde a este equipo será sistemático.

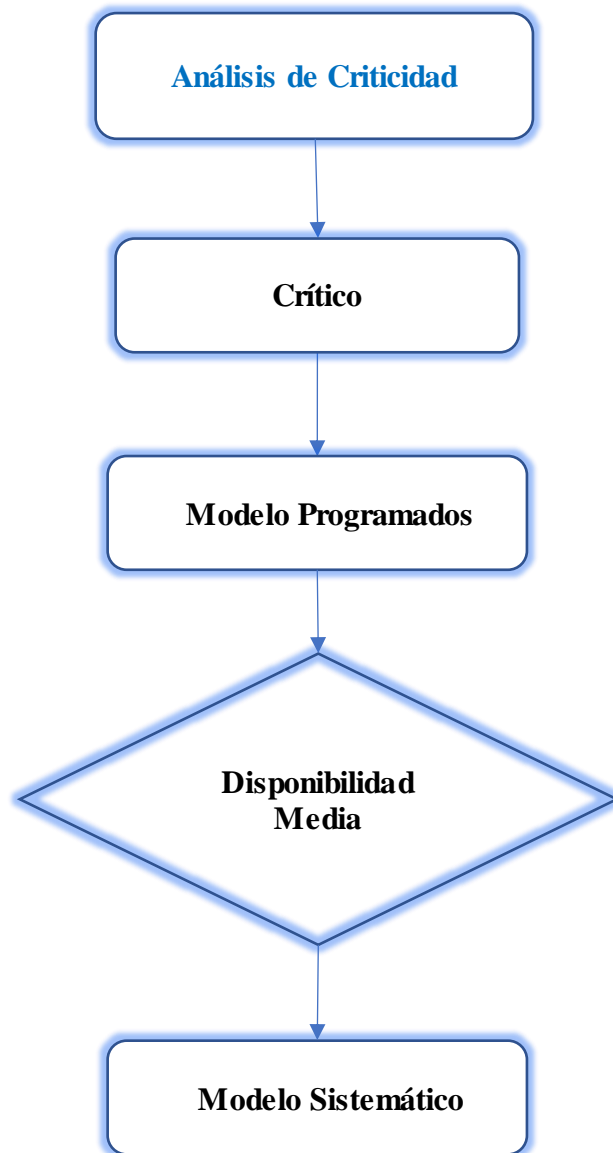


Figura 4.16. Modelo da mantenimiento del oxicorte

- **Pistola de impacto Marshal**

La Pistola de Impacto Marshal, con una criticidad de 52, se clasifica como crítica debido a su alto impacto operacional (5) y frecuencia de operación (4). Esto sugiere que, aunque su costo de mantenimiento (1) y el impacto en la actividad (1) son bajos, el impacto operacional y las consecuencias de fallo (13) son significativos, lo que implica que cualquier mal funcionamiento puede tener graves repercusiones en la eficiencia y seguridad de las operaciones. La alta frecuencia de fallo (4) también subraya la necesidad de un mantenimiento frecuente. El modelo aplicable según la **figura** (análisis de criticidad) el modelo de mantenimiento que le corresponde a este equipo sería sistemático.

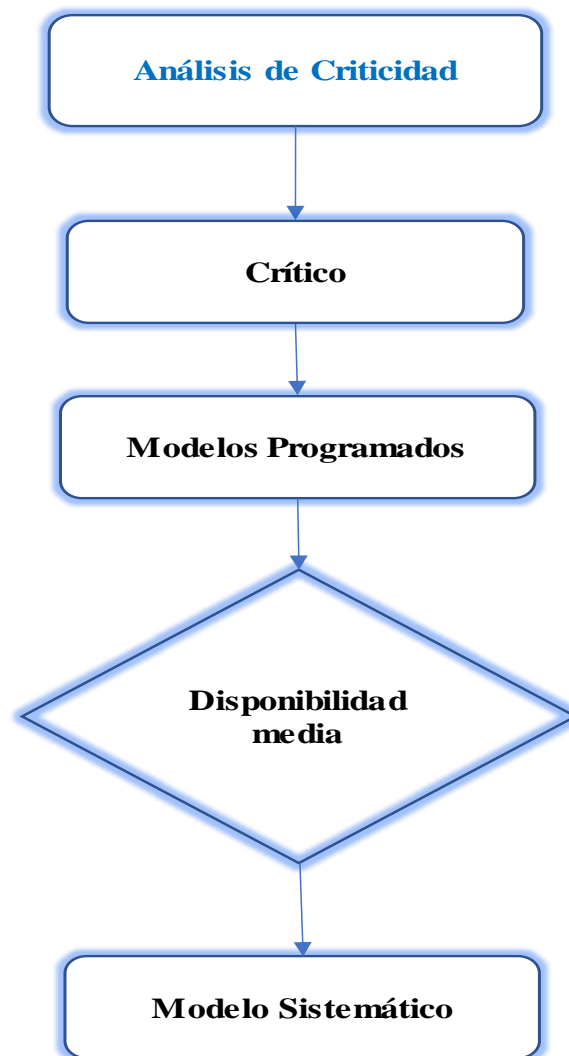


Figura 4.17. Modelo de mantenimiento de la pistola de impacto

- **Soldadora Lincoln**

De acuerdo a los datos obtenidos en el estudio de criticidad representado en la tabla (estudio de criticidad) donde observamos que el nivel de criticidad de este equipo es importante ya que obtuvo una puntuación de criticidad de 48 el modelo aplicable según la figura (análisis de criticidad) el modelo de mantenimiento que le corresponde a este equipo sería correctivo pero en el caso de este equipo tenemos que tener en cuenta otros parámetros ya que al ser un equipo que se utiliza en ocasiones durante horas prolongadas sobre todo cuando están ensamblando las plataformas al momento de unir piezas de la misma debido a esto se determinó que la disponibilidad de este equipo es media y por este motivo le corresponde un modelo de mantenimiento sistemático, a continuación se presentan todos los factores tomados en cuenta para la determinación del modelo de mantenimiento.

- La frecuencia con la que falla este equipo es de 3 veces al año.
- El costo de reparación y de mantenimiento es de 20\$ dólares.
- Se deja de obtener una producción del 74% (mensual) aproximadamente por fallas en este equipo.

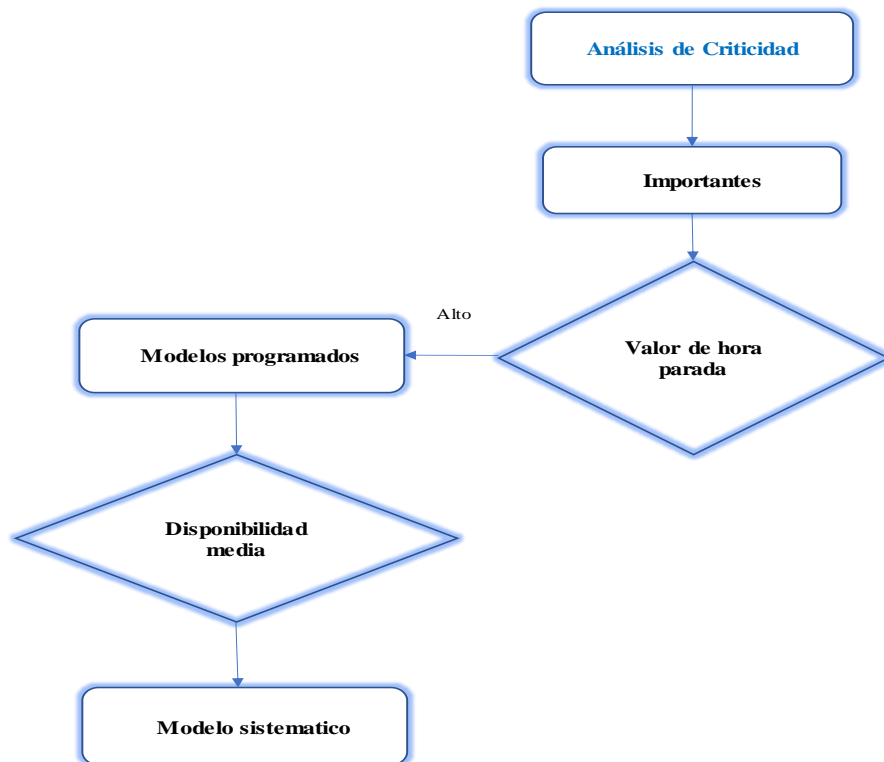


Figura 4.18. Modelo de mantenimiento de la máquina soldadora

- **Generador Eléctrico a gasolina Ingco**

De acuerdo a los datos obtenidos en el estudio de criticidad representado en la tabla (estudio de criticidad) donde observamos que el nivel de criticidad de este equipo es importante ya que obtuvo una puntuación de criticidad de 40 el modelo aplicable según la Figura 4.14 (análisis de criticidad) el modelo de mantenimiento que le corresponde a este equipo sería correctivo pero en el caso de este equipo tenemos que tener en cuenta otros parámetros ya que al ser un equipo que se utiliza en solo durante apagones y además tenemos que tener presente que el generador no abastece con el suministro de energía necesario para el funcionamiento de todos los equipos debido a esto el generador no casi no se utiliza por este motivo le corresponde un modelo de mantenimiento condicional, a continuación se presentan todos los factores tomados en cuenta para la determinación del modelo de mantenimiento.

- La frecuencia con la que falla este equipo es de 2 veces al año.
- El costo de reparación y de mantenimiento es de 20\$ dólares.
- Se deja de obtener una producción del 15% (mensual) aproximadamente por fallas en este equipo.

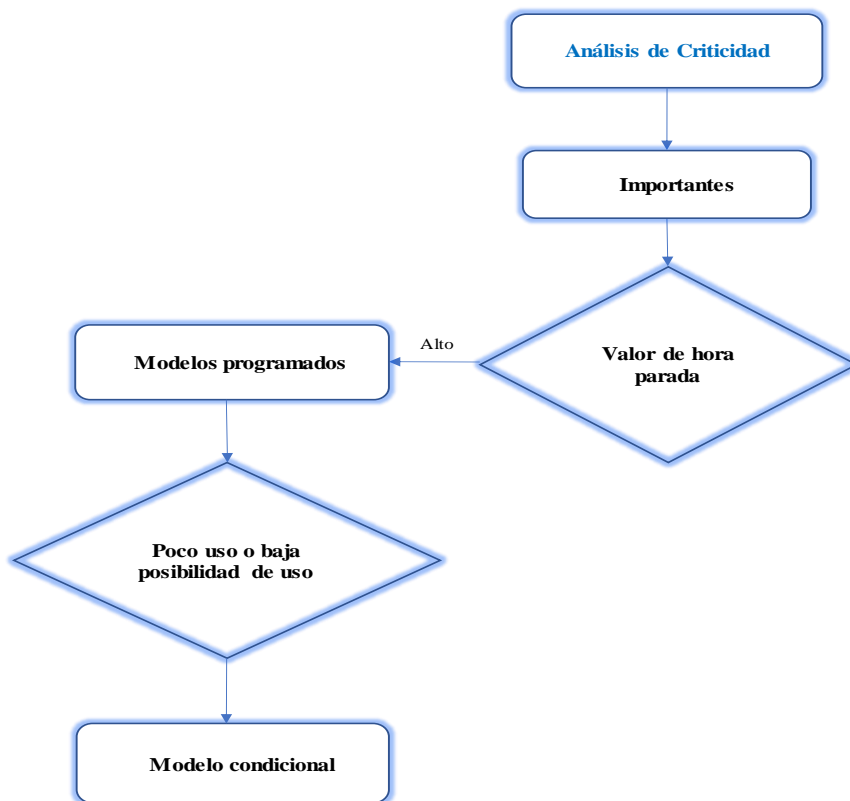


Figura 4.19. Modelo de mantenimiento del generador eléctrico

La creación del modelo de mantenimiento adecuado implica llevar a cabo un análisis individual de cada equipo, utilizando como base el cálculo de criticidad y la información recopilada a través de las encuestas. Esto permite desarrollar un modelo de mantenimiento que satisfaga las necesidades específicas de cada equipo. A continuación, se presenta la Tabla 4.9, que resumen de los modelos de mantenimiento correspondientes.

Tabla 4.13. Resumen de modelos de mantenimiento

Modelo De Mantenimiento						
Código	Equipo	Criticidad	Alta Disponibilidad	Sistémico	Condicional	Correctivo
01 CR 01	Compresor Campbell	Importante				X
01 OX 01	Oxicorte Víctor	Critico		X		
01 PI 01	Pistola De Impacto Marshal	Critico		X		
01 SL 01	Soldadora Lincoln (Smaw)	Importante		X		
01 GE 01	Generador Eléctrico A Gasolina Ingo	Importante			X	

4.4.11. Levantamiento de fichas de equipos

Una vez que se ha recopilado la información de los equipos más importantes, es fundamental elaborar fichas individuales para cada uno de ellos. Estos documentos contendrán los datos esenciales que influyen en el mantenimiento de cada equipo. Para ello, se ha recopilado información como:

- Código del equipo y su descripción (datos generales)
- Características principales y valores de referencia
- Análisis de criticidad de cada equipo, adjuntando el cuadro de criticidad correspondiente
- Modelo de mantenimiento recomendado
- Lista de repuestos necesarios y consumibles necesarios para su funcionamiento

A continuación, en la Figura 4.20 y 4.21 se proporciona la ficha técnica del primer equipo analizado con la información especificada anteriormente y en el **ANEXO VII** se presentan los demás equipos.

FICHA TÉCNICA

PISTOLA DE IMPACTO NEUMÁTICA



DATOS DEL EQUIPO																						
CODIGO:	FB-3812																					
PROVEEDOR:	Ingersoll Rand																					
DIRECCION:	GUAYAQUI – LA LLAVE S A																					
TELEFONO:	01(800) 018-7873																					
DESCRIPCION DEL EQUIPO:																						
Una llave de impacto neumática es una herramienta que funciona mediante aire comprimido y sirve para aflojar y apretar tuercas y pernos con un elevado par de apriete. Son muy potentes y permiten transmitir una gran fuerza gracias al impulso del aire.																						
CARACTERISTICAS PRINCIPALES:																						
<ul style="list-style-type: none"> •Torque maximo: 3,000 ft-lb •Longitud del vástago: 8" •Mecanismo un martillo (pin less) •Consumo de aire: 0.30m3/min 	<ul style="list-style-type: none"> •Presión sugerida: 90PSI •Entrada de aire: 1/2" •Peso neto: 12kg •Cuadro: 1" 																					
VALORES DE REFERENCIA:																						
<ul style="list-style-type: none"> •Velocidad= 4 000 r/min (RPM) •Consumo promedio de aire= 269 l/min (9,5 CFM) 																						
ANÁLISIS DE CIRITICIDAD:	52 Critico																					
CRITICIDAD																						
FRECUENCIA (FF)	5	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
	4	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100
	3	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75
	2	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
	1	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
CONSECUENCIAS (CO)																						
MODELO DE MANTENIMIENTO		¿MTO. LEGAL?		SUBCONTRATOS NECESARIOS																		
CORRECTIVO		SI		PREVENTIVO																		
CONDICIONAL		NO		CORRECTIVO																		
SISTEMÁTICO				INSPECCIONES																		
ALTA DISPONIBILIDAD				OVERHAUL																		

Figura 4.20. Ficha técnica de la pistola de impacto parte A


FICHA TÉCNICA PISTOLA DE IMPACTO NEUMÁTICA				
ELEMENTOS QUE LO COMPONEN:		CONSUMIBLES:		
<ul style="list-style-type: none"> •MOTOR NEUMÁTICO □ •COJETES □ •JAULA MARTILLO □ •YUNQUE □ •MARTILLO □ •VÁSTAGO •GATILLO □ •CARCASA □ •REGULADOR DE VELOCIDAD □ •EMPUÑADURA □ 	ACEITE:	CASTROL 2T		
	FILTROS	SI		
	OTROS:	RASA AZUL (GRADO 2) MARCA OKAMI		
	REPUESTOS CRÍTICOS EN STOCK PERMANENTE EN PLANTA:			
	<ul style="list-style-type: none"> •COGINETES •VÁSTAGO •PALETAS •MOTOR NEUMATICO 			
HERRAMIENTAS ESPECIALES				
<ul style="list-style-type: none"> •LLAVES HEXAGONALES •MARTILLO DE GOMA 				
FORMACIÓN NECESARIA:		ESPECIFICAR MANTENIMIENTO LEGAL:		
<ul style="list-style-type: none"> • FORMACION BASICA EN MECANICA • CONOCIMIENTOS SOBRE EL PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LAS PISTOLAS DE IMPACTO 		NO APLICA		
SUBCONTRATOS:				
NO APLICA				

Figura 4.21. Ficha técnica de la pistola de impacto parte B

4.4.12. Compilación De Datos De Mantenimiento

La Tabla 4.14, ofrece una visión general de los datos esenciales extraídos de las fichas técnicas de los equipos utilizados en el área de producción. Su objetivo es proporcionar una rápida comprensión de los equipos mediante una presentación concisa.

Tabla 4.14. Cuadro resumen

Código	Descripción	Críticidad	Modelo Mantenimiento						Formación necesaria	Repuesto crítico en stock	Observaciones
			Fiab.	Sist.	Con.	Corr.	Leg.	Sub.			
01 CR 01	Compresor Campbell	Importante						X	<ul style="list-style-type: none"> Formación básica en mecánica y formación específica para compresores Campbell. 	<ul style="list-style-type: none"> Aceite lubricante Filtros y válvulas de retención 	Ninguna
01 OX 01	Oxicorte Víctor	Crítico		X					<ul style="list-style-type: none"> Conocimientos sobre los principios de funcionamiento del oxicorte 	<ul style="list-style-type: none"> Boquillas de corte Reguladores de presión 	Ninguna
01 PI 01	Pistola De Impacto Marshal	Crítico		X					<ul style="list-style-type: none"> Experiencia en el uso de herramientas mecánicas básicas 	<ul style="list-style-type: none"> Cojinete Vástago Motor neumático 	Ninguna
01 SL 01	Soldadora Lincoln	Importante		X					<ul style="list-style-type: none"> Conocimiento sobre los distintos tipos de generadores 	<ul style="list-style-type: none"> Transformador Ventilador Cables y conectores 	Ninguna
01 GE 01	Generador Eléctrico Ingco	Importante			X				<ul style="list-style-type: none"> Conocimiento sobre los principios de funcionamiento básico de los taladros de pedestal 	<ul style="list-style-type: none"> Motor Tanque de combustible 	Ninguna

4.4.13. Determinación de los fallos

4.4.13.1. Descripción, clasificación y tipo de fallo

El estudio ha identificado dos categorías de fallos en los equipos: los funcionales, que impiden que el equipo cumpla su función, y los técnicos, que no detienen el funcionamiento del sistema, pero lo hacen de manera incorrecta. Estos fallos se clasifican en dos categorías según sus consecuencias: "a evitar" cuando las consecuencias son inaceptables y "a amortiguar" cuando las consecuencias son mínimas. Se ha elaborado un diagrama se puede visualizar en la Figura 4.22, cómo actuar frente a cada tipo de fallo.

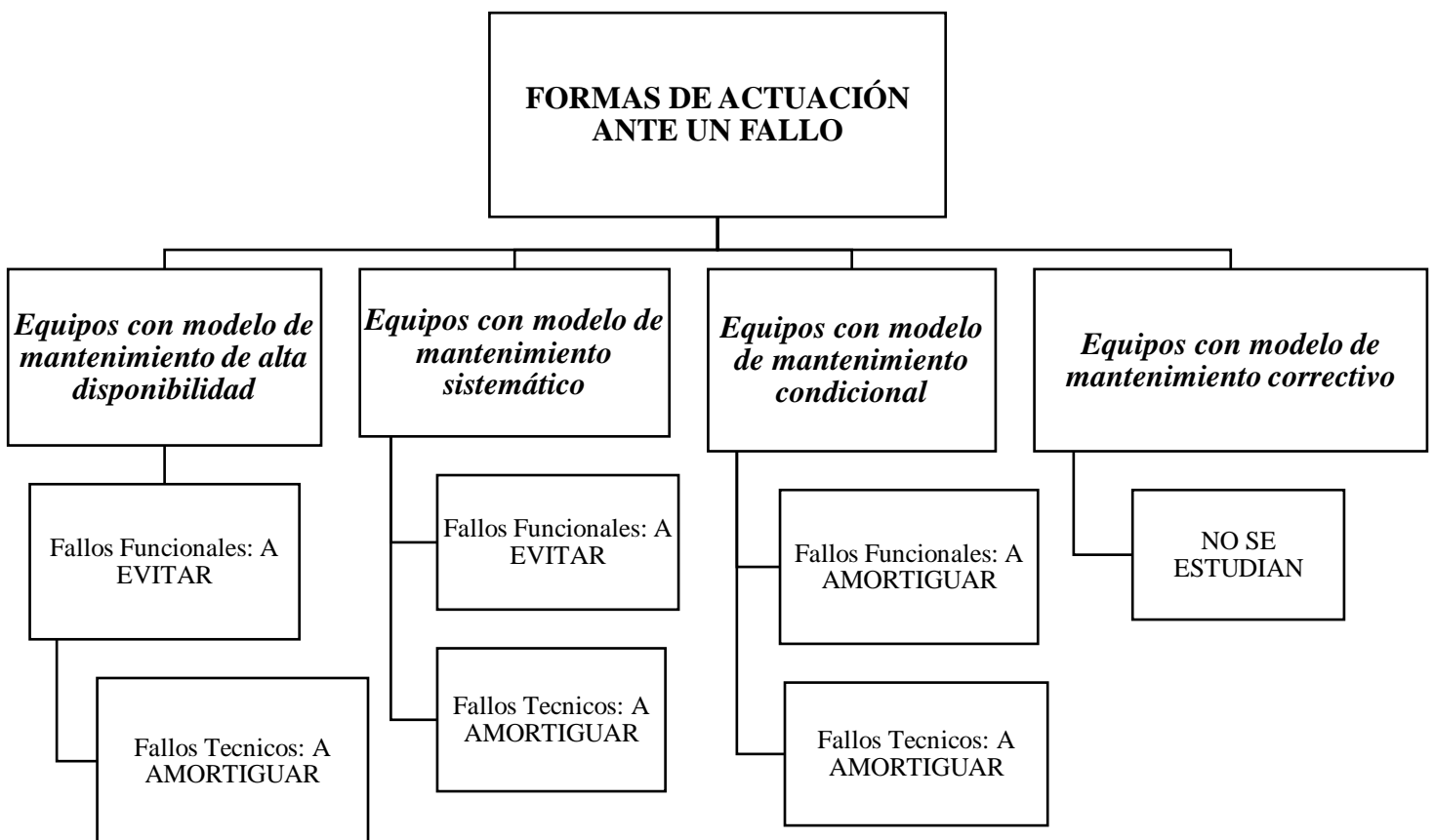


Figura 4.22. Diagrama de formas de actuar ante un fallo

Cabe recalcar que para clasificar los fallos se tomó en cuenta los equipos que presentan un modelo de mantenimiento condicional y sistemático ya que los equipos con modelos de mantenimiento correctivo no se estudian es por eso que la clasificación de modos de fallos no aplica para todos los equipos.

4.4.13.2. Determinación de los modos de fallo.

Luego se procedió a estudiar los modos de fallos o las circunstancias asociadas, reconociendo la importancia de realizar un análisis exhaustivo de los equipos para identificar todos los posibles modos de fallo que muestran en la Tabla 4.15 que presenta los modos de fallo del primer equipo y en el **ANEXO VII** se presenta de los demás equipos.

Tabla 4.15. Modos de fallos de la pistola de impacto

Área	Equipo	Sistemas	Elementos	Tipo de fallo	Descripción de fallo	Modo de fallo	Clasificación de fallos
Producción	Pistola de impacto neumático marshal	Sistema neumático	Conector de aire	Técnico	Perdida de estanqueidad	Desgaste del conector de aire	A evitar
						Corrosión	
						Roturas, golpes	
						Falta de limpieza	
			Válvula	Técnico	Fugas de aire	Sellos dañados	A evitar
					Falta de presión	Conexión floja Diámetro de la manguera inadecuado	
		Motor neumático	Técnico	Falta de potencia	Desgaste de las paletas	A evitar	
				Sobrecalentamiento	Falta de limpieza		
					Falta de lubricación		
		Vibraciones y ruidos anormales	Técnico	Desgaste de los cojinetes		A evitar	
Cojinetes	Técnico			Falta de lubricación	A evitar		
				Contaminación			
Sistema de impacto	Jaula martillo	Técnico	Ruido inusual	Desgaste paredes internas	A evitar		

					Debido a la vibración se puede generar grietas		
			Yunque	Técnico	Transmisión de fuerza baja	Desgaste	A evitar
			Martillo	Técnico	Incapacidad de transmitir fuerza	Deformación	A evitar
						Grietas	
			Funcional	Atasco o bloqueo	Falta de limpieza	A amortiguar	
					Falta de lubricación		
		Vástago	Funcional	Movimiento inusual	Fatiga del material	A amortiguar	
					Corrosión		
	Sistema mecánico	Gatillo	Funcional	Bloqueo del gatillo	Desgaste	A amortiguar	
					Accionamiento inconsistente		Conexiones sueltas
			Técnico	Deslizamiento del gatillo	Resorte débil	A evitar	
					Acumulación de suciedad		
			Carcasa	Técnico	Pérdida ergonómica	Falta de limpieza	A evitar
			Regulador de velocidad	Funcional	Pérdida de ajuste	Desgaste de los dientes del regulador	A amortiguar
						Resorte debilitado	
			Empuñadura	Técnico	Presencia de grietas	Caídas desde alturas	A evitar
		Fatiga del material					
		Falta de ajuste					

					Deslizamiento	Falta de limpieza	
					Pérdida de agarre	Exposición a productos químicos o aceite	

4.4.14. Determinación de medidas preventivas

Las medidas preventivas consisten en las acciones que deben llevarse a cabo para evitar un fallo o reducir sus efectos. Estas medidas se han dividido en cuatro tipos:

- Tareas de mantenimiento
- Mejoras
- Cambios en los procedimientos de operación
- Modificaciones en los procedimientos de mantenimiento

Se han tenido en cuenta el modelo de mantenimiento recomendado para cada equipo y el análisis de las variables y condiciones de cada uno de ellos.

A continuación, en la Tabla 4.16 se presentan las medidas preventivas propuestas para el primer equipo del área de producción de la empresa MEGACONS y en el **ANEXO VIII** se puede visualizar de los demás equipos.

Tabla 4.16. Medidas preventivas para la pistola de impacto

Área	Equipo	Sistemas	Elementos	Descripción de fallo	Modo de fallo	TAREAS DE MANTENIMIENTO	MEJORAS	PROCEDIMIENTOS DE PRODUCCIÓN	PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO
Producción	Pistola de impacto neumático marshal	Sistema neumático	Conector de aire	Pérdida de estanqueidad	Desgaste del conector de aire	Inspección visual en busca de signos de desgaste, daños o fugas. (semanal)		No conecte la herramienta al sistema de la línea de aire sin haber antes incorporado una válvula de cierre que sea fácil de alcanzar y de operar	Drene la herramienta con aceite para herramienta de aire o con solvente de goma
					Corrosión				
					Roturas, golpes				
					Falta de limpieza				
			Válvula	Fugas de aire	Sellos dañados	Apriete de conexiones para asegurarse de que estén firmes y seguras. (semanal)	Se puede utilizar una llave dinamométrica para asegurarse de que las conexiones estén apretadas correctamente.	El suministro de aire debe estar lubricado	Apriete y selle las juntas de la manguera si se encuentran puntos de escape. Utilice cinta para sellar
				Falta de presión	Conexión floja				

Sistema de	Cojinetes	Motor neumático	Diámetro de la manguera inadecuado	Asegurarse de que la manguera de aire esté en buenas condiciones y no tenga grietas ni fugas (diario)	Conecte la herramienta a un compresor de aire utilizando una manguera de 19 mm (3/4") de diámetro interno.	Ajuste del regulador del compresor a lo máximo de 621 opa (90 psi).			
			Falta de potencia	Desgaste de las paletas		Inspeccionar y reemplazar las paletas del motor según sea necesario (mensual)	Dejar enfriar la herramienta regularmente durante un uso prolongado.	Lubricar el motor neumático regularmente con aceite ligero. Inspeccionar el motor neumático en busca de daños o desgaste.	
			Sobrecalentamiento	Falta de limpieza		Lubricar o reemplazar los rodamientos según sea necesario. (mensual)			
				Falta de lubricación					
			Vibraciones y ruidos anormales	Desgaste de los cojinetes					
			Cojinetes dañados	Falta de lubricación		Lubricar los cojinetes (mensual)			Reemplazar los cojinetes cuando sea necesario.

			Contaminación				
			Desgaste				
	Jaula martillo	Ruido inusual	Desgaste paredes internas	Inspeccionar la jaula de martillo en busca de daños o desgaste. (mensual)			Limpiar la jaula de martillo regularmente. Lubricar la jaula de martillo
			Debido a la vibración se puede generar grietas				
	Yunque	Transmisión de fuerza baja	Desgaste	Inspeccionar y lubricar el yunque (diario)			Limpiar el yunque regularmente con un paño seco. Inspeccionar el yunque en busca de daños o desgaste. Reemplazar el yunque si está dañado o desgastado.
		Dificultad de ajuste	Deformación				
	Martillo		Deformación	Inspeccionar visualmente las puntas (mensual)	Se puede utilizar un lubricante de alta calidad para prolongar	Nunca utilice aceites con detergente ya que dañan los anillos-o	Lubricar los mecanismos internos de la pistola es suficiente con poner 3 o 4

			Incapacidad de transmitir fuerza	Grietas		la vida útil de los cojinetes.	y hacen que la herramienta tenga un mal funcionamiento.	gotas de aceite en la entrada de aire comprimido, conectar la máquina y hacerla funcionar unos 10 segundos.
			Atasco o bloqueo	Falta de limpieza	Limpiar y lubricar los componentes internos (semanal) .			
				Falta de lubricación				
		Vástago	Movimiento inusual	Fatiga del material	Limpiar y lubricar el vástago regularmente para prevenir la corrosión. (mensual)		no utilice dados demasiado gastados en los mecanismos de entrada o salida. Periódicamente revise el cuadro de ensamble de la pistola de impacto. Confirme que el dado, la barra de extensión u otros accesorios estén instalados con seguridad antes de operar la herramienta.	Limpiar el vástago regularmente con un paño seco. Lubricar el vástago con aceite ligero según las instrucciones del fabricante. Inspeccionar el vástago en busca de daños o desgaste. Reemplazar el vástago si está dañado o desgastado.
						Corrosión		
Sis	Ga			Desgaste				

				Bloqueo del gatillo		Inspección visual en busca de signos de desgaste, daños o fugas. (semanal)		Siempre confirme que el selector de sentido de rotación esté en la posición deseada antes de arrancar la herramienta	Limpiar el gatillo regularmente con un paño seco. Inspeccionar el gatillo en busca de daños o desgaste. Reemplazar el gatillo si está dañado o desgastado.	
				Accionamiento inconsistente	Conexiones sueltas					
				Deslizamiento del gatillo	Resorte débil	Limpiar, lubricar y verificar los componentes internos. Reemplazar partes desgastadas (semanal)	Cambios en las condiciones internas del ítem			
					Acumulación de suciedad					
				Carcasa	Pérdida ergonómica	Falta de limpieza	Limpieza exterior para evitar la acumulación de suciedad y residuos que podrían ingresar al mecanismo. (diario)	Limpiar la herramienta regularmente con un paño limpio y húmedo.		Limpiar la carcasa regularmente con un paño húmedo y un jabón suave. Inspeccionar la carcasa en busca de daños o grietas. Reemplazar la carcasa si está dañada o agrietada.
							Drenaje del filtro de aire para eliminar cualquier acumulación de agua o contaminantes (diario)			
Regulador	Pérdida de ajuste	Desgaste de los dientes	Limpiar y lubricar el mecanismo. Ajustar o		Ajustar el regulador de velocidad a la velocidad					

				del regulador	reemplazar piezas desgastadas. (mensual)			deseada. Limpiar el regulador de velocidad con un paño seco. Inspeccionar el regulador de velocidad en busca de daños o desgaste.
				Resorte debilitado				
		Empuñadura	Presencia de grietas	Caídas desde alturas	Limpieza y cambio del mango si se encuentra desgastada (diario)	Se puede utilizar un medidor de dureza para verificar la dureza del mango y detectar cualquier daño.		Limpiar la empuñadura re con un paño húmedo y un jabón suave. Inspeccionar la empuñadura en busca de daños o desgaste. Reemplazar la empuñadura si está dañada o desgastada.
				Fatiga del material				
	Deslizamiento o		Falta de ajuste					
			Falta de limpieza					
			Pérdida de agarre	Exposición a productos químicos o aceite				

4.4.15. Organización de las labores de mantenimiento utilizando rutas y gamas de mantenimiento.

En esta etapa del estudio, se definió la periodicidad con la que deben llevarse a cabo las tareas de mantenimiento, estableciendo intervalos de tiempo específicos para realizarlas. Estos intervalos pueden ser diarios, mensuales o anuales, y se determinaron de acuerdo a los requerimientos y necesidades de la empresa se puede visualizar en la Tabla 4.17 del primer equipo, los demás se encuentra en el **ANEXO IX** en la a continuación:

Tabla 4.17. Plan de mantenimiento de la pistola de impacto

PLAN DE MANTENIMIENTO				FRECUENCIA		
EQUIPO	SISTEMAS	ELEMENTOS	TAREAS DE MANTENIMIENTO	DIARIO	MENSUAL	ANUAL
Llave de impacto neumático marshal	Sistema neumático	Conector de aire	Inspección visual en busca de signos de desgaste, daños o fugas. (mensual)			
		Válvula	Apriete de conexiones para asegurarse de que estén firmes y seguras. (mensual)			
			Asegurarse de que la manguera de aire esté en buenas condiciones y no tenga grietas ni fugas (diario)			
	Motor neumático	Inspeccionar y reemplazar las paletas del motor según sea necesario (mensual)				
		Lubricar o reemplazar los rodamientos según sea necesario. (mensual)				
	Sistema de impacto	Cojinetes	Lubricar los cojinetes (mensual)			
		Jaula martillo	Inspeccionar la jaula del martillo en busca de daños o desgaste. (mensual)			
		Yunque	Inspeccionar y lubricar el yunque (diario)			
		Martillo	Inspeccionar visualmente las puntas del martillo (mensual)			
			Limpiar y lubricar los componentes internos (mensual) .			
	Vástago	Limpiar y lubricar el vástago regularmente para prevenir la corrosión. (mensual)				
	Sis	Gatillo	Inspección visual en busca de signos de desgaste, daños o fugas. (mensualmente)			

	Limpiar, lubricar y verificar los componentes internos. Reemplazar partes desgastadas (mensualmente)			
Carcasa	Limpieza exterior para evitar la acumulación de suciedad y residuos que podrían ingresar al mecanismo. (diario)			
	Drenaje del filtro de aire para eliminar cualquier acumulación de agua o contaminantes (diario)			
Regulador de velocidad	Limpiar y lubricar el mecanismo. Ajustar o reemplazar piezas desgastadas. (mensual)			
Empuñadura	Inspección visual en busca de desgaste y limpieza de la empuñadura (diario)			

4.4.16. Rutas y gamas del área de producción

La empresa cuenta con un único departamento de producción que alberga los equipos analizados. A continuación, se presenta la Tabla 4.18 que detalla cada uno de los equipos junto con su código y descripción. Esta información es crucial para entender las rutas y gamas de producción.

Tabla 4.18. Rutas y gamas

ÁREA DE PRODUCCIÓN	
CODIGO	DESCRIPCIÓN
RD-01-CR-01	Ruta diaria del compresor vertical
GM-01-CR-01	Gama mensual compresor vertical
GA-01-CR-01	Gama anual del compresor vertical
RD-01-OX- 01	Ruta diaria del oxicorte
GM-01-OX- 01	Gama mensual oxicorte
GA-01-OX- 01	Gama anual del oxicorte
RD-01-SL- 01	Ruta diaria de la máquina de soldar
GM-01-SL- 01	Gama mensual de la máquina de soldar
GA-01-SL- 01	Gama anual de la máquina de soldar
RD-10-PI- 01	Ruta diaria de la pistola de impacto
GM-10-PI- 01	Gama mensual de la pistola de impacto
RD-01-GE-01	Ruta diaria del generador eléctrico
GM-01-GE-01	Gama mensual del generador eléctrico
GA-01-GE-01	Gama anual del generador eléctrico

A continuación, se muestra el cálculo de las rutas y gamas de mantenimiento:

DATOS:

1 año = 12 meses

1 año = 250 días de trabajo

1 mes = 4 semanas

- Cálculo de rutas diarias necesarias:

Total de rutas diarias = 250 días · 1 ruta/diaria

Total de rutas diarias = 250 rutas.

- Cálculo de gamas mensuales necesarias:

Gama mensual = 12 meses · 1 Gama/mes = 12 Gamas

Total de Gamas mensuales = 12 Gamas · 5 equipos = 60 Gamas.

- Cálculo de gamas anuales necesarias:

Gama anual = 1 año · 1 Gama/año = 1 Gama

Total de Gamas anual = 5 equipos · 1 Gama/año = 5 Gamas.

- Total, de órdenes de trabajo necesarias:

Total = Total ruta diaria + Total gamas mensual + Total gamas anual

Total, ordenes de trabajo = 250 + 60 + 5

Total, ordenes de trabajo = **315 año**

4.4.17. Levantamiento de órdenes de trabajo

Los procedimientos de mantenimiento son documentos dinámicos que experimentan cambios constantes, y proporcionan una descripción detallada de cómo llevar a cabo las tareas de mantenimiento. Además, permiten un seguimiento preciso de la actividad al establecer responsables del proceso y registrar las incidencias ocurridas durante la ejecución. A continuación, en la Figura 4.19, se presenta el formato de orden de trabajo del primer equipo y en el ANEXO X se presenta de los demás equipos.

Tabla 4.19. OT diaria para la llave de impacto

		RUTA O GAMA DE MANTENIMIENTO		
OPERARIO				
FECHA:				
HORA INICIO:		HORA FINAL:		
HERRAMIENTAS		EQUIPO DE PROTECCIÓN		
Desarmadores Llaves de ajuste Alicate		Gafas de seguridad para proteger los ojos de posibles proyecciones. Guantes resistentes al aceite y a los productos químicos. Botas de seguridad con puntera de acero. Protectores auditivos para reducir el ruido. Mascarilla o respirador para protegerse del polvo o gases.		
RIESGOS DE TRABAJO Y MEDIDAS PREVENTIVAS		MATERIALES		
Revisar las fichas técnicas de los equipos Uso de los equipos de protección Conocer las normas para utilizar correctamente el equipo Detener o apagar el equipo para realizar la limpieza respectiva		Instrumentos de limpieza, lijas, Lubricantes y aceites		
<hr style="width: 20%; margin: auto;"/> FIRMA DEL OPERARIO				
RUTA DE MANTENIMIENTO	CÓDIGO DE RUTA:	RD-10-PI- 01	FRECUENCIA :	DIARIA
EQUIPO	DESCRIPCIÓN		RESULTADO	RANGO NORMAL
PISTOLA DE IMPACTO	Asegurarse de que la manguera de aire esté en buenas condiciones y no tenga grietas ni fugas			
	Inspeccionar y lubricar el yunque.			
	Limpieza exterior para evitar la acumulación de suciedad y residuos que podrían ingresar al mecanismo. .			
	Drenaje del filtro de aire para eliminar cualquier acumulación de agua o contaminantes.			

	Inspección visual en busca de desgaste y limpieza de la empuñadura.		
--	---	--	--

Tabla 4.20. OT mensual de la pistola de impacto

RUTA DE MANTENIMIENTO	CÓDIGO DE RUTA:	GM-10-PI- 01	FRECUENCIA :	MENSUAL
EQUIPO	DESCRIPCIÓN		RESULTADO	RANGO NORMAL
PISTOLA DE IMPACTO	Inspección visual en busca de signos de desgaste, daños o fugas.			
	Apriete de conexiones para asegurarse de que estén firmes y seguras.			
	Inspeccionar y reemplazar las paletas del motor según sea necesario			
	Lubricar o reemplazar los rodamientos según sea necesario			
	Lubricar los cojinetes			
	Inspeccionar la jaula del martillo en busca de daños o desgaste			
	Inspeccionar visualmente las puntas del martillo			
	Limpiar y lubricar los componentes internos			
	Limpiar y lubricar el vástago regularmente para prevenir la corrosión			
	Inspección visual en busca de signos de desgaste, daños o fugas.			
	Limpiar, lubricar y verificar los componentes internos. reemplazar partes desgastadas			
	Limpiar y lubricar el mecanismo. ajustar o reemplazar piezas desgastadas			

4.4.18. Procedimientos para ejecutar las rutas y gamas de mantenimiento

En el apéndice de este documento se detallan las instrucciones para llevar a cabo cada tarea de manera comprensible, incluyendo valores o rangos recomendados, materiales requeridos, precauciones y otros elementos pertinentes, visualizar en el **ANEXO XI**.

4.4.19. Organigrama de tareas de mantenimiento

En la fase de planificación, se determinó el momento y la persona responsable de llevar a cabo cada ruta y gama dentro del plan de mantenimiento, considerando los siguientes criterios:

Rutas diarias: Estas actividades se realizarán diariamente debido a su naturaleza básica y se asignarán a los miembros del equipo correspondientes.

Gamas mensuales: Se estableció un intervalo de tiempo adecuado en el calendario para realizar estas tareas, considerando su mayor complejidad. Se designó a los responsables de acuerdo con su disponibilidad y capacitación.

Gamas anuales: Se programaron con anticipación en un mes que no interfiera con las operaciones regulares de la empresa, asegurando que se puedan llevar a cabo de manera efectiva. Los encargados fueron designados con base en su experiencia y disponibilidad.

Estos criterios de programación se reflejan en la Tabla 4.21 que es la planificación de mantenimiento general.

Tabla 4.21. Cronograma de mantenimiento general

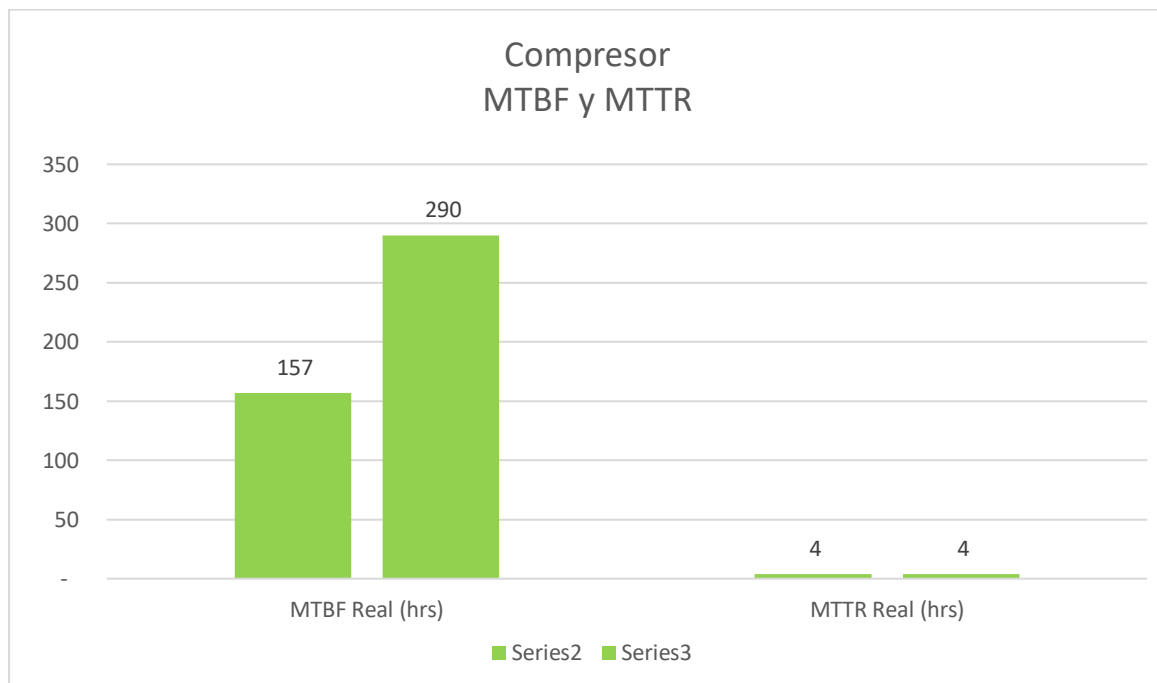
DESCRIPCIÓN	Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre				Diciembre			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
ÁREA DE PRODUCCIÓN																																																
PISTOLA DE IMPACTO MARSHAL		A			M					M				M				M				M				M				M				M				M				M						
SOLDADORA SMAW LINCOLN		M				M				M				M				M				M				M				M				M				M				M		A				
COMPRESOR CAMPBELL			M				M				M				M				M				M				M				M				M				M				M	A				
GENERADOR ELECTRICO A GASOLINA INGCO				M				M				M				M				A				M				M				M				M				M								
OXICORTE VICTOR						A						M				M				M				M				M				M				M				M								

4.4.20. Identificación de indicadores de gestión de mantenimiento

Tabla 4.22. Cuadro resumen de indicadores de mantenimiento

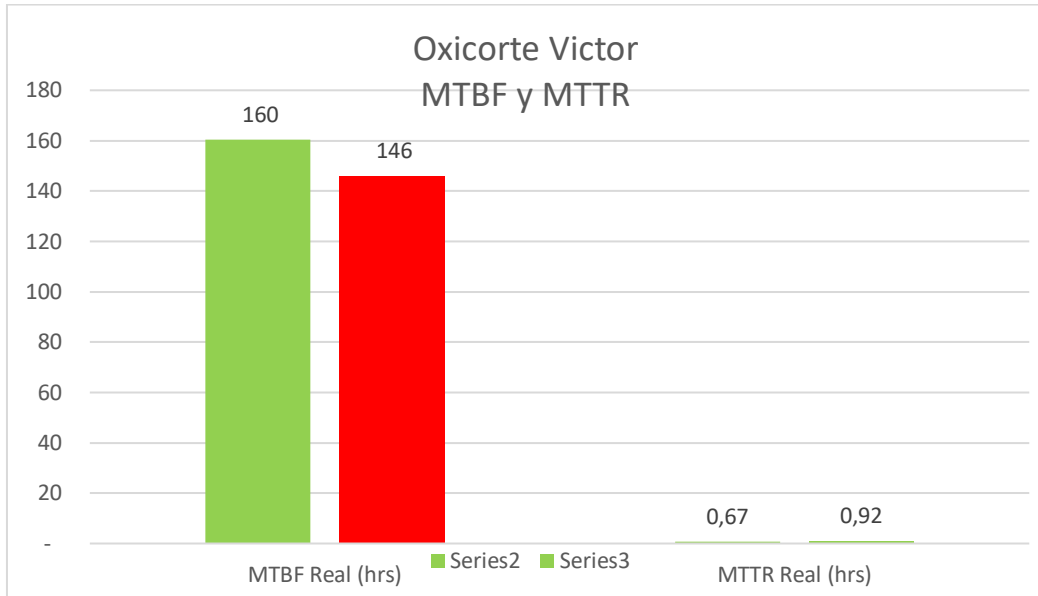
Equipos	Tiempo medio entre fallos (mtbf)		Tiempo medio para reparar (mttr)	
	Enero	Febrero	Enero	Febrero
Compresor Campbell	157	290	4	4
Oxicorte Víctor	160	146	0.67	0.92
Soldadora Lincoln	S/n	292	S/n	2
Generador eléctrico ingco	160	293	1.08	1.08

El análisis de los indicadores de mantenimiento, específicamente el Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF) y el Tiempo Medio para Reparar (MTTR), revela una visión clara del rendimiento de los equipos en el área de producción de MEGACONS:

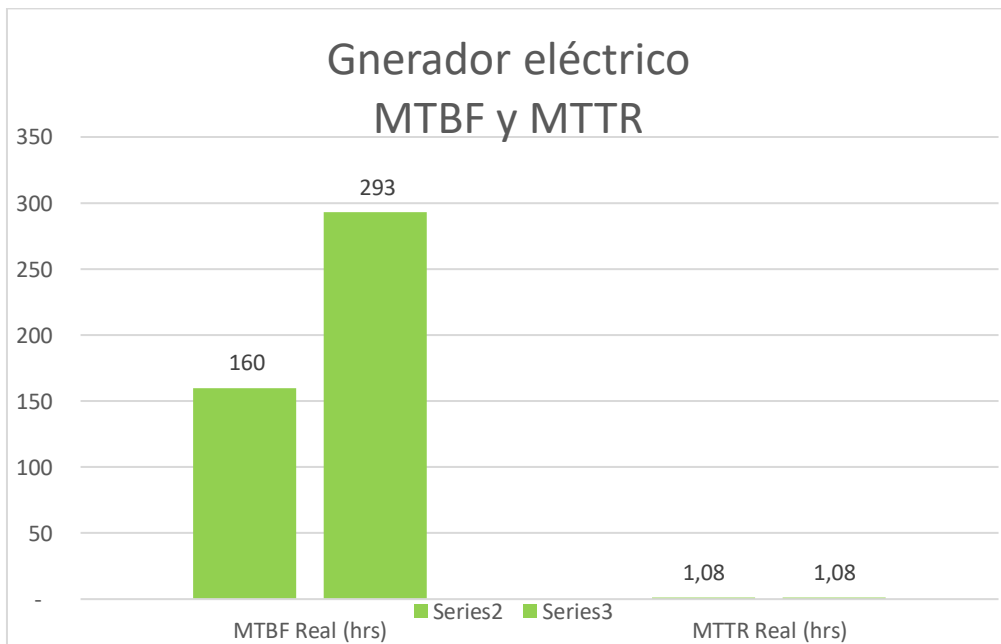


- **Compresor Campbell:** En los meses de enero y febrero, el MTBF aumentó significativamente de 157 horas a 290 horas, indicando una mejora en la fiabilidad del equipo, ya que funcionó por períodos más largos sin fallos. El MTTR se mantuvo estable en 4 horas, lo que sugiere que, cuando se presentan fallos, las reparaciones se realizan

de manera consistente y eficiente. Esto evidencia un equipo altamente fiable con tiempos prolongados de funcionamiento sin fallos.

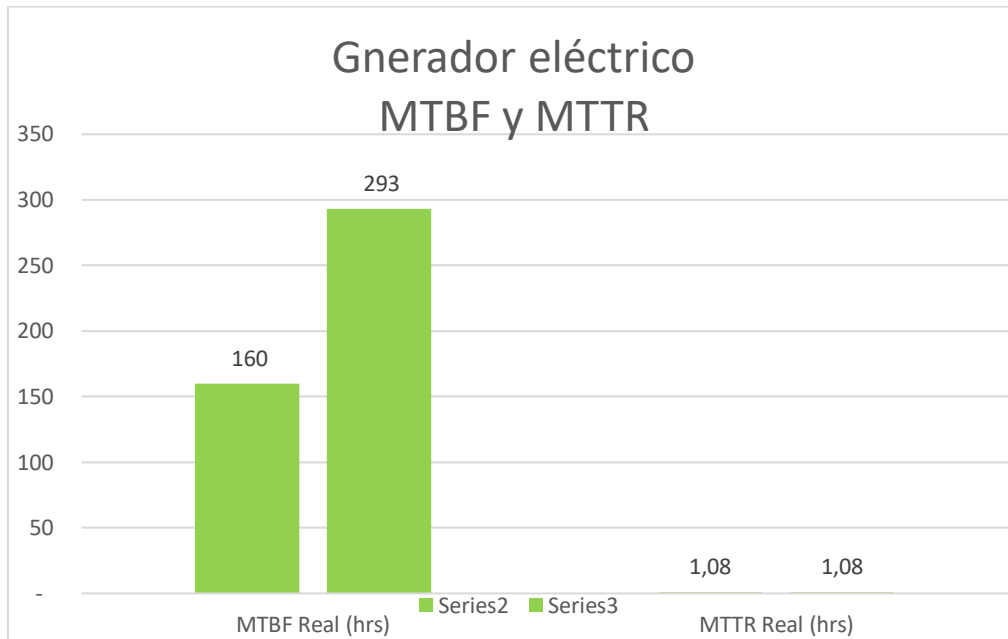


- Oxicorte Víctor:** El MTBF se redujo de 160 horas a 146 horas entre enero y febrero, lo que indica una mayor frecuencia de fallos. Además, el MTTR aumentó de 0,67 horas a 0,92 horas, reflejando un incremento en el tiempo requerido para las reparaciones. Estos cambios sugieren que el oxicorte Víctor presentó un menor tiempo de funcionamiento y una mayor frecuencia de fallas en el mes de febrero.



- Soldadora Lincoln:** En enero, no se registraron fallos, por lo que no se calcularon los indicadores. Sin embargo, en febrero, el equipo mostró un MTBF alto y un MTTR bajo,

lo que concluye que la soldadora Lincoln es altamente confiable y las reparaciones se realizan rápidamente, manteniendo una buena disponibilidad operativa.



- **Generador Eléctrico Ingo:** El MTBF aumentó de 160 horas a 293 horas de enero a febrero, indicando un significativo incremento en el tiempo de funcionamiento sin fallos. El MTTR se mantuvo constante en 1,08 horas, lo que sugiere que el generador tiene una alta fiabilidad y que las reparaciones se gestionan de manera eficiente.

4.4.21. VALIDACION DE HIPOTESIS

La evaluación del método RCM para la empresa Megacons indica un alto potencial para mejorar el control y la gestión del mantenimiento de los equipos en el área de producción. Aunque el plan RCM aún no se ha implementado, el análisis propuesto sugiere que su aplicación podría reducir significativamente los tiempos de inactividad y mejorar la confiabilidad de los equipos. Se anticipa que el método RCM contribuiría a un aumento en el MTBF y una disminución en el MTTR, lo que, en teoría, optimizaría las estrategias de mantenimiento y mejoraría la operatividad de los equipos. Estos hallazgos preliminares respaldan la hipótesis de que RCM puede ofrecer mejoras sustanciales en la gestión del mantenimiento.

5. CONCLUSIONES

- La caracterización de los procesos y equipos en el área de producción de Megacons ha proporcionado una representación detallada de los equipos, jerarquizando y descomponiendo cada uno en seis niveles, aunque actualmente hemos codificado hasta

el nivel 2 debido a la dificultad de localizar identificadores para cada elemento y componente. Esta limitación no afecta la efectividad de nuestra propuesta, que incluye un análisis jerarquizado de los equipos descompuestos hasta el nivel de elementos individuales, con fotografías para facilitar la identificación y ejecución de las tareas de mantenimiento.

- Además, se ha jerarquizado los procesos y actividades mediante flujogramas, abarcando la planificación y diseño, recepción de materiales, y el área de producción. También hemos desarrollado un layout detallado de la empresa, ya que no contaban con un área de producción definida, recopilando toda la información necesaria para la propuesta. Esto asegura una visión clara y estructurada que optimiza la gestión del mantenimiento y operatividad de los equipos en Megacons.
- El análisis de criticidad muestra que el Oxicorte Víctor y la Pistola de Impacto Marshal son equipos "Críticos", con puntuaciones de 60 y 52, respectivamente, destacando su alta frecuencia de operación y consecuencias graves en caso de fallo, lo que requiere una atención y mantenimiento prioritarios. El Compresor Vertical Campbell, Soldadora Smaw Lincoln, y Generador Eléctrico a Gasolina Ingco son considerados "Importantes", con puntuaciones de 48, 44 y 32, respectivamente; aunque su criticidad es menor, siguen siendo cruciales para las operaciones y necesitan un mantenimiento regular para prevenir fallos. La variación en las puntuaciones refleja la necesidad de priorizar recursos y acciones de mantenimiento según el nivel de criticidad y el impacto potencial en las operaciones.
- Se ha elaborado un plan de mantenimiento sólido y detallado para los equipos del área de producción, basado en un análisis exhaustivo de su criticidad y en la recopilación de datos mediante encuestas. Este plan incluye la creación de fichas técnicas para cada equipo, la identificación de posibles modos de fallo y la implementación de medidas preventivas específicas. Además, se han definido rutas y gamas de mantenimiento, así como las responsabilidades de cada operario y órdenes de trabajo detalladas. Este enfoque no solo asegura la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, sino que también ayuda a reducir costos de mantenimiento, prolongar la vida útil de los equipos y mejorar la seguridad en el trabajo.
- Entre enero y febrero, el Compresor Campbell mostró una mejora significativa en fiabilidad, con un aumento del MTBF de 157 a 290 horas, mientras que el MTTR se mantuvo estable en 4 horas, reflejando una operación prolongada sin fallos y una

reparación eficiente. Por otro lado, el Oxicorte Víctor experimentó un descenso en el MTBF de 160 a 146 horas y un aumento en el MTTR de 0,67 a 0,92 horas, indicando una mayor frecuencia de fallos y tiempos de reparación más largos. El Generador Eléctrico Ingco también mejoró su fiabilidad con un incremento en el MTBF de 160 a 293 horas, mientras que el MTTR se mantuvo en 1,08 horas, sugiriendo una alta fiabilidad y gestión eficiente de las reparaciones. La Soldadora Lincoln, sin fallos en enero, mostró un MTBF alto y un MTTR bajo en febrero, destacando su alta confiabilidad y rápida reparación.

- En conclusión, este enfoque garantiza que el plan de mantenimiento propuesto sea robusto y adecuado para las necesidades de MEGACONS. Al centrarse en la identificación de fallos a evitar o amortiguar y en el diseño de acciones específicas para esos fallos, el plan sigue los principios fundamentales del RCM y proporciona una base sólida para mejorar la confiabilidad de los equipos en el área de producción.

5.1. RECOMENDACIONES

- Se sugiere que la empresa Megacons ejecute el plan de mantenimiento propuesto, el cual proporciona información detallada y planificada sobre las tareas de mantenimiento. El objetivo principal es transaccionar del mantenimiento correctivo al preventivo, optimizando así la gestión de equipos al reducir los tiempos de inactividad no planificados y mejorando la eficiencia operativa general
- Para los equipos con alta confiabilidad, como el oxicorte Víctor y la soldadora Lincoln, consolidar y documentar las prácticas de mantenimiento efectivas. Evaluar y aplicar estas mejores prácticas a otros equipos con el fin de mejorar su rendimiento y confiabilidad.
- Adoptar un sistema de gestión de mantenimiento computarizado (CMMS) puede ayudar a registrar, planificar y monitorizar todas las actividades de mantenimiento. Esto facilitará el seguimiento del historial de fallos, la planificación de tareas y la gestión de inventarios de repuestos.
- Para asegurar una cobertura completa y eficaz del mantenimiento en toda la planta de producción de MEGACONS, se recomienda continuar el estudio del resto de los equipos, ya que estos también tienen un impacto significativo en el proceso productivo. La planificación y metodología utilizadas en el análisis inicial de los primeros equipos deben ser empleadas como guía para este estudio extendido

5.2. BIBLIOGRAFIA

- [1] «15359.pdf». Accedido: 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/9728/1/15359.pdf>
- [2] R. Cunalata y C. Xavier, «Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para el área de sellado de una empresa dedicada a la fabricación de productos plásticos».
- [3] R. Quimis y D. Cristina, «Elaboración de un plan de mantenimiento eléctrico preventivo utilizando herramientas del sistema TPM en una máquina extrusora de una planta industrial de plásticos».
- [4] «Sánchez - 2022 - INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.pdf». Accedido: 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/18980/1/25T00512.pdf>
- [5] «Tesis I.M. 729 - Altamirano Aguilar Hubert Mihaly (3).pdf».
- [6] Caisapanta_Paucar«PI-002397_INGENIERIA EN INDUSTRIAL_2023.pdf».
- [7] «IV_FIN_108_TE_Urquiza Leon_2023.pdf». Accedido: 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13449/3/IV_FIN_108_TE_Urquiza%20Leon_2023.pdf
- [8] M. Sánchez Gutiérrez, *Mantenimiento de motores térmicos de dos y cuatro tiempos. TMVG0409*. IC Editorial, 2023. Accedido: 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/utcotopaxi/246690?page=397>
- [9] datision, «Cómo hacer un plan de mantenimiento industrial», Datision. Accedido: 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://datision.com/blog/plan-mantenimiento-industrial/>
- [10] I. Gallará y D. Pontelli, *Mantenimiento industrial*. Jorge Sarmiento Editor - Universitas, 2020. Accedido: 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/utcotopaxi/172527?page=274>
- [11] «El software para Mantenimiento Industrial con las mejores valoraciones». Accedido: 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.fractal.com/es/software-mantenimiento-industrial>
- [12] J. E. M. Marín, «Mantenimiento predictivo».

- [13] G. Mancuzo, «▷ Mantenimiento Cero Horas (Overhaul): Beneficios y Etapas 🏆», Blog - ComparaSoftware. Accedido: 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://blog.comparasoftware.com/mantenimiento-cero-horas/>
- [14] M. Pascual, «Tipos de mantenimiento de instalaciones y equipos de trabajo», TicTAP. Accedido: 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.tictap.me/blog/que-tipos-de-mantenimiento-existen-y-puedo-aplicar-a-mis-instalaciones-y-equipos-de-trabajo/>
- [15] M. Pascual, «Tipos de mantenimiento de instalaciones y equipos de trabajo», TicTAP. Accedido: 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.tictap.me/blog/que-tipos-de-mantenimiento-existen-y-puedo-aplicar-a-mis-instalaciones-y-equipos-de-trabajo/>
- [16] D. G. R. Gutierrez y L. N. S. Espinoza, «TESIS PARA OPTAR GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL CON MENCIÓN EN GERENCIA DE LA CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD».
- [17] S. D. Muñoz García, *Mantenimiento preventivo de instalaciones caloríficas*. IC Editorial, 2022. Accedido: 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/utcotopaxi/223680?page=50>
- [18] Predictiva21, «Programación del Mantenimiento - Inventario, OT, Datos y Registro», Predictiva21. Accedido: 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://predictiva21.com/programacion-mantenimiento-explicado/>
- [19] S. D. Muñoz García, *Mantenimiento preventivo de instalaciones caloríficas*. IC Editorial, 2022. Accedido: 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/utcotopaxi/223680?page=50>
- [20] N. D. Yuseff M., E. J. Alvarado Q., J. J. Cardona M., y H. A. García O., *Gestión de inventarios, gestión del conocimiento, gestión de mantenimiento*. Editorial Universidad Icesi, 2020. Accedido: 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/utcotopaxi/170747?page=149>
- [21] J. Peñafiel, Á. Arteaga, y A. Daquinta-Gradaille, «Mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) caso de aplicación máquina empacadora de atún en latas», *Rev. Científica INGENIAR Ing. Technol. E Investig. ISSN 2737-6249*, vol. 4, n.º 8 Ed. esp., Art. n.º 8 Ed. esp., dic. 2021, doi: 10.46296/ig.v4i8edespdic.0050.

- [22] O. Campos-López, G. Tolentino-Eslava, M. Toledo-Velázquez, y R. Tolentino-Eslava, «Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos», *Científica*, vol. 23, n.º 1, pp. 51-59, 2019.
- [23] J. Moubray, «MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD».
- [24] L. Navarro, «Sistema de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad».
- [25] «Gestión de mantenimiento: Criticidad de Equipos y su importancia». Accedido: 13 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.blog.auvo.com/latam/post/gestion-de-mantenimiento-criticidad-de-equipos>
- [26] «La guía completa del mantenimiento centrado en la confiabilidad». Accedido: 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.fractal.com/es/guias-mantenimiento/mantenimiento-centrado-en-confiabilidad>
- [27] «Norma sae ja 1012 - RCM - PRÁCTICAS JA RECOMENDADA.pdf».
- [28] «Norma sae ja 1012 - RCM - PRÁCTICAS JA RECOMENDADAS 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA - Studocu». Accedido: 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-cesar-vallejo/contabilidad/norma-sae-ja-1012-rcm/30343575>
- [29] C. Boero, *Mantenimiento industrial*. Jorge Sarmiento Editor - Universitas, 2020. Accedido: 29 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/utcotopaxi/172523?page=52>
- [30] C. Pinzón, «INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO EN LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO».
- [31] M. Zegarra, «Indicadores para la gestión del mantenimiento de equipos pesados», *Cienc. Desarro.*, vol. 19, n.º 1, p. 25, jun. 2016, doi: 10.21503/cyd.v19i1.1219.
- [32] «GCO-A-09.pdf». Accedido: 2 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: https://ugto.mx/calidadug/sistema_sigpi/gestion/pro-gco/a/a/GCO-A-09.pdf
- [33] E. Vasquez, «Universidad Autónoma de Nuevo León:diagrama_de_flujo_pdf.crdownload».
- [34] «Hernandez_Sampieri_libro investigacion (2)». Accedido: 2 de agosto de 2024. [En línea]. Disponible en: https://ugto.mx/calidadug/sistema_sigpi/gestion/pro-gco/a/a/GCO-A-09.pdf

