



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

**“SISTEMA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA
CONFIABILIDAD PARA TABLEROS DE NEUMÁTICA”**

Propuesta Tecnológica presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Electromecánico.

Autores:

Asis Patin Carlos Abraham

Díaz Toscano Brayan Omar

Tutor:

Ing. Mg. Porras Reyes Jefferson Alberto

Latacunga – Ecuador

Octubre – Marzo 2025

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Asis Patin Carlos Abraham, con cédula de ciudadanía No. 210109212-6 y Díaz Toscano Brayan Omar, con cédula de ciudadanía No. 180531813-4 declaramos ser autores de la presente Propuesta Tecnológica: **“SISTEMA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA TABLEROS DE NEUMÁTICA”**, siendo el Ing. Jefferson Alberto Porras Reyes Mg. tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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

Latacunga, marzo 2025



Carlos Abraham Asis Patin

Toscano

C.I. 210109212-6



Brayan Omar Díaz

C.I. 180531813-4

Latacunga, 21 de febrero 2025

AVAL DEL TUTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.

En calidad de Tutor de la Propuesta Tecnológica sobre el título: **“MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA TABLEROS DE NEUMÁTICA”**, propuesto por los estudiantes **Asis Pfn Carlos Abraham y Díaz Toscano Brayan Omar** de la Carrera de **Ingeniería Electromecánica**, considero que dicho proyecto de titulación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos al tribunal de lectores.

TUTOR



Ing. Porras Reyes Jefferson Alberto, M.Sc.

C.C.: 070440044-9


AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban la presente Propuesta Tecnológica 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: Asis Patin Carlos Abraham y Díaz Toscano Brayan Omar, con el título de la Propuesta Tecnológica: "MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA TABLEROS DE NEUMÁTICA", 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.

Latacunga, Marzo 2025

Para constancia firman:



LECTOR 1

Mg. Moreano Martínez Edwin Homero

CC: 050260750-0



LECTOR 2

Mg. Navarrete López Luis Miguel

C.C: 180374728-4



LECTOR 3

Mg. Cevallos Betún Segundo Ángel

C.C: 050178243-7

AGRADECIMIENTO.

Primeramente, Gracias a Dios por permitirme estudiar una carrera universitaria y haberme otorgado una familia maravillosa que me apoyó durante todo este proceso, haciendo más sencillo alcanzar una meta más en mi formación profesional y académica.

Gracias infinitas a mi mamá María Piedad Asis Patin quien es la persona que nunca ha dejado de confiar en mí y ha sido el motor que me impulsa a superarme cada día, de igual forma ha sido quien desde niño me enseñó que el trabajo arduo siempre tiene una recompensa al final. A mi hermana Mirian Celorio porque su cariño y comprensión han sido fundamentales en los momentos más complejos de todo este proceso.

Gracias a Lady, Marco, Gissela, Gabriela y Andres quienes me han demostrado que una amistad verdadera se forja cada día y que sin duda los amigos son la familia que uno escoge.

Por último, quiero agradecer a mi docente tutor de Tesis M.sc. Ing. Jefferson Porras por su paciencia y enseñanzas y sobre todo por demostrarme el valor humanístico de un Utecinos.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi por abrirme las puertas de sus instalaciones educativas para formarme como profesional.

Carlos Asis

DEDICATORIA

“El presente trabajo de titulación la dedico a mi madre María Piedad Asis Patin, porque me ha acompañado durante todo el proceso de formación universitaria, su apoyo, sacrificio y esfuerzo lo tendré presente durante toda mi vida. A mi hermana Mirian Celorio que es mi confidente.

Carlos Asis

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios, a mis padres hermanas y a todos mis familiares que han sido mi principal fortaleza y han estado en todo momento ayudándome para terminar mi formación universitaria.

Agradezco también a todos mis docentes, tutores guías que me han sabido impartir sus conocimientos y enseñanzas, para así poder adquirir las habilidades necesarias para poder abrirme paso en el ámbito laboral que se viene de hoy en adelante en mi vida.

Por último, agradezco a mis compañeros de clases y amistades que he ido haciendo a lo largo de mis estudios que siempre hemos estado dispuestos a colaborarnos y apoyarnos en nuestra vida universitaria para así juntos poder alcanzar la tan anhelada meta a pesar de todas las adversidades que se nos han presentado.

Brayan Díaz

DEDICATORIA

La presente tesis va dedicada con mucha alegría y de todo corazón para mis padres, hermanas y amigos que con sus palabras de apoyo y sabios consejos han sido el principal pilar para siempre seguir adelante con todas las metas que me he propuesto.

A personas especiales que han estado siempre tendiéndome su apoyo incondicional a pesar de las dificultades que se me han presentado infinitas gracias.

Brayan Díaz

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: “SISTEMA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA TABLEROS DE NEUMÁTICA”.

Autores:

Asis Patin Carlos Abraham

Díaz Toscano Brayan Omar

RESUMEN

La presente propuesta tecnológica se basa en la implementación de un Sistema de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC), específicamente para tableros de neumática. El objetivo principal es aumentar la disponibilidad operativa de los tableros, que son indispensables en diversos trabajos, para esto se realizó un diagnóstico inicial donde se evaluó el estado actual de los tableros y cada componente que lo conforman, con esto se detectó tiempos de parada en los módulos, así como también la inexistencia de varios elementos, por tal razón se procede a dar paso en primera instancia a un plan de actualización para que estén operativos los 4 Módulos existentes, esto incluyó la selección de nuevos componentes, como; 6 cilindros doble efecto, 4 cilindros simple efecto, 6 electroválvulas 5/2, 13 finales de carrera electroneumáticos, 6 finales de carrera neumáticos, 20 unión TEE 6mm y 8 m de tubo de poliuretano de 6mm, investigando las marcas que ofrecen mejores prestaciones y durabilidad para los trabajos con aire, obtenido los nuevos equipos se procede a la integración y ajuste de los mismo, de igual manera por medio del Análisis de Criticidad e IPR, se determinó que las piezas más críticas o elementos más propensos a sufrir desgastes o fallas son: Finales de carrera, Conectores en TEE y Electroválvulas, culminada esta etapa se dio paso a la creación de un plan de mantenimiento el cual está basado en un programa de MCC, realizado en Python, el mismo que se encarga de dictaminar los mantenimientos que se debe dar a los equipos, esto basado en las fichas de especificación técnica. Una vez aplicado el sistema MCC en los módulos se da como resultado una reducción de hasta un 14% para tiempos de mantenimiento, y para los tiempos de parada por reparación o reemplazo de activos se redujo en un 96%.

Palabras claves: Mantenimiento, Disponibilidad, Software, Módulos, Tiempo.

TÉCHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TITLE: "RELIABILITY-CENTERED MAINTENANCE SYSTEM FOR PNEUMATIC CONTROL PANELS"

Authors:

Asis Patin Carlos Abraham

Díaz Toscano Brayan Omar

ABSTRACT

This technological proposal is based on the implementation of a Reliability-Centered Maintenance (RCM) system, specifically for pneumatic control panels. The main objective is to increase the operational availability of the panels, which are essential for various tasks. To achieve this, an initial assessment was conducted to evaluate the current condition of the panels and each of their components. This assessment identified downtime in the modules as well as the absence of several elements. As a first step, an upgrade plan was implemented to ensure the operational status of the four existing modules. This included the selection of new components such as: six double-acting cylinders, four single-acting cylinders, six 5/2 solenoid valves, thirteen electro-pneumatic limit switches, six pneumatic limit switches, twenty 6mm T-connectors, and eight meters of 6mm polyurethane tubing. Brands offering the best performance and durability for air-powered applications were researched. Once the new equipment was acquired, integration and adjustment were carried out. Additionally, through Criticality Analysis and IPR, the most critical components or those most prone to wear or failure were identified as limit switches, T-connectors, and solenoid valves, after completing this stage, a maintenance plan was developed based on an MCC program created in Python. This program determines the necessary maintenance tasks for the equipment based on technical specification sheets. After implementing the MCC system in the modules, maintenance time was reduced by up to 14%, while downtime due to repairs or asset replacements decreased by 96%.

Keywords: Maintenance, Availability, Software, Modules, Time.



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés de la Propuesta Tecnológica cuyo título versa: **“SISTEMA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD PARA TABLEROS DE NEUMÁTICA”** presentado por: **Asis Patin Carlos Abraham y Díaz Toscano Brayan Omar** egresados de la Carrera de: **Ingeniería en Electromecánica**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, Febrero del 2025.

Atentamente,

Mg. Marco Paúl Beltrán Semblantes

DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC

CC: 0502666514



GLOSARIO:

MCC: Mantenimiento Centrado en La confiabilidad.

AC: Análisis de Criticidad.

NC: No Critico.

MC: Medio Critico.

C: Critico.

ACR: Análisis Causa Raíz.

AMFE: Análisis Modal de Fallos y Efectos.

DAMFE: Diseño del Análisis Modal de Fallos y Efectos.

PAMFE: Proceso del Análisis Modal de Fallos y Efectos.

CA: Corriente Alterna.

CC: Corriente Continua.

VAN: Valor Actual Neto.

TIR: Taza Interna de Retorno.

ÍNDICE

| | |
|--|-----|
| DECLARACIÓN DE AUTORÍA | ii |
| AVAL DEL TUTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA | iii |
| AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN | iv |
| AGRADECIMIENTO | v |
| DEDICATORIA | vi |
| RESUMEN | ix |
| ABSTRACT | x |
| AVAL DE TRADUCCIÓN | xi |
| 1 INFORMACIÓN GENERAL | 1 |
| 2 INTRODUCCIÓN | 3 |
| 2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA | 4 |
| 2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 4 |
| 2.3 BENEFICIARIOS | 4 |
| 2.3.1 BENEFICIARIOS DIRECTOS | 4 |
| 2.3.2 BENEFICIARIOS INDIRECTOS | 4 |
| 2.4 JUSTIFICACIÓN | 4 |
| 2.5 OBJETIVOS | 5 |
| 2.5.1 GENERAL | 5 |
| 2.5.2 ESPECÍFICOS | 5 |
| 2.6 SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS | 6 |
| 3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA | 7 |
| 3.1 MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD | 7 |
| 3.2 SISTEMA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (MCC) | 8 |
| 3.2.1 FUNCIONES | 9 |
| 3.2.2 FALLA FUNCIONAL | 9 |
| 3.2.3 MODOS DE FALLA | 9 |
| 3.2.4 EFECTOS DE LAS FALLAS | 10 |
| 3.2.5 CONSECUENCIAS DE LAS FALLAS | 10 |
| 3.2.6 TAREAS DE MANTENIMIENTO (PROACTIVAS) | 11 |
| 3.2.7 ACCIONES A “FALTA DE” | 11 |
| 3.3 ANÁLISIS DE CRITICIDAD | 12 |
| 3.3.1 IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES Y SISTEMAS CRÍTICOS | 13 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.3.2 | EVALUACIÓN DE LA IMPORTANCIA RELATIVA | 13 |
| 3.4 | ANÁLISIS CAUSA RAÍZ..... | 14 |
| 3.4.1 | ACR EN EQUIPOS DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL: LA CLAVE ESTÁ EN LAS HERRAMIENTAS | 15 |
| 3.5 | EL ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE) | 15 |
| 3.5.1 | TIPOS DE AMFE | 15 |
| 3.6 | 10 PASOS PARA IMPLEMENTAR UN PROGRAMA MCC | 16 |
| 3.7 | TABLEROS NEUMÁTICOS | 17 |
| 3.7.1 | CILINDROS NEUMÁTICOS | 17 |
| 3.7.2 | VÁLVULAS ELECTRONEUMÁTICAS..... | 19 |
| 3.7.3 | FINALES DE CARRERA | 20 |
| 3.7.4 | REGULADOR DE PRESIÓN DE AIRE..... | 21 |
| 3.7.5 | CONECTORES NEUMÁTICOS EN TEE | 22 |
| 3.7.6 | TUBO POLIURETANO | 22 |
| 3.7.7 | LOGO SIEMENS | 23 |
| 3.8 | PYTHON..... | 24 |
| 3.8.1 | PROGRAMACIÓN CON PYTHON..... | 24 |
| 3.8.2 | QUÉ PUEDES HACER CON PYTHON | 24 |
| 3.8.3 | AUTOMATIZACIÓN O SCRIPTING..... | 25 |
| 3.8.4 | PRUEBAS Y PROTOTIPOS DE SOFTWARE | 26 |
| 3.9 | TIEMPOS DE PARADA EN TABLEROS NEUMÁTICOS | 26 |
| 3.9.1 | PARADAS PLANIFICADAS | 26 |
| 3.9.2 | TIEMPOS DE PARADAS NO PLANIFICADOS..... | 26 |
| 3.9.3 | INDICADORES DE MANTENIMIENTO | 27 |
| 4 | MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS..... | 28 |
| 4.1 | METODOLOGÍA..... | 28 |
| 4.1.1 | APLICACIÓN DE MCC A TABLEROS NEUMÁTICOS..... | 28 |
| 4.2 | DECLARACIÓN DE VARIABLES..... | 28 |
| 4.2.1 | VARIABLE DEPENDIENTE..... | 28 |
| 4.2.2 | VARIABLE INDEPENDIENTE | 29 |
| 4.3 | DIAGRAMA DE FLUJO DEL MCC | 29 |
| 4.4 | ANÁLISIS DE CRITICIDAD | 30 |
| 4.4.1 | CRITERIOS QUE SE TOMAN EN CUENTA AL MOMENTO DE APLICAR EL AC | 30 |
| 4.5 | ANÁLISIS CAUSA RAÍZ..... | 33 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.5.1 | CÓMO SE PUEDE REALIZAR UN ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ | 33 |
| 4.5.2 | DETERMINAR LA CAUSA RAÍZ | 34 |
| 4.5.3 | IMPLEMENTAR SOLUCIONES | 34 |
| 4.6 | ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTO (AMFE) | 34 |
| 4.6.1 | TIPOS DE AMFE | 34 |
| 4.6.2 | CRITERIOS FUNDAMENTALES DEL AMFE | 35 |
| 4.6.3 | DETECTABILIDAD | 35 |
| 4.7 | TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN (MTTR) Y TIEMPO MEDIO ENTRE FALLOS (MTBF) | 38 |
| 4.7.1 | TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN | 38 |
| 4.7.2 | TIEMPO MEDIO ENTRE FALLOS | 38 |
| 4.8 | PROGRAMACIÓN EN PYTHON PARA CREAR UN PROGRAMA MCC .. | 39 |
| 4.8.1 | DJANGO | 40 |
| 4.8.2 | FUNCIONES DE DJANGO | 40 |
| 4.8.3 | PYWEBVIEW | 45 |
| 4.8.4 | MANO DE OBRA RESPECTO AL CAMPO | 45 |
| 5 | ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS | 47 |
| 5.1 | PREGUNTAS SOBRE EL TABLERO Y SU FUNCIONAMIENTO | 47 |
| 5.2 | ANÁLISIS DE CRITICIDAD PARA DEDUCIR LOS COMPONENTES MÁS CRÍTICOS EN EL TABLERO COMPONENTE DEL TABLERO | 48 |
| 5.2.1 | ANÁLISIS DE CRITICIDAD PARA FINALES DE CARRERAS | 48 |
| 5.2.2 | ANÁLISIS DE CRITICIDAD PARA CONEXIONES EN TEE | 49 |
| 5.2.3 | ANÁLISIS DE CRITICIDAD PARA ELECTROVÁLVULAS | 51 |
| 5.2.4 | ANÁLISIS DE CRITICIDAD PARA CILINDROS NEUMÁTICOS | 53 |
| 5.3 | TOMA DE DECISIONES A PARTIR DEL CÁLCULO IPR | 54 |
| 5.3.1 | ACEPTACIÓN DEL RIESGO DE LA FALLA | 55 |
| 5.4 | ANÁLISIS TÉCNICO | 55 |
| 5.4.1 | CÁLCULO DEL TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN (MTTR) | 55 |
| 6 | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 57 |
| 6.1 | CONCLUSIONES | 57 |
| 6.2 | RECOMENDACIONES | 57 |
| 7 | REFERENCIAS | 58 |

ÍNDICE DE TABLAS.

| | |
|--|----|
| Tabla 2.1. Sistema de tareas en relación con los objetivos planteados..... | 6 |
| Tabla 4.1. Variable dependiente..... | 28 |
| Tabla 4.2. Variable independiente..... | 29 |
| Tabla 4.3. Frecuencia de fallas. | 31 |
| Tabla 4.4. Impacto Operacional..... | 31 |
| Tabla 4.5. Flexibilidad Operacional. | 31 |
| Tabla 4.6. Impacto en seguridad y medio ambiente. | 32 |
| Tabla 4.7. Matriz de Criticidad. | 32 |
| Tabla 4.8. Clasificación de la facilidad de detección del modo de fallo. | 36 |
| Tabla 4.9. Clasificación de la frecuencia de la ocurrencia del modo de fallo. | 36 |
| Tabla 4.10. Gravedad del modo de falla. | 37 |
| Tabla 4.11. Criterio de semaforización de acuerdo al valor del IPR. | 37 |
| Tabla 5.1. Frecuencia de Fallas para Finales de Carrera. | 48 |
| Tabla 5.2. Impacto operacional para Finales de Carrera. | 48 |
| Tabla 5.3. Flexibilidad operacional para finales de carrera. | 48 |
| Tabla 5.4. Impacto en seguridad y medio ambiente. | 49 |
| Tabla 5.5. Calculo IPR para los finales de carrera..... | 49 |
| Tabla 5.6. Criterio de fallas en conexiones TEE | 49 |
| Tabla 5.7. Perdidas de rendimiento para conexiones en TEE..... | 50 |
| Tabla 5.8. Flexibilidad operacional para conexiones en TEE. | 50 |
| Tabla 5.9. Impacto en seguridad y medio ambiente para conexiones en TEE. | 50 |
| Tabla 5.10. Calculo IPR para conexiones en TEE..... | 51 |
| Tabla 5.11. Frecuencia de fallas para las electroválvulas. | 51 |
| Tabla 5.12. Impacto operacional para las electroválvulas. | 51 |
| Tabla 5.13. Flexibilidad operacional para las electroválvulas. | 52 |
| Tabla 5.14. Impacto en seguridad y medio ambiente para las electroválvulas..... | 52 |
| Tabla 5.15. Cálculo IPR para las electroválvulas. | 52 |
| Tabla 5.16. Frecuencia de fallas para cilindros neumáticos. | 53 |
| Tabla 5.17. Impacto operacional para los cilindros neumáticos..... | 53 |
| Tabla 5.18. Flexibilidad operacional para los cilindros neumáticos..... | 53 |
| Tabla 5.19. Impacto en seguridad y medio ambiente para los cilindros neumáticos..... | 54 |
| Tabla 5.20. Cálculo IPR para los cilindros neumáticos..... | 54 |
| Tabla 5.21. Tabla de relación del número de días no laborados | 55 |

ÍNDICE DE IMAGINES

| | |
|---|----|
| Figura 3.1. Semaforización de criticidad [35] | 14 |
| Figura 3.2. Diagrama del procedimiento ACR [12]..... | 14 |
| Figura 3.3. Tablero Neumático..... | 17 |
| Figura 3.4. Cilindro doble efecto..... | 18 |
| Figura 3.5. Cilindro de simple efecto..... | 19 |
| Figura 3.6. Válvula electroneumática..... | 20 |
| Figura 3.7. Final de carrera..... | 21 |
| Figura 3.8. Regulador de contrapresión..... | 22 |
| Figura 3.9. Conectores neumáticos en TEE..... | 22 |
| Figura 3.10. Tubo de poliuretano..... | 23 |
| Figura 3.11. Logo siemens..... | 24 |
| Figura 3.12. Programa PYTHON..... | 25 |
| Figura 4.1. Diagrama de flujo del MCC [36]..... | 29 |
| Figura 4.2. Análisis de criticidad [37]..... | 30 |
| Figura 4.3. Función models.py de la librería Django..... | 40 |
| Figura 4.4. Vista del programa MCC con relación a la programación de Python con la función models.py..... | 41 |
| Figura 4.5. Función views.py de la librería de Django..... | 42 |
| Figura 4.6. Vista del programa MCC con relación a la programación de Python con la función views.py..... | 43 |
| Figura 4.7 Función templates.py de la librería de Django..... | 44 |
| Figura 4.8 Vista del programa MCC en donde se visualiza las tareas de acuerdo a su prioridad..... | 44 |
| Figura 4.9 Librería PYWEBVIEW..... | 45 |

1 INFORMACIÓN GENERAL

Tema del proyecto:

“Sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad para tableros de neumática”

Modalidad de Titulación:

Propuesta Tecnológica.

Carrera:

Electromecánica

Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto: Modelo de gestión de activos en sistemas electromecánicos en el sector multisectorial de la provincia de Cotopaxi.

Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación:

Autor 1:

Nombres: Carlos Abraham
Apellidos: Asis Patin
Cédula de identidad: 210109212-6
Email: carlos.asis2126@utc.edu.ec

Autor 2:

Nombres: Brayan Omar
Apellidos: Díaz Toscano
Cédula de identidad: 180531813-4
Email: brayan.diaz8134@utc.edu.ec

Tutor:

Nombres: Jefferson Alberto
Apellidos: Porras Reyes
Cédula de identidad: 070440044-9

Email: jefferson.porras0449@utc.edu.ec

Área de Conocimiento: Ingeniería, Industria y construcción.

Sub-Área; Ingeniería y profesiones afines.

Línea de investigación de la universidad; Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

Sublíneas de investigación de la Carrera: Energía en sistemas electromecánicos y uso de fuentes renovables de energía.

2 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la disponibilidad operativa de los equipos industriales son factores determinantes en la productividad y competitividad de las empresas. Dentro de estos equipos, los tableros de neumática desempeñan un papel crucial en la automatización de diversos procesos, facilitando el control y ejecución de múltiples operaciones. Sin embargo, las fallas en los equipos neumáticos están presentes y pueden tener diversas causas, pero la gran parte de los problemas son por la falta de un mantenimiento adecuado y esto puede generar tiempos de inactividad, costos elevados de reparación y una disminución en la vida útil de los componentes [1].

Un proceso de mantenimiento es clave para obtener un registro constante de los componentes neumáticos críticos, En base a esto un Software de mantenimiento resaltaría como una herramienta imprescindible, ya que dictaminaría los tiempos y el mantenimiento, adecuado para cada tipo de elemento neumático [2].

El principal propósito de esta investigación es la implementación de un Sistema de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para tableros de neumática, con el objetivo de optimizar la disponibilidad de los módulos neumáticos, reducir fallos y mejorar su operatividad. A través de un diagnóstico inicial, se identifican las principales fallas y elementos críticos: Finales de Carrera, Conexiones en T y Electroválvulas permitiendo diseñar estrategias de mantenimiento basadas en la criticidad de los componentes y en datos de Especificación Técnica [3].

Para lograr este propósito, se desarrolla un sistema basado en un software de programación que permite gestionar y planificar las actividades de mantenimiento de manera eficiente y de forma periódica. La aplicación del MCC en los módulos neumáticos permite minimizar tiempos de parada y mejorar la disponibilidad del sistema con la respectiva ayuda humana, impactando positivamente en la operatividad y rentabilidad de los procesos donde estos equipos son utilizados [2].

Este estudio busca contribuir al desarrollo de estrategias de mantenimiento innovadoras, promoviendo la integración de herramientas tecnológicas en la gestión de activos industriales de los sistemas neumáticos en entornos de producción.

2.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La falta de un mantenimiento planificado periódicamente en los módulos afecta significativamente los tiempos de práctica en el laboratorio de neumática, aumentando fallos frecuentes, tiempos de inactividad no planificados, altos costos de mantenimiento y riesgos operativos. Esto afecta negativamente la disponibilidad de los módulos para ser operados. Con la implementación de un Programa MCC se identificará y abordará las funciones críticas del equipo y los posibles modos de falla, basándose en el Análisis de Criticidad, la importancia de las funciones y los efectos de las fallas, advirtiendo sobre los inconvenientes que se presentan en los elementos del tablero antes que esto suceda, de igual forma el MCC ayuda a llevar mantenimiento continuo para la preservación de los equipos, y a su vez evitar el desgaste de los mismo, dando a una solución a lo que por mucho tiempo a afectado la vida útil de los tableros neumáticos.

De la misma manera la falta de equipos en los tableros da como resultado una limitación de la experiencia práctica, al momento de realizar algún tipo de trabajo, haciendo una necesidad concebir equipos que satisfagan estas carencias.

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La falta de un sistema de mantenimiento en tableros neumáticos puede generar fallos inesperados, tiempos de inactividad prolongados y costos elevados en reparaciones de los módulos.

2.3 BENEFICIARIOS

2.3.1 BENEFICIARIOS DIRECTOS

El laboratorio de Oleoneumática, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.3.2 BENEFICIARIOS INDIRECTOS

De manera indirecta se benefician la comunidad científica y estudiantil que a futuro requieran recopilar información sobre el tema establecido.

2.4 JUSTIFICACIÓN

En el ámbito educativo e industrial, los tableros neumáticos juegan un rol fundamental en la automatización y control de diversos procesos críticos. Estos sistemas son esenciales para el funcionamiento continuo y eficiente de una Empresa o en los laboratorios educativos donde se adquiere la experiencia práctica de los estudiantes. Sin embargo, los tableros neumáticos son complejos y están expuestos a condiciones operativas adversas que pueden provocar fallos

frecuentes y tiempos de inactividad no planificados. Estos problemas no solo impactan la operatividad, sino que también incrementan los costos de mantenimiento y reducen la confiabilidad del sistema. Por ende, en la presente propuesta tecnológica se manifiesta la necesidad de realizar un programa de MCC, tomando los estándares de la normativa ISO 17359, misma que proporciona las directrices de los procedimientos que se deben tener en cuenta al establecer un programa de monitoreo y en las normativas SAE JA 1011 y SAE JA 1012, (Servicio de acreditación Ecuatoriana para los criterios de evaluación de procesos de mantenimiento centrado en confiabilidad), mediante el cual se pretende no solo mejorará la operatividad en los elementos, sino que también tendrá un impacto económico positivo al reducir los costos de mantenimiento y las pérdidas asociadas con los tiempos de inactividad, además de optimizar el uso de recursos y minimizar los riesgos de operación, de igual manera se trata de reducir los fallos de los componentes dentro de los módulos,

Por último, la implementación de este sistema contribuirá al conocimiento existente en el campo del mantenimiento industrial, proporcionando un enfoque sistemático y puede servir como modelo para otros centros educativos que enfrentan desafíos similares.

2.5 OBJETIVOS

2.5.1 GENERAL

Desarrollar un sistema de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, mediante un programa diseñado en Python, para mejorar la disponibilidad operativa de los tableros neumáticos en diversos entornos.

2.5.2 ESPECÍFICOS

- Investigar acerca del mantenimiento centrado en la confiabilidad basándose en estándares nacionales e internacionales.
- Desarrollar estrategias de mantenimiento predictivo por medio de un software utilizando las normativas del MCC, para mejorar la operatividad de los módulos.
- Evaluar la implementación del software de MCC como herramienta de mantenimiento en los módulos neumáticos para aumentar su confiabilidad.

2.6 SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN CON LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 2.1. Sistema de tareas en relación con los objetivos planteados

| Objetivos Específicos | Actividad (tareas) | Resultado de la actividad | Medios de verificación |
|---|--|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Investigar acerca del mantenimiento centrado en la confiabilidad basándose en estándares nacionales e internacionales. | <ul style="list-style-type: none"> • Investigación en fuentes bibliográficas • Visita al laboratorio de Neumática. | Características y variables del MCC. | Bibliografía técnica y científica |
| Desarrollar estrategias de mantenimiento predictivo por medio de un software utilizando las normativas del MCC, para mejorar la operacionalidad de los módulos. | <ul style="list-style-type: none"> • Programación. | Programa de MCC en Python. | Lenguaje de programación. |
| Evaluar la implementación del software de MCC como herramienta de mantenimiento en los módulos neumáticos para aumentar su confiabilidad. | <ul style="list-style-type: none"> • Prácticas con el software de MCC | Manual de uso del programa e MCC. | Software de MCC. |

3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD

EL Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad es un sistema diseñado para que los activos físicos sigan cumpliendo con las necesidades de sus operadores en su entorno operativo actual. Los Ing. Howard Heap y Stanley Nolan registraron en 1978 esta técnica, que se desarrolló en la industria de la aviación entre los años 60 y 70.

El primer borrador del MCC conocido fue: MSG-1, y tuvo la capacidad de reducir el tiempo de mantenimiento en los aviones hasta en un 85%, de igual forma el número de accidentes aéreos se mermaron drásticamente (60 vs < 2 por 1,000,000 de despegues) después de la implementación del MCC [4].

El campo de la estadística y la teoría de la confiabilidad ha contribuido notablemente al mantenimiento en los últimos años; el mantenimiento de aeronaves ha sido el impulsor de los planteamientos más avanzados en el campo del mantenimiento. Estas conjeturas también han crecido con investigaciones realizadas en gran parte de los medios transporte urbano, lastimosamente no se puede implementar por completo dentro de una fábrica u otra empresa, esto a causa de no tener igualdad en los activos instalados, de igual forma por la gran diferencias entre fábricas y a la falta de organismos que la controlan, que coordinen y tengan el poder en cuanto a la prácticas de mantenimiento, si puede contribuir a un mejor rendimiento de los equipos de forma individual. El logro y la implementación de un método de MCC que tenga como objetivo unificar criterios dentro de una misma organización puede ser de suma importancia, ya que los criterios se fundamentan en la lógica y el conocimiento de los equipos y de sus misiones, teniendo en cuenta los parámetros de los mismo que se utilizan diariamente.

Históricamente, en Ecuador, el cuidado de sistemas industriales, incluyendo los tableros de neumáticos, ha representado un reto. Pese a los progresos tecnológicos y la creciente demanda de optimización en el sector, numerosos sectores todavía se apoyan en métodos convencionales de mantenimiento que no siempre satisfacen eficazmente las demandas particulares de los equipos neumáticos. La ausencia de implementación de técnicas contemporáneas como el MCC puede conducir a una administración deficiente del mantenimiento, lo que conlleva a largos periodos de inactividad y altos costos para las compañías. La implementación del MCC ha probado su eficacia en varias industrias a escala global. En naciones con una infraestructura industrial sofisticada, como Estados Unidos, Alemania y Japón, y considerando el entorno industrial en Ecuador, la aplicación del MCC para tableros neumáticos podría proporcionar

ventajas considerables. La implementación de esta metodología podría conducir a una administración más eficiente de los recursos, una disminución en los periodos de parada y un incremento en la fiabilidad de los sistemas neumáticos. No obstante, el paso hacia una perspectiva de MCC demanda un entendimiento detallado de los sistemas neumáticos locales, junto con una formación apropiada. Otro obstáculo es la resistencia al cambio en los métodos convencionales de mantenimiento y las restricciones en la infraestructura de apoyo. Sin embargo, también ofrece oportunidades importantes para incrementar la eficacia operacional, disminuir los gastos y potenciar la competitividad de las compañías ecuatorianas a nivel mundial [5].

La implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para tableros neumáticos constituye un avance esencial para la actualización de la administración del mantenimiento. Esta metodología brinda la posibilidad de perfeccionar los procesos, incrementar la fiabilidad de los equipos y disminuir gastos, en concordancia con las mejores prácticas internacionales y satisfaciendo requerimientos particulares. La investigación en este campo no solo favorecerá la optimización de las prácticas de mantenimiento, sino que también establecerá un contexto para futuros estudios y usos en el sector industrial y educativo.

3.2 SISTEMA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (MCC)

Se denomina mantenimiento orientado a la confiabilidad cuando este tipo de mantenimiento puede asegurar que un elemento físico siga manteniendo sus capacidades de fiabilidad incorporadas. No se puede conseguir una fiabilidad superior a la prevista en el objeto y especificada en la ficha técnica del diseñador. Cada conjunto de elementos es singular y el fallo de un componente puede provocar el fallo de otros componentes. Cada sistema funciona en un ambiente singular, que abarca características como localización, altura, profundidad, atmósfera, presión, temperatura, humedad, salinidad, exposición a fluidos o residuos de proceso, velocidad y aceleración., etc [6].

Por lo tanto, para cualquier intento de desarrollar o modificar una política de mantenimiento, comience con los estándares funcionales y de desempeño asociados con cada proyecto.

En base esto se puede decir que el MCC es una herramienta metódica que se puede utilizar para gestionar el mantenimiento, la misma se centra en mantener altos valores de confiabilidad, para realizar todo tipo de función en el sistema, equipo o proceso, en vez de instruirse a mantener los equipos, sin importar el papel que desempeñan y su entorno de operación.

De la misma manera la metodología de MCC se encuentra estandarizada por las normativas SAE JA-1011, que son los “Criterios de Evaluación del Proceso de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC)” y SAE JA 101239 (Ver Anexo 1), la cual es “Una Guía para el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad” [7].

Para mantener el propósito para el que se crearon los equipos, teniendo en cuenta el costo-beneficio de llevar a cabo las actividades y/o la reducción del riesgo, el proceso de MCC debe responder a siete interrogantes.

- ¿Qué funciones desempeñan?
- ¿Cómo puede equivocarse?
- ¿Qué motivo provoca que falle?
- ¿Qué ocurre cuando se produce un error?
- ¿Qué sucede si no funciona?
- ¿Qué acciones se pueden tomar para evitar los fallos?
- ¿Qué ocurre si no se puede evitar el fallo? [8].

3.2.1 FUNCIONES

Cada elemento del equipo se tiene que adquirir para un propósito determinado y tener una función específica, enfocándose en el uso que se les dará a los mismo. Se dividen en dos:

- El papel de los equipos en su entorno de operación.
- La conducta operativa de los equipos en ese escenario.

3.2.2 FALLA FUNCIONAL

El siguiente paso es determinar cómo cada componente puede fallar en la realización de sus funciones después de haber definido las funciones y los estándares de funcionamiento de cada equipo. La falla funcional, entendida como la falta de capacidad de un componente o elemento de un equipo para alcanzar un estándar de funcionamiento esperado, es el producto de dicho fallo.

3.2.3 MODOS DE FALLA

El siguiente paso es buscar los modos de falla que tienen más posibilidades de causar la pérdida en el desempeño. Esto facilita la comprensión precisa de lo que se está tratando de evitar.

Es fundamental determinar la causa origen de cada falla cuando se está llevando a cabo este paso. Esto garantiza que no se desperdicie tiempo y energía tratando los síntomas en lugar de

las causas. Para garantizar que no se desperdicie muchos periodos en el análisis de las fallas, cada modo de falla debe ser examinado en el nivel más adecuado.

3.2.4 EFECTOS DE LAS FALLAS

Los efectos de las fallas, es decir, lo que sucedería si ocurrieran, deben registrarse cuando se descubren cada tipo de falla. La importancia de cada falla y el nivel de mantenimiento que se requiere se determinan a través de esta etapa.

La solución a las cuatro primeras interrogantes brinda posibilidades sorprendentes y a menudo muy relevantes para incrementar la seguridad y el rendimiento, además de eliminar los fallos. Además, incrementa considerablemente el entendimiento global del funcionamiento de los equipos.

3.2.5 CONSECUENCIAS DE LAS FALLAS

El paso subsiguiente en el procedimiento del MCC consiste en cuestionar la importancia y el valor de cada fallo tras identificar las funciones, las fallas funcionales, los modos de falla y las repercusiones de estas en cada elemento relevante. Esto se debe a que las consecuencias de cada falla determinan si es necesario intentar prevenirlas. Además, indican cómo debemos trabajar para encontrar los errores si la respuesta es positiva.

3.2.5.1 EL MCC CLASIFICA LAS CONSECUENCIAS DE LAS FALLAS EN CUATRO GRUPOS

- 1. Consecuencias de las fallas no evidentes:** Aunque no tienen un impacto directo, las fallas que no son evidentes exponen a la organización a otras fallas con consecuencias graves, con frecuencia catastróficas. La forma en que aborda las fallas que no son evidentes es una ventaja del MCC; primero, los reconoce como tal, luego les da una gran prioridad y, finalmente, adopta un acceso sencillo, práctico y coherente con respecto a su mantenimiento.
- 2. Efectos en la seguridad y el entorno ambiental:** Si un fallo puede perjudicar físicamente a una persona, repercute en su seguridad. Si viola las regulaciones gubernamentales que implican al medio ambiente, tiene efectos en él. Antes de considerar la cuestión del funcionamiento, el MCC tiene en cuenta las consecuencias que cada falla tiene sobre la seguridad y el medio ambiente. Por encima de la problemática de la producción, pone a las personas.
- 3. Resultados Operacionales:** Si repercute en la producción (tales como la capacidad, la calidad del producto, la atención al cliente o los gastos industriales, además del costo

directo de la reparación), una avería tiene consecuencias operativas. El costo de estas repercusiones es significativo, y su valor indica cuánto se debe invertir para evitarlas.

- 4. Consecuencias que no son operacionales:** El único gasto directo es la reparación, ya que las fallas evidentes que pertenecen a esta categoría no tienen ningún impacto en la producción, ni en la seguridad.

El único motivo para llevar a cabo un mantenimiento proactivo o que se desee llevar a cabo antes de que suceda el fallo no es prevenir las fallas por sí mismas, sino también minimizar, al menos, las repercusiones de la falla. El MCC admite que las repercusiones de las fallas son considerablemente más relevantes que sus particularidades técnicas [9].

3.2.6 TAREAS DE MANTENIMIENTO (PROACTIVAS)

Para evitar que el componente llegue a un estado de falla, las tareas de mantenimiento se inician antes de que ocurra una falla. El MCC emplea los términos de mantenimiento a condición, sustitución cíclica y reacondicionamiento cíclico, pero abarcan lo que a menudo se conoce como mantenimiento preventivo y predictivo. Las características técnicas de la tarea, así como la falla que se pretende evitar, determinan si es técnicamente factible o no.

El MCC reconoce 3 categorías importantes de tareas.

3.2.6.1 TAREAS “A CONDICIÓN”:

Conocido como el mantenimiento predictivo se define como la evaluación del estado del componente y la determinación de la acción a tomar.

3.2.6.2 TAREAS DE REACONDICIONAMIENTO CÍCLICO

El reacondicionamiento cíclico comprende la reparación de un conjunto o el retrabajo de un componente antes de una edad determinada, sin importar su estado en ese momento.

3.2.6.3 TAREAS DE SUSTITUCIÓN CÍCLICA

Las labores de sustitución cíclica conllevan la sustitución de un elemento antes de alcanzar un límite de edad establecido, sin importar su condición en ese instante [10].

3.2.7 ACCIONES A “FALTA DE”

Además de cuestionar si las labores sistemáticas son técnicamente viables, el MCC cuestiona si realmente es provechoso llevarlas a cabo. La respuesta se basa en cómo se responde ante las repercusiones de las fallas que se busca evitar. Al formular esta interrogante, el MCC une la valoración de las repercusiones con la elección de la tarea en un proceso de decisión único. Según los principios siguientes:

3.2.7.1 BÚSQUEDA DE FALLAS

Sólo si se reduce el peligro de una falla múltiple relacionada con una función no evidente a un nivel aceptable, una acción que implique prevenir la falla de esa función vale la pena. La tarea de descubrir fallas debe realizarse si no se puede encontrar una acción sistemática adecuada.

El sistema está normalmente inactivo, por lo que no es posible monitorear para detectar deterioro en caso de modos de falla ocultos que son comunes en cuanto a sistemas protectores. Puede no tener sentido reemplazar componentes con base en el tiempo si el modo de falla es fortuito, ya que podría estar reemplazando con otro componente similar que falla inmediatamente después de ser instalado.

3.2.7.2 REDISEÑO

Un cambio físico en el equipo, así como cambios en los procedimientos, la operación, la capacitación y los tipos de abastecimiento, se conocen como rediseños. Un rediseño puede incluir una recomendación para utilizar una herramienta mejor o buscar una mejor o un cambio de una publicación técnica.

3.2.7.3 NO HACER EL MANTENIMIENTO PROGRAMADO

El equipo puede operar con el propósito de fallar, dado que las averías que no tengan impactos de seguridad o en el medio ambiente pueden no necesitar un mantenimiento programado que sea técnicamente factible. No se debe tolerar la aniquilación de los equipos; por el contrario, se debe permitir que cesen algunas de sus funciones a causa de un fallo o causa específica. [10].

3.3 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El estudio de criticidad es un método empleado para establecer qué elementos y sistemas son fundamentales en una operación. Por esta razón, se realiza una evaluación organizada de los equipos y sistemas que inciden en la producción.

Después de identificar los elementos esenciales, se examina su influencia relativa en estos cuatro aspectos fundamentales. El objetivo principal de este análisis es permitir a las compañías concentrarse en los activos más significativos, garantizando su correcto mantenimiento y administración. Al identificar los sistemas y elementos fundamentales, las entidades pueden asignar sus recursos de forma eficaz, asegurando la continuidad de las operaciones y reduciendo al mínimo sus costos.

El estudio de criticidad se lleva a cabo en varias etapas, cada una centrada en un elemento específico del proceso. Usualmente, estas fases incluyen:

3.3.1 IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES Y SISTEMAS CRÍTICOS

En esta etapa inicial, se identifican los componentes fundamentales del funcionamiento a través de un análisis exhaustivo de los equipos y sistemas que participan en la producción, seguridad, calidad y medio ambiente. Por ello, se toman en cuenta elementos como la función del componente o sistema, el historial de averías, el tiempo de inactividad vinculado, los costos de sustitución y su efecto en la seguridad en el trabajo, la calidad del producto y el medio ambiente.

3.3.2 EVALUACIÓN DE LA IMPORTANCIA RELATIVA

Después de identificar los elementos y sistemas esenciales, se realiza una evaluación de su importancia en cuanto a su efecto en la producción, seguridad, calidad y medio ambiente. Este procedimiento se lleva a cabo mediante una matriz de criticidad que categoriza los componentes en función de dos variables: el impacto potencial y la probabilidad de su ocurrencia. La matriz se segmenta en cuatro cuadrantes que señalan distintos grados de gravedad.

Cuadrante 1: Criticidad elevada. Elementos con gran efecto potencial y elevada posibilidad de fallo. Requieren planes detallados de mantenimiento y administración y seguimiento continuo.

Cuadrante 2: Grado de criticidad medio-alto. Elementos con influencia y riesgo de fallo de moderado a alto. Requieren de planes de mantenimiento adecuadamente elaborados y supervisión constante.

Cuadrante 3: Moderada a baja criticidad. Elementos con influencia y posibilidad de fallo de moderada a reducida. Se les otorgan programas de mantenimiento elementales y supervisión regular.

Cuadrante 4: Criticidad reducida. Elementos de impacto reducido y menor posibilidad de fallar. Requieren planes de mantenimiento.

Esta clasificación permite a las empresas priorizar recursos y esfuerzos en los componentes más críticos, asegurando así la continuidad operativa y minimizando riesgos de interrupciones, para esto se utiliza el método de semaforización como se puede observar en la figura 3.1 [11].

| | | | | | | |
|------------|---|--------------|----|----|----|----|
| FRECUENCIA | 4 | MC | MC | C | C | C |
| | 3 | MC | MC | MC | C | C |
| | 2 | NC | NC | MC | C | C |
| | 1 | NC | NC | NC | MC | C |
| | | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| | | CONSECUENCIA | | | | |

Figura 3.1. Semaforización de criticidad [34].

3.4 ANÁLISIS CAUSA RAÍZ

El análisis de causa raíz (ACR) es un enfoque sistemático y analítico utilizado en la administración de activos con el objetivo de mejorar los procesos de cada elemento de una máquina. Esta metodología facilita la identificación de las causas esenciales de un problema y comprender por qué causan averías en los componentes. Por consiguiente, se pueden modificar los procesos fundamentales de los activos de acuerdo al diagnóstico obtenido del análisis.

Para identificar la raíz de un problema, resulta crucial entender tanto la información existente como la que se requiere, lo que simplifica la descripción y solución del problema. El ACR también facilita la relación entre los componentes del análisis y las carencias documentadas en el registro de las máquinas, lo que posibilita a los técnicos aplicar medidas de mantenimiento preventivo industrial concretas que extienden la durabilidad de los activos.

El siguiente esquema muestra el procedimiento que se lleva a cabo en un ciclo de ACR.



Figura 3.2. Diagrama del procedimiento ACR [12].

En la figura 3.2 se puede visualizar el diagrama del procedimiento que se lleva a cabo en el Análisis de Criticidad.

3.4.1 ACR EN EQUIPOS DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL: LA CLAVE ESTÁ EN LAS HERRAMIENTAS

Aproximadamente todos los sectores de una compañía pueden obtener ventajas de la puesta en marcha de un sistema de Análisis de Causa Raíz (ACR). Para implementarlo de forma eficaz, es esencial elegir las herramientas correctas. En la industria del mantenimiento preventivo y correctivo, los sistemas de Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador facilitan la centralización de las tareas [12].

3.5 EL ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE)

La Evaluación Modal de Fallos y Efectos (AMFE) es un método que analiza minuciosamente el diseño de un producto en proceso de desarrollo hasta el nivel de sus elementos individuales. Su meta es detectar posibles errores, junto con sus causas y efectos relacionados. Este estudio se aplica a cada componente del proceso de producción futuro, fundamentándose en información histórica recolectada por la compañía [13].

El AMFE se realiza durante la fase de diseño o al proponer cambios en un proceso existente para identificar de manera proactiva posibles fallos y evaluar su gravedad. Esta metodología es esencial, ya que permite establecer qué partes de un proceso deben ser priorizadas para implementar cambios que reduzcan o eliminen la probabilidad de errores.

3.5.1 TIPOS DE AMFE

3.5.1.1 DAMFE

La Evaluación de Modos y Efectos de Errores de Diseño (DAMFE) se utiliza en el diseño de productos, particularmente en sus fases iniciales o finales. Su meta es detectar posibles errores en el diseño que puedan impactar en la salud, la seguridad y el entorno, entre otros factores.

3.5.1.2 PAMFE

La Evaluación de Modos y Efectos de Fallos en Procesos (PFMEA) se centra en detectar riesgos en procesos ya existentes o en procesos en desarrollo. Se realiza antes de instaurar un proceso nuevo o antes de que las modificaciones en los procesos ya existentes se apliquen. La meta es identificar cualquier peligro que pueda perjudicar al producto, la calidad, la seguridad y la satisfacción del cliente [14].

3.6 10 PASOS PARA IMPLEMENTAR UN PROGRAMA MCC

Al lidiar con la tarea de implementar MCC, puede parecer agobiante. La mejor manera de lograrlo es adoptar un enfoque gradual, empleando una metodología lógica que puede ser replicada y perfeccionada en cada ciclo. Aquí te mostramos 10 etapas fundamentales para aplicar esta metodología:

1. **Reconocimiento de activos:** Registrar todos los equipos fundamentales para su funcionamiento, en particular aquellos de gran valor o que sean vitales para el correcto funcionamiento de la empresa.
2. **Valoración del costo de las equivocaciones:** Asigne una calificación que represente el efecto financiero de la falla de cada activo, teniendo en cuenta elementos como periodos de inactividad, gastos de sustitución y eventuales penalizaciones regulatorias.
3. **Sencillez para el seguimiento:** Analice la sencillez para monitorear el estado de cada activo, considerando factores como los costos de inspección, la demanda de sensores y el tiempo necesario para las labores de mantenimiento.
4. **Evaluación de los datos:** Emplee los puntos logrados para crear un diagrama que simplifique el reconocimiento de la estrategia de mantenimiento más apropiada para cada activo.
5. **Evaluación y confirmación:** Recopile y confirme la información recabada. Garantice que las estrategias de mantenimiento establecidas sean consistentes y se ajusten a las exigencias normativas y operativas.
6. **Elaboración de reportes:** Elabore reportes exhaustivos que evidencien la repartición de los activos de acuerdo a las estrategias de mantenimiento asignadas y los cuadrantes pertinentes. Defina índices clave de desempeño para medir la eficacia del programa.
7. **Desarrollo de un mantenimiento preventivo:** Para los bienes que necesitan mantenimiento preventivo, defina programas e intervalos concretos basados en las sugerencias del productor o en la experiencia en operaciones.
8. **Implementación de mantenimiento basado en circunstancias:** Para los bienes que lo necesitan, aplique métodos y estrategias que faciliten la supervisión de su estado en tiempo real, documentando información durante las labores de conservación.

9. **Paso de mantenimiento predictivo a transición:** Para los activos que lo permitan, implemente sensores y defina rangos operativos que sean aceptables. Establezca acciones de mantenimiento fundamentadas en las advertencias de los sensores que detecten potenciales averías antes de que sucedan.
10. **Ciclo de perfeccionamiento constante:** Examine y repite periódicamente los pasos previos, empleando los datos recolectados para perfeccionar de manera constante las estrategias de mantenimiento y ajustarlas a las demandas variables de la operación [15].

3.7 TABLEROS NEUMÁTICOS

Un tablero neumático es un recurso crucial en sistemas de control y automatización neumática, ofreciendo un entorno ordenado y eficaz para administrar el flujo de aire comprimido y manejar varios aparatos neumáticos. Su diseño y componentes varían según la aplicación específica, pero en general, incluye válvulas, actuadores, instrumentos de medición, y sistemas de tratamiento de aire, todos montados en un panel de control de fácil acceso y uso.

Los tableros neumáticos son comunes en entornos industriales, laboratorios de ingeniería y centros de formación técnica.



Figura 3.3. Tablero Neumático.

En la figura 3.3, se puede visualizar un tablero neumático del laboratorio de Oleoneumática de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

3.7.1 CILINDROS NEUMÁTICOS

También conocidos como actuadores neumáticos, los cilindros están compuestos de un material generalmente metálico y extruido, con una sección cilíndrica continua, sellado herméticamente

en ambos extremos. Dentro de estos cilindros, una pieza llamada émbolo se desliza de forma lineal.

El émbolo está conectado a un vástago y convierte el aire en presión mediante el movimiento de un extremo al otro.

Los espacios a cada lado del émbolo se denominan cámaras y son los que reciben el aire a presión. La capacidad de trabajo del cilindro, y por ende del sistema neumático, depende de la capacidad de estas cámaras, así como del diámetro y la carrera del émbolo dentro de ellas.

3.7.1.1 CILINDRO DE DOBLE EFECTO

En contraste con los cilindros de efecto simple, los cilindros de efecto doble cuentan con dos entradas de aire, una en cada punta del cilindro. Esto posibilita que el émbolo se desplace en dos direcciones: hacia adelante y hacia atrás. Una ventaja de los cilindros de doble efecto es que la carrera del émbolo puede ser significativamente más larga que en un cilindro de efecto simple, aunque se debe evitar el pandeo, que puede ser muy perjudicial.

Además, en los cilindros de doble efecto, se requieren amortiguadores cuando la velocidad es muy alta para reducir el impacto en los extremos y prevenir daños. Es importante notar que la velocidad del émbolo no será igual en el avance y el retroceso, ya que el espacio que ocupa el vástago en una de las cámaras altera la superficie efectiva disponible para el aire comprimido [16].



Figura 3.4. Cilindro doble efecto

En la figura 3.4 se puede visualizar el cilindro de doble efecto que forma parte del laboratorio de Oleoneumática de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

3.7.1.2 CILINDRO DE SIMPLE EFECTO

En este modelo de cilindro neumático, el émbolo, movido por el aire comprimido, se efectúa en una sola dirección, o sea, únicamente en ascenso. Esto significa que el trabajo se efectúa únicamente en un sentido. El retroceso del émbolo generalmente se logra mediante un resorte ubicado dentro del cilindro que rodea el vástago; aunque en algunos casos, el retroceso se produce simplemente por efecto de la gravedad [16].



Figura 3.5. Cilindro de simple efecto

En la figura 3.5 se puede visualizar el cilindro de simple efecto que forma parte del laboratorio de Oleoneumática de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

3.7.2 VÁLVULAS ELECTRONEUMÁTICAS

En la mayoría de los sistemas electrónicos, el aparato encargado de regular el proceso es una válvula de control direccional que funciona eléctricamente. Estas válvulas electroneumáticas suministran presión aérea a aparatos como cilindros, que expanden o contraen una barra cuando la presión se aplica o se suprime.

Se emplean solenoides incorporados para abrir y cerrar estas válvulas, activados por señales de voltaje de CA o CC. Los voltajes operativos varían desde aproximadamente 12V hasta 220V [17].

Las válvulas se clasifican de acuerdo al número de vías y posiciones donde:

- El orificio de alimentación viene dado con la letra P o el número 1.
- Sus salidas vienen dadas por números pares o las primeras letras del abecedario A, B, C.
- Los escapes vienen dados por los números impares excepto el 1 y las últimas letras de abecedario.



Figura 3.6.Válvula electro neumática

En la figura 3.6 se puede visualizar la válvula electro neumática que forma parte del laboratorio de Oleoneumática de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

3.7.2.1 CONTROLES ELECTRO NEUMÁTICOS

- **Aparatos de entrada de señales:** creación de señales tales como interruptores y contactores, sensores de contacto y cercanía.
- **Manejo de señales:** aplicación de la combinación de contactores de relé o la utilización de PLC.
- **Señal de salida:** los resultados de la tecnología de procesamiento se utilizan para activar los solenoides, indicadores o alertas sonoras.
- **Operación de potencia:** Las válvulas direccionales constituyen la conexión entre la sección de regulación de la señal y la sección de potencia neumática.

3.7.3 FINALES DE CARRERA

En los sistemas de automatización neumática existen varios dispositivos electrónicos que facilitan la producción los finales de carrera son uno de estos siendo usados para automatizar procesos de manera más eficiente. Son conocido también como interruptor de posición y su función es detectar la posición de un elemento móvil por medio de accionamiento mecánico este a su vez debe estar en contacto físico con el objeto para detectar la llegada o posición de un elemento.

3.7.3.1 PARTES PRINCIPALES DE UN FINAL DE CARRERA

Cabezal: Transforma el movimiento del accionador en movimiento de contacto y da continuidad eléctrica al final de carrera.

Cuerpo del interruptor: Amplia la conexión de los contactos.

Bloque de contactos: Es en este lugar donde se ubican los cables eléctricos del término de la carrera [18].



Figura 3.7. Final de carrera

En la figura 3.7 se puede visualizar el final de carrera que forma parte del laboratorio de Oleoneumática de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

3.7.4 REGULADOR DE PRESIÓN DE AIRE

Es el dispositivo encargado de controlar la presión de entrada y salida de aire comprimido del sistema neumático que generalmente sale de los compresores. En las industrias se utilizan sistemas de aire comprimido para realizar varias actividades y el dispositivo que se encarga de dotar de mayor o menor presión a estos sistemas es la válvula reguladora de aire comprimido.

3.7.4.1 FUNCIONAMIENTO DEL REGULADOR DE PRESIÓN DE AIRE

Su funcionamiento se basa en ajustar la presión del aire comprimido a los datos fijados por el usuario.

3.7.4.2 TIPOS DE REGULADOR

3.7.4.2.1 REGULADOR DE MEMBRANA REDUCTOR DE PRESIÓN

Mantiene la presión de salida constante, aunque en la entrada varíe, este regulador concede que el aire circule directamente a la salida, teniendo el paso limitado, pero no totalmente bloqueado. Por lo que siempre está normalmente abierto.

3.7.4.2.2 REGULADOR DE CONTRAPRESIÓN

Este regulador controla la presión de entrada y habitualmente se lo instala al final de las líneas, donde la presión del aire se controla a través de un disco de sellado que ejerce tensión dosificada por un muelle, el cual ejerce un papel esencial. El aumento de presión en la entrada tiene que vencer la presión en el muelle, por lo que se dice que está normalmente cerrado, aquí la presión de salida no es constante ya que depende de la presión de entrada [19].



Figura 3.8. Regulador de contrapresión.

En la figura 3.8 se puede visualizar el regulador de presión que forma parte del laboratorio de Oleoneumática de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

3.7.5 CONECTORES NEUMÁTICOS EN TEE

Son componentes neumáticos que presentan una forma de T, las cuales permiten que los líquidos y los gases entren por un orificio y salgan por el otro en ángulos de 90° y 180°.

Estos conectores son ideales para la conexión y desconexión del tubo de poliuretano para lograr un flujo libre del aire comprimido en diferentes direcciones desde un mismo compresor [20].

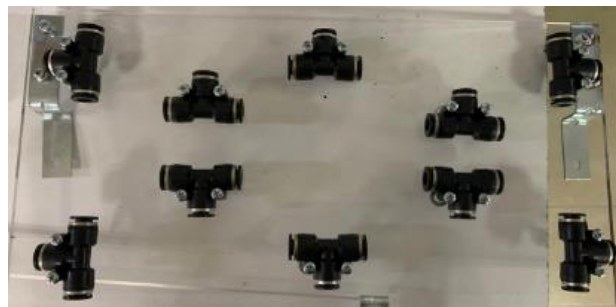


Figura 3.9. Conectores neumáticos en TEE

En la figura 3.9 se puede visualizar el los conectores en TEE que forma parte del laboratorio de Oleoneumática de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

3.7.6 TUBO POLIURETANO

Están fabricados con polímero virgen con características de elasticidad y tienen resistencia a productos químicos, gracias al material por el que están fabricado tiene propiedades físicas de durabilidad y flexibilidad. Haciéndolo ideal para aplicaciones neumáticas, diversas como herramientas neumáticas.

Generalmente son la mejor opción para sistemas que requieren una amplia flexión, o tienen un pequeño radio de curvatura, así mismo cuando el retorcimiento puede ser un inconveniente.

Se los utiliza normalmente en la transportación de aire comprimido en aplicaciones neumáticas, como en la automatización, sistemas de control y maquinaria. Gracias a su flexibilidad facilitan las instalaciones de cilindros, válvulas y actuadores [21].



Figura 3.10. Tubo de poliuretano.

En la figura 3.10 se puede visualizar el tubo de poliuretano que forma parte del laboratorio de Oleoneumática de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

3.7.7 LOGO SIEMENS

Es un elemento lógico inteligente que sirve para hacer proyectos de automatización en procesos industriales, al inicio fue utilizado como reemplazo de los relés cableados, solo se permitía poder programar hasta 30 bloques y tenía una disposición de 8 funciones básicas y 8 funciones adicionales.

Ya con el tiempo mejoró sus características, fue expandiendo su campo de aplicación y sus capacidades de comunicación, conforme la tecnología avanzó se fue actualizando con las nuevas tecnologías y hoy en día permite la programación hasta en 400 bloques y llegó a tener hasta 40 funciones [22].



Figura 3.11. Logo siemens.

En la figura 3.11 se puede visualizar el logo siemens que forma parte del laboratorio de Oleoneumática de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

3.8 PYTHON

3.8.1 PROGRAMACIÓN CON PYTHON

Python es un lenguaje de programación de uso frecuente para la creación de páginas web y programas informáticos, la automatización de tareas y la realización de análisis de datos. Python es un lenguaje de propósito general, lo que implica que puede ser empleado para desarrollar una diversidad de programas y no se centra en ningún problema particular. Esta adaptabilidad, sumada a su sencillez para los novatos, lo ha hecho uno de los lenguajes de programación más empleados hoy en día.

Python se emplea comúnmente en el desarrollo de páginas web y programas, la automatización de labores, el estudio de datos y la representación visual de estos. Como su aprendizaje es relativamente sencillo, Python ha sido adoptado por numerosos no programadores, tales como contadores y científicos, para una variedad de actividades diarias, como la organización financiera.

3.8.2 QUÉ PUEDES HACER CON PYTHON

- Evaluación de datos y aprendizaje automático
- Creación de sitios web
- Automatización o codificación
- Estudios y prototipos de programas informáticos
- Obligaciones diarias

- Obligaciones diarias
- Responsabilidades diarias

Python se ha transformado en un componente esencial en la ciencia de datos, facilitando a los analistas de datos y a otros expertos el uso del lenguaje para efectuar cálculos estadísticos complejos, elaborar visualizaciones de datos, desarrollar algoritmos de aprendizaje automático, manejar y examinar datos, y finalizar otras labores vinculadas a los datos.

Python tiene la capacidad de generar una extensa variedad de representaciones de datos, tales como gráficos de barras y líneas, gráficos circulares, histogramas y gráficos en 3D. También existe una variedad de bibliotecas en Python que facilitan a los programadores la creación de programas para el análisis de datos y el aprendizaje automático de manera más ágil y eficaz, como TensorFlow y Keras.

3.8.3 AUTOMATIZACIÓN

Si estás llevando a cabo una tarea repetidamente, podrías realizarla de manera más eficaz con Python. Escritura del código empleado para la creación de estos procesos automatizados se conoce como scripting. En el ámbito de la programación, la automatización se puede aplicar para detectar fallos en varios archivos, transformar archivos, realizar matemáticas sencillas y eliminar duplicados en la información.

Incluso los principiantes pueden usar Python para automatizar tareas básicas en el ordenador, tales como renombrar archivos, localizar y descargar contenido en línea o enviar emails o textos a intervalos establecidos.

The image shows a Python script on the left and its execution output in a Windows Command Prompt on the right. The script defines a list of dictionaries representing data points. The output shows a formatted table of these data points.

```

1 """
2 https://parzibyte.me/blog
3 """
4
5 datos = [
6     {
7         "nombre": "Luis C.B.",
8         "promedio": 9.5,
9     },
10    {
11        "nombre": "John G.",
12        "promedio": 8.96,
13    },
14    {
15        "nombre": "Leon Scott",
16        "promedio": 9.22,
17    },
18 ]

```

Command Prompt Output:

```

C:\Users\Luis Cabrera Benito\Desktop
λ python alinear.py
+-----+-----+
|Nombre   |Promedio |
+-----+-----+
|Luis C.B. |    9.50|
+-----+-----+
|John G.   |    8.96|
+-----+-----+
|Leon Scott |    9.22|
+-----+-----+

```

Figura 3.12. Programa PYTHON.

En la figura 3.12 se visualiza el lenguaje de programación que usa PYTHON.

3.8.4 PRUEBAS Y PROTOTIPOS DE SOFTWARE

En la creación de programas informáticos, Python puede asistir en labores como la gestión de la compilación, el monitoreo de fallos y las evaluaciones. Con Python, los programadores pueden automatizar las evaluaciones de nuevos productos o propiedades. Algunos recursos Python empleados en las pruebas de software son Green y Requestium [23].

3.9 TIEMPOS DE PARADA EN TABLEROS NEUMÁTICOS

3.9.1 PARADAS PLANIFICADAS

Esto se realiza periódicamente para revisar los activos y que se mantengan en óptimas condiciones.

3.9.1.1 RAZÓN PARA REALIZAR LAS PARADAS PLANIFICADAS

- Para verificar que los activos del módulo funcionen de manera fiable y confiable
- Prevención de fallos repentinos que afecten a los activos.
- Ejecutar trabajos que no se pueden realizar mientras los equipos este en uso.
- Reconocer y moderar riesgos de seguridad.

3.9.1.2 PLANIFICACIÓN DE LAS PARADAS

- Selección de fechas y elaboración de una agenda.
- Verificar que los equipos y herramientas estén disponibles.
- Equipo de trabajo calificado.

3.9.1.3 MINIMIZAR TIEMPOS DE PARADAS

- Documentación de trabajos realizados y registro del desempeño de los activos.

3.9.2 TIEMPOS DE PARADAS NO PLANIFICADOS

Son inesperados y se obtienen por fallas, cortes de energía, desastres naturales o errores humanos.

3.9.2.1 MOTIVOS

- Defecto en los activos.
- planificación de mantenimiento.
- Organización en el inventario.
- Mal mantenimiento.
- Fallas humanas.

3.9.2.2 CONSECUENCIAS

- Rentabilidad de producción.
- Ingresos bajos.
- Cliente insatisfecho.
- Paradas del flujo de labores del activo.
- Un mal producto.

3.9.2.3 SOLUCIONES

- Examinar los tiempos de paro.
- Proyectar paradas de mantenimiento preventivo.
- Preparar al personal que manipula los activos.
- Sistema de MCC.

3.9.3 INDICADORES DE MANTENIMIENTO

- Tiempo medio de reparación (MTTR): sistema con el que se mide el tiempo de un activo para que vuelva a su funcionamiento después de una parada.
- Tiempo medio entre fallas (MTBF): sistema con el que se mide el tiempo en el que el activo está funcionando con fallas.

4 METODOS Y PROCEDIMIENTOS

4.1 METODOLOGÍA

4.1.1 APLICACIÓN DE MCC A TABLEROS NEUMÁTICOS

El desarrollo de sistemas neumáticos es una tecnología esencial para la automatización industrial. Para transmitir una fuerza o potencia, emplean aire o gas como medio. Los controladores automáticos industriales y la automatización de máquinas los emplean. Para desempeñar una función particular en la cadena de producción, los sistemas neumáticos se distinguen por transformar la energía del aire comprimido en energía mecánica.

Para aprovechar todas las ventajas que brindan los sistemas neumáticos, es crucial garantizar su operación continua. Para brindar un servicio continuo, el mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) puede convertirse en una herramienta de análisis de la confiabilidad de las instalaciones de los sistemas neumáticos.

Para consolidar los objetivos de esta lógica, toda aplicación del MCC debe responder a siete preguntas, según la norma SAE JA-1011. Se incluyen pasos previos relacionados con técnicas de confiabilidad para resolver estas incógnitas en el contexto de los sistemas neumáticos:

- Análisis de criticidad (AC).
- Análisis Causa Raíz (ARC).
- Análisis modal de falla y efecto (AMFE) [24].

4.2 DECLARACIÓN DE VARIABLES

4.2.1 VARIABLE DEPENDIENTE

- Reducción de tiempos de mantenimiento

Tabla 4.1. Variable dependiente.

| Conceptualización | Dimensiones | Indicadores | Ítems | Instrumentos |
|--|---|---|--|--|
| Reducir tiempos de parada por mantenimiento en los módulos neumáticos. | <ul style="list-style-type: none">• Tiempo (hora) | <ul style="list-style-type: none">• Informe final.• Tareas de mantenimiento.• Análisis técnico. | <ul style="list-style-type: none">• Cálculos.• Programación.• Visualización. | <ul style="list-style-type: none">• Libros.• Tableros neumáticos• Formato PDF. |

En la tabla 4.1. se puede visualizar las tareas asignadas de acuerdo a la variable dependiente de la propuesta tecnológica.

4.2.2 VARIABLE INDEPENDIENTE

- Implementación de un software de mantenimiento centrado en la confiabilidad para tableros de neumática.

Tabla 4.2. Variable independiente.

| Conceptualización | Dimensiones | Indicadores | Ítems | Instrumentos |
|---|---|--|---|---|
| Implementación mediante programación, de un Sistema de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. | <ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidad (%) • Confiabilidad | <ul style="list-style-type: none"> • Software MCC • Manual de usuario del software | <ul style="list-style-type: none"> • Observación • Medición | <ul style="list-style-type: none"> • Python. |

4.3 DIAGRAMA DE FLUJO DEL MCC

El siguiente diagrama muestra la primera etapa del MCC, que se basa en identificar el sistema, establecer las funciones, identificar las fallas y los tipos de falla, además de identificar las consecuencias de las fallas.

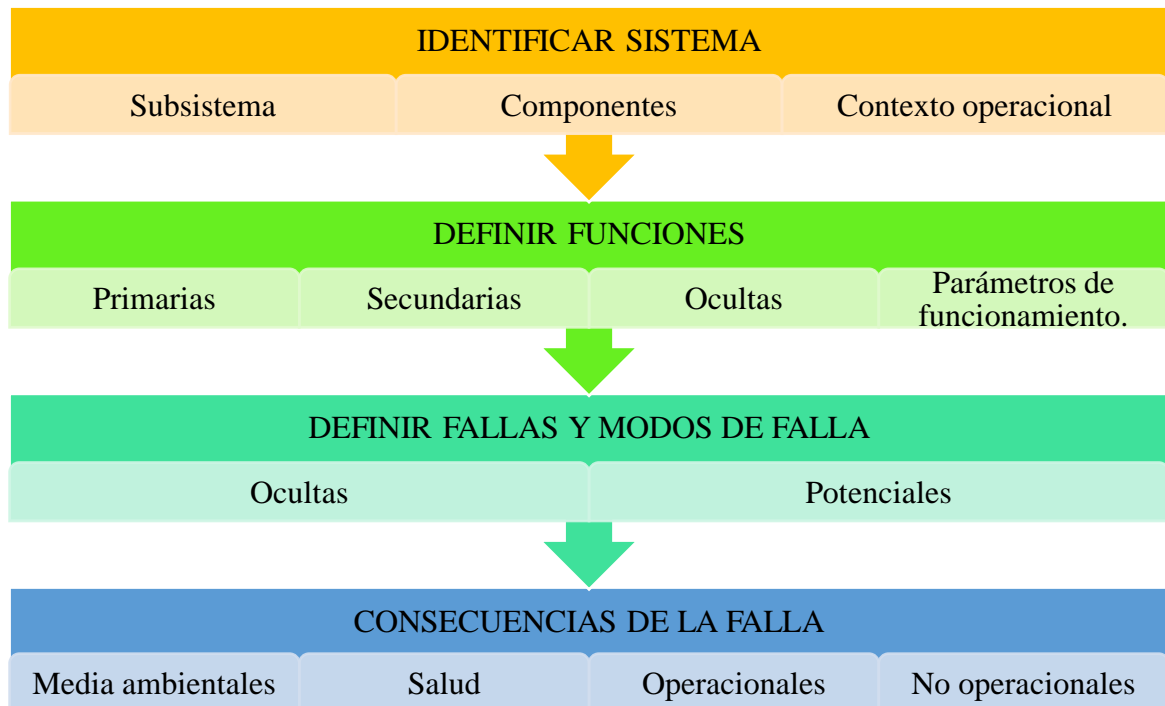


Figura 4.1. Diagrama de flujo del MCC [35].

En la figura 4.1 se puede visualizar el diagrama de flujo, que se ocupa para el procedimiento del MCC.

4.4 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El proceso de otorgar una calificación de criticidad a los activos en función de su riesgo potencial se conoce como análisis de criticidad. “El impacto de la incertidumbre sobre los objetivos” es la definición de riesgo. En este contexto, el riesgo se comprende como todas las posibilidades de fallo de los activos, además de los impactos que la falla puede causar en el sistema y la operación en su totalidad, dado que no puede ser cuantificado de manera efectiva.

4.4.1 CRITERIOS QUE SE TOMAN EN CUENTA AL MOMENTO DE APLICAR EL AC

- Seguridad
- Ambiente
- Producción
- Frecuencia de Fallas

4.4.1.1 MODELO DE FACTORES PONDERADOS BASADOS EN LA TEORÍA DEL RIESGO

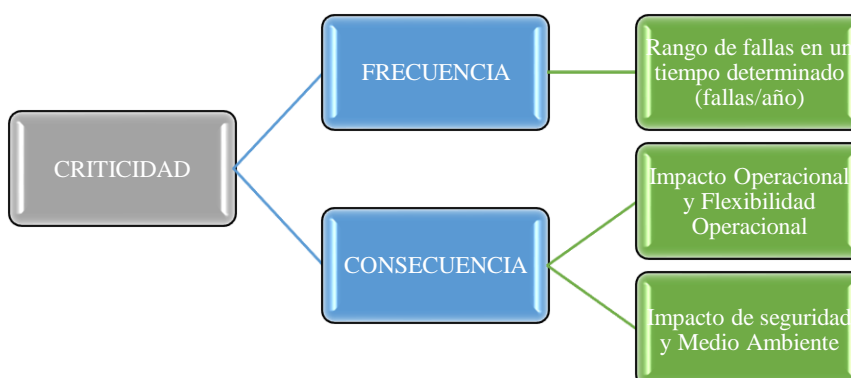


Figura 4.2.Análisis de criticidad [32].

En la figura 4.2, se puede visualizar el diagrama de fallas por consecuencias.

En encuentros laborales, donde participan las diferentes personas relacionadas con el ámbito funcional del activo en análisis (operaciones, mantenimiento, procesos, seguridad y medio ambiente), se escogen los elementos más relevantes.

Luego, se desarrolla una lluvia de ideas en la que se otorgan a cada grupo los valores asignados a cada uno de los elementos que conforman la expresión de criticidad, y se establece el valor global de criticidad. Se puede obtener un valor de criticidad máximo de 200 a partir de los factores ponderados evaluados.

Tabla de ponderaciones adaptadas por los tesisistas, misma que están basadas en el Análisis de Criticidad realizado por: The Woodhouse Partnership en 1994.

Tabla 4.3. Frecuencia de fallas.

| Nivel | Criterio |
|-------|--|
| 4 | Mas de 10 fallas al año (Frecuente). |
| 3 | Entre 3 y 10 fallas al año (Promedio). |
| 2 | Entre 1 y 3 fallas al año (Bueno). |
| 1 | Entre 0 y 1 falla al año (Excelente). |

En la Tabla 4.3 se puede visualizar el número de fallos que repiten en un determinado periodo de tiempo.

Tabla 4.4. Impacto Operacional.

| Nivel | Impacto Operacional |
|-------|--|
| 5 | Parada inmediata del tablero. Perdidas de rendimiento mayores a 75%. |
| 4 | Parada inmediata de un elemento del tablero. Perdidas de rendimiento entre 50% y 75 %. |
| 3 | Impacta los niveles de calidad. Perdidas de rendimiento entre 25% y 50%. |
| 2 | Repercusión en costos operacionales adicionales asociados a la disponibilidad del equipo. Perdidas de rendimiento entre 10% y 25%. |
| 1 | No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y rendimiento. Perdidas de rendimiento menores a 10%. |

En la Tabla 4.4 se observa los efectos causados en el rendimiento de los tableros.

Tabla 4.5. Flexibilidad Operacional.

| Nivel | Flexibilidad Operacional |
|-------|--|
| 3 | No se cuenta con unidades de reserva para cubrir el rendimiento y tiempos de reparación. |
| 2 | Se disponen de unidades de reserva que consiguen mitigar parcialmente el efecto de rendimiento y los periodos de reparación. |
| 1 | Se disponen de unidades de reserva disponibles en tiempo real y plazos de reparación. |

En la Tabla 4.5 se observa la posibilidad de hacer un cambio rápido para que no afecte el rendimiento sin que se aumenten costos o pérdidas considerables.

Tabla 4.6. Impacto en seguridad y medio ambiente.

| Nivel | Impacto en seguridad y Medio Ambiente. |
|-------|--|
| 4 | Oportunidad elevada de pérdida de vida, daños severos a la salud de los empleados, sucesos ambientales catastróficos. |
| 3 | Riesgos significativos de pérdida de vida, perjuicios significativos a la salud, sucesos ambientales de compleja recuperación. |
| 2 | Riesgos mínimos de pérdidas de vida y afectaciones a la salud, incidentes ambientales controlables. |
| 1 | No provoca ningún daño a las personas, ni al ambiente. |

En la tabla 4.6 se describe los posibles incidentes que puede causar cada sistema en las personas y en el medio ambiente.

4.4.1.2 SEMAFORIZACIÓN DE RESULTADOS

Para proporcionar un valor de criticidad se da efecto de falla en el MCC, basados en los principios de: frecuencia y consecuencias, se toman los valores totales e individuales de la evaluación de las tablas. Para asignar un Número de Prioridad de Riesgo (NPR).



















| | |
|------------------|---|
| SEMICRITICO (SC) |  |
| NO CRITICO (NC) |  |
| CRITICO (C) |  |

Tabla 4.7. Matriz de Criticidad.

FECUENCIA.

| | | | | |
|---|---|---|--|---|
| 4 |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |
| 1 |  |  |  |  |
| | 1 | 3 | 7 | 10 |

CONSECUENCIAS

En la Tabla 4.7. se puede observar la matriz de criticidad.

El análisis de criticidad es una herramienta útil para decidir cuáles tareas de mantenimiento deben ser priorizadas. El grado de riesgo que implica no llevar a cabo la labor de mantenimiento debe determinar la importancia de la tarea. Sin embargo, este grado de riesgo asociado a no finalizar una tarea de mantenimiento específica se define por las posibles repercusiones de una

avería que podría suceder si la tarea no se finaliza en el tiempo previsto, así como la posibilidad de que dicha avería ocurra si la tarea no se finaliza en el tiempo fijado [25].

4.5 ANÁLISIS CAUSA RAÍZ

Para encontrar e implementar soluciones, un análisis de causa raíz implica descubrir las causas fundamentales de un problema. En vez de centrarse en los síntomas superficiales, este tipo de análisis examina las causas fundamentales de un problema.

4.5.1 CÓMO SE PUEDE REALIZAR UN ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ

Existen cinco pasos que nos ayudan a realizar un sistema para eliminar la causa raíz de un problema. Al eliminar la causa raíz se impide que los problemas vuelvan a surgir.

A continuación, enunciamos los cinco pasos para eliminar la causa raíz:

4.5.1.1 DEFINIR EL PROBLEMA

Para llevar a cabo un análisis de causa raíz, se necesita un problema definido. Es mejor comenzar con uno de los problemas que se tiene que resolver y luego realizar varios ACR para encontrar soluciones para cada uno. Se tendrá más oportunidades de encontrar el origen y solucionarlo rápidamente al abordar simultáneamente un problema.

4.5.1.2 RECOPIRAR DATOS

Para demostrar que el problema existe se debe recopilar pruebas. También se puede aprovechar de los problemas de los tableros para entender mejor los síntomas. En esta etapa, se debe responder a estas algunas preguntas:

¿Desde cuándo persiste este problema?

¿Quiénes sufren las consecuencias de este problema?

¿Qué repercusiones tendrán a corto y largo plazo este problema?

¿Qué síntomas son los más destacados de este problema?

¿Qué evidencias disponemos para demostrar que existe un problema?

4.5.1.3 IDENTIFICAR LOS EFECTOS CAUSALES

La etapa más crucial del proceso de análisis de la causa raíz es encontrar las posibles causas subyacentes. Cuando se descubre los motivos en este paso, eventualmente se encontrará una solución y un plan de acción.

Para dar solución a este problema se incluye un Diagrama lógico de flujo de fallas el cual se basa en los siguientes pasos:

- Identificar el suceso de la falla.

- Especificar los Modos de la Error.
- Elaborar un listado de posibles causas y confirmar.
- Propicia Raíz Física: Comprueba el sistema de avería en el nivel de componentes.
- Inducen la Raíz Humana: Comprobar acción inadecuada o fallo humano.
- Factores Fundamentales del Sistema: Comprobar fallo en el sistema de gestión.

4.5.2 DETERMINAR LA CAUSA RAÍZ

Para encontrar la causa fundamental del problema, se debe examinar todas las causas subyacentes que posibles Aquí también se pueden aplicar la siguiente estrategia para determinar la causa raíz las cuales son:

- Análisis modal de fallos y efectos (AMFE).

4.5.3 IMPLEMENTAR SOLUCIONES

Es el momento de encontrar soluciones y tomar medidas una vez que se hayan familiarizado con las causas subyacentes que se han identificado. Estas soluciones deben abordar no solo la causa fundamental, sino también el problema inicial [26].

4.6 ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTO (AMFE)

El Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) es una forma proactiva de encontrar fallos potenciales en los procesos empresariales con el propósito de prevenir su aparición o disminuir su impacto, identificando dónde pueden ocurrir y determinando su impacto. Para prevenir costosos inconvenientes de producción, potenciar la calidad del producto y la fiabilidad del servicio, además de incrementar la satisfacción del cliente, el enfoque sistemático del AMFE en identificar y tratar las causas de los fallos puede resultar provechoso.

El AMFE tiene dos partes:

- Modo de fallo: problemas y errores que se presentan de los procesos, productos o servicios.
- Análisis de los efectos: es la parte donde se analiza y determina las consecuencias de los fallos.

4.6.1 TIPOS DE AMFE

4.6.1.1 AMFE DE DISEÑO

Actúa como un instrumento para perfeccionar su diseño.

- Se lleva a cabo un estudio de factibilidad para establecer si el diseño puede satisfacer los estándares de fiabilidad fijados.
- El diseño se enfoca en los materiales, adquisiciones, pruebas, fabricación, etc., dado que se toman en cuenta las formas de error vinculadas a estos en este tipo.

4.6.1.2 AMFE DE PROCESOS

Va destinado al análisis de modos potenciales de fallos y sus efectos durante el proceso de adquisición de bienes o servicios. Este procedimiento AMFE comprende el estudio de los medios de producción utilizados para asegurar el correcto funcionamiento del proceso y, en consecuencia, que el producto o servicio adquirido sea de confianza.

4.6.2 CRITERIOS FUNDAMENTALES DEL AMFE

1. Sistema (máquina).
2. Función.
3. Falla funcional.
4. Modo de falla.
5. Efecto de falla.
6. Causa de falla.
7. Detectabilidad.
8. Frecuencia.
9. Gravedad.
10. Índice de prioridad de riesgo (IPR).

Se puede dar una valorización de fallo en base a los siguientes tres criterios:

4.6.3 DETECTABILIDAD

Como se ha mencionado, este concepto es novedoso en los sistemas simplificados de evaluación de riesgos de accidente, pero es fundamental en el AMFE.

Se trata de determinar la probabilidad de que no lo “detectemos” si se produce un fallo o cualquier output defectuoso durante el proceso; esto provocará problemas posteriores y, en última instancia, afectará al cliente - usuario final.

Tabla 4.8. Clasificación de la facilidad de detección del modo de fallo.

| Detección | Criterio | Valor | Probabilidad |
|-------------------|--|-------|---------------|
| Muy Alta | El fallo es evidente. Es muy probable que los controles actuales no lo detecten. | 5 | 1/10000 |
| Alta | A pesar de que el defecto es evidente y se puede identificar con facilidad, podría en algún momento eludir un primer control, aunque será detectado con total certeza. | 4 | 1/5000-1/2000 |
| Mediana | El defecto es detectable y posiblemente se detecte en los últimos estudios de producción. | 3 | 1/1000-1/200 |
| Pequeña | El fallo es de tal índole que su identificación es complicada. | 2 | 1/100-1/50 |
| Improbable | El defecto no puede detectarse. | 1 | 1/20-1/10 |

Por medio de la Tabla 4.8 se puede observar el índice de detección, el mismo que se puede reducir por medio de:

1. Incrementar o mejorar los sistemas de control de calidad.
2. Modificar el diseño.

4.6.3.1 FRECUENCIA

La probabilidad de ocurrencia de una falla es lo que en términos de confiabilidad o prevención llamamos la probabilidad de ocurrencia de una falla.

Tabla 4.9. Clasificación de la frecuencia de la ocurrencia del modo de fallo.

| Detección | Criterio | Valor | Probabilidad |
|-------------------|---|-------|---------------|
| Muy Alta | Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente. | 5 | 1/10000 |
| Alta | El fallo ha sucedido con cierta regularidad en el pasado en procedimientos parecidos o procesos anteriores que han fallado. | 4 | 1/5000-1/2000 |
| Moderable | Error que surge ocasionalmente en procesos parecidos o anteriores al presente. Es probable que surja en ocasiones en la vida del equipo/sistema. | 3 | 1/1000-1/200 |
| Baja | Errores independientes en procedimientos parecidos o casi idénticos. Es plausible que ocurra en la vida del sistema, aunque es improbable que ocurra de verdad. | 2 | 1/100-1/50 |
| Improbable | Ninguna equivocación se relaciona con procesos casi idénticos, ni se ha sucedido nunca en el pasado, pero es posible. | 1 | 1/20-1/10 |

Por medio de la Tabla 4.9 se puede observar el índice de frecuencia, el mismo que se puede reducir por medio de:

1. Aumentar o perfeccionar los sistemas de control para prevenir la ocurrencia de la causa de error.
2. Alterar el diseño para disminuir la posibilidad de que se produzca el fallo.

4.6.3.2 GRAVEDAD

Según la percepción del cliente-usuario, calcula el daño normalmente esperado que resulta de la falla en cuestión. Además, es importante considerar el daño máximo que se espera, el cual está relacionado con la probabilidad de generación.

Tabla 4.10. Gravedad del modo de falla.

| DetECCIÓN | CRITERIO | VALOR |
|---|---|-------|
| Muy Alta | Tipo de error potencial de gran importancia que impacta en el funcionamiento de seguridad del producto o proceso y/o implica de manera grave el incumplimiento de las regulaciones. | 5 |
| Alta | El veredicto puede ser crucial y el sistema puede ser desaprovechado. Crea un alto nivel de insatisfacción. | 4 |
| Moderable | La sentencia genera un cierto descontento e insatisfacción en el cliente. El usuario notará una disminución en el desempeño del sistema. | 3 |
| Irrelevantes apenas perceptibles | El tipo de error causaría un pequeño problema al cliente. Es probable que éste perciba un ligero declive en el desempeño del sistema de escasa relevancia. | 2 |
| Imperceptibles | No es sensato anticipar que este error de menor relevancia produzca algún impacto significativo en el desempeño del sistema. | 1 |

Por medio de la Tabla 4.10 se puede observar la gravedad del modo de falla, el mismo que se puede reducir por medio de:

1. El descontento del usuario
1. El deterioro de los beneficios.
2. Precio y duración de la reparación.

Índice de prioridad de riesgo (IPR): por medio de este criterio se da la interpretación de los resultados es decir la valoración de la detectabilidad, la frecuencia y la gravedad, debe calcularse para todas las causas de fallo. Los problemas de diseño o de proceso se organizan según su importancia con este valor. El IPR se utiliza para otorgar prioridad a la posible causa de fallo para eventuales acciones correctivas. También se denomina IPR (número de prioridad de riesgo) al IPR. [24].

Tabla 4.11. Criterio de semaforización de acuerdo al valor del IPR.

| Semaforización | Valor de IPR |
|-------------------------|----------------|
| Rojo (alta) | $IPR > 36$ |
| Amarillo (media) | $7 < IPR < 36$ |
| Verde (baja) | $IPR < 7$ |

En la Tabla 4.11. se puede observar el criterio de semaforización al valor del IPR.

4.7 TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN (MTTR) Y TIEMPO MEDIO ENTRE FALLOS (MTBF)

4.7.1 TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN

El MTTR (Mean Time To Repair), o Tiempo Medio de Reparación, indica el tiempo promedio necesario para corregir una falla en un activo. Esta medida comprende todo el procedimiento de reparación, incluyendo las labores requeridas para recuperar el equipo a su estado inicial de funcionamiento. Su cálculo se inicia cuando se identifica la avería y concluye cuando el activo vuelve a operar de manera normal.

4.7.1.1 CÓMO CALCULAR EL MTTR

El valor del MTTR facilita la identificación de las interrupciones más críticas en un proceso productivo, o sea, las que provocan los periodos de inactividad más extendidos.

Los elementos que afectan el cálculo del MTTR comprenden:

- El tiempo completo destinado a arreglar las fallas en los activos.
- La cantidad de acciones correctivas llevadas a cabo.

El cálculo del MTTR se realiza dividiendo el tiempo total utilizado en el mantenimiento correctivo entre el número de reparaciones realizadas:

MTTR = Duración total del mantenimiento correctivo dividido entre la cantidad de intervenciones.

Para que el MTTR ofrezca datos valiosos, se aconseja su cálculo [27]

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo}}{\# \text{fallas}} \quad \text{Ecuación (4.1)}$$

4.7.2 TIEMPO MEDIO ENTRE FALLOS

El MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas), también conocido como el tiempo medio entre fallos, representa el lapso medio en el que una ópera opera sin interrupciones antes de mostrar una nueva avería. En resumen, esta medida determina el tiempo promedio de operación de un equipo entre dos fallos sucesivos, lo que permite valorar su fiabilidad y continuidad en las operaciones.

4.7.2.1 CÓMO CALCULAR EL MTBF

El MTBF también facilita el análisis de qué clases de errores suceden con mayor regularidad, dado que ofrece una evaluación de la disponibilidad de los equipos.

En gran medida, el factor humano influye en el MTBF, lo que se refleja en aspectos clave de los activos, tales como:

- Su diseño y construcción.
- El proceso de instalación y puesta en marcha.
- Las intervenciones de mantenimiento previo.

Dado que el MTBF ofrece información sobre la continuidad operativa de los equipos, está estrechamente ligado a las estrategias de mantenimiento preventivo, ya que estas pueden extender la vida útil de los activos y aumentar el tiempo de operación entre fallos.

Los elementos que afectan el MTBF incluyen:

- El tiempo total en que el activo permanece operativo.
- La duración de las interrupciones tras una avería.
- La cantidad de fallos registrados.

Como este indicador mide la fiabilidad de un equipo, su estimación se fundamenta en la relación inversa entre el tiempo de operación y la frecuencia de errores:

$MTBF = (\text{Total de tiempo disponible} - \text{Tiempo de inactividad}) / \text{Cantidad de fallos}$

La diferencia entre el tiempo total disponible y el tiempo de inactividad simboliza el período real de operación del equipo, mientras que la cantidad de fallos señala la cantidad de veces que su funcionamiento ha sido interrumpido [27].

$$MTBF = \frac{\sum TBF}{\# \text{ fallas}} \quad \text{Ecuación (4.2)}$$

4.8 PROGRAMACIÓN EN PYTHON PARA CREAR UN PROGRAMA MCC

PHYTON es un poderoso software de programación en donde se crean diferentes aplicaciones de mantenimiento con la ayuda de sus librerías, dentro de las cuales se encuentra Django y Pywebview.

4.8.1 DJANGO.

Django es un marco de trabajo de alto nivel para el desarrollo web, fundamentado en Python, que simplifica la creación de aplicaciones web veloces, seguras y escalables. Se centra en el uso recurrente de código, la eficiencia y la seguridad, basándose en el principio de "No repitas tú mismo" (DRY, por sus siglas en inglés)

4.8.2 FUNCIONES DE DJANGO

4.8.2.1 MODELO

El modelo recolecta datos desde la base de datos.

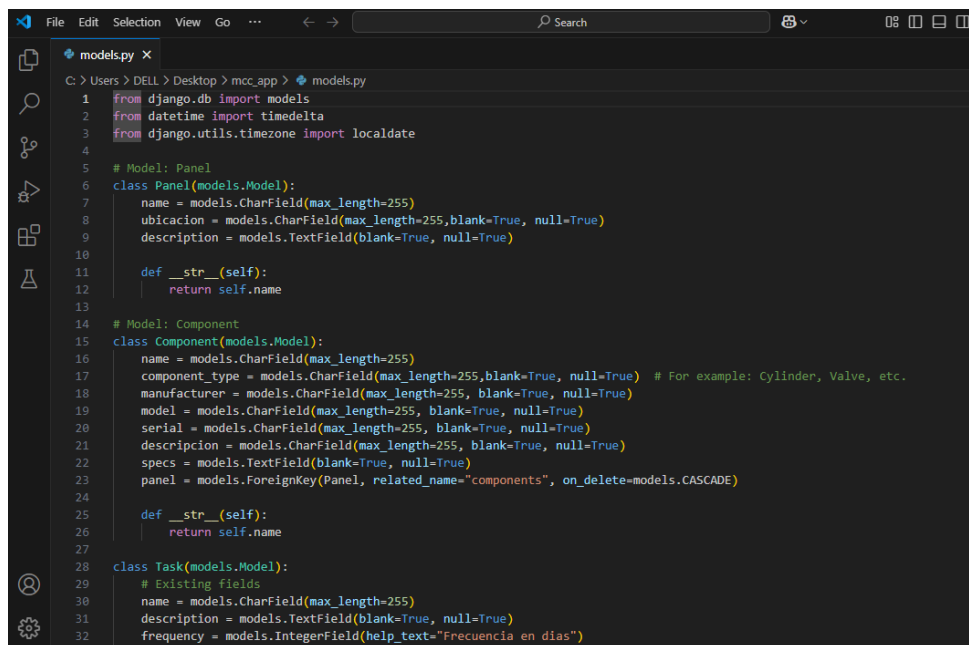
En Django, la gestión de datos se realiza mediante el Mapeo Relacional de Objetos (ORM), un método que facilita la interacción con bases de datos.

Usualmente, se emplea SQL para obtener datos de una base de datos, aunque este procedimiento demanda un conocimiento profundo de su estructura.

El ORM de Django simplifica esta labor, facilitando el acceso a la información sin la necesidad de redactar consultas SQL complicadas.

Características del modelos.py:

- Django convierte este modelo en una tabla para una base de datos.
- Es posible efectuar consultas utilizando técnicas de Python en vez de SQL.
- Facilita la gestión de datos de manera simple.



```
File Edit Selection View Go ... Search
models.py x
C:\Users\DELL\Desktop> mvc_app > models.py
1 from django.db import models
2 from datetime import timedelta
3 from django.utils.timezone import localtime
4
5 # Model: Panel
6 class Panel(models.Model):
7     name = models.CharField(max_length=255)
8     ubicacion = models.CharField(max_length=255, blank=True, null=True)
9     descripcion = models.TextField(blank=True, null=True)
10
11     def __str__(self):
12         return self.name
13
14 # Model: Component
15 class Component(models.Model):
16     name = models.CharField(max_length=255)
17     component_type = models.CharField(max_length=255, blank=True, null=True) # For example: Cylinder, Valve, etc.
18     manufacturer = models.CharField(max_length=255, blank=True, null=True)
19     model = models.CharField(max_length=255, blank=True, null=True)
20     serial = models.CharField(max_length=255, blank=True, null=True)
21     descripcion = models.CharField(max_length=255, blank=True, null=True)
22     specs = models.TextField(blank=True, null=True)
23     panel = models.ForeignKey(Panel, related_name="components", on_delete=models.CASCADE)
24
25     def __str__(self):
26         return self.name
27
28 class Task(models.Model):
29     # Existing fields
30     name = models.CharField(max_length=255)
31     descripcion = models.TextField(blank=True, null=True)
32     frequency = models.IntegerField(help_text="Frecuencia en días")
```

Figura 4.3. Función models.py de la librería Django.

En la Figura 4.3, se visualiza la función model.py donde se ingresan las especificaciones generales del componente neumático.

En este apartado se especifica:

- Nombre
- Tipo de componente
- Fabricante
- Modelo
- Serial
- Descripción
- Especificaciones
- Módulo al que se va a ingresar.

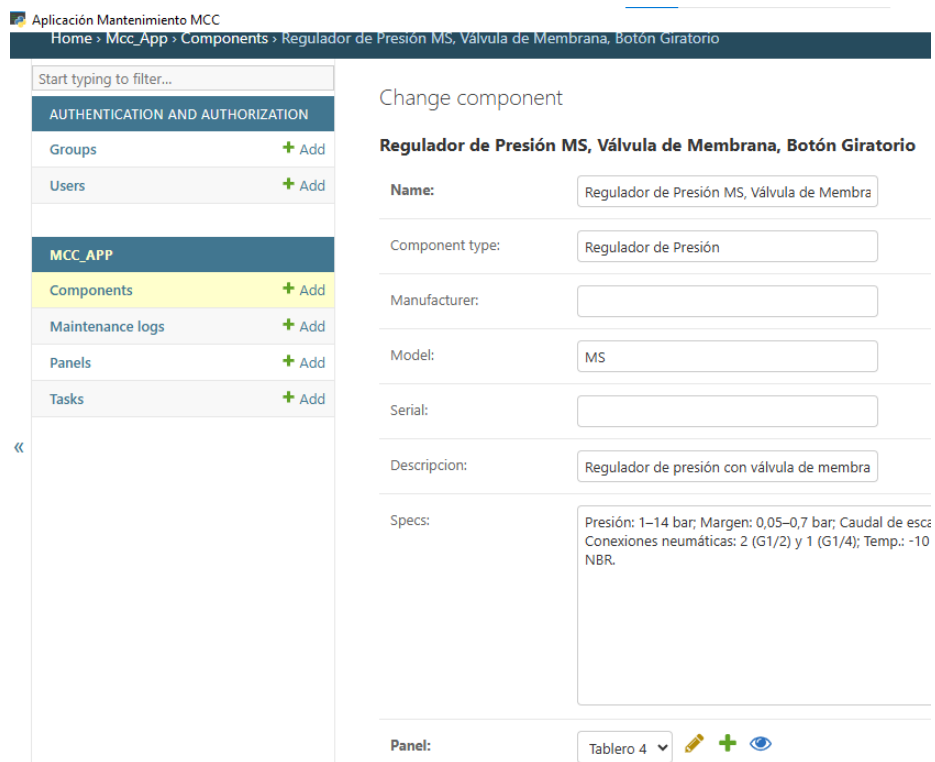


Figura 4.4. Vista del programa MCC con relación a la programación de Python con la función models.py.

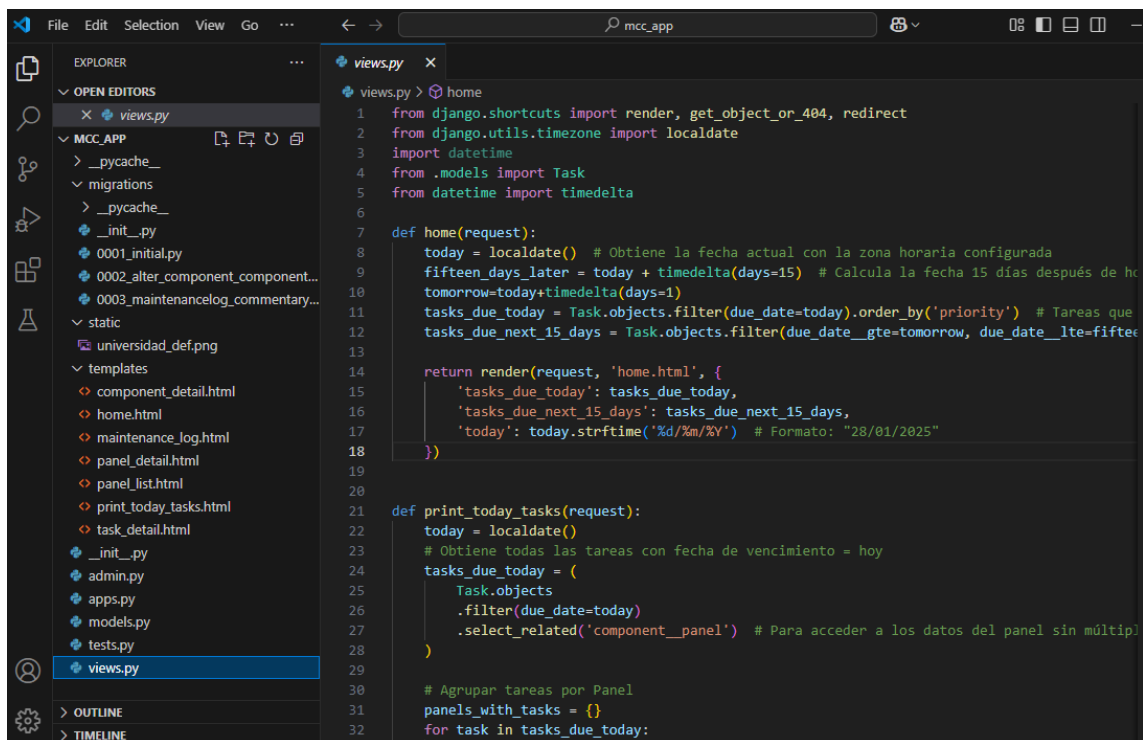
En la figura 4.4 se puede visualizar la descripción del componente para su respectivo ingreso al software, esto a su vez demuestra el vínculo de los códigos de programación ingresados y los resultados visuales en el software.

4.8.2.2 VISTA

Una vista es una función o procedimiento que recibe peticiones HTTP como parámetros, carga los modelos pertinentes, establece la información que se debe enviar a la plantilla y proporciona el resultado final.

Características de views.py:

- Recibe una solicitud HTTP.
- Obtiene datos desde el modelo o realiza operaciones lógicas.
- Renderiza una plantilla para enviar una respuesta al usuario.



```
1 from django.shortcuts import render, get_object_or_404, redirect
2 from django.utils.timezone import localtime
3 import datetime
4 from .models import Task
5 from datetime import timedelta
6
7 def home(request):
8     today = localtime() # Obtiene la fecha actual con la zona horaria configurada
9     fifteen_days_later = today + timedelta(days=15) # Calcula la fecha 15 días después de hoy
10    tomorrow=today+timedelta(days=1)
11    tasks_due_today = Task.objects.filter(due_date=today).order_by('priority') # Tareas que
12    tasks_due_next_15_days = Task.objects.filter(due_date__gte=tomorrow, due_date__lte=fifteen_days_later)
13
14    return render(request, 'home.html', {
15        'tasks_due_today': tasks_due_today,
16        'tasks_due_next_15_days': tasks_due_next_15_days,
17        'today': today.strftime('%d/%m/%Y') # Formato: "28/01/2025"
18    })
19
20
21 def print_today_tasks(request):
22     today = localtime()
23     # Obtiene todas las tareas con fecha de vencimiento = hoy
24     tasks_due_today = (
25         Task.objects
26         .filter(due_date=today)
27         .select_related('component_panel') # Para acceder a los datos del panel sin múltiplos
28     )
29
30     # Agrupar tareas por Panel
31     panels_with_tasks = {}
32     for task in tasks_due_today:
```

Figura 4.5. Función views.py de la librería de Django

En la Figura 4.5, se visualiza la función views.py donde se ingresan las tareas que se van a realizar en los componentes neumáticos.

En este apartado se especifican las tareas de acuerdo a su prioridad:

- Baja (verde)
- Media (amarilla)
- Alta (roja)

De igual manera que tipo de tarea se va a realizar:

- Inspección visual.

- Limpieza y reemplazo de filtro interno.
- Inspección de fugas.
- Reemplazo de sellos desgastados.
- Revisión de contactos, etc.

Home › Mcc_App › Tasks › Task object (134)

Start typing to filter...

AUTHENTICATION AND AUTHORIZATION

Groups + Add

Users + Add

MCC_APP

Components + Add

Maintenance logs + Add

Panels + Add

Tasks + Add

Change task

Task object (134)

Name: Actualización de firmware/configuración

Description: Revisar si existen actualizaciones y ajustar parámetros de programación

Frequency: 365
Frecuencia en días

Due date: 2025-02-24 Today | 📅

Priority: Media ▼
Prioridad

Failure cause: Versión obsoleta, configuraciones erróneas

Figura 4.6. Vista del programa MCC con relación a la programación de Python con la función `views.py`

En la figura 4.6 se puede visualizar la descripción de las tareas dependiendo su prioridad, así mismo se especifica al componente que se designa dicha tarea.

4.8.2.3 PLANTILLA

Una plantilla es un documento que establece la manera en que se presentará el resultado.

Normalmente, las plantillas son archivos con formato.html que incluyen código HTML para organizar el diseño de una página web. No obstante, también se pueden emplear otros formatos dependiendo del tipo de salida que se quiera obtener. En esta situación, nos centraremos en los archivos con extensión.html.

Django utiliza HTML estándar para establecer la estructura visual, añadiéndolo etiquetas propias para incorporar lógica en la plantilla.

```

1 <!DOCTYPE html>
2 <html lang="es">
3 <head>
4   <meta charset="UTF-8">
5   <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
6   <title>Detalles del Componente</title>
7   <link rel="stylesheet" href="https://cdn.jsdelivr.net/npm/bootstrap@5.3.0/dist/css/boot
8 </head>
9 <body>
10
11   <nav class="navbar navbar-dark bg-dark">
12     <div class="container-fluid">
13       <a class="navbar-brand" href="{% url 'panel_list' %}">Paneles</a>
14     </div>
15   </nav>
16
17   <div class="container mt-4">
18     <h2 class="text-center">Tareas del Componente: {{ component.name }}</h2>
19     {% if tasks %}
20     <ul class="list-group">
21       {% for task in tasks %}
22         <li class="list-group-item">
23           <a href="{% url 'task_detail' task.id %}" class="text-decoration-non
24             {{ task.name }} - {{ task.due_date }}
25         </li>
26       {% endfor %}
27     </ul>
28     {% else %}
29     <div class="alert alert-info text-center">No hay tareas asignadas a este component

```

Figura 4.7 Función templates.py de la librería de Django.

En la Figura 4.7, se observar la lectura de las tareas y los componentes dentro de la misma librería actuando como la interfaz entre el código de programación y los datos ingresados.

| Nombre | Prioridad | Componente |
|-----------------------------------|-----------|--|
| Reemplazo de sellos desgastados | Alta | Cilindro Simple Efecto Camozzi, Rebordeado, Diseño ISO 6432 (T3&4) |
| Prueba de accionamiento eléctrico | Alta | Electroválvula 5/2 Tailonz Pneumatic, Aluminio, DC24V (T3&4) |
| Inspección visual del cilindro | Baja | Cilindro Simple Efecto Bimba, 10x3x3 in, Negro |
| Limpieza del cilindro | Media | Cilindro Simple Efecto Camozzi, Rebordeado, Diseño ISO 6432 |

[Imprimir Tareas del Día](#)

Tareas para los Próximos 15 Días

| Nombre | Prioridad | Componente | Fecha de Vencimiento |
|---------------------------------|-----------|--|----------------------|
| Lubricación interna y externa | Media | Cilindro Simple Efecto Bimba, 10x3x3 in, Negro | Feb. 28, 2025 |
| Inspección visual del cilindro | Baja | Cilindro Doble Efecto Camozzi, Sin Vástago y con Carro Deslizante (T3&4) | Feb. 28, 2025 |
| Reemplazo de sellos desgastados | Alta | Cilindro Simple Efecto Camozzi, Rebordeado, Diseño ISO 6432 | Feb. 28, 2025 |
| Inspección mecánica y limpieza | Media | Final de Carrera Neumático Chuka, Aluminio Plateado, 3 Puertos (T3&4) | Feb. 28, 2025 |
| Limpieza del cilindro | Media | Cilindro Simple Efecto Bimba, 10x3x3 in, Negro | March 1, 2025 |
| Lubricación interna y externa | Media | Cilindro Doble Efecto Camozzi, Sin Vástago y con Carro Deslizante (T3&4) | March 1, 2025 |

Figura 4.8 Vista del programa MCC en donde se visualiza las tareas de acuerdo a su prioridad.

En la figura 4.8 se puede visualizar el resultado de la lectura de los códigos ingresados en las otras funciones.

4.8.3 PYWEBVIEW

PyWebView es un contenedor ligero y multiplataforma con licencia BSD que encapsula un componente WebView. Permite mostrar contenido HTML dentro de una ventana GUI nativa, integrando tecnologías web en aplicaciones de escritorio sin que el usuario perciba que la interfaz se basa en un navegador. Además, PyWebView incluye un servidor HTTP incorporado, compatibilidad con DOM en Python y herramientas para gestionar ventanas [28].

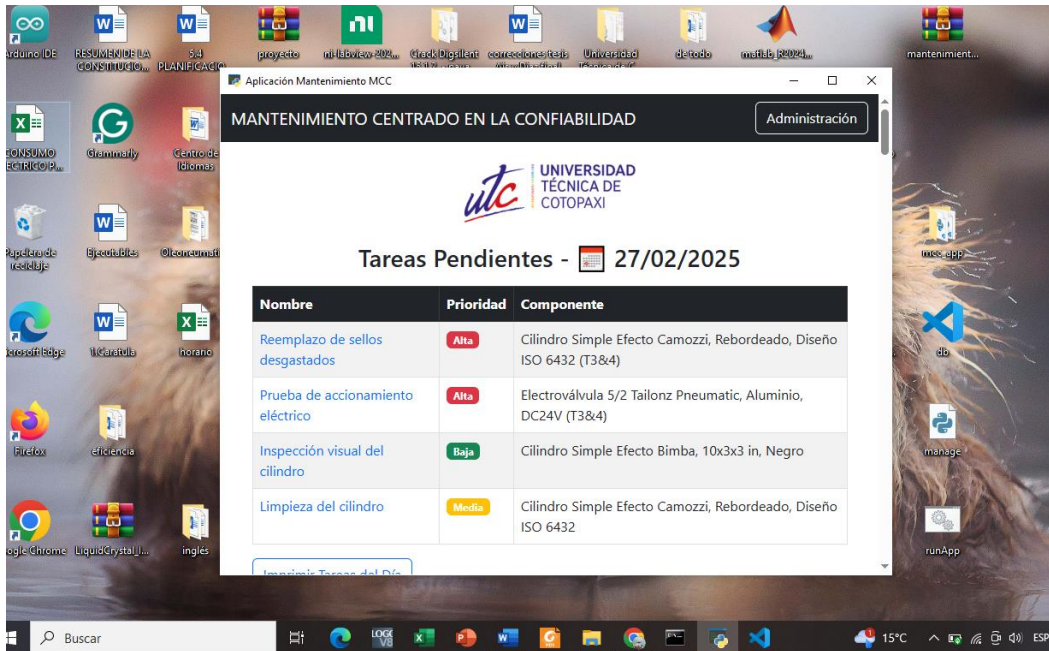


Figura 4.9 Librería PYWEBVIEW

En la figura 4.9 se puede observar la función de la librería PYWEBVIEW la misma que permite que los códigos de programación ingresados en la librería Django, aparezcan como software en el servidor.

4.8.4 MANO DE OBRA RESPECTO AL CAMPO

Se implementará un programa que permita registrar, modificar y reducir los tiempos de inactividad de los tableros neumáticos. Para calcular el costo por hora laboral, se utilizarán los salarios fijados para el sector de la construcción, conforme a las regulaciones de la Contraloría General del Estado para el año 2025, que se detallan como Salarios en dólares de la Dirección Nacional de Auditoría de Transporte, Vialidad, Infraestructura Portuaria y Aeroportuaria, tal como se puede resumir en la tabla.

Tabla 4.21. Contraloría general del estado

| CONTRALORÍA GENERAL DEL ESTADO | | | | | | | | | |
|---|-------------------------|----------------------|----------------------|--|------------------------|----------------------|---------------------|--------------------|----------------------|
| Dirección nacional de auditoría de transporte, vialidad, infraestructura portuaria y aeroportuaria | | | | | | | | | |
| Reajuste de precios | | | | | | | | | |
| Salarios mínimos de ley | | | | | | | | | |
| Categorías ocupacionales | Sueldo Unificado | Décimo Tercer | Décimo Cuarto | | Aporte Patronal | Fondo Reserva | Total, Anual | Jornal Real | Costo Horario |
| Remuneración básica unificada | 470,00 | | | | | | | | |
| Construcción y servicios técnicos y arquitectónicos | | | | | | | | | |
| Estructura Ocupacional B1 | | | | | | | | | |
| Programador | 1283,98 | 1283,98 | 1128,00 | | 1667,49 | 1667,98 | 14.676,19 | 55,05 | 6,94 |

En la tabla 4.21 se visualiza la remuneración salarial de un programador en el lapso de un mes según la contraloría general del estado, esto para tener en cuenta la mano de obra de las personas que diseñan un sistema de MCC con software programables.

5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1 PREGUNTAS SOBRE EL TABLERO Y SU FUNCIONAMIENTO

La correcta respuesta de las preguntas que se van a enlistar da una contextualización real del componente en base a su rendimiento. Para la contestación de estas preguntas se aplicará el criterio de AMFE.

1. Funciones: ¿Cuál es el patrón y la función del rendimiento de los tableros de neumática?
2. Fallas funcionales: ¿De qué forma fallan los tableros neumáticos al cumplir sus funciones?
3. Modo de Falla: ¿Qué ocasiona cada falla funcional en los tableros neumáticos?
4. Efecto de Falla: ¿Qué consecuencias genera cada falla a los tableros neumáticos?
5. Consecuencias de Falla: ¿En qué forma afecta cada falla a los tableros neumáticos?
6. Tareas proactivas y frecuencia: ¿Qué se debe hacer para predecir y prevenir las fallas funcionales en los tableros neumáticos?
7. Tareas por omisión: ¿Qué acciones de debe tomar en caso de no hallar tareas pro-activas aplicables en los tableros?

Esto explica el impacto potencial de la falla y plantea otras interrogantes: ¿existe tiempos muertos de trabajo? ¿Se produce menores tiempo de practica experimental? ¿Se ven afectado los componentes? ¿Cuáles serán las consecuencias?

La pregunta sexta y séptima están ligadas directamente los criterios del MCC, y para su respuesta se debe tener en cuenta en análisis causa-raíz, así como algunas alternativas donde una tarea proactiva adecuada no puede encontrarse o no s económicamente factible.

- ¿Cuál es la Severidad del error?
- ¿Qué frecuencia tiene lugar la falla?
- ¿Cuál es la capacidad para detectar el fallo?

5.2 ANÁLISIS DE CRITICIDAD PARA DEDUCIR LOS COMPONENTES MÁS CRÍTICOS EN EL TABLERO COMPONENTE DEL TABLERO

5.2.1 ANÁLISIS DE CRITICIDAD PARA FINALES DE CARRERAS

Tabla 5.1. Frecuencia de Fallas para Finales de Carrera.

| Nivel | Criterio |
|-------|--|
| 4 | Mas de 10 fallas al año (Frecuente). |
| 3 | Entre 3 y 10 fallas al año (Promedio). |
| 2 | Entre 1 y 3 fallas al año (Bueno). |
| 1 | Entre 0 y 1 falla al año (Excelente). |

En la Tabla 5.1, se determina el número de fallas de los finales de carrera que se encuentran en los tableros dando como resultado un nivel promedio.

Tabla 5.2. Impacto operacional para Finales de Carrera.

| Nivel | Impacto Operacional |
|-------|--|
| 5 | Parada inmediata del tablero. Perdidas de rendimiento mayores a 75%. |
| 4 | Parada inmediata de un elemento del tablero. Perdidas de rendimiento entre 50% y 75 %. |
| 3 | Impacta los niveles de calidad. Perdidas de rendimiento entre 25% y 50%. |
| 2 | Repercusión en costos operacionales adicionales asociados a la disponibilidad del equipo. Perdidas de rendimiento entre 10% y 25%. |
| 1 | No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y rendimiento. Perdidas de rendimiento menores a 10%. |

En la Tabla 5.2 se determina las pérdidas de rendimiento de los finales de carrera que se encuentran en los tableros dando como resultado un rendimiento de entre 25% y 50%.

Tabla 5.3. Flexibilidad operacional para finales de carrera.

| Nivel | Flexibilidad Operacional |
|-------|--|
| 3 | No se cuenta con unidades de reserva para cubrir el rendimiento y tiempos de reparación. |
| 2 | Se disponen de unidades de reserva que consiguen mitigar parcialmente el efecto de rendimiento y los periodos de reparación. |
| 1 | Se disponen de unidades de reserva disponibles en tiempo real y plazos de reparación. |

En la Tabla 5.3 se observa que se cuentan con unidades de reserva para poder mantener el rendimiento en caso de posibles tiempos de reparación.

Tabla 5.4. Impacto en seguridad y medio ambiente.

| Nivel | Impacto en seguridad y Medio Ambiente. |
|-------|--|
| 4 | Oportunidad elevada de pérdida de vida, daños severos a la salud de los empleados, sucesos ambientales catastróficos. |
| 3 | Riesgos significativos de pérdida de vida, perjuicios significativos a la salud, sucesos ambientales de compleja recuperación. |
| 2 | Riesgos mínimos de pérdidas de vida, afectaciones a la salud, incidentes ambientales controlables. |
| 1 | No provoca ningún daño a las personas, ni al ambiente. |

En la Tabla 5.4 se puede observar un minio de impacto en cuanto a riesgos de pérdidas de vida, afectaciones a la salud e incidentes ambientales

Tabla 5.5. Calculo IPR para los finales de carrera.

FRECUENCIA.

| | | | | |
|---|---|---|---|----|
| 4 | | | | |
| 3 | | | | |
| 2 | | | | |
| 1 | | | | |
| | 1 | 3 | 7 | 10 |

CONSECUENCIAS

En la Tabla 5.5 se determina el cálculo IPR el cual da como resultado que el final de carrera se encuentra con un $7 < IPR < 36$ de acuerdo al criterio de semaforización, siendo una pieza crítica dentro de los componentes que conforman los tableros.

5.2.2 ANÁLISIS DE CRITICIDAD PARA CONEXIONES EN TEE

Tabla 5.6. Criterio de fallas en conexiones TEE

| Nivel | Criterio |
|-------|--|
| 4 | Mas de 10 fallas al año (Frecuente). |
| 3 | Entre 3 y 10 fallas al año (Promedio). |
| 2 | Entre 1 y 3 fallas al año (Bueno). |
| 1 | Entre 0 y 1 falla al año (Excelente). |

En la Tabla 5.6 se determina el número de fallas en las conexiones en TEE, que se encuentran en los tableros dando como resultado un nivel promedio con fallas al año de entre 3 y 10.

Tabla 5.7. Pérdidas de rendimiento para conexiones en TEE.

| Nivel | Impacto Operacional |
|-------|--|
| 5 | Parada inmediata del tablero. Pérdidas de rendimiento mayores a 75%. |
| 4 | Parada inmediata de un elemento del tablero. Pérdidas de rendimiento entre 50% y 75 %. |
| 3 | Impacta los niveles de calidad. Pérdidas de rendimiento entre 25% y 50%. |
| 2 | Repercusión en costos operacionales adicionales asociados a la disponibilidad del equipo. Pérdidas de rendimiento entre 10% y 25%. |
| 1 | No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y rendimiento. Pérdidas de rendimiento menores a 10%. |

En la Tabla 5.7, se determina las pérdidas de rendimiento de las conexiones en TEE que se encuentran en los tableros dando como resultado un rendimiento de entre 50% y 75%.

Tabla 5.8. Flexibilidad operacional para conexiones en TEE.

| Nivel | Flexibilidad Operacional |
|-------|--|
| 3 | No se cuenta con unidades de reserva para cubrir el rendimiento y tiempos de reparación. |
| 2 | Se disponen de unidades de reserva que consiguen mitigar parcialmente el efecto de rendimiento y los periodos de reparación. |
| 1 | Se disponen de unidades de reserva disponibles en tiempo real y plazos de reparación. |

En la Tabla 5.8, se observa que no se cuenta con unidades de reserva para poder mantener el rendimiento en caso de posibles tiempos de reparación.

Tabla 5.9. Impacto en seguridad y medio ambiente para conexiones en TEE.

| Nivel | Impacto en seguridad y Medio Ambiente. |
|-------|--|
| 4 | Oportunidad elevada de pérdida de vida, daños severos a la salud de los empleados, sucesos ambientales catastróficos. |
| 3 | Riesgos significativos de pérdida de vida, perjuicios significativos a la salud, sucesos ambientales de compleja recuperación. |
| 2 | Riesgos mínimos de pérdidas de vida, afectaciones a la salud, incidentes ambientales controlables. |
| 1 | No provoca ningún daño a las personas, ni al ambiente. |

En la Tabla 5.9 se puede observar un mínimo de impacto en cuanto a riesgos de pérdidas de vida, afectaciones a la salud e incidentes ambientales.

Tabla 5.10. Calculo IPR para conexiones en TEE.

FRECUENCIA.

| | | | | |
|---|---|---|---|----|
| 4 | | | | |
| 3 | | | | |
| 2 | | | | |
| 1 | | | | |
| | 1 | 3 | 7 | 10 |

CONSECUENCIAS

En la Tabla 5.10 se determina el cálculo IPR el cual da como resultado que las conexiones en TEE se encuentran con un $7 < IPR < 36$ de acuerdo al criterio de semaforización, siendo una pieza crítica dentro de los componentes que conforman los tableros.

5.2.3 ANÁLISIS DE CRITICIDAD PARA ELECTROVÁLVULAS

Tabla 5.11. Frecuencia de fallas para las electroválvulas.

| Nivel | Criterio |
|-------|--|
| 4 | Mas de 10 fallas al año (Frecuente). |
| 3 | Entre 3 y 10 fallas al año (Promedio). |
| 2 | Entre 1 y 3 fallas al año (Bueno). |
| 1 | Entre 0 y 1 falla al año (Excelente). |

En la tabla 5.11, se determina el número de fallas en las Electroválvulas, misma que se encuentran en los tableros dando como resultado un nivel bueno con fallas al año menores a 3.

Tabla 5.12. Impacto operacional para las electroválvulas.

| Nivel | Impacto Operacional |
|-------|--|
| 5 | Parada inmediata del tablero. Perdidas de rendimiento mayores a 75%. |
| 4 | Parada inmediata de un elemento del tablero. Perdidas de rendimiento entre 50% y 75 %. |
| 3 | Impacta los niveles de calidad. Perdidas de rendimiento entre 25% y 50%. |
| 2 | Repercusión en costos operacionales adicionales asociados a la disponibilidad del equipo. Perdidas de rendimiento entre 10% y 25%. |
| 1 | No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y rendimiento. Perdidas de rendimiento menores a 10%. |

En la tabla 5.12, se determina las pérdidas de rendimiento en las electroválvulas que se encuentran en los tableros dando como resultado un rendimiento de entre 90 % o más.

Tabla 5.13. Flexibilidad operacional para las electroválvulas.

| Nivel | Flexibilidad Operacional |
|-------|--|
| 3 | No se cuenta con unidades de reserva para cubrir el rendimiento y tiempos de reparación. |
| 2 | Se disponen de unidades de reserva que consiguen mitigar parcialmente el efecto de rendimiento y los periodos de reparación. |
| 1 | Se disponen de unidades de reserva disponibles en tiempo real y plazos de reparación. |

En la Tabla 5.13, se observa que se cuenta con unidades de reserva para poder mantener el rendimiento en caso de posibles tiempos de reparación.

Tabla 5.14. Impacto en seguridad y medio ambiente para las electroválvulas.

| Nivel | Impacto en seguridad y Medio Ambiente. |
|-------|--|
| 4 | Oportunidad elevada de pérdida de vida, daños severos a la salud de los empleados, sucesos ambientales catastróficos. |
| 3 | Riesgos significativos de pérdida de vida, perjuicios significativos a la salud, sucesos ambientales de compleja recuperación. |
| 2 | Riesgos mínimos de pérdidas de vida, afectaciones a la salud, incidentes ambientales controlables. |
| 1 | No provoca ningún daño a las personas, ni al ambiente. |

En la tabla 5.14, se puede observar que no provoca ningún impacto en cuanto a riesgos de pérdidas de vida, afectaciones a la salud e incidentes ambientales.

Tabla 5.15. Cálculo IPR para las electroválvulas.

FRECUENCIA.

| | | | | |
|---|---|---|---|----|
| 4 | | | | |
| 3 | | | | |
| 2 | | | | |
| 1 | | | | |
| | 1 | 3 | 7 | 10 |

CONSECUENCIAS

En la Tabla 5.15, se determina el cálculo IPR el cual da como resultado que las Electroválvulas se encuentran con un $IPR < 7$ de acuerdo al criterio de semaforización, siendo una pieza no crítica dentro de los componentes que conforman los tableros.

5.2.4 ANÁLISIS DE CRITICIDAD PARA CILINDROS NEUMÁTICOS

Tabla 5.16. Frecuencia de fallas para cilindros neumáticos.

| Nivel | Criterio |
|-------|--|
| 4 | Mas de 10 fallas al año (Frecuente). |
| 3 | Entre 3 y 10 fallas al año (Promedio). |
| 2 | Entre 1 y 3 fallas al año (Bueno). |
| 1 | Entre 0 y 1 falla al año (Excelente). |

En la Tabla 5.16, se determina el número de fallas en los cilindros, mismos que se encuentran en los tableros dando como resultado un nivel excelente con fallas al año de entre 0 y 1.

Tabla 5.17. Impacto operacional para los cilindros neumáticos.

| Nivel | Impacto Operacional |
|-------|--|
| 5 | Parada inmediata del tablero. Perdidas de rendimiento mayores a 75%. |
| 4 | Parada inmediata de un elemento del tablero. Perdidas de rendimiento entre 50% y 75 %. |
| 3 | Impacta los niveles de calidad. Perdidas de rendimiento entre 25% y 50%. |
| 2 | Repercusión en costos operacionales adicionales asociados a la disponibilidad del equipo. Perdidas de rendimiento entre 10% y 25%. |
| 1 | No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y rendimiento. Perdidas de rendimiento menores a 10%. |

En la Tabla 5.17, se determina las pérdidas de rendimiento en los cilindros neumáticos que se encuentran en los tableros dando como resultado un rendimiento mayor de 90 %.

Tabla 5.18. Flexibilidad operacional para los cilindros neumáticos.

| Nivel | Flexibilidad Operacional |
|-------|--|
| 3 | No se cuenta con unidades de reserva para cubrir el rendimiento y tiempos de reparación. |
| 2 | Se disponen de unidades de reserva que consiguen mitigar parcialmente el efecto de rendimiento y los periodos de reparación. |
| 1 | Se disponen de unidades de reserva disponibles en tiempo real y plazos de reparación. |

En la Tabla 5.18, se observa que se cuenta con unidades de reserva para poder mantener el rendimiento en caso de posibles tiempos de reparación.

Tabla 5.19. Impacto en seguridad y medio ambiente para los cilindros neumáticos.

| Nivel | Impacto en seguridad y Medio Ambiente. |
|-------|--|
| 4 | Oportunidad elevada de pérdida de vida, daños severos a la salud de los empleados, sucesos ambientales catastróficos. |
| 3 | Riesgos significativos de pérdida de vida, perjuicios significativos a la salud, sucesos ambientales de compleja recuperación. |
| 2 | Riesgos mínimos de pérdidas de vida, afectaciones a la salud, incidentes ambientales controlables. |
| 1 | No provoca ningún daño a las personas, ni al ambiente. |

En la tabla 5,19, se puede observar que provoca un impacto mínimo en cuanto a riesgos de pérdidas de vida, afectaciones a la salud e incidentes ambientales.

Tabla 5.20. Cálculo IPR para los cilindros neumáticos

FRECUENCIA.

| | | | | |
|---|---|---|---|----|
| 4 | | | | |
| 3 | | | | |
| 2 | | | | |
| 1 | | | | |
| | 1 | 3 | 7 | 10 |

CONSECUENCIAS

En la Tabla 5.20, se determina el cálculo IPR el cual da como resultado que los cilindros neumáticos se encuentran con un IPR < 7 de acuerdo al criterio de semaforización, siendo una pieza no crítica dentro de los componentes que conforman los tableros.

5.3 TOMA DE DECISIONES A PARTIR DEL CÁLCULO IPR

Calculado el IPR, se deben desarrollar planes de acciones para eliminar o corregir el problema.

La teoría del MCC, hace uso de un diagrama genealógico para determinar el modo de proceder con respectos a lo posibles escenarios de fallas, donde existen cinco alternativas posibles:

- Aceptar el riesgo de la falla
- Instalar unidades redundantes
- Definir actividades de Mantenimiento Preventivo
- Programar actividades de Mantenimiento Predictivo
- Proponer rediseño del sistema

5.3.1 ACEPTACIÓN DEL RIESGO DE LA FALLA

Se considera el riesgo de la falla y se analiza la posibilidad de realizar un monitoreo continuo del sistema, la decisión tomada en el caso de los tableros neumáticos: En el caso de los tableros neumáticos se debe aplicar el mismo criterio aquí descrito [29].

5.4 ANÁLISIS TÉCNICO

5.4.1 CÁLCULO DEL TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN (MTTR)

A continuación, se procede hacer el cálculo del MTTR tomando en cuenta las fallas de los elementos críticos de los módulos neumáticos.

Tabla 5.21. Tabla de relación del número de días no laborados

| Días Festivos | Número de Días |
|---------------------|----------------|
| Sábados y Domingos | 104 |
| Vacaciones | 60 |
| Festivos Nacionales | 9 |
| Festivos Locales | 2 |
| Otros | 4 |
| TOTAL | 179 |

En la tabla 5.21. se puede observar la relación del número de días no laborados que se deben tener en cuenta para calcular el MTTR Y MTBF.

$$MTTR_{12 \text{ meses}} = \frac{(3 \text{ fallas} * \text{hora}) + (3 \text{ fallas} * 2 \text{ horas}) + (13 \text{ fallas} * 3 \text{ horas}) + (24 \text{ fallas} * 4 \text{ horas})}{43 \text{ fallas}}$$

$$MTTR_{12 \text{ meses}} = \frac{3 \text{ horas} + 6 \text{ horas} + 39 \text{ horas} + 96 \text{ horas}}{43 \text{ fallas}}$$

$$MTTR_{12 \text{ meses}} = \frac{144 \text{ horas}}{43 \text{ fallas}}$$

$$MTTR_{12 \text{ meses}} = 3,34 \text{ horas}$$

5.4.1.1 CÁLCULO DEL TIEMPO MEDIO ENTRE FALLOS (MTBF)

A continuación, se procede hacer el cálculo del MTBF tomando en cuenta las de trabajo de los activos de los tableros.

$$\text{MTBF}_{12 \text{ meses}} = \frac{365 \text{ dias} - 179 \text{ dias}}{43 \text{ fallas}} \quad \text{Ecuación (5.1)}$$

$$\text{MTBF}_{12 \text{ meses}} = 4,32 \text{ dias}$$

$$\text{MTBF}_{12 \text{ meses}} = 103.81 \text{ horas}$$

A continuación, se procede hacer el cálculo de la confiabilidad.

$$\text{Confiabilidad} = \frac{40 \text{ piezas que no fallaron}}{56 \text{ piezas totales}} \quad \text{Ecuación (5.3)}$$

$$\text{Confiabilidad antes del MCC} = 0.71 = 71\%$$

$$\text{Confiabilidad} = \frac{48 \text{ piezas que no fallaron}}{56 \text{ piezas totales}}$$

$$\text{Confiabilidad despues del MCC} = 0.85 = 85\%$$

La variación de confiabilidad de los equipos antes y después del MCC es de un 14%.

Disponibilidad:

$$-A_{12 \text{ meses}} = \frac{T_{\text{calendario}} - \text{Paradas}}{T_{\text{calendario}}}$$

$$-A_{12 \text{ meses}} = \frac{103.81 - 3.31}{103.81}$$

$$-A_{12 \text{ meses}} = 0,96 \%$$

La disponibilidad de los módulos neumáticos después del MCC es de un 96%

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Los Sistemas de Mantenimiento Centrados en Confiabilidad se sustentan en dos normativas: La norma internacional ISO 17359 que proporciona las directrices de procedimientos que se toman en cuenta al establecer un programa de monitoreo y la norma ecuatoriana SAE JA 1011 que son los criterios de evaluación de procesos de mantenimiento centrado en confiabilidad.
- El Análisis de Criticidad determina las piezas críticas dentro de los módulos neumáticos, permitiendo que se establezca la prioridad de las tareas en el software y que el mismo prevea posibles fallas, de esta forma se dictamina periódicamente acciones de mantenimiento, haciendo que la disponibilidad actual de los módulos este en un 96%.
- Antes de la aplicación del MCC se tenía una confiabilidad en los módulos de un 71% y después de aplicarlo la confiabilidad aumento a un 85% dando como resultado una variación de un 14%.

6.2 RECOMENDACIONES

- La implementación de un Análisis de Criticidad periódico (AC), como parte de acciones de mantenimiento cotidianas, para la actualización constantemente de los equipos en caso de que ingresen nuevos o se repotencien los ya existentes.
- Monitoreo de Indicadores de Desempeño: Evaluar métricas clave como MTTR (Tiempo Medio de Reparación) y disponibilidad operativa para medir la efectividad del software a largo plazo.
- El software realizado está expuesto a actualizaciones continuas de momento se entrega con un solo administrador, el mismo que se encarga de realizar todos los procesos tanto de ingreso tareas, mantenimiento y verificación del cumplimiento del mismo, dependiendo de las necesidades se incrementaran usuarios con la finalidad de que estos puedan realizar trabajos concretos.

7 REFERENCIAS

- [1] A. C. M. Carlos Alberto Parra Márquez, Ingeniería de mantenimiento y confiabilidad., vol. 1, INGEMAN, Ed., 2012, p. 260.
- [2] J. E. C. Prieto, «Fundamentos,» de *Mantenimiento Industrial*, 2024, p. 269.
- [3] M. T. Martínez, Libro de Mantenimiento, 2018.
- [4] J. Moubray, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, California, 2004, p. 450.
- [5] J. Moubray, «MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD,» *Aladon*, p. 16, 2021.
- [6] N. B. Bloom., Reliability Centered Maintenance, Primera ed., McGraw-Hill Education, 2005.
- [7] K. A. M. Quispe, «MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM),» Cusco.
- [8] Predictiva 21, «Las Siete Preguntas Básicas del MCC,» *Predictiva 21*, 3 Noviembre 2021.
- [9] A. N. F. John Moubraay, «MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD,» 2021.
- [10] J. C. G. Peralta, «PROGRAMA DE MANTENIMIENTO BASADO EN RCM,» Bucaramanga, 2004.
- [11] J. Moubray, Reliability-centred Maintenance, vol. 3, California: Aladon LLC, 2004, p. 450.
- [12] Z. Castillo, «Análisis Causa Raíz,» 2025.
- [13] A. E. p. I. Calidad, «AMFE,» *QAEC*, 1 Abril 2024.
- [14] SafetyCulture, «SafetyCulture,» 2014.
- [15] R. Chan, «La guía definitiva para crear un programa de mantenimiento centrado en la confiabilidad en sus instalaciones,» 2019.
- [16] J. R. Viloría, Tecnología y circuitos de Aplicación de Neumática, Hidráulica y Electricidad., Madrid , 2012.
- [17] J. A. L. M. A. L. M. Á. J. C. F. Marta Gómez Galán, Manual de presentaciones de Neumática y Oleohidráulica para el grado de ingeniero mecánico., Universidad de Almería, 2020, p. 84.
- [18] J. R. A. C. John Hyde, CONTROL ELECTRONEUMÁTICO Y ELECTRÓNICO, Barcelona, 1997, p. 69.
- [19] J. G. Rendón, «Reguladores de Presión,» 2006.
- [20] L. M. C. Filiu, AUTOMATISMOS NEUMÁTICOS E HIDRÁULICOS, Madrid, 2018, p. 241.
- [21] A. E. d. F. d. T. y. A. Plásticos, «Tuberías de Polietileno,» p. 402.
- [22] M. Á. Pulido, Controladores Lógicos, Barcelona: MARCOMBO SA, 2023, p. 309.
- [23] R. G. Duque, «Python para todos».

- [24] G. T. E. M. T. V. R. T. E. Omar Campo López, «redalyc,» 2018.
- [25] A. M. Gutiérrez, Mantenimiento, planeación, ejecución y control, primera ed., A. G. Editor, Ed., México, 2009.
- [26] M. E. E. E. A. Zulma Ortiz, El Análisis Causa-Raíz (ACR), U. Argentina, Ed., Argentina, 2011, p. 112.
- [27] S. G. Garrido, Organización y gestión integral de mantenimiento, madrid, españa: Díaz Santos, S. A., 2023, p. 293.
- [28] J. S. N. Valenzuela, PYTHON Y DJANGO, 1 ed., ra-ma, 2021, p. 518.
- [29] R. A. C. Margarita Piedra Díaz, LAS VIBRACIONES MECÁNICAS Y SU APLICACIÓN AL MANTENIMIENTO PREDICTIVO, La Habana, 2000, p. 193.
- [30] Admin, «Structuralia - Blog y noticias sobre ingeniería,» 2025.
- [31] Brandiyun, «refacciones industriales,» 2021.
- [32] A. Mendizanal, 2022.
- [33] Extremadura Empresarial, Extremadura Empresarial, 2023.
- [34] A. C. M. Carlos Alberto Parra Márquez, Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos, INGEMAN, Ed., Sevilla, 2012, p. 189.
- [35] A. R. J. D. C. Salih O. Duffuaa, Sistemas de mantenimiento, Limusa, Ed., 2002, p. 418.