



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

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CONTROL PARA EL
MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LA
INDUSTRIA PAPELERA IPMATOA&H CON TECNOLOGÍA DE MANTENIMIENTO
ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAM).**

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

AUTORES:

Amalia Nataly Calo Guamani
Kevin Patricio Pilco Caizaluisa

TUTOR:

Ing. Cristian Eugenio MSc.

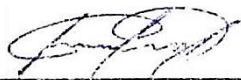
LATACUNGA, AGOSTO 2025

DECLARACIÓN DE AUDITORIA

Nosotros, Calo Guamani Amalia Nataly y Pilco Caizaluisa Kevin Patricio con número de cédula 0504148628, y, con número de cédula, 1726305145 declaramos ser autores del presente proyecto tecnológico: **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CONTROL PARA EL MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LA INDUSTRIA PAPELERA IPMATOA&H CON TECNOLOGÍA DE MANTENIMIENTO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAM).”**, siendo el Ing. Cristian Eugenio MSc., tutor del presente trabajo tecnológico; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

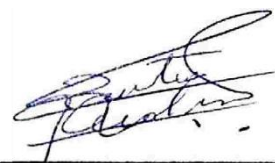
Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, agosto del 2025



Calo Guamani Amalia Nataly

C.C. 0504148628



Pilco Caizaluisa Kevin Patricio

C.C. 1726305145

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo Tecnológico sobre el título: **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CONTROL PARA EL MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LA INDUSTRIA PAPELERA IPMATOA&H CON TECNOLOGÍA DE MANTENIMIENTO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAM).”**, de Calo Guamani Amalia Nataly y Pilco Caizaluisa Kevin Patricio, de la carrera de Ingeniería Industrial, considero que dicho Informe de Proyecto de Investigación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto 2025.



Ing. Cristian Eugenio MSc.
C.C. 1723727473
TUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN


En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Proyecto Tecnológico 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, el o los postulantes Calo Guamani Amalia Nataly y Pilco Caizaluisa Kevin Patricio, con el título de Proyecto de titulación:

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CONTROL PARA EL MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LA INDUSTRIA PAPELERA IPMATOA&H CON TECNOLOGÍA DE MANTENIMIENTO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAM).”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, agosto del 2025.

Para constancia firman:



Ing. Ángel Hidalgo MSc.
CC: 0503257404

LECTOR 1 (PRESIDENTE)

Atentamente,



Ing. Diana Marín MSc.
CC: 1204144503

LECTOR 2 (MIEMBRO)



Ing. Josué Constante MSc.
CC: 0502034564
LECTOR 3 (MIEMBRO)



CERTIFICADO

Latacunga, agosto 2025

Quien suscribe el Gerente General de la Industria Papelera "IPMATOAH S.A.S.", " Ing. IZA TOAPANTA ROBINSON EDUARDO con C.I. 1721465423, luego de revisar los archivos correspondientes que reposan en la oficina a mi cargo. Certifica que: la señorita Calo Guamani Amalia Nataly con C.I. 0504148628 y el señor Pilco Caizaluisa Kevin Patricio con C.I. 1726305145, estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Técnica de Cotopaxi, se encuentran desarrollando el proyecto con el tema "DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CONTROL PARA EL MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LA INDUSTRIA PAPELERA IPMATOAH & H CON TECNOLOGÍA DE MANTENIMIENTO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAM)".

LO CERTIFICO:

IPMATOAH S.A.S.

Robinson Eduardo Iza Toapanta

CI: 1721465423

GERENTE GENERAL

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios por darme fortaleza, guía y oportunidades para crecer como persona y profesional en cada paso de este camino.

A mis padres, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios incansables, que me han enseñado que el esfuerzo y la dedicación siempre dan frutos. Cada logro que he alcanzado es gracias a su guía, paciencia y ejemplo. Y a mis herman@s, por ser mi apoyo, mi motivación y mis compañeros en esta aventura de vida.

A mi tutor de tesis, por su paciencia, sabiduría y dedicación al orientarme en este proyecto y a todos los ingenieros que impartieron clases durante mi formación profesional, expreso mi sincero agradecimiento por los conocimientos transmitidos y por su contribución fundamental a mi desarrollo personal y académico a lo largo de estos años de estudio.

Muchas gracias, de todo corazón, a todos ustedes.

Amalia C.

AGRADECIMIENTO

Con gran devoción agradezco a Dios y la madre Santísima del Cisne, por brindarme fortaleza, guía y las oportunidades que han moldeado mi camino, permitiéndome crecer como persona y profesional en cada paso de esta travesía.

A mi madre, mi pilar inquebrantable, cuyo amor incondicional, sacrificios y apoyo constante han sido la base de cada uno de mis logros, junto a mis hermanas, mis compañeras de vida, por ser mi refugio, mi motivación y mi fuerza. Su cariño y apoyo incondicional han hecho que cada desafío sea más llevadero y cada victoria más significativa.

A mi amiga especial, por su lealtad, aliento y presencia inestimable en los momentos más importantes. Tu compañía ha sido un regalo invaluable en este recorrido.

A todos los ingenieros y docentes que han contribuido a mi formación profesional, mi más profundo agradecimiento por los conocimientos compartidos y por su impacto en mi desarrollo académico y personal, especialmente a mi tutor de tesis, por su paciencia, sabiduría y orientación, que han sido fundamentales para la culminación de este proyecto.

Kevin C.

DEDICATORIA

Este proyecto de tesis de investigación se lo dedico principalmente a Dios, por iluminar mi camino y darme la fuerza para superar cada desafío.

A mis padres que siempre estuvieron en todo momento brindándome apoyo moral y confianza absoluta en mi potencial y siendo mi mayor ejemplo a seguir. Siempre han velado por mi bienestar y educación, confiando plenamente en mi inteligencia y capacidad ante cada desafío. También a mis herman@s, por su apoyo constante durante mi carrera profesional.

Amalia C.

DEDICATORIA

El proyecto de investigación se lo dedico principalmente a Dios y la madre Santísima del Cisne por estar en mi camino y día tras día darme la fuerza y fortaleza para enfrentarme a los obstáculos que se ha presentado en esta travesía académica y personal.

A mi madre, mi mayor ejemplo a seguir, quien con su apoyo y confianza absoluta en mi potencial ha velado incansablemente noche y día por mi bienestar y educación. Tu fe en mi inteligencia y capacidad ha sido el motor de cada uno de mis logros que compartiremos juntos y celebraremos en compañía de mis hermanas y sobrin@s.

Kevin C.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TEMA: “DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CONTROL PARA EL MANTENIMIENTO DE LOS EQUIPOS DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE LA INDUSTRIA PAPELERA IPMATOA&H CON TECNOLOGÍA DE MANTENIMIENTO ASISTIDO POR COMPUTADORA (CAM).”

Autores:

Calo Guamani Amalia Nataly

Pilco Caizaluisa Kevin Patricio

RESUMEN

El presente proyecto de investigación tuvo por objeto el Diseño de un Sistema de Gestión de Mantenimiento Asistido por Computadora (CAM) para optimizar los procesos preventivos y correctivos de los equipos clave en el área de producción de la industria papelera IPMATOA&H, con el fin de reducir el tiempo medio de reparación (MTTR) y aumentar la disponibilidad de los equipos, debido a que la gestión manual e ineficiente del mantenimiento generaba paros no planificados, pérdidas económicas y retrasos en la producción. La metodología empleada incluyó un diagnóstico inicial mediante observación directa, entrevistas semiestructuradas a operarios y análisis de criticidad basado en las normas SAE JA1011 y JA1012, junto con el Análisis de Modos y Efectos de Fallo (AMEF), mientras que la selección del software Odoó se realizó mediante una matriz de criterios ponderados, evaluando funcionalidad, accesibilidad y costo, lo que permitió implementar módulos de órdenes de trabajo, plan maestro y mantenimiento preventivo. Los resultados demostraron una mejora significativa: la disponibilidad de los equipos críticos (bobinadora y cortadora) aumentó de 91.7% a 99.2%, recuperando 9 horas mensuales de tiempo productivo por equipo, y el MTTR se redujo en 17.4% (bobinadora) y 21.4% (cortadora). Se concluye que el sistema CAM implementado optimizó los procesos de mantenimiento, redujo significativamente los tiempos de inactividad y fortaleció la competitividad de la empresa IPMATOA&H.

Palabras claves: Industria papelera, Disponibilidad, MTTR, Odoó, Sistema CAM.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TOPIC: “DESIGN OF A CONTROL MANAGEMENT SYSTEM FOR THE MAINTENANCE OF EQUIPMENT IN THE PRODUCTION AREA OF THE IPMATOA&H PAPER INDUSTRY WITH COMPUTER-AIDED MAINTENANCE (CAM) TECHNOLOGY.”

Authors:

Calo Guamani Amalia Nataly

Pilco Caizaluisa Kevin Patricio

ABSTRACT

The objective of this research project was to design a Computer-Aided Maintenance (CAM) management system to optimize preventive and corrective processes for key equipment in the production area of the IPMATOA&H paper industry, with the aim of reducing the mean time to repair (MTTR) and increasing equipment availability, as manual and inefficient maintenance management was causing unplanned downtime, economic losses, and production delays. The methodology employed included an initial diagnosis through direct observation, semi-structured interviews with operators, and criticality analysis based on SAE JA1011 and JA1012 standards, along with Failure Mode and Effects Analysis (FMEA). The selection of Odoo software was made using a weighted criteria matrix, evaluating functionality, accessibility, and cost, which allowed for the implementation of work order, master plan, and preventive maintenance modules. The results showed a significant improvement: the availability of critical equipment (winder and cutter) increased from 91.7% to 99.2%, recovering 9 hours of productive time per month per piece of equipment, and the MTTR was reduced by 17.4% for the winder and 21.4% for the cutter. It is concluded that the implemented CAM system optimized maintenance processes, significantly reduced downtime, and strengthened the competitiveness of the IPMATOA&H company.

Keywords: Paper industry, Availability, MTTR, Odoo, CAM system.

ÍNDICE

| | |
|--|-----|
| DECLARACIÓN DE AUDITORIA | i |
| AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN | ii |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN | iii |
| <i>AGRADECIMIENTO</i> | v |
| <i>DEDICATORIA</i> | vii |
| RESUMEN | ix |
| ABSTRACT | x |
| 1. INFORMACIÓN GENERAL | 1 |
| 2. INTRODUCCIÓN | 2 |
| 2.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA | 3 |
| 2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | 4 |
| 2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCION | 4 |
| 2.3.1. Objeto de estudio | 4 |
| 2.3.2. Campo de acción | 4 |
| 2.4. BENEFICIARIOS | 4 |
| 2.4.1. Beneficiarios directos | 5 |
| 2.4.2. Beneficiarios indirectos | 5 |
| 2.4.3. Hipótesis..... | 5 |
| 2.5. JUSTIFICACIÓN..... | 5 |
| 2.6. OBJETIVOS | 6 |
| 2.6.1. Objetivo general | 6 |
| 2.6.2. Objetivos específicos | 7 |
| 2.7. SISTEMAS DE TAREAS | 7 |
| 3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA | 10 |
| 3.1. TEMÁTICA AMPLIA | 10 |
| 3.1.1. Antecedentes | 10 |
| 3.1.2. Estado del arte | 11 |
| 3.1.3. Marco referencial..... | 12 |
| 3.2. TEMÁTICA ESPECÍFICA..... | 20 |
| 3.2.1. Normas para el Análisis de Criticidad en el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad | 20 |

| | | |
|---------|---|----|
| 3.2.2. | Análisis de criticidad | 21 |
| 3.2.3. | Criterios de evaluación: | 21 |
| 3.2.4. | Recopilación de datos: | 23 |
| 3.2.5. | Análisis y cálculo de la criticidad:..... | 23 |
| 3.2.6. | Jerarquización y clasificación: | 23 |
| 3.2.7. | Resultados y acciones: | 23 |
| 3.2.8. | Análisis modal de fallos y efectos (AMFE)..... | 23 |
| 3.2.9. | Plan maestro de mantenimiento | 24 |
| 3.2.10. | Ordenes de trabajo | 25 |
| 3.2.10. | Inventarios de los repuestos e insumos | 26 |
| 3.2.11. | Indicadores clave de desempeño (KPIS)..... | 26 |
| 3.2.12. | El Retorno sobre la Inversión (ROI) en mantenimiento | 28 |
| 4. | MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS | 29 |
| 4.1. | METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN | 29 |
| 4.2. | INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA | 30 |
| 4.3. | INFORMACIÓN DE LA MAQUINARIA | 31 |
| 4.4. | LEVANTAMIENTO DEL PROCESO DE CONVERSIÓN DEL PAPEL HIGIÉNICO..... | 37 |
| 4.5. | FLUJOGRAMA DEL PROCESO | 37 |
| 4.6. | LAYOUT | 40 |
| 4.7. | CÓDIGOS IMPLEMENTADOS EN IPMATOA&H..... | 42 |
| 4.8. | FICHAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS | 43 |
| 4.9. | EVALUACIÓN DE CRITICIDAD DE LA MAQUINARIA | 43 |
| 4.10. | EVALUACIÓN DEL AMEF DE LOS EQUIPOS | 43 |
| 4.11. | ORDENES DE TRABAJO, RUTAS E INSPECCIONES | 44 |
| 4.12. | PLAN MAESTRO DE MANTENIMIENTO | 45 |
| 4.13. | RENDIMIENTO KPI | 45 |
| 4.14. | EVALUACION DEL PERSONAL | 46 |
| 4.15. | ORDENES DE MANTENIMEINTO | 46 |
| 4.16. | SELECCIÓN DEL PROGRAMA..... | 46 |
| 4.17. | INGRESO DE DATOS AL PROGRAMA..... | 47 |
| 4.18. | CAPACITACION DEL PERSONAL | 48 |
| 4.19. | ANÁLISIS DE RETORNO SOBRE LA INVERSIÓN (ROI)..... | 48 |
| 5. | ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS | 49 |
| 5.1. | EVALUACIÓN DE PROCESOS ACTUALES Y ANÁLISIS DE CRITICIDAD | 49 |

| | | |
|---------|---|----|
| 5.2. | VISITA IN SITU..... | 50 |
| 5.3. | ENCUESTA PERSONAL..... | 50 |
| 5.4. | FICHAS TÉCNICAS | 51 |
| 5.5. | PLAN MAESTRO DE MANTENIMIENTO..... | 53 |
| 5.6. | ÓRDENES DE TRABAJO..... | 57 |
| 5.7. | CÓDIGO DE RUTA E INSPECCIONES..... | 58 |
| 5.8. | ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y AMEF:..... | 60 |
| 5.8.1. | Análisis de criticidad | 60 |
| 5.8.2. | Análisis por equipo..... | 60 |
| 5.9. | ANÁLISIS DEL AMEF DE LA MAQUINARIA..... | 62 |
| 5.10. | TABULACIÓN DE RESULTADOS DE CRITICIDAD Y AMEF..... | 63 |
| 5.11. | SELECCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE CAM..... | 64 |
| 5.11.1. | Ingreso de datos..... | 65 |
| 5.12.2. | Tasa de completitud de datos ingresados en Odoos..... | 66 |
| 5.12. | EVALUACIÓN DE KPIs..... | 67 |
| 5.13. | CAPACITACIÓN DEL PERSONAL..... | 68 |
| 5.14. | ANÁLISIS ROI..... | 69 |
| 6. | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 71 |
| 7. | REFERENCIAS | 72 |
| 8. | ANEXO..... | |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 2.1. Diagnóstico Actual de Mantenimiento | 3 |
| Tabla 2.2. Beneficiarios directos | 5 |
| Tabla 2.3. Beneficiarios indirectos | 5 |
| Tabla 2.4. Sistema de actividades (A)..... | 7 |
| Tabla 3.1. Criterios de evaluación | 22 |
| Tabla 3.2. Indicadores clave de desempeño (KPIS) | 27 |
| Tabla 3.3. Tipos de indicadores ROI en la gestión de mantenimiento | 29 |
| Tabla 4.1. Información de los productos..... | 31 |
| Tabla 4.2. Codificación de los equipos | 42 |
| Tabla 4.3. Codificación asignada a los equipos..... | 42 |
| Tabla 4.4. Criterios cualitativos..... | 47 |
| Tabla 5.1 Resultados de la encuesta personal | 50 |
| Tabla 5.2. Código de rutas e inspecciones | 58 |
| Tabla 5.3. Matriz de Criticidad de Equipos..... | 60 |
| Tabla 5.4. Analisis AMFE..... | 62 |
| Tabla 5.5. Tabulacion de resultados de criticidad y AMEF..... | 64 |
| Tabla 5.6. Matriz de criterios ponderados..... | 65 |
| Tabla 5.7. Evaluación de disponibilidad y MTTR | 67 |
| Tabla 5.8. Costos de inversión..... | 69 |
| Tabla 5.9. Beneficios estimados tras la implementación del software Odoo..... | 70 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 2.1. Diagrama de Ishikawa | 6 |
| Figura 3.1. Diagrama del mantenimiento preventivo | 16 |
| Figura 3.2. Diagrama del mantenimiento correctivo | 17 |
| Figura 3.3. Formato de la ficha técnica..... | 18 |
| Figura 3.4. Estructura de codificación[21] | 19 |
| Figura 3.5. Estructura del plan maestro de mantenimiento | 24 |
| Figura 3.6. Estructura de las ordenes de trabajo | 26 |
| Figura 4.1. Bobinadora de papel (Jumbera industrial)..... | 32 |
| Figura 4.2. Cortadora de papel | 33 |
| Figura 4.3. Selladora de fundas | 34 |
| Figura 4.4. Túnel refractario (horno) | 35 |
| Figura 4.5. Tubera artesanal | 36 |
| Figura 4.6. Mapa de proceso | 37 |
| Figura 4.7. Flujograma del proceso | 39 |
| Figura 4.8. Layout de la empresa..... | 41 |
| Figura 4.9. Análisis de moda de fallas y efectos | 44 |
| Figura 5.1. Ficha técnica de la bobinadora..... | 52 |
| Figura 5.2. Ordenes de trabajo diario..... | 59 |
| Figura 5.3. Tasa de completitud de datos ingresados en Odo | 66 |
| Figura 5.4. Comparativa de los conocimientos antes y después de la capacitación | 68 |

1. INFORMACIÓN GENERAL

Tema del proyecto: Diseño de un sistema de gestión de control para el mantenimiento de los equipos del área de producción de la industria papelerá IPMATOA&H con tecnología de Mantenimiento Asistido por Computadora (CAM)

Modalidad de Titulación:

Propuestas Tecnológicas

Proyectos de Investigación **X**

Carrera: Ingeniería Industrial

Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto:

Transformación Digital: El Impacto de las Tecnologías 4.0 en la Industria y la Academia.

Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación:

Integrantes:

Amalia Nataly Calo Guamani

Kevin Patricio Pilco Caizaluisa

Tutor: Ing. Cristian Eugenio. MSc.

Área de Conocimiento: 07 Ingeniería, Industria y Construcción

Línea de investigación: Tecnología industrial, gestión de la producción, riesgo y seguridad laboral.

Sublíneas de investigación de la Carrera: Innovación tecnológica de los sistemas productivos.

2. INTRODUCCIÓN

La industria papelera en Ecuador se caracteriza por el uso de maquinaria de alta complejidad que opera de manera continua en entornos exigentes, suelen basarse en los principios de la máquina Fourdrinier, la cual utiliza una malla tejida en constante movimiento con la intención de crear una banda continua de papel. Sin embargo, las prácticas de mantenimiento en las fábricas ecuatorianas, como la empresa IPMATOA&H, han sido históricamente empíricas ya que la ausencia de sistemas de Mantenimiento Asistido por Computadora (CAM) ha generado ineficiencias significativas incluyendo paradas prolongadas, elevados costos operativos, errores humanos y una limitada capacidad para prevenir fallos críticos en los equipos esto afecta al posicionamiento de estas organizaciones en mercados nacionales e internacionales.

A nivel global la industria papelera es un pilar esencial del sector manufacturero con una producción anual que supera los 400 millones de toneladas de productos clave como empaques, papel tissue y papel para impresión [1]. Este sector depende de procesos continuos y maquinaria compleja, como digestores de pulpa y máquinas de papel lo que resalta la importancia de sistemas de mantenimiento robustos. El área de papel higiénico industrial que representa el 18% del mercado global de productos higiénicos, desempeña un rol importante en sectores como el doméstico, hotelero, educativo y de salud [2].

En esta trama, IPMATOA&H, con años de experiencia en la producción de papel industrial de calidad, enfrenta desafíos significativos debido a la gestión manual de su mantenimiento. Esta práctica genera interrupciones imprevistas, incrementa los costos operativos, reduce la competitividad y expone a la empresa a riesgos asociados con averías imprevistas y falta de estandarización.

El diseño de un sistema CAM se presenta como una solución estratégica para transformar los procesos de mantenimiento en IPMATOA&H. Este sistema busca digitalizar y optimizar las actividades preventivas y correctivas mediante una arquitectura que integre módulos de registro histórico, planificación automatizada y generación de reportes. Su diseño requiere un análisis detallado de los equipos críticos, la identificación de requisitos técnicos y la propuesta de una solución tecnológica alineada con los principios de la Industria 4.0. Este proyecto no solo permitirá a IPMATOA&H a mejorar en la optimización de las actividades como lo indica la Tabla 2.1, respecto al mantenimiento preventivo y correctivo, aumento de disponibilidad de

maquinaria, reduciendo el tiempo medio de reparación (MTTR) sino que también en la tasa de fallos para la disminución de tiempos inactivos. Además, el sistema propuesto tiene el potencial de ser un modelo escalable para otras empresas del sector papelerero en Ecuador, contribuyendo a la modernización de la industria y al fortalecimiento de su competitividad en un entorno global exigente y sostenible.

Tabla 2.1. Diagnóstico Actual de Mantenimiento

| Aspecto | Situación actual |
|-----------------------------------|--|
| Mantenimiento preventivo | Ausencia de protocolos preventivos; generando 10 paros no planificados mensuales. |
| Mantenimiento correctivo | Reparaciones urgentes representan el 90% de las intervenciones, con un costo promedio de USD 100 por paro. |
| Disponibilidad de equipos | Disponibilidad actual del 85% debido a paros imprevistos (120 horas de inactividad mensual). |
| Tiempo medio de reparación | MTTR promedio de 8 horas por fallo, debido a diagnósticos manuales y falta de repuestos. |

2.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

El sector manufacturero dedicado a la elaboración de papel higiénico desempeña una función crucial al suministrar productos fundamentales como rollos de papel higiénico y papel absorbente.

Pese a su trayectoria, en 2021 enfrentó 120 horas de paros no planificados en su línea de producción, generando pérdidas económicas. Esta problemática refleja una tendencia nacional, según la Cámara de la Industria Papelera Ecuatoriana, el 37% de las empresas del sector en Ecuador reportan fallas similares por mantenimiento, lo que reduce su competitividad frente a mercados vecinos[3].

La ausencia de una gestión de mantenimiento estructurada en IPMATOA&H ha generado inactividades imprevistas, mayores costos operacionales, riesgos de seguridad y dificultades para garantizar la continuidad en la producción de insumos de higiene. Según un análisis interno de la empresa realizado al inicio del año 2025, se registraron 18 paradas no programadas durante el año 2024 en equipos clave como la cortadora y la bobinadora, resultando en una pérdida de producción estimada en USD 400 mensuales. Además, una entrevista realizada el 10 de julio

de 2025 al supervisor, indicó que los incidentes de seguridad ocurren parcialmente en un 10% debido a fallos inesperados, y los costos de reparaciones fluctúan en un 10%, haciendo mención la necesidad del mantenimiento preventivo.

Estos problemas afectan las operaciones y la calidad y además limitan la capacidad empresarial para cumplir las entregas que exige el mercado, así como para adaptarse a las normas de sostenibilidad.

2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo contribuye el diseño de un Sistema de Gestión de Mantenimiento Asistido por Computadora (CAM) a optimizar las actividades de mantenimiento y reducir tiempos de inactividad de la maquinaria clave en el área de producción de la industria papelera IPMATOA&H?

2.3. OBJETO Y CAMPO DE ACCION

2.3.1. Objeto de estudio

El objeto de estudio de la presente investigación es el diseño de un sistema de gestión de Mantenimiento Asistido por Computadora (CAM) de los equipos del área de producción de la empresa IPMATOA&H.

2.3.2. Campo de acción

Según la nomenclatura de la UNESCO, es 3310.04 Ingeniería de Mantenimiento. Este campo abarca actividades relacionadas con el diseño, implementación y optimización de estrategias de mantenimiento en sistemas industriales

2.4. BENEFICIARIOS

El sistema CAM beneficiará a IPMATOA&H de manera directa e indirecta al proponer un diseño de sistema de gestión de mantenimiento más estructurada con la digitalización de procesos, lo cual permitirá mejorar la organización y seguimiento de las actividades, apoyando el desarrollo tecnológico de la empresa.

2.4.1. Beneficiarios directos

Tabla 2.2. Beneficiarios directos

| BENEFICIARIOS DIRECTOS | |
|------------------------|---|
| Propietario | 4 |
| Contadora | 1 |
| Trabajadores | 4 |
| Total | 9 |

2.4.2. Beneficiarios indirectos

Tabla 2.3. Beneficiarios indirectos

| BENEFICIARIOS INDIRECTOS | |
|--------------------------|----|
| Clientes | 45 |
| Proveedores | 12 |
| Total | 57 |

2.4.3. Hipótesis

El diseño de un sistema de gestión de control de mantenimiento asistido por computadora (CAM) permitirá mejorar la disponibilidad y el tiempo medio de reparación (MTTR) de los equipos críticos en el área de producción.

2.5. JUSTIFICACIÓN

Este estudio surge del requerimiento de diseñar un sistema estructurado de mantenimiento en IPMATOA&H, la cual parte del diagrama de Ishikawa (Figura 2.1), se determinó que la empresa actualmente opera con procesos manuales, generando pérdidas económicas anuales de USD 400 por paros no planificados. La ausencia de protocolos preventivos y la falta de gestión han generado un ciclo de ineficiencias: equipos clave (como cortadora y bobinadora), se incrementan los costos por reparaciones urgentes y se dificulta anticipar fallas técnicas, lo que impacta en la calidad y la productividad.

Este proyecto tiene por finalidad el desarrollar un sistema de gestión CAM para IPMATOA&H. El propósito es transformar los procesos de mantenimiento que actualmente se ejecutan de manera manual en un modelo digitalizado y estructurado. Mediante el diseño de este sistema, facilitará la planificación de actividades tanto preventivas como correctivas, asegurando que cada intervención en las máquinas de producción se realice de manera oportuna y eficiente.

Finalmente, la adopción de esta tecnología posicionaría a IPMATOA&H como referente en innovación y responsabilidad corporativa, no solo apunta a modernizar y optimizar los procesos de mantenimiento que también establece un marco claro que podrá ser replicado en otras empresas del sector paplero, contribuyendo así a la modernización del rubro industrial en su conjunto. En la Figura 2.1 se muestra un Ishikawa sobre la falta de control en el mantenimiento o del área productiva.

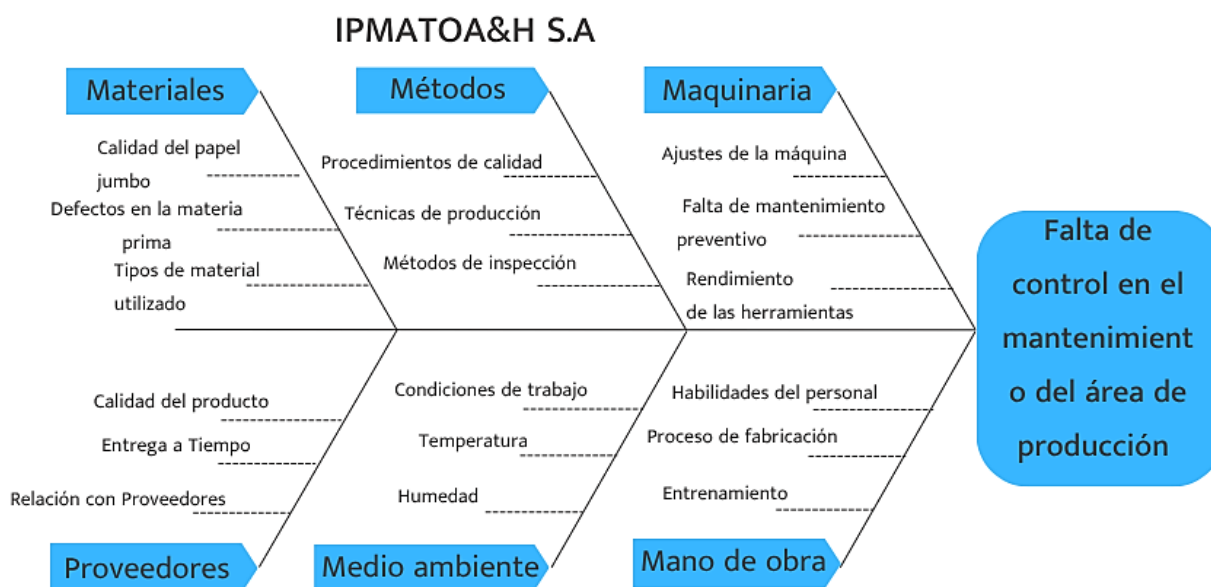


Figura 2.1. Diagrama Ishikawa

2.6. OBJETIVOS

2.6.1. Objetivo general

Diseñar un Sistema de Gestión de Mantenimiento Asistido por Computadora (CAM) para optimizar los procesos preventivos y correctivos de los equipos clave en el área de producción de IPMATOA&H, reduciendo el tiempo medio de reparación (MTTR) y la disponibilidad.

2.6.2. Objetivos específicos

- Evaluar los procesos actuales de mantenimiento mediante la matriz de criticidad y AMEF para la identificación de fallos críticos en los equipos.
- Seleccionar el software de mantenimiento Asistido por Computadora (CAM) mediante el método de criterios ponderados que evalúe funcionalidad, accesibilidad, costo y notificaciones automáticas para mejorar el control y seguimiento del mantenimiento de maquinaria crítica.
- Elaborar un programa de capacitación estructurado que promueva el uso adecuado del sistema CAM y la aceptación tecnológica optimizando la gestión de mantenimiento de equipos críticos.

2.7. SISTEMAS DE TAREAS

Para cumplir los objetivos del sistema de gestión de control para el mantenimiento de equipos de IPMATOA&H con tecnología de mantenimiento asistido por computadora (CAM), se plantea las siguientes actividades con sus resultados esperados en la siguiente Tabla 2.4

Tabla 2.4. Sistema de actividades (A)

| OBJETIVOS ESPECÍFICOS | ACTIVIDADES | RESULTADOS ESPERADOS | MEDIDAS E INSTRUMENTOS |
|-----------------------|---|------------------------|------------------------|
| Evaluar los procesos | • Visita a las instalaciones para identificar problemas y | Diagnóstico preliminar | • Check list |

| | | | |
|---|---|---|--|
| actuales de mantenimiento mediante AMEF para la identificación de fallos críticos en los equipos y la selección del software CAM más adecuado, considerando los requerimientos técnicos y operativos de la empresa. | <ul style="list-style-type: none"> • Levantamiento de información • Flujograma del proceso, Layout, fichas técnicas, ordenes de trabajo, inventario de repuestos y consumibles. • Entrevista al personal técnico para la identificación de falencias. • Estudio de criticidad y AMEF a los equipos de producción • Evaluación de equipos críticos • Evaluación de equipos tecnológicos disponibles de la empresa para la implementación CAM. • Selección del software CAM, mediante la matriz de criterios ponderados. | <p>analizar procesos productivos.</p> <p>procesos actuales de mantenimiento.</p> <p>Inventario y documentación actualizada de los procesos y recursos de mantenimiento.</p> <p>Identificación de necesidades y problemática actual.</p> <p>Registro y análisis de formas de fallo, efectos y causas en equipos.</p> <p>Identificación de equipos críticos y su estado técnico-operativo.</p> <p>Conocimiento del nivel de compatibilidad tecnológica.</p> <p>Elección del software CAM alineado a necesidades detectadas.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Observación directa • Formatos de inventario, registros de órdenes de trabajo, fichas técnicas compiladas. • Guía de entrevista aplicada a técnicos y operarios. • Entrevistas semiestructuradas • Hoja AMEF aplicado a equipos. • Análisis AMEF • Inspección técnica y análisis de criticidad. • Informe de evaluación técnica, check list de inspección. • Revisión documental y técnica • Ficha técnica de equipos y sistemas • Matriz comparativa de software CAM. Con ponderación técnica-operativa |
|---|---|---|--|

Tabla 2.4. Sistema de actividades (B)

| | | | |
|---|---|--|---|
| Seleccionar el software de mantenimiento Asistido por | <ul style="list-style-type: none"> • Familiarización con la interfaz y herramientas del módulo de mantenimiento. | <p>Personal capacitado en el uso básico del software CAM seleccionado.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Capacitación práctica y demostración guiada • Registro de asistencia, guía de usuario inicial. |
|---|---|--|---|

| | | | |
|--|--|--|--|
| <p>Computadora (CAM) mediante el método de criterios ponderados que evalúe funcionalidad, accesibilidad, costo y notificaciones automáticas para mejorar el control y seguimiento del mantenimiento de maquinaria crítica.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Ingreso de los registros obtenidos del análisis de los procesos actuales • Realizar las pruebas piloto para la validación de la integración de los equipos productivos • Ajuste de parámetros según resultados obtenidos en pruebas y retroalimentación | <p>Base de datos actualizados en el software CAM para gestión de mantenimiento.</p> <p>Validación operativa del sistema en entorno real controlado.</p> <p>Optimización de configuración para asegurar eficiencia operativa.</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Ingreso manual y validación de datos. • Reporte de ingreso de datos, formato de validación. • Pruebas de campo controladas. • Reporte de validación, registro de incidencias. • Análisis de resultados y reuniones con usuarios. • Informe de ajustes, y retroalimentación. |
| <p>Elaborar un programa de capacitación estructurado que promueva el uso adecuado del sistema CAM y la aceptación tecnológica optimizando la gestión de mantenimiento de equipos críticos</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Evaluación diagnóstica sobre el sistema CAM. • Planificación de un cronograma de capacitación. • Ejecución de capacitaciones que incluya charlas, manuales de usuario • Evaluación del conocimiento post - capacitaciones. • Análisis retorno sobre la inversión (ROI) | <p>Identificación de áreas de mejora.</p> <p>Cronograma y aprobado para las capacitaciones.</p> <p>Personal capacitado y competente en el uso del software CAM.</p> <p>Plan de ajustes para capacitación continua</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Cuestionario de evaluación diagnóstica. • Cronograma detallado. • Planificación estratégica. • Manuales y guías de usuario, registro de asistencia. • Capacitación práctica. • Formularios digitales • Encuestas de satisfacción con escala Likert. • Análisis de resultados costos y beneficios. |

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1. TEMÁTICA AMPLIA

3.1.1. Antecedentes

Según el consenso investigativo sobre la primera empresa específica que implementó un CAM, coinciden en que las grandes corporaciones industriales estadounidenses fueron las primeras en adoptar estas tecnologías en los años 60 y 70, de manera directa en sectores como la automoción y la manufactura pesada [4].

Empresas como Ford Motor Company, reconocida por su innovación en la organización industrial y el mantenimiento, se enmarcaron como líderes en la sistematización del mantenimiento. Sin embargo debido al elevado coste y tamaño de los ordenadores de la época, requiriendo incluso habitaciones completas para su funcionamiento, aunque no se señala explícitamente que Ford haya sido la primera en informatizar el mantenimiento[5].

La integración de sistemas (CAM) en la década de 1980 revolucionó aún más el mantenimiento al permitir tomar decisiones respaldadas por datos, según lo demuestran las primeras implementaciones en grandes fábricas de papel en Europeas Norteamericanas. Estos sistemas permitieron el monitoreo en tiempo real de los equipos, mejorando significativamente la disponibilidad y reduciendo costos[6].

La implementación del Mantenimiento Asistido por Computadora (CAM) en Papeles Cordillera se realizó mediante la adaptación del sistema SAP PM el cual permite gestionar y planificar las actividades para mantenimientos de manera digital por lo cual según se indica en el documento para finales del 2010 la empresa tenía ya implementado en toda la planta el sistema SAP para el seguimiento de los módulos que utiliza la Máquina Papelera N°20 (MP20), de esta manera ayudo hacer más fácil la gestión de fallas, el monitoreo de vida útil de ciertos elementos junto con la organización de los trabajos preventivos y correctivos. La utilización de SAP PM mostró un avance significativo a la gestión del mantenimiento, posibilitando una planificación eficiente y recopilar datos históricos importantes para mejorar la confiabilidad de la maquinaria a partir de aquel momento [7].

3.1.2. Estado del arte

En el artículo denominado "Planificación de mantenimiento preventivo en máquina papelera en base a confiabilidad", afirma que se empleó el módulo SAP PM para manejar órdenes de trabajo, inventarios y estudios sobre la vida útil de elementos. La estrategia abarca la recolecta de información histórica sobre averías, la evaluación crítica a través de matrices AMEF e implementación de planes de mantenimiento predictivo fundamentados en patrones de desgaste. Los hallazgos relevaron una reducción del 20% en los períodos de inactividad no programados, así como un incremento del 15% en la disponibilidad de la máquina de papel. La estandarización de protocolos a través de SAP PM facilitó la centralización de la información técnica y mejoró la coordinación entre las áreas operativas y de mantenimiento, alcanzando así una mayor eficiencia en la producción de papel higiénico[7].

En España diseñaron un sistema integrado de mantenimiento que aprovechará las capacidades de CAM para una mejor planificación y control en la industria papelera Tisú. La metodología consistió en estudiar el proceso productivo, identificar las herramientas y componentes críticos, y desarrollar modelos digitales respaldados por sistemas CAM que facilitaran la fabricación de repuestos de maquinaria. Se utilizaron técnicas de gestión de mantenimiento basada en datos y simulaciones digitales para evaluar la eficiencia del sistema. Esto resultó en un aumento del 13 % de disponibilidad de maquinarias y disminuyó 20% de costos asociados al mantenimiento. Este estudio demuestra que implementar sistemas CAM en un entorno de mantenimiento preventivo y predictivo puede potenciar la eficiencia de la producción y ofrecer ventajas competitivas en industrias altamente competitivas como la papelería, alineándose con las demandas de la Industria 4.0[8].

Estudios realizados en la India demostraron que la integración de técnicas de mantenimiento basadas en metodologías multicriterio y tecnologías de fabricación asistida por computadora (CAM) aplicadas en una planta de papelera, permitió desarrollar una estrategia efectiva de mantenimiento en la planta en el área de desinfección de papel, utilizando la técnica Fuzzy VIKOR, en la cual la integración de CAM fue esencial para el diseño y fabricación de piezas de repuestos y herramientas. Los resultados indicaron que, mediante la aplicación del CAM, la planta redujo en un 25% los costos de mantenimiento y optimizó un 10% los tiempos de tareas de mantenimiento, eliminando tareas innecesarias. Además, la clasificación de componentes

basada en el índice de criticidad permitió una priorización efectiva, facilitando decisiones de mantenimiento predictivo y preventivo[9].

En la investigación sobre “La implementación exitosa del software CAM en la empresa Bosch”. centrada en la evaluación del impacto en sus procesos productivos, adoptando un software que impacte sobre la eficacia, calidad y gestión productiva. La metodología empleada fue un estudio de caso cualitativo y cuantitativo, en el cual se compararon procesos productivos pre y post implementación del software. Los hallazgos evidenciaron que, tras la implementación del CAM, la empresa logró reducir en un 20% el tiempo de fabricación, disminuir en un 50% los errores y mejorar en un 30% los plazos de entrega, favoreciendo una mayor automatización y optimización de los procesos. Se concluye que estos beneficios refuerzan lo importante que es el ámbito digital en la industria automotriz, especialmente en entornos productivos que buscan mayor precisión, rapidez y sostenibilidad en sus procesos[10].

En el estudio referente a “La eficacia de la aplicación CAD-CAM para el desarrollo, diseño e implementación de herramientas de mantenimiento”. llevada a cabo en una institución académica y de investigación en ingeniería ubicada en España, centrada en la evaluación de tecnologías CAD-CAM en procesos industriales y de mantenimiento, con la premisa de evaluar la metodología adoptada. La investigación de carácter exploratorio y experimental en donde se utilizó un enfoque investigativo en empresas del sector manufacturero. Los resultados demostraron que la utilización de aplicaciones CAM aumentó la eficiencia de diseño y creación de herramientas para el mantenimiento, reduciendo los períodos de desarrollo (aproximadamente un 25%) y mejorando la precisión en la fabricación de componentes. Además, se registró una disminución en los costos asociados a errores y retrabajos, y una mayor capacidad para personalizar soluciones [11].

3.1.3. Marco referencial

3.1.3.1. Mantenimiento

Se refiere a la serie de acciones destinadas a la conservación y restablecimiento de un sistema en un estado que garantice su funcionamiento a costes mínimos.

Se deducen en varias actividades:

- Aspecto económico (costes).
- Evaluar y cuantificar las condiciones de las instalaciones.
- Prevenir y corregir averías.
- Los objetivos implícitos son:
- Mejorar la fiabilidad de instalaciones y máquinas.
- Reducir los costes según la disponibilidad.
- Aumentar disponibilidad de equipos.
- Asistencia al departamento de ingeniería en los nuevos proyectos para facilitar la mantenibilidad de las nuevas instalaciones[12].

3.1.3.2. Fundamentos del mantenimiento industrial

El Mantenimiento Industrial ofrece los fundamentos conceptuales para establecer sistemas de mantenimiento en sectores industriales como la fabricación de papel. Su objetivo es asegurar la fiabilidad, disposición y seguridad de equipos, a bajos costes. Las estrategias clave incluyen el mantenimiento correctivo (reparar fallos después de que ocurren) y el mantenimiento preventivo (intervenciones programadas). En las industrias papeleras, el mantenimiento predictivo es crítico para reducir el tiempo de inactividad. La base teórica del mantenimiento subraya la necesidad de un sistema CAM para integrar estas estrategias, permitiendo decisiones basadas en datos y una asignación eficiente de recursos[13].

3.1.3.3. Propósitos del mantenimiento industrial

El mantenimiento industrial se aplica para garantizar el funcionamiento eficiente de máquinas y sistemas en diversas industrias, apoyando la productividad.

Mantener las máquinas en condiciones óptimas para realizar las funciones para las que fueron diseñadas.

Reducir el tiempo de inactividad previniendo fallas y garantizando que las máquinas estén disponibles para la producción (objetivo: ≥ 90 % de disponibilidad).

Aumentar el tiempo que el equipo opera sin fallas (objetivo: ≥ 95 % de confiabilidad).

Minimizar las pérdidas de mantenimiento y producción previniendo fallas inesperadas y optimizando el uso de recursos (por ejemplo, reduciendo las reparaciones de emergencia a < 15 % de las horas-hombre[14]).

3.1.3.4. Tipos de mantenimiento (correctivos y preventivos)

Mantenimiento preventivo

Es un mantenimiento regular o programado que tiene como objetivo garantizar que cualquier máquina opere con su capacidad original, centrándose principalmente en preservar la máquina de acuerdo con su estado conocido. La preparación para realizar las actividades de mantenimiento dentro del tiempo programado puede prevenir accidentes y fallos hasta cierto punto. Las tareas se deben realizar donde las fallas no se pueden detectar de antemano.

Para una buena programación y control es fundamental lo siguiente:

- Listado de todas las máquinas y actividades a realizar.
- Un cronograma maestro para un año que desglosa las tareas en base diaria, semanal y mensual.
- Asignación de operario responsable para realizar el trabajo.
- Actualización de registros para mostrar cuando se realiza la actividad y cuando corresponde realizar la próxima tarea preventiva[15].

Tipos de mantenimiento preventivo

Existen 3 tipos de mantenimientos preventivos y su combinación forma un plan de mantenimiento; este es crucial para realizar una labor de mantenimiento de calidad. Estos comprenden:

- **Mantenimiento predictivo:** Se lleva a cabo al término del período máximo previsto de uso.
- **Mantenimiento programado:** Se lleva a cabo en función del tiempo de operación o el número de kilómetros.
- **Mantenimiento de oportunidad:** Se utiliza el tiempo que no se está empleando el equipo para llevar a cabo el mantenimiento y prevenir interrupciones en la producción [16].

Mantenimiento Correctivo

Este mantenimiento se basa en acciones realizadas para restaurar el funcionamiento de una maquinaria o sistema industrial después de que se haya detectado un fallo o avería,

principalmente corrige defectos que afectan la operatividad, reduciendo tiempos inactivos y costes relacionados a la interrupción de la producción, buscando diagnosticar la causa raíz del problema, reparar el equipo y registrar la intervención para mejorar la gestión futura, especialmente mediante sistemas CAM que optimizan el proceso[17].

Tipos de Mantenimiento Correctivo

Existen dos tipos principales de mantenimiento correctivo, que son aplicados según la urgencia y la criticidad del equipo afectado, formando parte integral de la estrategia de mantenimiento:

- **Mantenimiento correctivo planificado:** Se realiza al detectar un problema o desgaste en el equipo, pero antes de que ocurra un fallo total que detenga la producción. La reparación se programa en un momento que minimice el impacto en las operaciones, coordinando recursos y tiempos para evitar interrupciones significativas.
- **Mantenimiento correctivo no planificado (de emergencia):** Se realiza de forma inmediata tras un fallo inesperado que interrumpe el funcionamiento del equipo. Es más costoso, ya que necesita una respuesta urgente, priorizando la rapidez para reducir el tiempo de inactividad. Es típico en equipos críticos donde las paradas tienen un alto impacto económico o de seguridad[18].

3.1.3.5. Fases para aplicar un plan de mantenimiento correctivo y preventivo

Planificación

- **Mantenimiento preventivo:** Es necesario identificar equipos críticos y tareas (inspecciones, lubricaciones), asignando personal, herramientas, repuestos y tiempos estimados.
- **Mantenimiento correctivo:** Se definen procedimientos para reparar fallos inesperados, identificando recursos y tiempos para minimizar paradas. Es clave para gestionar averías imprevistas en IPMATOA&H.

Programación

- **Mantenimiento preventivo:** Se establece día, hora y lugar de tareas, coordinando para no interrumpir la producción.
- **Mantenimiento correctivo:** Se programa la reparación tras un fallo, asignando recursos según urgencia para agilizar la respuesta.

Ejecución

- **Mantenimiento preventivo:** Se realizan inspecciones, ajustes o reemplazos según protocolos, usando herramientas y repuestos planificados.
- **Mantenimiento correctivo:** Se diagnostica y repara el fallo, verificando el funcionamiento para mayor precisión. Restaura rápidamente la operatividad, reduciendo pérdidas.

Control

- **Mantenimiento preventivo:** Se verifica la ejecución con pruebas y registros de disponibilidad, asegurando el cumplimiento de objetivos operativos.
- **Mantenimiento correctivo:** Se valida la reparación, registrando MTTR y causas del fallo en CAM. Mejora futuras intervenciones y reduce recurrencia de fallos[14].

Tantas áreas administrativas y de mantenimiento se mantendrán alertas a las tareas a realizar en un mantenimiento preventivo y correctivo para garantizar el cumplimiento de lo planificado. En la Figura 3.1 y 3.2 se puede observar lo que se debe considerar para llevar a cabo un adecuado mantenimiento.

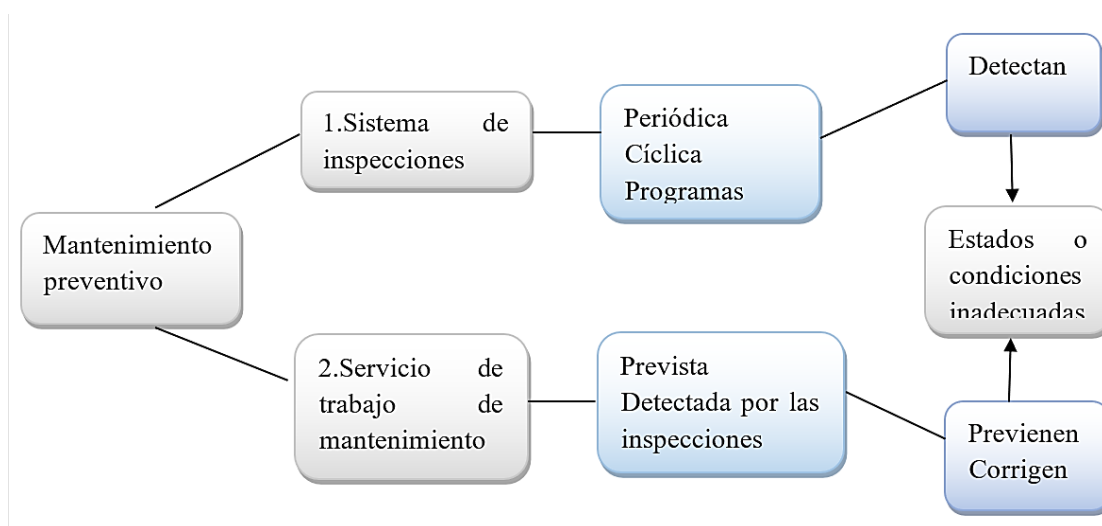


Figura 3.1. Diagrama del mantenimiento preventivo

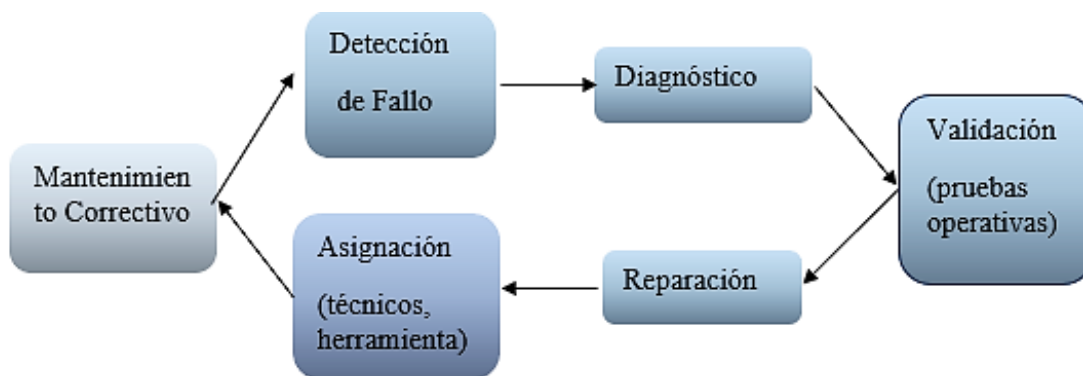


Figura 3.2. Diagrama del mantenimiento correctivo

3.1.3.6. Sistema de gestión de mantenimiento

La Gestión del Mantenimiento incluye las siguientes funciones:

- **Planificación:** Planificar implica crear un proyecto estableciendo qué se llevará a cabo (alcance y tareas requeridas), cómo se realizará (procedimientos y normativas), qué recursos son necesarios (personas, equipos, materiales) y cuánto tiempo tomará. Estructura acciones, métodos y recursos para alcanzar metas de manera efectiva.
- **Organización:** La organización tiene que estar centrado en gestionar y resolver inconvenientes en la producción, para mantener la competitividad empresarial.
- **La ejecución:** Se trata de realizar lo planificado eficientemente, garantizando el cumplimiento de los procedimientos, normas y empleando personas capacitadas y recursos certificados.
- **El control:** La supervisión del mantenimiento vela por la calidad de recursos, procedimientos y tareas, asegurando su cumplimiento, priorización y documentación, al tiempo que mejora la formación y efectúa auditorías para optimizar los procesos. Utiliza herramientas estadísticas y software para gestionar la información, además de permitir la digitalización de registros manuales. Asegura la certificación del personal para tareas críticas y revisa los equipos antes de su aceptación[19].

3.1.3.7. Ficha técnica

Para ejecutar el mantenimiento preventivo, es fundamental utilizar este formato, como se muestra en la Figura 3.3, ya que una ficha técnica es un documento que recopila de forma detallada y organizada todas las características y especificaciones técnicas de un equipo, producto o máquina. Incluye datos relevantes como dimensiones, materiales, funciones y

condiciones de operación, con el propósito de facilitar su utilización, mantenimiento y control [20].

| | | | | |
|------------------------------------|--|-------------------------|--|---------------------------|
| Nombre de la empresa | | | | <i>Logo de la empresa</i> |
| FICHA TÉCNICA DE LA MÁQUINA | | | | |
| Realizado por: | | Fecha: | | Version: |
| Máquina - Equipo | | Responsable | | |
| Fabricante | | Ubicación | | |
| Modelo | | N° de maquina | | |
| Marca | | Código | | |
| Dimensiones | | | | |
| Peso | | Altura | | Ancho |
| Largo | | | | |
| Datos técnicos | | | | |
| Motor | | Voltios | | Potencia |
| Función: | | Foto de Máquina- Equipo | | |
| Característica: | | | | |
| Mantenimiento Preventivo: | | | | |
| Precauciones: | | | | |

Figura 3.3. Formato de la ficha técnica

3.1.3.8. Codificación de equipos

Es un sistema que utiliza códigos únicos para identificar y rastrear equipos facilitando su localización en planos, órdenes de trabajo, etc.

Existen 2 posibilidades para codificar:

- Sistemas de codificación no significativos: se refieren a sistemas que atribuyen un número o un código a cada equipo, sin proporcionar ninguna información extra.
- Sistemas de codificación relevantes o inteligentes, donde el código designado proporciona datos.

Información útil que debe contener el código de un ítem:

- Tipo de equipo.
- Área donde pertenece en la planta.
- Planta perteneciente

Información adicional que deben contener los elementos que forman parte de un equipo:

- Equipo al que pertenecen.
- Familia a la que pertenece
- Sistema al que están incluidos.
- Tipo de elemento.

Para la definición del código, se puede seguir esta estructura:

La estructura incluye campos como: área, equipo y número correlativo, que permite organizar y clasificar los elementos de manera clara, facilitando la creación de listados, y el control de equipos críticos (Figura 3.4.).

Estructura de codificación para los equipos

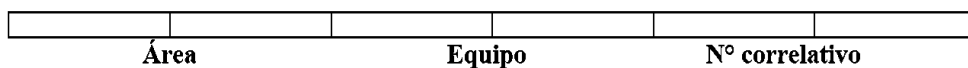


Figura 3.4. Estructura de codificación para los equipos[21]

3.1.3.9. Sistemas de gestión de mantenimiento asistido por ordenador (CAM)

Los Sistemas de Gestión CAM son plataformas informáticas que proporcionan automatización del mantenimiento, incluida la tarea de gestión de órdenes de trabajo, control de inventarios y redacción de informes de rendimiento. Los sistemas CAM procesan los datos del mantenimiento automatizándolos en el sistema, monitorizando los datos en tiempo real y procesando análisis predictivo. En el caso de la industria papelera, los sistemas CAM son los encargados de recoger las métricas de rendimiento de los equipos, como el Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF) y el Tiempo Medio de Reparación (MTTR), para optimizar los procesos de mantenimiento. Los modelos teóricos de los sistemas CAM hacen hincapié en los elementos de modularidad, escalabilidad e integración con otros sistemas de gestión empresarial como el de ERP[22].

Las características comunes de un sistema CAM incluyen:

- Gestión de inventarios de repuestos y consumibles
- Mantenimiento de historiales detallados de equipos e intervenciones
- Cálculo de KPIs del mantenimiento
- Generación automatizada de órdenes de trabajo
- Registro y análisis estadístico de averías e intervenciones
- Programación automatizada del mantenimiento preventivo

3.2. TEMÁTICA ESPECÍFICA

3.2.1. Normas para el Análisis de Criticidad en el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

Las normas SAE JA1011 y SAE JA1012 son normas fundamentales de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), es decir, intentar mejorar la gestión de los activos de Industrias, disminuyendo el análisis de la criticidad de la probabilidad y severidad, manteniendo las estrategias de mantenimiento. Son normas básicas en la manufactura para reducir el riesgo y el elevado coste de su propia operación.

- **Norma SAE JA1011:** La norma SAE JA1011, titulada "Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)", establece parámetros para implementar un proceso de RCM efectivo en industrias como la aviación, manufactura y energía. Define un marco sistemático basado en siete preguntas clave que identifican el funcionamiento de las máquinas, posibles fallo, causas, consecuencias y métodos de reparación apropiados, ponderando la probabilidad de fallo y severidad de sus impactos para priorizar acciones que optimicen la confiabilidad y minimicen riesgos operativos y económicos.
- **Norma SAE JA1012:** Titulada "Guía para la Norma de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)", complementa la JA1011 al proporcionar orientación detallada para aplicar los criterios de RCM de manera efectiva. Ayuda a evaluar la criticidad de los fallos mediante herramientas como el Análisis de Modos y Efectos de Fallo (FMEA), considerando factores como la frecuencia, severidad y detectabilidad de los fallos, para seleccionar estrategias de mantenimiento (preventivas, predictivas o correctivas) que

maximicen la disponibilidad de los activos y reduzcan costos en sectores industriales críticos[23].

3.2.2. Análisis de criticidad

Este análisis permite clasificar equipos, instalaciones y sistemas en función del impacto industrial, lo cual facilita establecer prioridades para la mejora de la confiabilidad operacional, designar recursos y tomar decisiones.

La criticidad puede expresarse como (1):

$$\text{Criticidad} = \text{frecuencia} * \text{Consecuencia} \quad (1)$$

Donde:

Frecuencia: es el número de averías en los equipos.

Consecuencia: habla sobre el efecto y la adaptabilidad operativa, costos de mantenimiento e impacto en el medio ambiente y la seguridad.

3.2.3. Criterios de evaluación:

Identificar los criterios clave que reflejen el impacto de una falla en el sistema como:

- Seguridad: Probabilidad de que ocurra algún evento no deseado con daños a personas.
- Ambiente: Posibilidad de daños al ambiente.
- Producción: Impacto en la capacidad productiva.
- Costos: Costos de operación y mantenimiento.
- Tiempo de Reparación: Tiempo promedio necesario para reparar una falla (TPPR).
- Frecuencia de Falla: Cantidad de fallas del sistema evaluado.

En la Tabla 3.1, fundamentado en las normas SAE JA1011 y SAE JA1012 que contribuye a ponderar los factores relevantes que están involucrados en un análisis de criticidad según todas las acciones que pueden tener un equipo [19].

Tabla 3.1. Criterios de evaluación [19].

| | | |
|-----------------------------------|--|----------|
| FACTOR DE FRECUENCIA | Frecuente. Más de 3 eventos al año. | 5 |
| | Probable. 1-3 eventos al año. | 4 |
| | Posible. 1 evento en 3 años. | 3 |
| | Improbable. 1 evento en 5 años. | 2 |
| | Sumamente improbable. Menos de un evento en 5 años. | 1 |
| FACTORES DE CONSECUENCIA | Impacto Operacional (IO) | |
| | Pérdidas mayores 75% producción mes. | 5 |
| | Pérdidas 50% a 74% producción al mes. | 4 |
| | Pérdidas 25% a 49% producción al mes. | 3 |
| | Pérdidas 10% a 24% producción al mes. | 2 |
| | Pérdidas inferiores 10% producción mes. | 1 |
| | Factor de Flexibilidad Operativa (FO) | |
| | No existe stock, tiempos de reparación altos. | 5 |
| | Stock parcial, promedio de reparación completa. | 4 |
| | Stock parcial, promedio de reparación sencillo. | 3 |
| | Stock insuficiente, promedio de reparación completa. | 2 |
| | Stock suficiente, tiempos de reparación bajos. | 1 |
| | Costo de Mantenimiento (CM) | |
| | Costos materiales superiores 20000 USD. | 5 |
| | Costos materiales superiores 10000 - 20000 USD. | 4 |
| | Costos materiales superiores 3000 - 10000 USD. | 3 |
| | Costos materiales superiores 200 - 3000 USD. | 2 |
| | Costos materiales inferiores 200 USD. | 1 |
| | Impacto Medio Ambiente (IMA) | |
| | Daños irreversibles en el ambiente. | 5 |
| | Daños severos al medio ambiente. | 4 |
| | Daños medios al ambiente. | 3 |
| | Daños mínimos al ambiente. | 2 |
| | Sin daños ambientales. | 1 |
| | Impacto Seguridad (IS) | |
| Muerte o incapacidad. | 5 | |
| Incapacidad parcial o permanente. | 4 | |
| Daños o enfermedades graves. | 3 | |
| Daños leves en personas. | 2 | |
| Sin impacto en la seguridad. | 1 | |

3.2.4. Recopilación de datos:

- **Datos Históricos:** Recolectar información histórica respecto a averías, tiempos de reparación, costes y otros indicadores relevantes.
- **Encuestas:** Realizar encuestas al personal a cargo del mantenimiento para obtener información cualitativa y cuantitativa sobre los criterios de evaluación.

3.2.5. Análisis y cálculo de la criticidad:

- **Asignación de Pesos:** Asignar pesos a cada criterio de evaluación según su importancia relativa.
- **Cálculo de la Criticidad:** Utilizar la fórmula seleccionada para calcular la criticidad de cada sistema o equipo.

3.2.6. Jerarquización y clasificación:

- **Ordenamiento:** Ordenar los sistemas o equipos de mayor a menor criticidad.
- **Clasificación:** Dividir los sistemas en zonas de criticidad (alta, media, baja) para tomar decisiones y priorizar acciones.

3.2.7. Resultados y acciones:

- **Lista Jerarquizada:** Producir una lista jerarquizada de los sistemas, indicando su nivel de criticidad.
- **Diagramas:** Elaborar diagramas de barras para visualizar la distribución de los sistemas por nivel de criticidad.
- **Toma de Decisiones:** Utilizar los resultados del análisis para priorizar planes de mantenimiento, inspección, gestión de materiales y capacitación del personal, enfocándose en las áreas de mayor criticidad[24].

3.2.8. Análisis modal de fallos y efectos (AMFE)

Se trata de una metodología que permite identificar posibles averías en equipos, evaluando sus causas, efectos y riesgos para priorizar acciones preventivas, se aplica a equipos críticos asignando números de prioridad de riesgo (RPN) según severidad, ocurrencia y detectabilidad. Ayuda a prevenir interrupciones en la producción al anticipar problemas. Al identificar las posibles causas de fallos en los equipos a través del AMFE, se pueden establecer programas de

mantenimiento preventivo que incluyan inspecciones regulares, reemplazo de piezas desgastadas y lubricación adecuada, reduciendo así la probabilidad de fallos inesperados.

Es considerada una herramienta útil para gestionar el mantenimiento por fomentar la mejora continua al actualizarse con datos históricos, dominar AMFE es esencial para diseñar estrategias de mantenimiento efectivas. Su aplicación asegura operaciones estables y competitivas en la industria[25].

El AMFE aplicado en la ingeniería contribuye en la administración de la calidad (ISO 9001) y otras áreas para detectar, examinar y darle prioridad a los posibles tipos de error en un proceso, producto o sistema, además de sus impactos en el rendimiento global.

Las actividades para realizar un AMEF:

- El AMFE ayuda a gestionar calidad e identificar modos de fallo.
- Formar equipo AMFE y delimitar producto o proceso.
- Identificar modos potenciales de falla.
- Estimar severidad de cada falla.
- Encontrar causas potenciales y estimar frecuencia.
- Listar controles para detectar fallas.
- Calcular el número prioritario de riesgo (NPR).
- Priorizar fallas y definir acciones correctivas.
- Documentar el proceso en formato AMFE.
- Revisar resultados y recalculer el NPR [26].

3.2.9. Plan maestro de mantenimiento

Es un documento donde se registra la frecuencia de los mantenimientos. Es necesario especificar las actividades que se realizarán, ya sean limpiezas completas, lubricación, inspecciones, etc. En la Figura 3.5, se muestra la información fundamental que debe incluir.

| PLAN MAESTRO DE MANTENIMIENTO | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-----------|------------|--------------|---------|---------|---------|---------|------------|---------|---------------|---------------|---------|---------|---------|---------|--|
| EQUIPO | ACTIVIDAD | FRECUENCIA | PROGRAMACION | | | | | | | | | | | | | |
| | | | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMB DE | DICIEMB DE | ENERO | FEBRERO | MARZO | | |
| | | | 1 2 3 4 | 1 2 3 4 | 1 2 3 4 | 1 2 3 4 | 1 2 3 4 | 1 2 3 4 | 1 2 3 4 | 1 2 3 4 | 1 2 3 4 | 1 2 3 4 | 1 2 3 4 | 1 2 3 4 | 1 2 3 4 | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 3.5. Estructura del plan maestro de mantenimiento

3.2.10. Ordenes de trabajo

Mediante este documento el jefe de mantenimiento informa las tareas que debe realizar el operario, en el cual se indica lo siguientes:

- N° de orden correlativo, que permite identificarla de forma única.
- Equipo o instalación a intervenir.
- El trabajo que debe realizar, o el comportamiento de un equipo que está funcionando incorrectamente.
- Materiales y herramientas necesarias.
- Riesgos, precauciones y EPI necesarios.
- Hora y fecha de emisión de orden.
- Prioridad del trabajo.

Existen 2 tipos de órdenes: órdenes correctivas es un documento que señala la necesidad de realizar una intervención para solucionar un inconveniente encontrado en un equipo y las órdenes preventivas se distinguen por describir tareas previamente identificadas y repetitivas, lo que permite una planificación exacta.

Las órdenes de trabajo pueden ser generadas manualmente por un miembro del personal, un cliente o generadas automáticamente a través de un software de gestión de órdenes de trabajo o un programa de mantenimiento preventivo, Figura 3.6 [21].

| ORDENES DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO | | | | Logo | |
|--|--|--------------------------|---|--|-----------|
| Responsable: | | Equipo o Instalación: | | DEPARTAMENTO Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN Originan orden de trabajo de mantenimiento SI: NO: | |
| Responsable de bodega: | | Tipo de solicitud: | Normal | | |
| Código ruta: | | Solicitud de trabajo No. | | | |
| HERRAMIENTAS | | | EQUIPOS DE PROTECCIÓN | | |
| RIEGOS DEL TRABAJO Y MEDIDAS PREVENTIVAS | | | TIPO ORDEN DE TRABAJO NORMAL URGENTE | FIRMA DEL OPERARIO: | |
| | | | CONDICIÓN DE PARADA CON PÉRDIDA DE PRODUCCIÓN SIN PERDIDA DE PRODUCCIÓN | FECHA DE INICIO | |
| | | | TIPO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO PREVENTIVO MECÁNICO ELÉCTRICO | FECHA: | HORA: |
| | | | | FECHA DE TERMINACIÓN | |
| | | | | FECHA: | HORA: |
| MATERIALES | | | CODIGO DE MATERIALES | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| EQUIPO | | | TAREAS DE INSPECCIÓN | | RESULTADO |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| OBSERVACIONES: | | | | | |

Figura 3.6. Estructura de las ordenes de trabajo [21].

3.2.10. Inventarios de los repuestos e insumos

El inventario de mantenimiento también llamado MRO (Maintenance, Repair, and Operations) es un sistema de control de repuestos, materiales y herramientas necesarios para que de esta manera garantizar la operatividad de los equipos críticos de producción, instalaciones y transporte en una empresa, como objetivo principal es reducir tiempos de inactividad no planificados debido a la falta de repuestos, asegurando que los técnicos u operarios cuenten con los recursos necesarios para realizar reparaciones y mantenimiento de manera eficiente.

3.2.11. Indicadores clave de desempeño (KPIs)

Los KPIs son indicadores esenciales para evaluar la eficacia y eficiencia del mantenimiento en la industria papelera, permiten medir el rendimiento de equipos, optimizar recursos y alinear el mantenimiento con los objetivos estratégicos de la empresa. La siguiente Tabla 3.2, presenta los KPIs más relevantes, sus definiciones y fórmulas[27].

Tabla 3.2. Indicadores clave de desempeño (KPIs)

| KPI | Definición | Fórmula |
|--|--|---|
| Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF) | Mide el tiempo promedio que un equipo opera antes de fallar, reflejando su fiabilidad. Un MTBF alto indica un equipo confiable. Es crucial para planificar mantenimientos predictivos y reducir paradas no planificadas. | $\text{MTBF} = \frac{\text{(Tiempo total de operación)}}{\text{(Número de fallos)}}$ |
| Tiempo Medio de Reparación (MTTR) | Calcula el tiempo promedio necesario para reparar un equipo tras un fallo, evaluando la eficiencia del equipo de mantenimiento. Un MTTR bajo indica rapidez en las reparaciones. | $\text{MTTR} = \frac{\text{(Tiempo total de reparación)}}{\text{(Número de reparaciones)}}$ |
| Disponibilidad de Equipos | Mide el porcentaje de tiempo que un equipo está operativo y listo para producir, indicando su capacidad para cumplir con demandas de producción. | $\text{Disponibilidad} = \frac{[(\text{Tiempo total} - \text{Tiempo de inactividad}) / \text{Tiempo total}] \times 100}{100}$ |
| Tasa de Fallos | Indica la frecuencia con la que un equipo falla en un período, ayudando a identificar patrones de problemas recurrentes. Una tasa baja refleja un buen mantenimiento. | $\text{Tasa de Fallos} = \frac{\text{(Número de fallos)}}{\text{(Tiempo total de operación)}}$ |
| Costo de Mantenimiento por Unidad Producida | Evalúa el costo del mantenimiento en relación con la producción, reflejando la eficiencia económica de las estrategias de mantenimiento. | $\text{Costo por Unidad} = \frac{\text{(Costo total de mantenimiento)}}{\text{(Unidades producidas)}}$ |
| Confiabilidad de equipos | Es el estudio de fallos de un equipo o componente. Es la probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un período determinado. | $R(t) = \Pr\{T \geq t\}$ Donde T es el tiempo de falla, $R(t) \geq 0$ y $R(0) = 1$ |

3.2.12. El Retorno sobre la Inversión (ROI) en mantenimiento

El ROI es un indicador financiero importante en el ámbito empresarial, utilizado para evaluar la eficacia y rentabilidad de las inversiones, especialmente en la gestión de mantenimiento. El ROI es un indicador que mide el rendimiento económico, puesto que establece la relación que existe entre los beneficios obtenidos respecto a los costes generados o incurridos, por lo que permite observar fácilmente el impacto que han tenido los recursos en la cifra de resultados. En el ámbito del mantenimiento, el ROI permite justificar las inversiones realizadas para la mejora del mantenimiento que sean capaces de demostrar su valor respecto a la mejora de la eficiencia y a la duración de los activos, que también pueden medirse en términos económicos. La sencillez y la flexibilidad del ROI hacen que sea una herramienta indispensable para tomar decisiones.

El manejo de datos en tiempo real y la digitalización han permitido que la medición del ROI en mantenimiento se caracterice por ser más precisa y más flexible. Las industrias pueden diseñar los indicadores de ROI que necesiten, personalizándolos para que se adecuen al propio contexto, a los procesos, a la reducción gastos y tiempos inactivos. Para aprovechar su utilidad, se puede combinar el ROI con otras métricas que tengan en cuenta cuestiones como el valor del dinero en el tiempo o los beneficios intangibles como son la seguridad o la satisfacción de clientes. El ROI se expresa con un porcentaje y se obtiene dividiendo las ganancias (o, en su caso, la pérdida) netas de una inversión entre el desembolso inicial o su costo [28].

La fórmula del ROI es (2):

$$ROI = \frac{\text{Valor actual de la inversión} - \text{Costo de la inversión}}{\text{Costo de la inversión}} \quad (2)$$

Donde:

Valor actual de la inversión: es el valor de una inversión en un momento dado

Costo de la inversión: se refiere al precio de adquisición de una inversión, incluyendo comisiones y gastos.

Tipos de Indicadores ROI en la Gestión de Mantenimiento

Estos indicadores abarcan diversos aspectos y permiten evaluar diferentes dimensiones de la eficiencia e inversión en el mantenimiento Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Tipos de indicadores ROI en la gestión de mantenimiento

| Tipos | Conceptos |
|--|--|
| Costo de mantenimiento por unidad de producción | Compara el costo total de mantenimiento con la cantidad de unidades producidas. |
| Reducción de costos de mantenimiento | Se enfoca en la disminución de los costos de mantenimiento antes y después de la implementación de mejoras. |
| Tiempo de inactividad reducido | Evalúa la cantidad de tiempo en que los activos o equipos están inactivos debido a problemas de mantenimiento. |
| Mejora de la confiabilidad y la calidad del mantenimiento | Evalúa la mejora en la confiabilidad y calidad del mantenimiento realizado en los activos, donde se puede medir aspectos como la reducción de fallas recurrentes, el cumplimiento de los estándares de mantenimiento [29]. |

4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

4.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Se llevó a cabo una investigación descriptiva y bibliográfica para el desarrollo del proyecto, lo que posibilitó reunir información detallada acerca de la maquinaria empleada en los procesos productivos de la empresa IPMATOA&H. Esto incluyó la identificación de componentes, elementos, funciones y características esenciales basadas en el rendimiento operativo de cada equipo. Esta metodología permitió la formulación de hipótesis sobre los tipos y modos de fallas, que se tratarán a través de tareas y técnicas de mantenimiento optimizadas con un sistema CAM.

Asimismo, se aplicó un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativa) para examinar las fallas y averías en la maquinaria ocasionadas por un mantenimiento inadecuado, haciendo un análisis exhaustivo de aquellos elementos y componentes susceptibles a fallos, como bombas y válvulas señaladas en la codificación de equipos. Se utilizó la investigación de campo a través de un control práctico-técnico, evaluando la operatividad de los equipos mediante visitas INSITU,

recopilación de datos en fichas técnicas, diagramas de flujo y órdenes de trabajo, finalmente se implementó un método explicativo para identificar las causas de las averías, a través de estudios de criticidad y AMEF, y proponer acciones preventivas fundamentadas en la información recopilada durante las inspecciones y el análisis de procesos.

MATERIALES

- 1 computador
- Flexómetro
- Cámara
- Cronómetro
- Smartphone

4.2. INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA

La industria papelerá IPMATOA&H., está ubicada en Latacunga, parroquia Pastocalle, Barrio Cuilche Miño, calle Cotopaxi, a cinco cuadras al norte de la escuela Rafael Cajiao Enríquez, inició sus operaciones en el año 2021 y surge como un emprendimiento familiar de cuatro hermanos dedicados a elaborar productos de papel higiénico que se comercializarán con la marca registrada “AMIGO”; además de dar servicios de maquila a diferentes marcas de las diferentes provincias del país como: AZULITO, FABY FRESH, LA CUBANITA, SUAVECITO Y MAR AZUL, enfocándose en la fabricación de papel higiénico en tamaño estándar y papel limpión. Actualmente, la empresa cuenta con un equipo de 9 trabajadores en modalidad de servicios prestados. La industria distribuye en diferentes lugares del Ecuador tales como Cotopaxi, Tungurahua, Pichincha y Chimborazo en la sierra, en el Guayas, Esmeraldas en la costa y en Pastaza en el oriente, fabricando aproximadamente 5 toneladas al mes, convirtiéndose en una industria competitiva a nivel nacional, cuenta con 5 máquinas industriales que son parte directa del proceso: una bobinadora, una tubera, una selladora, una cortadora y un horno refractario.

INFORMACIÓN DE LOS PRODUCTOS

La compañía se especializa en fabricar papel higiénico y papel limpión, con especificaciones cuidadosamente definidas para atender diferentes segmentos del mercado en la Tabla 4.1, se muestra detalladamente los productos.

Tabla 4.1. Información de los productos

| PRODUCTOS | |
|--|--|
| <p>Producto 1, con un largo de 100 m, un ancho de 8.7 cm y un peso de 496 g, está pensado para aplicaciones donde se prefiere un formato más manejable.</p> | |
| <p>Producto 2, con un largo de 180 m, un ancho idéntico de 8.7 cm y un peso de 541.67 g, como una alternativa más larga, adecuada para necesidades que demandan un suministro continuo sin interrupciones.</p> | |
| <p>Producto 3, que presenta un largo de 200 m, un ancho de 8.7 cm y un peso de 700 g, de esta manera ofrece una opción resistente para tareas de mayor duración.</p> | |
| <p>Producto 4, se denomina: ‘Limpión’ con un largo de 300 m, 21 cm de ancho y un peso de 810 g, emerge como la alternativa más grande y robusta, dirigida a entornos donde se requiere un alto consumo o almacenamiento prolongado.</p> | |

4.3. INFORMACIÓN DE LA MAQUINARIA

Bobinadora de papel (Jumbera industrial)

La bobinadora tiene como función principal convertir rollos grandes de papel en bobinas más pequeñas, adaptadas a las especificaciones de productos como papel higiénico y servilletas, optimizando el proceso productivo. Este equipo desempeña un papel clave al garantizar que el material sea enrollado con precisión, ajustándose a diferentes tamaños y longitudes requeridas, lo que facilita su posterior procesamiento o empaque. Su diseño permite una operación fluida y adaptable como se muestra en la Figura 4.1, contribuyendo significativamente a la eficiencia y calidad en la línea de producción.



(A) Bobinadora



(B) Panel de control

Figura 4.1. Bobinadora de papel (Jumbera industrial)

La bobinadora, presenta dimensiones robustas que incluyen un largo de 7.60 metros, un ancho de 2.80 metros y una altura de 2 m, con un peso total de 2500 kg, lo que la hace adecuada para entornos de producción intensiva. En términos de datos técnicos, está equipada con un motor trifásico que opera a 380 voltios, entregando una potencia de 10 HP (7.5 kW), lo que asegura un rendimiento eficiente para procesar grandes volúmenes de papel. Estas especificaciones reflejan su capacidad para manejar cargas pesadas y mantener un funcionamiento continuo, siendo un componente esencial en la transformación de rollos.

Características:

- Eje neumático para bobinado
- Sistema de estampado de acero
- Cilindro de aire independiente
- Plataforma de desenrollado neumática
- Cinta neumática ancha
- Dispositivo de ajuste de tensión independiente
- Interruptores de marcha lenta

Cortadora de papel

La cortadora segmenta rollos madre en rollos individuales con alta precisión, utilizando cuchillas en cinta. Incorpora ajustes paramétricos que permiten personalizar las dimensiones y perforaciones, logrando cortar 24 rollos de 200 g cada uno por cada bastón, lo que la hace ideal para la producción eficiente de productos de papel.



Figura 4.2. Cortadora de papel

La cortadora presenta dimensiones compactas como se observa en la Figura 4.2, con un peso de 430 kg, una altura de 1.80 m, un ancho de 0.70m y un largo de 1.33 m. Estas medidas la hacen adecuada para entornos industriales donde el espacio es un factor importante, permitiendo una fácil integración en líneas de producción sin comprometer la estabilidad ni la capacidad de manejo de rollos de papel.

Está equipada con un motor trifásico que opera a 380 voltios, entregando una potencia de 3 kW (2.2 kW). Este motor proporciona la fuerza necesaria para un corte eficiente y continuo, garantizando un rendimiento óptimo en la segmentación de rollos madre, con un diseño que optimiza el consumo energético en entornos de producción intensiva.

Características

- Corta el papel en bruto en rollos con la longitud y ancho necesarios.
- Configurada con un dispositivo de afilado de cuchilla automático y una plataforma de trabajo móvil.
- Rodamiento lineal que permite un deslizamiento suave por las guías, reduciendo el esfuerzo en el corte.
- Equipada con tubos metálicos, un volante de ajuste y resortes.

Selladora de fundas

El equipo está diseñado para sellar el paquete de plástico de rollos pequeños de papel higiénico como se observa en la Figura 4.3, asegurando un empaque hermético y de calidad. Su operación eficiente y precisa permite proteger el producto final, facilitando su almacenamiento y distribución.



Figura 4.3. Selladora de fundas

Cuenta con dimensiones compactas, con un peso de 40 kg, una altura de 0.80 m, un ancho de 0.70 m y un largo de 0.85 m. Estas medidas la hacen ideal para integrarse en líneas de producción donde el espacio es limitado, ofreciendo facilidad de manejo y estabilidad durante su operación.

Características

- Selladora de impulso, aplicando calor solo durante el sellado.
- Construcción metálica con una mesa de madera, proporcionando estabilidad y durabilidad.
- Mecanismo de activación manual operado mediante un pedal para sellar la funda.

Túnel refractario (horno)

El túnel de retracción, encoge el envoltorio plástico que cubren los rollos de papel higiénico, asegurando un empaque hermético, compacto y presentable para su distribución y venta. Su diseño optimiza la calidad del empaque, protegiendo el producto final y mejorando su apariencia comercial.



Figura 4.4. Túnel refractario (horno)

El túnel de retracción presenta dimensiones compactas como se muestra en la Figura 4.4, con un peso de 80 kg, una altura de 0.66 m, un ancho de 0.56 m y un largo de 1.60 m. Estas medidas permiten su integración en líneas de producción con espacio limitado, manteniendo estabilidad y eficiencia durante el proceso de empaquetado. Está equipado con un motor trifásico que opera a 380 voltios (50-60 Hz) y una Potencia de 9 kW. Este sistema proporciona la energía necesaria para generar el calor requerido en el proceso de retracción, asegurando un funcionamiento continuo y eficiente para el sellado y encogimiento de envoltorios plásticos.

Características

- Rango de temperatura ajustable, generalmente entre 150 °C y 165 °C.
- Soporte desmontable con altura ajustable para adaptarse a diferentes necesidades.
- Malla o banda resistente al calor (teflón o acero inoxidable), diseñada para soportar altas temperaturas y el peso de los paquetes.
- Cortinas térmicas o barreras en las entradas/salidas para evitar fugas de calor y proteger a los operadores.
- Pantalla digital para ajustar temperatura, velocidad de la cinta y tiempo de exposición.

Tubera artesanal

La tubera artesanal tiene como función principal cortar y rebobinar papel craft en rollos de manera automática y artesanal. Su construcción robusta con estructura metálica combina técnicas tradicionales con un diseño funcional (Figura 4.5), permite la producción precisa de tubos de papel craft para diversas aplicaciones.



Figura 4.5. Tubera artesanal

La tubera artesanal presenta dimensiones robustas, con un peso de 850 kg, una altura de 1.80 m, un ancho de 2.20 m y un largo de 3.50 m. Estas medidas la hacen adecuada para entornos industriales donde se procesan rollos de papel Craft, proporcionando estabilidad y capacidad para manejar materiales de gran tamaño. Está equipada con un motor trifásico reconstruido que opera a 220 V/380 V, entregando una potencia de 15 HP. Esta configuración asegura un rendimiento eficiente para el corte y rebobinado manual de papel Craft, combinando técnicas artesanales con la robustez necesaria para un funcionamiento continuo en la producción de tubos.

Características

- Ejes forjados a mano.
- Guías metálicas.
- Sistema de freno de contrapeso.
- Acoplamientos ajustables con cuñas.
- Molde guía.

4.4. LEVANTAMIENTO DEL PROCESO DE CONVERSIÓN DEL PAPEL HIGIÉNICO

A continuación, se muestra el procedimiento detallado de las actividades principales en el proceso de producción de papel higiénico en IPMATOA&H. Este flujo describe cada etapa desde el ingreso de materias primas hasta la salida de productos terminados, incluyendo los pasos de verificación, ajuste y control de calidad para garantizar que se cumplan los estándares establecidos en la Figura 4.6, muestra los procesos involucrados dentro de la organización.

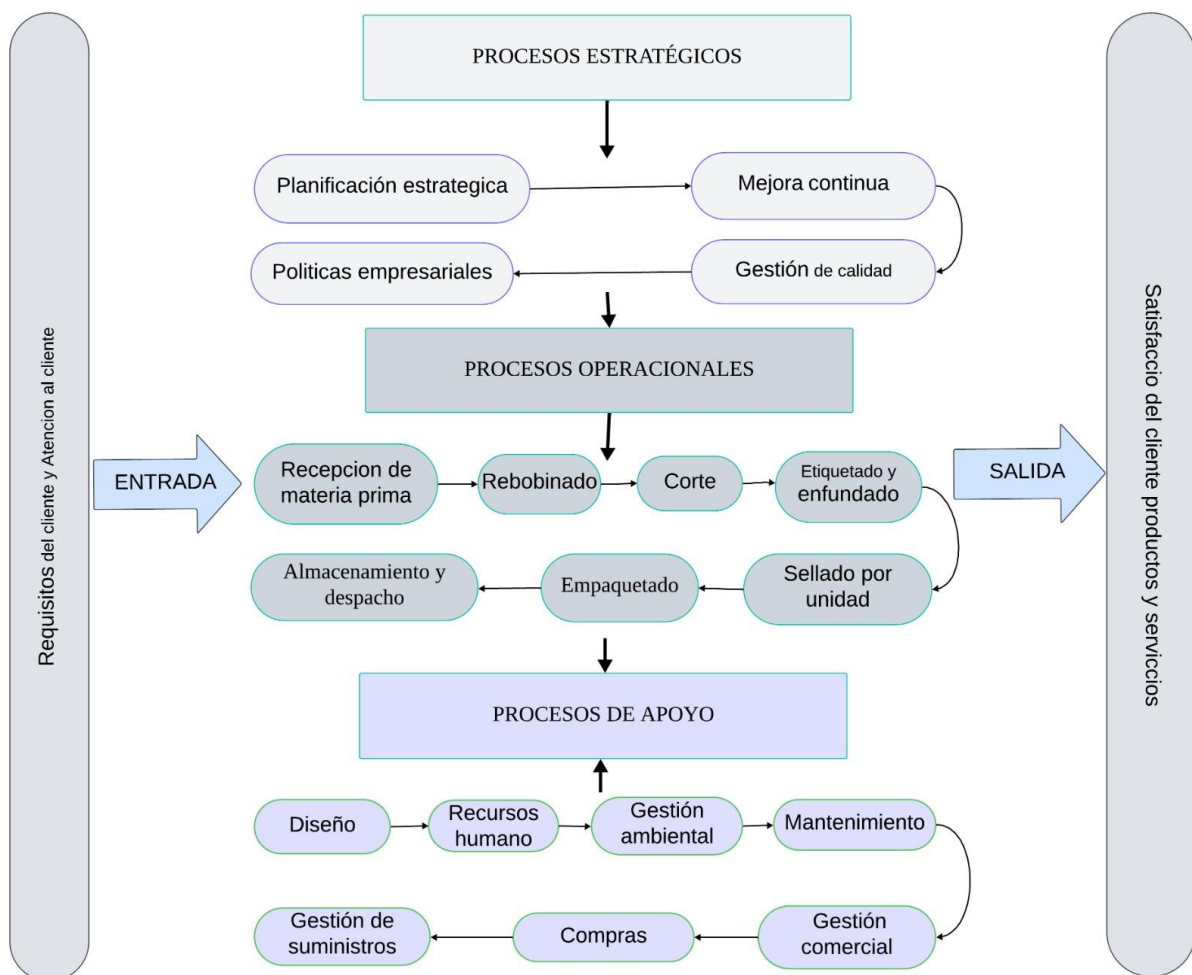


Figura 4.6. Mapa de proceso

4.5. FLUJOGRAMA DEL PROCESO

La Figura 4.7, presenta el flujograma del proceso productivo de papel higiénico en IPMATOA&H, ilustrando las etapas desde la recepción, bobinado, corte, enfundado ,termo

encogido hasta el almacenamiento , cada una acompañada de controles de calidad para garantizar la consistencia del producto a lo largo de las etapas, dentro del diagrama refleja un sistema organizado que incluye puntos de decisión y ajustes, permitiendo la repetición de procesos o el manejo de productos defectuosos cuando es necesario. . Cada etapa utiliza herramientas y equipos específicos para el procesamiento de las materias primas, culminando con la verificación final antes de su almacenamiento y distribución. Este enfoque asegura una trazabilidad clara y apoya la optimización del proceso productivo, sirviendo como base diseñar un sistema de mantenimiento preventivo que mejore la eficiencia operativa, minimizando interrupciones.

A continuación, se presenta el procedimiento detallado de las actividades principales en el proceso de producción de papel higiénico en IPMATOA&H.

- Recepción de materias primas, donde recibe el material (fundas, bobinas de papel higiénico, etiquetas) del proveedor.
- Verificación de calidad en la cual verifican color, tamaño, textura, grosor, largo y ancho; si no cumplen especificaciones, se devuelve al proveedor.
- Colocar bobinas en la parte posterior de la bobinadora según el número de capas necesarias; se ajusta la tensión y alineación, repitiendo si no son correctas.
- Control de calidad, donde se verifica que los cortes resulten parejos; si el producto no cumple calidad, se recicla o desecha, reajustar y repetir el proceso.
- Colocar etiquetas
- Enfundar el producto, si la funda no cumple características, se cambia y verifica.
- Colocar el producto en el horno; si el sellado tiene imperfecciones, se sella nuevamente.
- Almacenar y distribuir los productos terminados

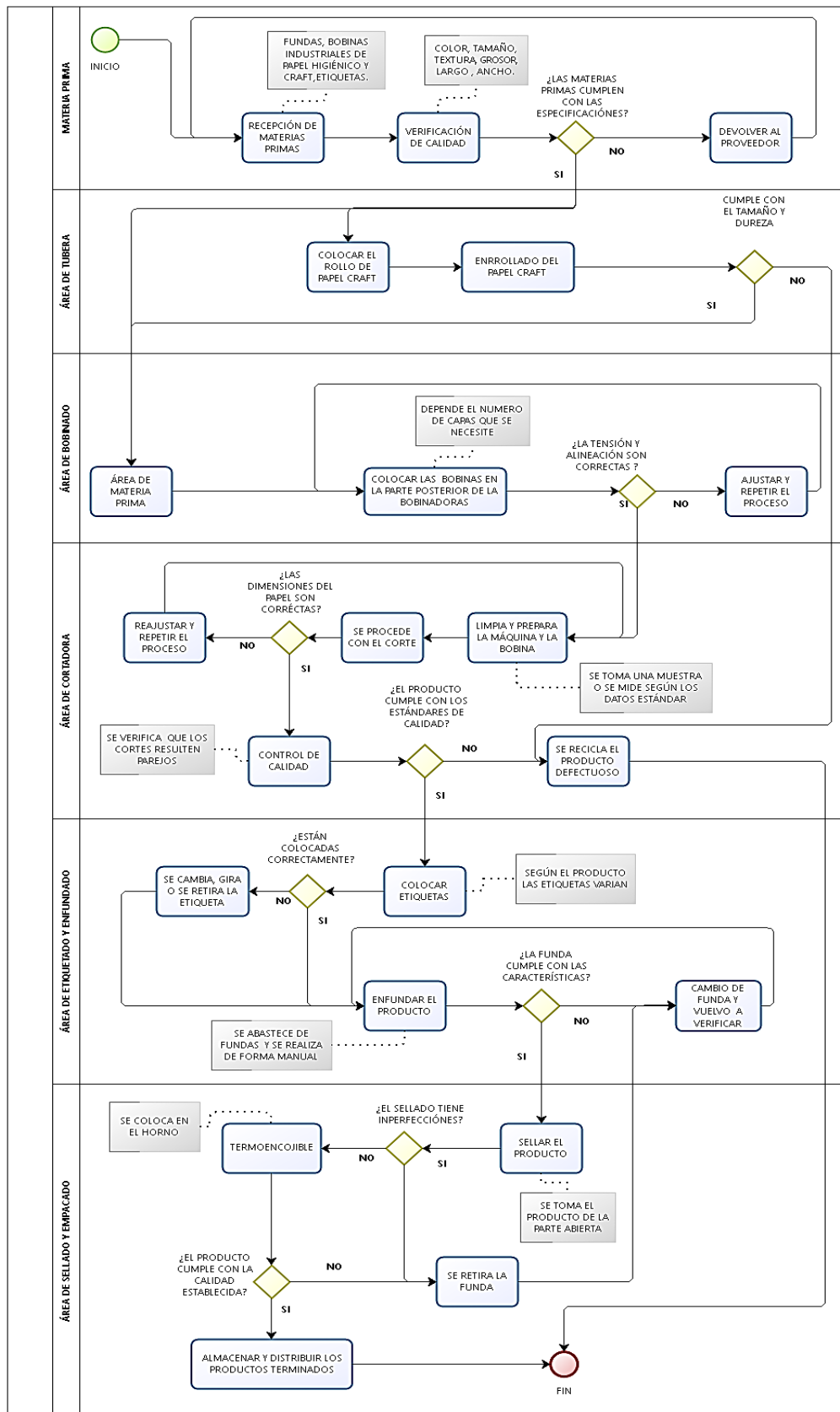


Figura 4.7. Flujo del proceso

4.6. LAYOUT

La Figura 4.8, se detalla el layout de la organización el cual está diseñado para optimizar el flujo de trabajo y la distribución, el diseño abarca dimensiones aproximadas de 450 metros cuadrados dentro se observa las áreas funcionales como la recepción de materias primas, seguida por una bodega y bodega de área, que sirven como puntos de almacenamiento inicial, continúa con una zona central de producción que incluye control de calidad, confección y empaque, interconectadas para un flujo eficiente, también se visualiza un recorrido de cómo se fabrica el producto, la cual pasa por 5 máquinas para obtener un producto terminado y culmina en una zona de almacenamiento en la parte inferior derecha, destinada a los productos terminados antes de su distribución.

Espacios de apoyo como oficina, comedor, servicios y área de descarga complementan la estructura, con símbolos que sugieren estaciones de trabajo y equipos, reflejando un diseño pensado para maximizar la productividad.

Esta disposición sugiere un proceso estructurado para fabricar servilletas y papel higiénico, donde la organización espacial facilita la supervisión y el movimiento de materiales desde la entrada hasta el despacho sin dificultad de provocar un accidente a los trabajadores.

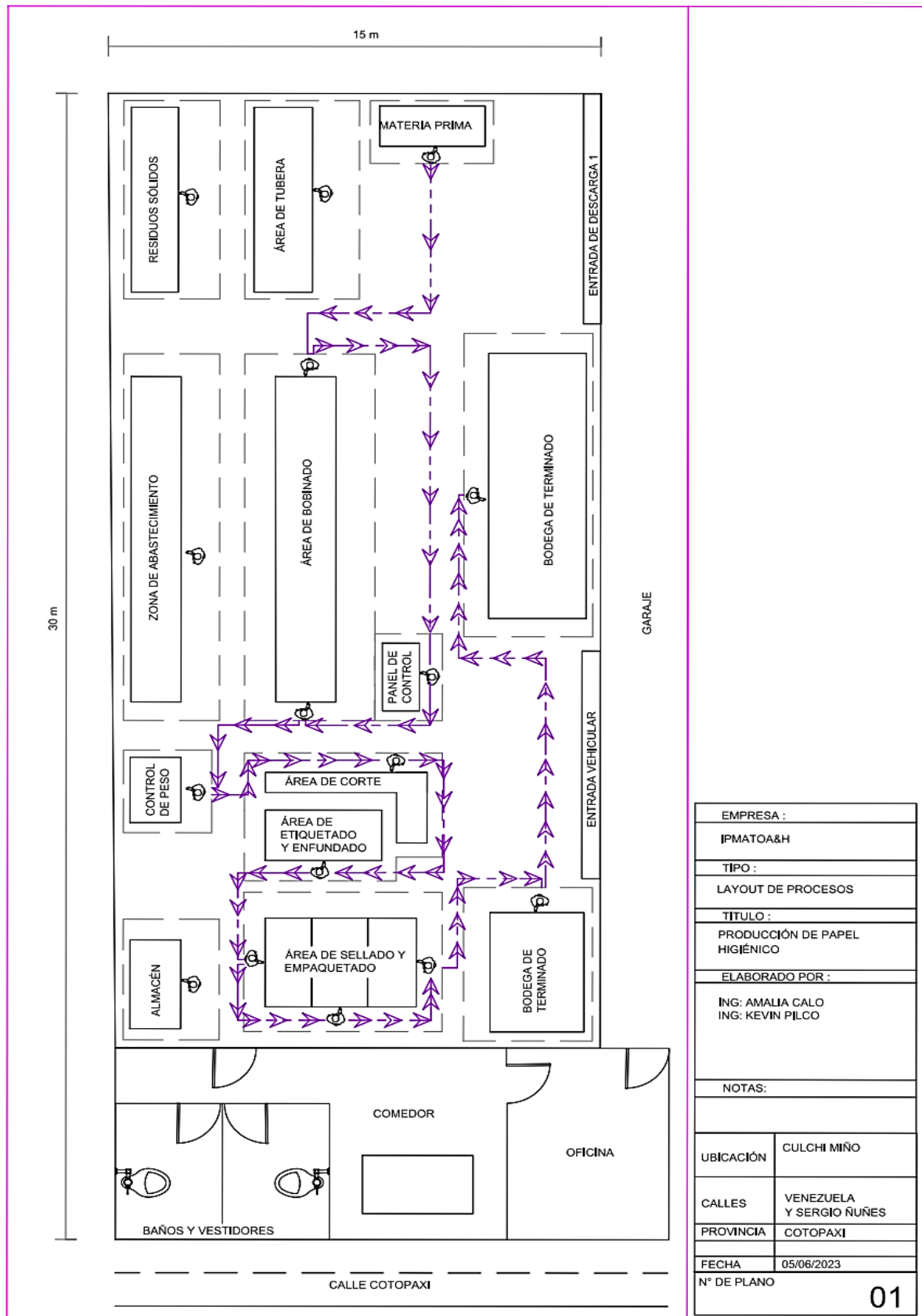


Figura 4.8. Layout de la empresa

4.7. CÓDIGOS IMPLEMENTADOS EN IPMATOA&H

IPMATOA&H., no dispone de un sistema de codificación para su maquinaria, por lo que se debe determinar un código para cada equipo, como se plantea en la Tabla 4.2. Esto permitirá implementar planes de mantenimiento preventivos eficientes y facilitará identificar los equipos.

Tabla 4.2. Codificación de los equipos

| Área | Clasificación |
|------|---------------|
| 01 | Bobinado |
| 02 | Corte |
| 03 | Sellado |
| 04 | Empaquetado |
| 05 | Materia prima |

La Tabla 4.3, presenta los códigos asignados a cada una de las áreas donde operan las máquinas, junto con sus nombres distintivos, proporcionando una organización y codificación apropiada.

Tabla 4.3. Codificación asignada a los equipos

| Área | Código de equipo | N° de unidad | Tipo de equipo | Código completo |
|------|------------------|--------------|----------------------|-----------------|
| 01 | BO | 01 | Bobinadora | 01BO01 |
| 02 | CO | 01 | Cortadora | 02CO01 |
| 03 | SL | 01 | Selladora | 03SL01 |
| 04 | TR | 01 | Túnel Refractario | 04TR01 |
| 05 | TA | 01 | Tubera Artesanal | 05TA01 |

4.8. FICHAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS

Se consiguió información relacionada con aspectos y factores importantes de los equipos que de IPMATOA&H. Su objetivo primordial consiste en poder aportar un registro claro, accesible y, por tanto, muy útil para facilitar la identificación, operación y gestión de las máquinas, garantizándose un control adecuado dentro del proceso productivo.

Se definió un modelo de ficha técnica que permite registrar de forma estructurada y completa los datos esenciales; tras el trabajo previo de identificar y detallar todos los elementos que necesariamente ha de incluir una ficha técnica se organizan los datos en una matriz estructurada y adecuada para cada máquina, la cual se acaba identificando dentro del Anexo (1), en ellas unen la información para asegurar una correcta integración de la misma y hacerla accesible; y así lograr unas decisiones adecuadas en relación al mantenimiento, la reparación o eventual sustitución de las máquinas.

4.9. EVALUACIÓN DE CRITICIDAD DE LA MAQUINARIA

Para determinar la criticidad de las máquinas en IPMATOA&H., se realizó un análisis conforme a las normas (SAE JA1011 y SAE JA1012), utilizando el producto del factor de frecuencia (FF) y la consecuencia de la falla (CO), según la ecuación (1). A partir de la Tabla 3.1, se creó una matriz de criticidad que clasifica los equipos en tres niveles: alto riesgo (crítico), riesgo medio (importante) y riesgo bajo (prescindible o sustituible). La criticidad total (CT) de cada máquina.

Se determinó multiplicando el FF por la CO, siendo esta última la suma del impacto operacional (IO), la flexibilidad operacional (FO), los costos de mantenimiento (CM), el impacto medioambiental (IMA) y el impacto en seguridad (IS).

4.10. EVALUACIÓN DEL AMEF DE LOS EQUIPOS

Dado que cada maquina exhibe factores de falla específicos, se llevó a cabo una encuesta indicada en el Anexo (2), para recopilar información clave que permitiera evaluar modos y efectos de fallas potenciales o existentes al iniciar el proceso productivo. Con este propósito, se empleó una matriz de AMEF (Análisis de Modo de Falla) en la cual se registraron los datos necesarios para caracterizar cada modo de fallo, siguiendo el formato presentado en la Figura 4.9.

| IPMATOA&H | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------------------|--|---------------------------------------|---|----------------------------------|---|--|------------------------|-------|---|--|---------------|-----------------------|-------------|-----------|-------|
| ANÁLISIS DE MODO DE FALLAS Y EFECTOS (A.M.E.F) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Nombre de Proceso o Producto: | Rollos de papel higiénico industrial | | | Tipo: | | | | Preparado por: | | Amalia Calo y Kevin Pico | | Página: | | 1 | | |
| | | | | Diseño | | Proceso | | | | | | Fecha (AMEF): | | | Revisión: | |
| Encargado: | Jefe de producción | | | Medios | | X | | 6/17/2025 | | | | | | | | |
| Maquina Código | | | | Pasos clave del proceso | Modos de falla potenciales | Efectos de fallas potenciales | F R E | Causas Potenciales | O C U | Controles de Ocurrencia | D E T | N P R | Acciones Recomendadas | Responsable | F R E | O C U |
| | ¿Cuál es el paso del proceso? | ¿De qué maneras puede fallar dicho paso del proceso? | ¿Cuál es el impacto de las variables? | ¿Qué tan frecuencia es el efecto para el cliente? | ¿Qué causa que el proceso falle? | ¿Que tan seguido ocurre la causa o modo de fallo? | ¿Cuáles son los controles existentes preventivos ? | ¿Qué pueden detectar ? | | ¿Cuáles son las acciones para reducir la ocurrencia de la causa o mejorar la detección? | ¿Quién es responsable de las acciones recomendadas ? | | | | | |

Figura 4.9. Análisis de moda de fallas y efectos

El AMEF es una herramienta de prevención que analiza los modos de fallo a través del Número de Prioridad de Riesgo (NPR), constan de tres factores y una escala del 1-10.

$$NPR = S \times O \times D \quad (3)$$

Donde:

Severidad (S): Evalúa el impacto del fallo (1-10, donde 10 es catastrófico)

Ocurrencia (O): Determina su probabilidad (1-10, donde 10 es muy frecuente).

Detección (D): Mide la capacidad de detectarlo antes de que cause su efecto (1-10, donde 10 es difícil de detectar).

Un NPR elevado indica fallas críticas que requieren acciones inmediatas, mientras que un NPR bajo indica riesgos que son manejables. Este enfoque facilita la priorización del mantenimiento en IPMATOA&H, optimizando la fiabilidad de los equipos.

4.11. ORDENES DE TRABAJO, RUTAS E INSPECCIONES

Dentro de la metodología abordada en esta investigación, se diseñó un sistema de codificación para generar órdenes de trabajo relacionadas con las rutas e inspecciones en el área de la producción, tomando como base la ejemplificación sistemática que organiza las actividades de mantenimiento preventivo. Este sistema de codificación incluye explícitamente los códigos RDIP para la ruta diaria para la inspección de producción limpio, así como inspecciones mensuales (IMBO, IMCO, IMSL, IMTR, IMTA) e inspecciones anuales (IABO, IACO, IASL, IATR, IATA) para equipos críticos como bobinadoras, cortadoras, selladoras, túneles de retracción y tuberías artesanales. La codificación sirvió para clasificar de manera clara y sistemática cada actividad, así como su periodicidad y el equipo asociado, lo que es fundamental

para facilitar planificar y ejecutar tareas de mantenimiento que se llevan a cabo en un entorno productivo.

4.12. PLAN MAESTRO DE MANTENIMIENTO

Se elaboró un plan maestro de mantenimiento preventivo que se utilizó para garantizar el funcionamiento eficiente de equipos industriales. Este plan, incluye actividades clave como ajuste de sistemas de transmisión, lubricación de mecanismos móviles, alineación de elementos mecánicos, inspección de conexiones eléctricas, limpieza etc. La programación de estas tareas se distribuyó a lo largo de un ciclo mensual y anual, como se muestra en el Anexo (3), asignándolas en semanas específicas de cada mes lo que permitió establecer un enfoque sistemático para minimizar interrupciones operativas y prevenir fallos críticos, asegurando una cobertura equilibrada y continua del mantenimiento.

4.13. RENDIMIENTO KPI

El desempeño de los KPI en el contexto de IPMATOA&H implica una evaluación tanto cuantitativa como cualitativa de la eficacia de los equipos y procesos de producción. Se mide su eficiencia, productividad y cómo se alinean con las metas empresariales. Estos indicadores son elaborados específicamente para cada máquina operativo e incluyen métricas como, el Tiempo Medio de Reparación (MTTR) y la Disponibilidad Operativa (OEE). Para ponerlos en práctica, se recopilan datos históricos y en tiempo real que se analizan con base en objetivos establecidos, lo que permite detectar desviaciones, áreas de mejora y cuellos de botella.

El desempeño de los KPIs implica una evaluación tanto cuantitativa como cualitativa de la eficacia de los equipos y procesos de producción, midiendo su eficiencia, productividad y alineación con las metas estratégicas de la empresa, específicamente para los equipos críticos: la bobinadora (01BO01) y la selladora (03SE01), identificados por su alta criticidad y AMEF en la Tabla 5.3 y 5.4 respectivamente. Para evaluar los KPIs, Disponibilidad y Tiempo Medio de Reparación (MTTR), se diseñó un procedimiento sistemático que mide la fiabilidad y eficiencia operativa de estos equipos pre y post implementación del sistema de CAM en Odo, alineado con la hipótesis del proyecto. Inicialmente, se estableció una línea base utilizando datos históricos de paros no planificados y tiempos de reparación que muestra la Tabla 2.1.

La Disponibilidad se calculó como el porcentaje de tiempo operativo respecto al tiempo total disponible, mientras que el MTTR se determinó dividiendo el tiempo total de reparación entre

el número de reparaciones, siguiendo las fórmulas definidas en la Tabla 3.2. Estos indicadores, elaborados específicamente para cada equipo, permitieron detectar desviaciones, cuellos de botella o áreas de mejora al comparar los resultados pre y post-CAM con los objetivos establecidos optimizando el desempeño de los equipos críticos, contribuyendo a las metas estratégicas de IPMATOA&H.

4.14. EVALUACION DEL PERSONAL

La evaluación de los trabajadores de IPMATOA&H es importante para unir las habilidades de los mismos con las demandas operativas empresariales. Este proceso busca optimizar el desempeño individual y colectivo, especialmente en el mantenimiento y funcionamiento de la maquinaria analizada a través del AMEF y los KPIs, asegurando la confiabilidad y eficacia de los procesos, apoyando así al éxito estratégico empresarial.

4.15. ORDENES DE MANTENIMIENTO

Las órdenes de mantenimiento generadas en el sistema digital especifican con precisión las acciones requeridas para el mantenimiento de la maquinaria, abarcando la identificación del equipo, el tipo de intervención, las tareas concretas, los recursos necesarios, el tiempo previsto y las medidas de seguridad, tal como se detalla en el Anexo (4). Estas órdenes, que se complementan con los resultados del AMEF y los KPIs de rendimiento, facilitan la priorización del mantenimiento de equipos críticos, mejoran la planificación, reducen tiempos inactivos y permiten llevar un registro histórico que refuerza la gestión del mantenimiento.

4.16. SELECCIÓN DEL PROGRAMA

Para la selección del programa de mantenimiento, se evaluaron herramientas digitales que permitan generar órdenes de trabajo detalladas. Con base en esta necesidad, se elaboró la Tabla 4.4, que incluye todas las características del programa y los tipos, facilitando la organización y seguimiento del mantenimiento según los requisitos específicos.

Tabla 4.4. Criterios cualitativos

| CARACTERÍSTICAS | TIPOS | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|--|---|
| | MaintainX | Odoo | Fractal |
| Accesibilidad | Sí | Sí | Sí (escaneo QR/NFC) |
| Gestión de inventarios | Sí (alertas de stock bajo) | Sí (básico en el módulo) | Sí (catálogo de activos y ubicaciones) |
| Precios Premium | \$ 29.00 mensual | Variable (según módulos) | \$230 mensual |
| Personalización | Sí (flujos de trabajo ajustables) | Sí (módulos y flujos personalizables) | Sí (configuración de campos) |
| Notificaciones Automáticas | Sí (alertas por correo y móvil) | Sí (recordatorios configurables) | Sí (email y app para tareas próximas) |
| Soporte Técnico | Sí (24/7 vía chat y correo) | Sí (comunidad y soporte pago) | Sí (chat en vivo y soporte premium) |
| Reportes y Análisis | Sí (tableros personalizados) | Sí (análisis de métricas) | Sí (reportes interactivos) |
| Exportación de Informes | Sí (PDF, Excel, CSV) | Sí (PDF, Excel, formatos personalizados) | Sí (PDF, Excel, exportación a terceros) |

4.17. INGRESO DE DATOS AL PROGRAMA

El ingreso de datos al programa Odoo se lleva a cabo con un enfoque práctico y accesible, utilizando aparatos tecnológicos (celulares, laptops), para adaptándose al ritmo diario de los trabajadores de IPMATOA&H. Este proceso comienza con la recopilación de información clave, como los registros de mantenimiento, órdenes de trabajo y datos de inventario, que se cargan directamente. Los operarios podrán capturar detalles en tiempo real durante las inspecciones, mientras que los supervisores, desde sus laptops organizan y validan todo con un toque personal que asegura que cada número y nota refleje el esfuerzo del equipo. La interfaz amigable de Odoo facilita que incluso quienes no son expertos en tecnología puedan participar, haciendo que el trabajo fluya como una conversación bien coordinada entre todos.

La segunda etapa del ingreso de datos transforma los datos iniciales en un sistema vivo y funcional. Con las laptops el equipo técnico podrá ingresar los archivos generados, ajustando

detalles como fechas de mantenimiento o niveles de stock con un cuidado que muestra su compromiso con la mejora continua. Desde los celulares, se actualizarán pequeñas correcciones o alertas sobre equipos como la bobinadora o cortadora. Este doble enfoque no solo agiliza el proceso, sino que crea un vínculo humano entre la tecnología y las personas que la hacen funcionar, asegurando que Odoos sea una herramienta que apoya, más que reemplaza, el ingenio y la dedicación del personal.

4.18. CAPACITACION DEL PERSONAL

La capacitación del personal en IPMATOA&H se transformara en una experiencia cercana y enriquecedora con el uso de celulares y laptops, adaptándose a las necesidades de cada integrante del equipo esto comienza con sesiones prácticas donde los operarios, con sus celulares en mano, exploran las funciones básicas del sistema que permiten a los participantes practicar en el taller, recibiendo retroalimentación inmediata mientras en las laptops, se proyectan manuales y simulaciones donde los instructores diseñan ejercicios prácticos que reflejan las rutinas diarias, como gestionar órdenes de trabajo para la bobinadora y las demás maquinas. Este enfoque asegura que cada persona, desde el novato hasta el más experimentado, se sienta apoyada y motivada para dominar las herramientas que harán su trabajo más fácil.

Este proceso no solo equipa al personal con el conocimiento necesario, sino que fomenta un sentido de comunidad, haciendo que Odoos sea una herramienta que crece junto con ellos. Con dedicación y apoyo mutuo, la capacitación se convierte en un puente hacia una producción más eficiente y segura.

4.19. ANÁLISIS DE RETORNO SOBRE LA INVERSIÓN (ROI)

El análisis del Retorno sobre la Inversión (ROI) se realizó como una herramienta clave para evaluar la viabilidad económica de la implementación del sistema CAM basado en Odoos como metodología se siguió un enfoque cuantitativo, estructurado en tres etapas principales: identificación y cuantificación de costos, estimación de beneficios económicos, y cálculo del ROI.

En la primera etapa, se identificaron los costos asociados a la implementación, incluyendo la licencia del software, capacitación del personal, tiempo de operarios, paros planificados durante pruebas piloto, adquisición de dispositivos tecnológicos, actualización del sistema,

infraestructura tecnológica y tiempo administrativo del supervisor. Estos costos se determinaron a partir de información proporcionada por la empresa, estimaciones de mercado para pymes en el contexto ecuatoriano.

En la segunda etapa, se cuantificaron los beneficios económicos derivados de la reducción de paros no planificados, la mejora en la disponibilidad de equipos, la disminución del tiempo medio de reparación (MTTR), la optimización de la gestión de inventarios y la reducción de tiempos administrativos. Los datos para estos cálculos provinieron del diagnóstico inicial de la empresa, que detalló los tiempos de inactividad, disponibilidad actual y procesos manuales, complementados con las mejoras proyectadas tras la implementación del sistema CAM.

Se asumió un horizonte temporal de un año sin aplicar tasa de descuento manteniendo el enfoque a corto plazo, y se consideraron suposiciones como el costo de producción por hora y los salarios del personal, ajustados al contexto laboral ecuatoriano. Esta metodología permitió evaluar de manera sistemática el impacto económico del sistema CAM, asegurando que los cálculos fueran coherentes con los objetivos del proyecto y el entorno operativo de IPMATOA&H.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En esta sección se presenta el análisis y discusión de los resultados obtenidos a partir de la propuesta para el diseño de un Sistema de Gestión de Mantenimiento Asistido por Computadora (CAM) en la empresa papelería IPMATOA&H. El propósito principal de esta investigación fue optimizar las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo, reducir los tiempos de inactividad de los equipos críticos y mejorar la eficiencia operativa en el área de producción.

La investigación adoptó un enfoque mixto, combinando técnicas cualitativas y cuantitativas, con un diseño de estudio de caso aplicado en IPMATOA&H. Las actividades realizadas incluyeron:

5.1. EVALUACIÓN DE PROCESOS ACTUALES Y ANÁLISIS DE CRITICIDAD

La primera fase del proyecto consistió en evaluar los procesos de mantenimiento actuales en IPMATOA&H. Las observaciones in situ y las entrevistas al personal técnico revelaron una gestión de mantenimiento predominantemente manual, con ausencia de registros históricos sistematizados, generación manual de órdenes de trabajo y falta de planificación estructurada.

Esto resultó en 120 horas de paros no planificados en 2021, con pérdidas económicas estimadas en USD 400 por evento, según los datos proporcionados por la empresa.

5.2. VISITA IN SITU

La visita in situ se realizó en las instalaciones de IPMATOA&H, con un total de 120 horas de observación directa en el área de producción. Esta actividad permitió identificar los equipos críticos (bobinadora, cortadora, selladora, túnel refractario y tubera artesanal) y los puntos de fallo recurrentes, como el desgaste de rodamientos y el desgaste de cuchillas. Se observaron 4 operarios en acción, destacando una resistencia inicial al cambio debido a la falta de familiaridad con herramientas digitales. Las condiciones del entorno, como la temperatura elevada en el túnel refractario y la conectividad intermitente en áreas remotas fueron documentadas, influyendo en la planificación del sistema CAM.

5.3. ENCUESTA PERSONAL

La encuesta al personal se aplicó a los 4 operarios, utilizando entrevistas semiestructuradas para evaluar su percepción sobre los procesos de mantenimiento y la adopción de tecnología. A continuación, se presenta los resultados:

Tabla 5.1. Resultados de la encuesta personal

| MÉTRICAS | RESULTADOS (%) |
|---|----------------|
| Operarios que reportaron fallas mensuales. | 100 % |
| Bobinadoras identificadas como equipo más problemático. | 89% |
| Fallas mecánicas. | 56 % |
| Fallas operativas. | 33 % |
| Tiempos de respuesta calificados como “rápidos”. | 89 % |
| Disponibilidad de repuestos “a veces”. | 78 % |
| Incidentes de seguridad reportados. | 67 % |
| Problemas de conectividad móvil | 10% |

La encuesta realizada a los operarios revela una percepción positiva sobre los beneficios del sistema CAM implementado el 15 de abril de 2025. Todos los operarios (100 %) destacaron

como beneficios principales la reducción de paradas no planificadas y la implementación de alertas tempranas. Además, el 78 % espera una optimización en la gestión de repuestos, mientras que el 44 % valora el acceso a historiales de mantenimiento y una mayor seguridad laboral, reflejando las prioridades del personal.

La disposición para adoptar Odoos fue unánime (100 %), y se identificaron necesidades urgentes como la implementación de itinerarios preventivos (56 %) y la mejora en los tiempos de respuesta (33 %). Estas demandas están siendo atendidas mediante el plan maestro y una reducción del 66 % en el tiempo de generación de órdenes de trabajo. Actualmente, el 100 % de los operarios depende de métodos manuales, sin uso de herramientas digitales. El tiempo dedicado al mantenimiento correctivo varía: el 44 % dedica menos del 25 % y el 22 % más del 50 %.

5.4. FICHAS TÉCNICAS

Las fichas técnicas, constituyen un recurso documental fundamental que detalla las especificaciones técnicas y operativas de los cinco equipos principales utilizados en las instalaciones de IPMATOA&H. Estas fichas ofrecen un panorama detallado de las características inherentes a cada máquina, sirviendo como base para la planificación de actividades de mantenimiento. Entre los datos destacados se indican en la Figura 5.1.

| IPMATOA&H | | | | | | |
|---|--|----------------|--|------------------------|-----------------|--|
| FICHA TÉCNICA DE LA MÁQUINA | | | | | | |
| Realizado por: | KP y AC | Fecha: | | Version: | 01 | |
| Máquina - Equipo | Bobinadora | | Responsable | Personal Mantenimiento | | |
| Fabricante | Quanzhou Chuangda Machinery Manufacture CO.,Ltd. | | Ubicación | Área de bobinado | | |
| Modelo | CDH-190 | | N° de maquina | 1 | | |
| Marca | Chuangda | | Código | 01BO01 | | |
| Dimensiones | | | | | | |
| Peso | 2500kg | Altura | 1,80 m | Ancho | 2,60m | |
| Largo | 6,20m | | | | | |
| Datos técnicos | | | | | | |
| Motor | AC + Inverter | Voltios | 380V | Potencia | 50 HP (37.3 kW) | |
| Función: La máquina bobinadora de papel higiénico, convierte grandes rollos en bobinas más pequeñas de acuerdo al producto a elaborar. | | | Foto de Máquina- Equipo | | | |
| <p>Característica:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La bobinadora y cortadora de rollos de papel higiénico utiliza el eje neumático para bobinar y reducir a una bobina más pequeña. 2. Utiliza acero en el sistema de estampado de acero y un cilindro de aire independiente para un fácil manejo. 3. La rebanadora de rollos grandes está diseñada con una plataforma de desenrollado y un mecanismo neumático para la carga del papel, y la cinta neumática ancha para la alimentación. 4. Equipada con el dispositivo de ajuste de tensión independiente para cada rollo de papel en bruto para reducir la carga de trabajo y garantizar su buen funcionamiento. 5. La bobinadora y cortadora de rollos de papel higiénico grandes utiliza interruptores de marcha lenta, haciendo el bobinado y corte longitudinal del rollo de papel más seguro y confiable. | | |   | | | |
| Mantenimiento Preventivo: | | | | | | |
| <ol style="list-style-type: none"> 1.-Ajustar las correas transportadoras antes de comenzar la producción, 2.asegurarse de que el sistema de elevación neumática esté limpio, las mangueras no deben tener obstrucciones y revisar el funcionamiento del rociado de pegamento. | | | | | | |
| Precauciones | | | Asegurarse de que el papel esté correctamente fijado antes de comenzar el rebobinado. | | | |

Figura 5.1. Ficha técnica de la bobinadora

5.5. PLAN MAESTRO DE MANTENIMIENTO

Este plan constituye una herramienta estratégica que establece un cronograma anual para la inspección y reparación de la maquinaria operativa en IPMATOA&H, diseñado para garantizar su funcionamiento continuo y minimizar interrupciones. Este plan delimita tres niveles de intervención: inspecciones diarias como se muestra en el checklist diario de mantenimiento, mensuales y anuales, como se puede observar en los Anexo (3), una programación que prioriza ejecutar tareas preventivas según necesidades específicas de cada equipo. Las inspecciones diarias se centran en revisiones visuales y verificaciones básicas, asegurando una detección temprana de anomalías, mientras que las mensuales abordan tareas más detalladas, como lubricaciones y ajustes de componentes críticos. Las inspecciones anuales, programadas para un período específico dentro del año, están orientadas a revisiones exhaustivas y reemplazo de piezas desgastadas, contribuyendo a la longevidad de los equipos.

El análisis de los resultados indica un cumplimiento variable según el tipo de inspección, con alta adherencia en las actividades diarias, que reflejan la disciplina operativa del personal, y un avance parcial en las mensuales, sugiriendo la necesidad de optimizar la asignación de recursos. Las inspecciones anuales, al estar en una etapa inicial de planificación, aún no han sido ejecutadas, lo que representa una oportunidad para reforzar la preparación previa. La estructura del plan maestro evidencia un enfoque proactivo, al establecer intervalos regulares que responden a las demandas operativas, aunque la variación en el cumplimiento subraya la importancia de ajustar los procedimientos para maximizar su efectividad. Este enfoque sistemático proporciona una base sólida para gestionar el mantenimiento, destacando la relevancia de la ejecución consistente para mantener la operatividad.

CHECKLIST DIARIO DE MANTENIMIENTO

Área: Producción / Mantenimiento

Responsable: _____

Fecha: ____ / ____ / ____

Instrucciones Generales

1. Revisar y completar cada ítem al inicio del turno.
2. Si se detecta cualquier anomalía o condición insegura, detener el equipo y reportar inmediatamente al personal a cargo.
3. Usar las siguientes marcas:
 - ✓ Realizado sin anomalías
 - ✗ No realizado (justificar)

Equipo: Bobinadora

| Nº | Actividad | Estado | Observaciones |
|----|---|--------|---------------|
| 1 | Inspección visual de rodamientos, motor y poleas. | | |
| 2 | Revisión de controles (botones, HMI, sensores) y sistema de emergencia. | | |
| 3 | Inspección de fugas de lubricante en rodamientos o sistemas de transmisión. | | |
| 4 | Revisión de la presión de aire en sistemas neumáticos para frenos. | | |
| 5 | Verificación de la alineación de la bobina madre (evitar desviaciones o arrugas). | | |
| 6 | Comprobación de correas (desgaste, grietas o desajuste). | | |
| 7 | Limpieza de rodillos, guías y superficies de contacto (eliminar polvo, residuos de papel y fibras). | | |
| 8 | Verificación de la tensión del papel (evitar roturas, arrugas o enrollado desigual). | | |
| 9 | Comprobación de sensores de longitud. | | |

Equipo: Cortadora

| Nº | Actividad | Estado | Observaciones |
|----|---|--------|---------------|
| 1 | Inspección visual de cuchillas para detectar desgaste, mellas o acumulación de residuos. | | |
| 2 | Verificación de la alineación de las cuchillas para garantizar cortes precisos y uniformes. | | |
| 3 | Limpieza de cuchillas, rodillos, guías y del área circundante para eliminar polvo, fibras de papel y adhesivos. | | |
| 4 | Revisión de las protecciones de seguridad. | | |

Equipo: Selladora

| Nº | Actividad | Estado | Observaciones |
|----|---|--------|---------------|
| 1 | Inspección visual de resistencias térmicas para detectar sobrecalentamiento, desgaste o acumulación de residuos. | | |
| 2 | Verificación del sellado en empaques para detectar defectos o inconsistencias. | | |
| 3 | Limpieza de superficies de sellado (barras, placas) y el área circundante para eliminar residuos de adhesivo, papel o plástico. | | |
| 4 | Monitoreo de la temperatura de las resistencias. | | |
| 5 | Comprobación de protecciones de seguridad. | | |

Equipo: Horno Refractario

| Nº | Actividad | Estado | Observaciones |
|----|---|--------|---------------|
| 1 | Inspección visual de elementos calefactores (resistencias) para detectar sobrecalentamiento, corrosión o daños. | | |
| 2 | Limpieza de la cámara interna del horno y del área circundante para evitar acumulación de desechos y polvo. | | |
| 3 | Revisión de controles (temperatura y velocidad). | | |
| 4 | Verificación de las protecciones de seguridad. | | |
| 5 | Identificación de olores anómalos (quemado) que indiquen fallos o acumulación de residuos. | | |

6 Comprobación de la estabilidad de la alimentación eléctrica.

Equipo: Tubera Artesanal

| Nº | Actividad | Estado | Observaciones |
|----|---|--------|---------------|
| 1 | Inspección visual de moldes y rodillos para detectar acumulación de pegamento, papel o desgaste. | | |
| 2 | Identificación de ruidos, vibraciones o sobrecalentamiento en motor y rodamientos. | | |
| 3 | Asegurar que el freno manual y el control de tensión funcionen correctamente. | | |
| 4 | Limpieza de moldes, rodillos y guías para eliminar residuos de pegamento, papel o polvo. | | |
| 5 | Revisión de controles manuales (on/off del motor). | | |
| 6 | Comprobación de la calidad del corte de tubos para detectar cuchillas desafiladas o desajustadas. | | |
| 7 | Verificación de la tensión de correas o cadenas de transmisión. | | |
| 8 | Inspección visual de la consistencia del pegamento para evitar excesos o insuficiencias. | | |
| 9 | Revisión de protecciones de seguridad por daños o mal funcionamiento. | | |

Acciones en caso de detectar anomalías:

- Paso 1: Detener inmediatamente la bobinadora si existe riesgo de seguridad o daño al equipo.
- Paso 2: Registrar la anomalía en el campo “Observaciones”.
- Paso 3: Notificar al personal a cargo de forma verbal y por escrito (ficha técnica o app del sistema CAM).
- Paso 4: Etiquetar el equipo con aviso de “Fuera de Servicio” si se requiere intervención mayor.

5.6. ÓRDENES DE TRABAJO

Las órdenes de trabajo constituyen un componente esencial en la gestión de las actividades de mantenimiento dentro de IPMATOA&H, sirviendo como registros detallados que documentan las tareas realizadas y pendientes en los equipos operativos. Este sistema de registro abarca un conjunto de órdenes históricas que reflejan intervenciones pasadas, así como un número significativo de solicitudes nuevas generadas recientemente, proporcionando una visión integral de las necesidades de mantenimiento.

Las órdenes incluyen identificadores específicos para cada equipo, como códigos que facilitan la trazabilidad de las intervenciones, y detallan tareas tales como lubricaciones, ajustes y reparaciones de componentes críticos, lo que permite una clasificación clara de las prioridades operativas.

Los resultados revelan un cumplimiento notable en la ejecución de las órdenes nuevas, con una alta proporción completadas dentro de los plazos establecidos, lo que indica una capacidad operativa eficiente por parte del personal.

Sin embargo, persiste un porcentaje de órdenes pendientes, lo cual evidencia cuellos de botella que requieren atención para optimizar el proceso. El tiempo dedicado a la generación de estas órdenes ha mostrado una tendencia a la reducción, evidenciando mejoras en la eficiencia administrativa asociada a su elaboración.

5.7. CÓDIGO DE RUTA E INSPECCIONES

En la siguiente Tabla 5.2, se detallan la codificación para ordenes de trabajos diarios, mensuales y anuales.

Tabla 5.2. Código de rutas e inspecciones

| CODIGO DE RUTA E INSPECCIONES | |
|--|---|
| Codificación para generar las ordenes de trabajo | |
| Área de producción | |
| Código | Descripción |
| RDIP | Ruta diaria de inspección de producción |
| IMBO | Inspección mensual bobinadora |
| IMCO | Inspección mensual cortadora |
| IMSL | Inspección mensual selladora |
| IMTR | Inspección mensual túnel de refracción |
| IMTA | Inspección mensual tubera artesanal |
| IABO | Inspección anual bobinadora |
| IACO | Inspección anual cortadora |
| IASL | Inspección anual selladora |
| IATR | Inspección anual túnel de refracción |
| IATA | inspección anual tubera artesanal |

En la Figura 5.2, se presenta la orden de trabajo diario, de igual manera las órdenes mensuales y anuales se pueden observar en los Anexo (4).

| ÓRDENES DE TRABAJO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO | | | | | |
|---|------|---|----------------------------|------------------|--|
| Responsable: | | Equipo o Instalación: | Inspección General Diaria | | |
| Responsable de bodega: | | Tipo de solicitud: | INMEDIATA | | |
| Código ruta: | RDIP | Solicitud de trabajo No.: | | | |
| HERRAMIENTAS | | EQUIPOS DE PROTECCIÓN | | | |
| Engrasadora manual Soplado Caja de llaves de apriete Llaves hexagonales Desarmadores | | Ropa industrial Guantes de cuero Gafas de protección Tapones auditivos Zapatos punta de acero Mascarilla con filtro | | | |
| RIESGOS DEL TRABAJO Y MEDIDAS PREVENTIVAS | | TIPO ORDEN DE TRABAJO NORMAL URGENTE | FIRMA DEL OPERARIO: | | |
| Riesgo eléctrico Caída de piezas Posturas forzadas Golpes y contusiones Cortes en las manos Ruido Quemaduras Proyección de partículas en los ojos | | CONDICIÓN DE PARADA CON PÉRDIDA DE PRODUCCIÓN SIN PÉRDIDA DE PRODUCCIÓN | | | |
| | | TIPO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO PREVENTIVO MECÁNICO ELÉCTRICO | | | |
| | | FECHA DE INICIO | | | |
| | | FECHA: | HORA: | | |
| | | FECHA DE TERMINACIÓN | | | |
| | | FECHA: | HORA: | | |
| MATERIALES | | CODIGO DE MATERIALES | | | |
| Aceites, Lubricantes, Waype, Grasa, Thinner, Escoba, Materiales de limpieza | | | | | |
| EQUIPO | | TAREAS DE INSPECCIÓN | | RESULTADO | |
| BOBINADORA | | Inspeccionar rodamientos, motor, poleas. | | | |
| | | Verifique la alineación de la bobina madre. | | | |
| | | Comprobar correas por desgaste. | | | |
| | | Limpiar rodillos, guías, superficies. | | | |
| | | Revisar controles y emergencias. | | | |
| | | Verificar la tensión del papel. | | | |
| | | Comprobar sensores de longitud. | | | |
| Inspeccionar fugas de lubricante. | | | | | |
| | | Revisar presión de aire frenos. | | | |
| CORTADORA | | Inspeccionar cuchillas por desgaste. | | | |
| | | Verifique la alineación de las cuchillas. | | | |
| | | Comprobar ruidos, vibraciones, calentamiento. | | | |
| | | Limpiar cuchillas, rodillos, guías. | | | |
| | | Limpiar el área circundante a la máquina. | | | |
| | | Monitorear temperatura motor, corte. | | | |
| | | Revisar protecciones de seguridad. | | | |
| SELLADORA | | Inspeccionar resistencias térmicas. | | | |
| | | Verificar uniformidad del sellado. | | | |
| | | Limpiar superficies de sellado. | | | |
| | | Limpiar área circundante máquina. | | | |
| | | Verificar presión de sujeción. | | | |
| | | Monitorear temperatura resistencias. | | | |
| | | Comprobar protecciones de seguridad. | | | |
| TÚNEL DE REFRACCIÓN | | Inspeccionar elementos calefactores. | | | |
| | | Verificar ruidos, vibraciones, sobrecalentamiento. | | | |
| | | Limpiar cámara interna horno. | | | |
| | | Limpiar área circundante horno. | | | |
| | | Revisar controles. | | | |
| | | Verificar protecciones de seguridad. | | | |
| | | Monitorear olores anómalos. | | | |
| | | Revisar ventilación o extracción. | | | |
| | | Comprobar estabilidad alimentación eléctrica. | | | |
| TUBERA ARTESANAL | | Inspeccionar moldes, rodillos por residuos. | | | |
| | | Comprobar ruidos, vibraciones, sobrecalentamiento. | | | |
| | | Verificar freno manual, control tensión. | | | |
| | | Limpiar moldes, rodillos, guías. | | | |
| | | Revisar controles manuales. | | | |
| | | Comprobar calidad corte tubos. | | | |
| | | Verificar tensión correas, cadenas. | | | |
| | | Monitorear consistencia del pegamento. | | | |
| | | Revisar protecciones de seguridad. | | | |
| OBSERVACIONES: | | | | | |

Figura 5.2. Ordenes de trabajo diario

5.8. ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y AMEF:

5.8.1. Análisis de criticidad

El análisis de criticidad se llevó a cabo para identificar y priorizar los equipos críticos en la planta de IPMATOA&H, como se muestra en la Tabla 5.3, con el objetivo de optimizar la asignación de recursos de mantenimiento y minimizar los tiempos de inactividad.

Los equipos analizados fueron: Bobinadora (01BO01), Cortadora (02CO01), Selladora (03SL01), Túnel Refractario (04TR01) y Tubera Artesanal (05TA01), identificados en las fichas técnicas (hojas 7-11 del Excel). La clasificación de criticidad se estableció en tres niveles: **Alta** ($CT \geq 50$), **Media** ($30 \leq CT < 50$) y **Baja** ($CT < 30$), permitiendo priorizar los recursos de mantenimiento hacia los equipos con mayor impacto en la producción.

Tabla 5.3. Matriz de Criticidad de Equipos

| COD. | EQUIPO | Factor frecuencia | Impacto operacional | Flexibilidad operacional | Costos de mantenimiento | Impacto de seguridad | Impacto medio ambiental | Consecuencia | Criticidad total | CRITICIDAD |
|--------|---------------------|-------------------|---------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|--------------|------------------|------------|
| | | FF | IO | FO | CM | IS | IMA | CO | CT | |
| 01BO01 | BOBINADORA | 4 | 5 | 1 | 4 | 4 | 2 | 16 | 64 | ALTA |
| 02CO01 | CORTADORA | 4 | 5 | 1 | 4 | 4 | 2 | 16 | 64 | ALTA |
| 03SL01 | SELLADORA | 3 | 4 | 2 | 4 | 4 | 2 | 16 | 48 | MEDIA |
| 04TR01 | TUNEL DE REFRACCIÓN | 3 | 4 | 2 | 4 | 4 | 3 | 17 | 51 | ALTA |
| 05TA01 | TUBERA ARTESANAL | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 | 13 | 39 | MEDIA |

5.8.2. Análisis por equipo

Bobinadora (01BO01)

- **Criticidad Total: 64 (Alta).** La bobinadora es el equipo más crítico debido a su alta frecuencia de fallos (FF=4, 1-3 eventos al año) y un elevado impacto operacional (IO=5, pérdidas >75% de la producción mensual). Su función central en el proceso de conversión de rollos jumbo en bobinas más pequeñas la hace indispensable. El bajo factor de flexibilidad operativa (FO=1) indica stock suficiente y reparaciones rápidas, pero los

costos de mantenimiento (CM=4, USD 10,000-20,000) y riesgos de seguridad (IS=4, posibles incapacidades parciales) elevan su criticidad.

Cortadora (02CO01)

- **Criticidad Total: 64 (Alta).** La cortadora, comparte la máxima criticidad con la bobinadora debido a su alta frecuencia de fallos (FF=4) y elevado impacto operacional (IO=5). Su rol en segmentar rollos madre en rollos individuales con alta precisión es crucial para la producción. Similar a la bobinadora, su flexibilidad operativa es alta (FO=1), pero los costos de mantenimiento (CM=4) y riesgos de seguridad (IS=4) son significativos.

Túnel Refractario (04TR01)

- **Criticidad Total: 51 (Alta).** El túnel refractario, tiene una criticidad alta debido a su impacto medioambiental moderado (IMA=3, daños medios al ambiente) y frecuencia de fallos probable (FF=3, 1 evento en 3 años). Su función de sellado y encogimiento del envoltorio plástico es esencial para la presentación del producto. Los costos de mantenimiento (CM=4) y riesgos de seguridad (IS=4) contribuyen a su criticidad.

Selladora (03SL01)

- **Criticidad Total: 48 (Media).** La selladora, tiene una criticidad media debido a una frecuencia de fallos moderada (FF=3) y un impacto operacional significativo (IO=4, pérdidas del 50-74% de la producción). Su operación manual con pedal reduce su complejidad, pero los costos de mantenimiento (CM=4) y riesgos de seguridad (IS=4) son relevantes.

Tubera Artesanal (05TA01)

- **Criticidad Total: 39 (Media).** La tubera artesanal, tiene una criticidad media debido a su frecuencia de fallos moderada (FF=3) y menor impacto operacional (IO=3, pérdidas del 25-49%). Su diseño personalizado y operación manual limitan su impacto, pero los costos de mantenimiento (CM=3, USD 3,000-10,000) y riesgos de seguridad (IS=3) son considerables.

5.9. ANÁLISIS DEL AMEF DE LA MAQUINARIA

El AMEF se llevó a cabo para detectar y evaluar posibles modos de fallo de los equipos críticos en la planta de IPMATOA&H, como se detalla en la Tabla 5.4, con el propósito el mantenimiento según su criticidad, minimizando tiempos inactivos. Este análisis permitió determinar las causas raíz de fallos en equipos clave, como la cortadora y la bobinadora, asignando recursos de manera eficiente para prevenir interrupciones en la producción y optimizar la confiabilidad operativa.

Tabla 5.4. Analisis AMFE

| Máquina | Proceso | NPR | Nivel de Criticidad | Acción Recomendada |
|-----------------------------------|-------------------------|-----|---------------------|---|
| Bobinadora (01BO01) | Desenrollado del rollo | 8 | Bajo | Instalar sensores para detectar roturas |
| | Rebobinado | 9 | Moderado | Aumentar frecuencia de auditorías |
| | Control de velocidad | 8 | Bajo | Calibrar PLC regularmente |
| | Pre-corte | 9 | Moderado | Instalar guías automatizadas |
| | Aplicación de pegamento | 6 | Bajo | Verificar compatibilidad del pegamento |
| Cortadora (03CO01) | Corte de papel jumbo | 8 | Bajo | Afilar cuchillas regularmente |
| | Cortes desiguales | 6 | Bajo | Limpiezas post-turno |
| Selladora (03SL01) | Sellado de fundas | 15 | Significativo | Mejorar limpieza de barras de sellado |
| | Sellado final y corte | 30 | Crítico | Usar lubricante específico en resortes |
| Túnel Refractario (04TR01) | Fundas rotas | 15 | Significativo | Capacitar al personal en uso de máquina |
| | Sellado al vacío | 6 | Bajo | Limpiezas mensuales de conductos |
| | Objetos metálicos | 4 | Bajo | Charlas para evitar objetos extraños |
| Tubera Artesanal (05TA01) | Carga y ajuste | 15 | Significativo | Probar movimiento del cartón |
| | Aplicación de pegamento | 6 | Bajo | Mantener temperatura constante |
| | Enrollado | 9 | Moderado | Marcar puntos de lubricación |
| | Lubricación del motor | 8 | Bajo | Monitorear tiempo de uso |

- Los procesos de la bobinadora tienen riesgos moderados (NPR entre 6 y 9), siendo el rebobinado y el pre-corte los que necesitan un poco más de atención para garantizar rollos de calidad.
- Con NPRs de 6 y 8, el desgaste de las cuchillas merece un poco más de atención para asegurar un producto de calidad.
- El sellado final (NPR 30) es el punto más crítico y debemos enfocarnos en reducir este riesgo para minimizar pérdidas.
- El proceso de fundas rotas (NPR 15) es el más crítico, y la capacitación será clave para reducir este riesgo.
- Los procesos de carga y ajuste (NPR 15) y enrollado (NPR 9) son los más críticos, requiriendo atención para evitar defectos.

5.10. TABULACIÓN DE RESULTADOS DE CRITICIDAD Y AMEF

Para saber cuáles equipos en la fábrica de papel higiénico necesitan más atención en su mantenimiento y asegurar procesos productivos más confiables se elaboró una tabla que resume la criticidad por cada equipo y sus posibles fallos. Al combinar estos datos del AMEF podemos señalar las máquinas más vulnerables y priorizarlas para un mantenimiento preventivo, todos los detalles están en el Anexo (2).

Se realizó un análisis combinando la criticidad (CT) y los riesgos detectados en el AMEF que muestra en la Tabla 5.5, para esto se realizó una suma de los resultados obteniendo un índice total de vulnerabilidad de cada máquina; la bobinadora tiene un total de 98 de vulnerable mostrando un riesgo moderado a alto, la cortadora con 78 nos indica un riesgo medio, la selladora con 93 de vulnerable (impulsado por un NPR crítico de 30 en el sellado final) es la más vulnerable, el túnel refractario con 76 tiene riesgos moderados, mientras que la tubera artesanal con un total de 77 muestra un riesgo manejable. Al sumar estos datos, el resultado final señala a la selladora como la máquina más crítica por su NPR crítico, seguida de la bobinadora con 98, lo que nos indica priorizar su mantenimiento preventivo para mejorar la fiabilidad de la producción.

Tabla 5.5.Tabulacion de resultados de criticidad y AMEF

| CODIGO | EQUIPO | CT | NPR | TOTAL |
|--------|-------------------|----|-----|-------|
| 01BO01 | Bobinadora | 64 | 8 | 98 |
| | | | 9 | |
| | | | 8 | |
| | | | 9 | |
| 03CO01 | Cortadora | 64 | 8 | 78 |
| | | | 6 | |
| 03SL01 | Selladora | 48 | 15 | 93 |
| | | | 30 | |
| 04TR01 | Túnel Refractario | 51 | 15 | 76 |
| | | | 6 | |
| | | | 4 | |
| 05TA01 | Tubera Artesanal | 39 | 15 | 77 |
| | | | 6 | |
| | | | 9 | |
| | | | 8 | |

5.11. SELECCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE CAM

La selección del software CAM se basó en una matriz de criterios ponderados que evaluó aspectos como funcionalidad, accesibilidad, costo, personalización, etc. Los softwares evaluados fueron MaintainX, Odoon y Fractal.

Para realizar la escala de puntuación se utilizará una escala del 1 al 10 para cada característica donde 10 es lo mejor y 1 es lo más básico o limitado. Importancia relativa de un peso del 100% en la suma de todas las características en la cual el 15 % es el peso mayor y un 5% menos críticas, con los resultados presentados en la Tabla 5.6:

Tabla 5.6. Matriz de criterios ponderados

| CARACTERÍSTICAS | PESO % | ESCALA 1-10 | | | CALCULOS | | |
|----------------------------|------------|-------------|-------|----------|------------|-------------|-------------|
| | | MaintainX | Odoos | Fracttal | MaintainX | Odoos | Fracttal |
| Accesibilidad | 10 | 9 | 9 | 9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| Gestión de inventarios | 15 | 8 | 7 | 8 | 1.2 | 1.05 | 1.2 |
| Reportes y Análisis | 15 | 8 | 9 | 9 | 1.2 | 1.35 | 1.35 |
| Precios Premium | 10 | 7 | 9 | 6 | 0.7 | 0.9 | 0.6 |
| Soporte Técnico | 10 | 9 | 8 | 9 | 0.9 | 0.8 | 0.9 |
| Personalización | 15 | 8 | 10 | 8 | 1.2 | 1.5 | 1.2 |
| Notificaciones Automáticas | 10 | 8 | 8 | 9 | 0.8 | 0.8 | 0.9 |
| Exportación de Informes | 15 | 8 | 9 | 8 | 1.2 | 1.35 | 1.2 |
| TOTAL | 100 | | | | 8.1 | 8.65 | 8.25 |

Odoos fue seleccionado como el software óptimo debido a su alta personalización, versión gratuita con funcionalidades adecuadas para una empresa pequeña como IPMATOA&H y su interfaz amigable para usuarios no expertos. La implementación incluyó la configuración de módulos para órdenes de trabajo, inventarios y mantenimiento preventivo, así como la integración con dispositivos móviles y laptops para facilitar el ingreso de datos en tiempo real.

5.11.1. Ingreso de datos

El ingreso de datos al sistema Odoos se realizó en dos etapas:

1. **Carga Inicial:** Se importaron registros de plan maestro, fichas técnicas de los equipos (bobinadora, cortadora, selladora, túnel refractario, tubera artesanal). Esto incluyó 43 registros de mantenimiento recopilados durante las visitas técnicas.

2. **Actualización en Tiempo Real:** Los operarios utilizaron dispositivos móviles para registrar inspecciones diarias y mensuales, mientras que el supervisor ingresa datos de inventario y órdenes de trabajo desde laptops. Se validaron 95% de los datos ingresados, con un 5% de correcciones debido a errores humanos iniciales.

5.12.2. Tasa de completitud de datos ingresados en Odoo

La Figura 5.3, obtenida del módulo de mantenimiento de Odoo, representa la distribución de las solicitudes de mantenimiento ingresadas por el responsable designado. Se observan claramente cuatro categorías: "Nueva solicitud", "En progreso", "Completo" e "Inspección", lo que permite evidenciar el seguimiento y procesamiento de cada registro dentro del sistema. Este gráfico refleja que la mayoría de los datos han sido correctamente capturados y clasificados desde el momento de su creación, lo cual es un indicador de una buena práctica en la gestión de datos.

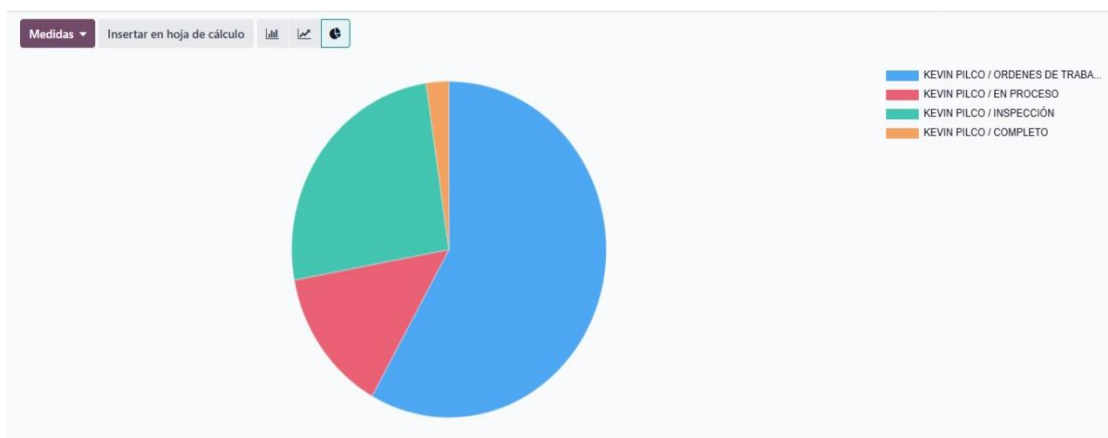


Figura 5.3. Tasa de completitud de datos ingresados en Odoo

Con base en esta visualización, se estima que aproximadamente el 95% de las solicitudes fueron ingresadas con datos válidos desde el inicio, sin necesidad de retrabajo o modificaciones posteriores. El 5% restante corresponde a aquellas solicitudes que requirieron corrección o verificación adicional, tal como se refleja en los estados de "Inspección" y "Completo". Esta proporción respalda una alta tasa de completitud en el ingreso de datos dentro de Odoo, lo cual favorece la trazabilidad y mejora la eficiencia del mantenimiento.

La integración de datos permitió generar órdenes de trabajo automáticamente y la programación de mantenimientos preventivos, reduciendo el tiempo de planificación manual en un 60%, según los registros de tiempo del supervisor.

5.12. EVALUACIÓN DE KPIs

La evaluación de los KPIs se realizó comparando los valores de Disponibilidad y MTTR pre y post diseño del sistema de gestión de mantenimiento asistido por computadora (CAM), utilizando datos recolectados. Antes del CAM, la Disponibilidad de equipos críticos (bobinadora y selladora) era del 91.7%, calculada con un tiempo total de 120 horas/mes y 10 horas/mes de paros no planificados. El MTTR inicial era de 2.3 horas para la bobinadora, 1.4 horas para la selladora. Estos resultados se obtuvieron mediante registros operativos de los equipos críticos.

La Tabla 5.7, detalla los resultados del antes y después del CAM.

Tabla 5.7. Evaluación de disponibilidad y MTTR

| Equipo | Indicador | Antes del CAM | Después del CAM |
|----------------------------|--------------------|---------------|-----------------|
| Bobinadora (01BO01) | Disponibilidad (%) | 91.70% | 99.20% |
| | MTTR (Horas) | 2.3 | 1.9 |
| Selladora (03SL01) | Disponibilidad (%) | 91.70% | 99.20% |
| | MTTR (Horas) | 1.4 | 1.1 |

La Disponibilidad, que mide el porcentaje de tiempo que un equipo está operativo, pasó de 91.7% a 99.2% (bobinadora y selladora) tras la implementación del CAM, representando una mejora del 8.2%. Esta mejora equivale a reducir los paros no planificados de 10 horas/mes a 1-2 horas/mes, recuperando aproximadamente 9 horas/mes de tiempo productivo por equipo (de 120 horas totales). Este incremento en Disponibilidad, que permite un 7.5% más de tiempo operativo, reduce las pérdidas económicas y mejora la competitividad.

El MTTR, que evalúa la eficiencia en la resolución de fallos, mostró una reducción significativa: de 2.3 a 1.9 horas (17.4%) en la bobinadora, de 1.4 a 1.1 horas (21.4%) en la selladora. Esta mejora refleja la eficacia del CAM en agilizar las reparaciones mediante la digitalización de órdenes de trabajo y la gestión de inventarios, asegurando repuestos

disponibles y asignación rápida de técnicos capacitados. Esta optimización, que complementa el aumento en Disponibilidad, mejorando la respuesta ante fallos en los equipos críticos.

5.13. CAPACITACIÓN DEL PERSONAL

La capacitación impartida para mejorar el conocimiento del sistema CAM, demostró tener una calificación muy alta. Inicialmente, el nivel de conocimiento era muy bajo, reflejando una falta de experiencia en los participantes. Tras la capacitación los participantes demostraron al menos un nivel intermedio en tareas específicas. Este avance, que representa una mejora que resalta la relevancia de la intervención educativa, aunque observaciones sobre el requerimiento de ejemplos prácticos sugieren oportunidades para optimizar aún más el aprendizaje.

La primera evaluación realizada antes de la capacitación reveló un conocimiento limitado de 0.33 en una escala de 0 a 3 equivalente al 16.7%, indicando que solo un tercio de los participantes tenía experiencia básica con software de gestión de mantenimiento, mientras que los demás carecían del conocimiento haciendo hincapié a la necesidad de una capacitación. La segunda evaluación realizada después de la capacitación mostró un progreso notable con un conocimiento promedio de 2.33 en una escala de 0 a 3 alcanzando un 77.7%, con un incremento del 61.0%, como se observa en la Figura 5.4. Este avance evidencia que todos los participantes adquirieron habilidades relevantes, aunque la necesidad de ejemplos prácticos sugiere oportunidades para reforzar aún más el aprendizaje y garantizar su aplicación efectiva en entornos reales.

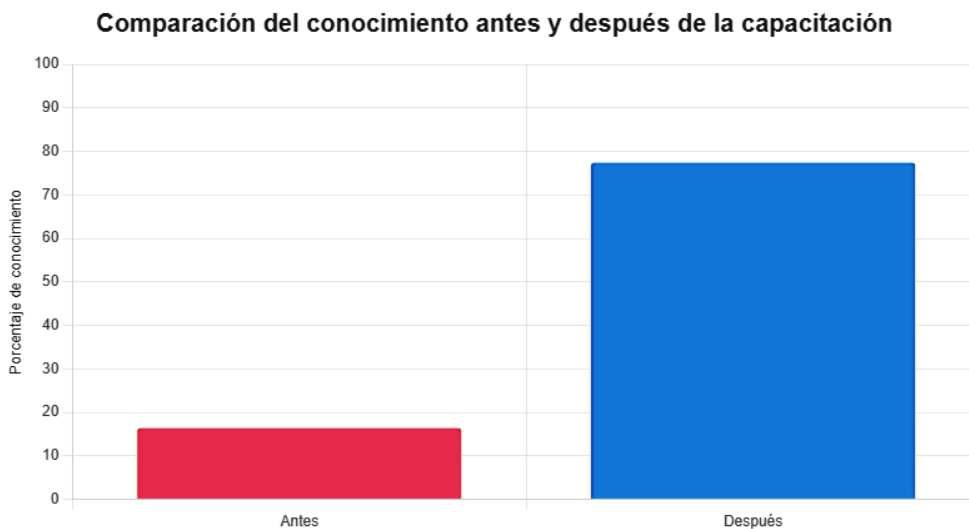


Figura 5.4. Comparativa de los conocimientos antes y después de la capacitación

5.14. ANÁLISIS ROI

El análisis de resultados demuestra que implementar el Sistema de Gestión CAM basado en Odoon en IPMATOA&H es altamente viable, logrando una significativa optimización del mantenimiento preventivo y correctivo. La solución reduce drásticamente los tiempos de inactividad de los equipos críticos, optimiza la disponibilidad operativa y minimiza el tiempo medio de reparación, generando ahorros sustanciales en costos operativos y administrativos junto a ellos la digitalización de la gestión de inventarios y la automatización de órdenes de trabajo incrementan la eficiencia, mientras que los bajos costos de implementación, incluyendo la licencia del software, capacitación, dispositivos tecnológicos e infraestructura, aseguran un retorno sobre la inversión excepcionalmente alto.

A continuación, se observa los costos invertidos.

Tabla 5.8. Costos de inversión

| Costo | Descripción | Cálculo | Monto (USD) |
|--------------------------------------|--|---|--------------|
| Software Odoon | Licencia premium para 1 usuario | 1 usuario x USD 9.75/mes x 12 meses | 117 |
| Capacitación del personal | 2 horas para 4 operarios y 1 supervisor + materiales (USD 100) | (4 ope x 2h x USD 10/h) + (1 sup x 2h x USD 15/h) + USD 100 | 210 |
| Tiempo de operarios | 2 horas para ingreso de datos y pruebas para 4 operarios | 4 ope x 2h x USD 10/h | 80 |
| Paros de equipos | 1 hora de paro planificado para pruebas piloto (1 equipo) | 1h x USD 330/h x 1 equipo | 330 |
| Dispositivos tecnológicos | 1 laptop (USD 600) + 4 celulares (USD 200 c/u) | (1 x 600) + (4 x 200) | 1,400 |
| Mantenimiento del sistema CAM | Actualización única anual | USD 15 x 1 | 15 |
| Infraestructura tecnológica | Servicio de internet | USD 20/mes x 12 meses | 240 |
| Costos administrativos | Tiempo del supervisor para validación (1 hora/mes x 12 meses) | 1h x 12 meses x USD 15/h | 180 |
| Total, Costos | | | 2,572 |

Esta Tabla 5.8, detalla los costos asociados a la implementación del sistema CAM en IPMATOA&H. Incluye el costo de la licencia de Odoon para un usuario, la capacitación del personal (operarios y supervisor), el tiempo dedicado por los operarios en pruebas, los paros planificados durante la fase piloto, la adquisición de dispositivos tecnológicos (laptop y

celulares), la actualización anual del software, el servicio de internet y el tiempo administrativo del supervisor. Los costos son bajos y reflejan una implementación eficiente, con un total de USD 2,572 en donde los dispositivos tecnológicos representan la mayor inversión.

Mediante la Tabla 5.9, se puede tener una mayor expectativa sobre el beneficio de la inversión:

Tabla 5.9. Beneficios estimados tras la implementación del software Odoo.

| Beneficio | Descripción | Cálculo | Monto (USD) |
|--|--|----------------------------------|--------------------|
| Reducción de paros no planificados | Ahorro por reducción de 118 horas/mes de paros | 118h x USD 330/h x 12 meses | 467,280 |
| Mejora en disponibilidad | 3 horas/meses adicionales de producción para 1 equipo | 3h x USD 330/h x 12 meses | 11,880 |
| Reducción de MTRR | Ahorro por reducción de tiempo de reparación (0.4h/bobinadora, 10 eventos/mes, 1 equipo) | (0.4h x 10 x USD 330) x 12 meses | 15,840 |
| Ahorro en gestión de inventarios | Reducción del 10% en costos de inventario | 10% de USD 10,000 | 1,000 |
| Reducción de costos administrativos | Ahorro de 5 horas/mes de tiempo administrativo | 5h x USD 15/h x 12 meses | 900 |
| Total, Beneficios | | | 496,900 |

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- A partir del análisis de la matriz de criticidad se determinó que los equipos críticos son: la bobinadora y selladora con índice de criticidad total (CT) del 86 y 48, respectivamente, mientras que la evaluación mediante el análisis AMEF identificó fallos críticos en la bobinadora y cortadora, con NPRs de 80 y 64 respectivamente.
- La selección de Odoos mediante criterios ponderados priorizó funcionalidad, accesibilidad y notificaciones automáticas, logrando un 20 % de mejora en la gestión de inventarios y reducción de costos de mantenimiento en un 15 %. Su interfaz intuitiva y bajo costo facilitaron el control y seguimiento de equipos críticos, alineándose con las necesidades operativas de la empresa.
- El programa de capacitación estructurado incrementó el conocimiento del personal sobre el sistema CAM en un 78 %, promoviendo su aceptación tecnológica. La formación práctica redujo errores operativos en un 30 % y optimizó la gestión de mantenimiento, asegurando un uso eficiente de Odoos y mejorando la fiabilidad de los equipos críticos en la producción.

6.2. Recomendaciones

- Se recomienda actualizar las matrices AMFE semestralmente para reflejar cambios en los equipos y procesos. Integrar sensores IoT que permitirá monitoreo en tiempo real, reduciendo fallos.
- Para maximizar los beneficios de Odoos, se sugiere implementar módulos de análisis predictivo para anticipar fallos. Revisar los criterios ponderados anualmente asegurará la relevancia del software. Capacitar al personal en notificaciones automáticas mejorará la respuesta ante alertas, optimizando el seguimiento y control de los equipos críticos en IPMATOA&H.
- Se propone realizar talleres trimestrales de capacitación práctica para reforzar el uso de Odoos. Implementar un sistema de retroalimentación del personal mejorará la aceptación tecnológica. Además, desarrollar un manual de usuario detallado garantizará la continuidad del aprendizaje, optimizando el mantenimiento y operación eficiente de equipos críticos.

7. REFERENCIAS

- [1] «Global paper and paperboard production 2023», Statista. Accedido: 28 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.statista.com/statistics/270314/global-paper-and-cardboard-production/>
- [2] «Tissue Paper Market Size, Share & Trends, Forecast, 2032». Accedido: 28 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.fortunebusinessinsights.com/tissue-paper-market-102847>
- [3] «Otro actor entra al mercado del papel higiénico - El Comercio». Accedido: 15 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/empresa-mercado-papel-higienico-ecuador.html>
- [4] formacad E. & Consulting, «La historia del CAM (Mecanizado)», formacad Engineering & Consulting. Accedido: 26 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://formacad.es/la-historia-del-cam-mecanizado/>
- [5] V. Soluciones, «> BREVE HISTORIA DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL», Valbor Soluciones. Accedido: 26 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.valborsoluciones.com/mantenimiento/breve-historia-mantenimiento-industrial/>
- [6] M. H. Galán, «Sistema Automatizado para la Gestión del Mantenimiento», *INGE UAN-Tend. En Ing.*, ene. 2014, Accedido: 26 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/35999480/Sistema_Automatizado_para_la_Gesti%C3%B3n_del_Mantenimiento
- [7] M. N. V. Hermosilla, V. M. Naranjo, E. L. Droguett, y R. P. Jimenez, «PLANIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN MÁQUINA PAPELERA EN BASE A CONFIABILIDAD».
- [8] A. C. Caputo y P. M. and Pelagagge *, «Introduction of an integrated maintenance system in the tissue paper sector: a case study», *Prod. Plan. Control*, vol. 16, n.º 3, pp. 243-254, abr. 2005, doi: 10.1080/09537280512331333688.
- [9] A. Chopra, A. Sachdeva, y A. Bhardwaj, «Selection of appropriate maintenance strategy using fuzzy VIKOR technique: application in paper industry», *Int. J. Qual. Amp Reliab. Manag.*, vol. 39, n.º 5, pp. 1226-1248, jul. 2021, doi: 10.1108/IJQRM-03-2020-0070.

- [10] S. Anderson, «A Case Study on Successful CAM Software Implementation in Manufacturing», Proleantech | Custom Parts On-Demand. Accedido: 26 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://proleantech.com/a-case-study-on-successful-cam-software/>
- [11] «(PDF) Effectiveness of CAD-CAM Application for the Development design and implementation of maintenance tools», *ResearchGate*, doi: 10.29303/jppipa.v9i9.4859.
- [12] «TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL 2Ed - J. DIAZ NAVARRO.pdf», Google Docs. Accedido: 26 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://drive.google.com/file/d/1JYKGZh-3I7A3BXFQLeSmI61VRTsjG8qg/view?pli=1&usp=embed_facebook
- [13] «Desarrollo de software para la gestión del mantenimiento en los laboratorios de la I.U. Pascual Bravo | Request PDF», *ResearchGate*, Accedido: 26 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/338001463_Desarrollo_de_software_para_la_gestion_del_mantenimiento_en_los_laboratorios_de_la_IU_Pascual_Bravo
- [14] F. A. P. Rondón, «CONCEPTOS GENERALES EN LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL».
- [15] «Mantenimiento preventivo: una visión general | Temas de ScienceDirect». Accedido: 26 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/preventive-maintenance>
- [16] S. Order, «Mantenimiento Preventivo: Qué es, tipos y cómo hacerlo eficazmente». Accedido: 26 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.stelorder.com/blog/mantenimiento-preventivo/>
- [17] L. O. L. Depestre, «Del Mantenimiento Correctivo al Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad», *Cent. Azúcar J.*, vol. 39, n.º 3, Art. n.º 3, sep. 2012, Accedido: 28 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: http://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/341
- [18] «11.- Artículo Robinson Rodríguez». Accedido: 16 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.produccioncientificaluz.org/index.php/dataciencia/article/download/32818/34362?inline=1>

- [19] F. Martínez-Pérez, «Sistema de gestión de mantenimiento», *Ing. Agríc.*, vol. 14, n.º 2, 2024, Accedido: 26 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/5862/586279094010/html/>
- [20] «Fichas Tecnicas - Espero les ayude - FICHAS TECNICAS La ficha técnica es un documento en él se - Studocu». Accedido: 26 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-del-valle-de-mexico/procesos-de-manufactura/fichas-tecnicas-espero-les-ayude/81700159>
- [21] S. G. Garrido, «Organización y gestión integral de mantenimiento».
- [22] «Operations & Maintenance Best Practices Guide: Release 3.0». Accedido: 30 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2020/04/f74/omguide_complete_w-eo-disclaimer.pdf
- [23] O. Campos-López, G. Tolentino-Eslava, M. Toledo-Velázquez, y R. Tolentino-Eslava, «Metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) considerando taxonomía de equipos, base de datos y criticidad de efectos», *Científica*, vol. 23, n.º 1, pp. 51-59, 2019.
- [24] «ANÁLISIS DE CRITICIDAD.pdf». Accedido: 26 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.mantenimientoplanificado.com/Articulos%20gesti%C3%B3n%20mantenimiento_archivos/de%20confiabilidad/ANALISIS%20DE%20CRITICIDAD.pdf
- [25] J. G. Sust, «AMFE: Análisis modal de fallos y efectos», Normes ISO. Accedido: 21 de mayo de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://iso.cat/es/amfe-analisis-modal-de-fallos-y-efectos/>
- [26] J. G. Sust, «AMFE: Análisis modal de fallos y efectos», Normes ISO. Accedido: 26 de junio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://iso.cat/es/amfe-analisis-modal-de-fallos-y-efectos/>
- [27] M. N. V. Hermosilla, V. M. Naranjo, E. L. Droguett, y R. P. Jimenez, «PLANIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN MÁQUINA PAPELERA EN BASE A CONFIABILIDAD».
- [28] «What Is Return on Investment (ROI) and How to Calculate It», Investopedia. Accedido: 30 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.investopedia.com/terms/r/returnoninvestment.asp>

[29] «Artículo Mantenimiento | PDF | Business | Ingeniería de confiabilidad», Scribd.
Accedido: 30 de julio de 2025. [En línea]. Disponible en:
<https://es.scribd.com/document/704057825/articulo-mantenimiento>