



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES

TEMA:

Prototipo de sistema de gestión de mantenimiento con análisis predictivo para optimizar recursos y eficiencia operativa para máquinas cerradoras de latas en una empresa de Guayaquil.

AUTOR:

Orrego Villamar, Angel Joshue

**Componente practico de examen complejo a la obtención del título
de INGENIERO EN SISTEMAS COMPUTACIONALES**

TUTOR:

PhD. Castro Aguilar, Gilberto Fernando

Guayaquil – Ecuador

2 de marzo de 2026



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente Componente Práctico de Examen Complexivo fue realizado en su totalidad por el Sr **Orrego Villamar, Angel Joshue** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO EN SISTEMAS COMPUTACIONALES**.

TUTOR (A)

f. _____

PhD. Castro Aguilar, Gilberto Fernando

Guayaquil, a los 2 del mes de marzo del año 2026



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Orrego Villamar, Angel Joshue

DECLARO QUE:

El Componente Práctico de Examen Complexivo, **“Prototipo de sistema de gestión de mantenimiento con análisis predictivo para optimizar recursos y eficiencia operativa para máquinas cerradoras de latas en una empresa de Guayaquil”** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN SISTEMAS COMPUTACIONALES** ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Integración Curricular referido.

Guayaquil, a los 2 del mes de marzo del año 2026

f. _____

Orrego Villamar, Angel Joshue



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES

AUTORIZACIÓN

Yo, Orrego Villamar, Angel Joshue

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Componente Práctico de Examen Complexivo, “**Prototipo de sistema de gestión de mantenimiento con análisis predictivo para optimizar recursos y eficiencia operativa para máquinas cerradoras de latas en una empresa de Guayaquil**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 2 del mes de marzo del año 2026

EL AUTOR:

f. _____

Orrego Villamar, Angel Joshue



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES
REPORTE ANTIPLAGIO



Firma:

PhD. Castro Aguilar, Gilberto Fernando
Tutor de Componente Práctico de Examen Complexivo
Carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, expreso mi más sincero agradecimiento a Dios por brindarme la vida, la salud y la fortaleza necesaria para culminar esta importante etapa de mi formación académica.

Agradezco profundamente a mis padres y a toda mi familia por su amor, apoyo incondicional, comprensión y motivación constante a lo largo de este proceso. Su confianza en mí ha sido un pilar fundamental para superar cada desafío y alcanzar esta meta académica.

De manera especial, expreso mi más profundo agradecimiento a la Lcda. Tatiana Barzallo Carrillo, por su acompañamiento y valiosos conocimientos brindados durante el desarrollo de esta investigación. Su guía, paciencia y dedicación fueron esenciales para la realización y culminación de este trabajo.

Asimismo, deseo extender un sincero agradecimiento a la familia Aguilera García, quienes con su apoyo, colaboración y motivación contribuyeron significativamente durante este proceso académico, brindándome ánimo y respaldo en momentos importantes.

De igual manera, agradezco a mis docentes y a la institución educativa, quienes a través de su enseñanza, experiencia y compromiso con la educación aportaron a mi formación profesional, permitiéndome adquirir los conocimientos necesarios para desarrollarme en mi campo de estudio.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mi familia, por su amor, apoyo incondicional y motivación constante a lo largo de mi formación académica. Gracias por estar siempre presentes, por creer en mí y por brindarme la fortaleza necesaria para superar cada desafío y alcanzar esta importante meta en mi vida.

Este logro también es de ustedes, quienes han sido mi inspiración y el motor que me impulsa a seguir adelante.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

ING. ANA CAMACHO CORONEL, MGS
DECANO O SU DELEGADO

f. _____

ING. ROBERTO GARCIA SANCHEZ
DELEGADO DE DIRECTORA DE CARRERA

f. _____

ING. CESAR SALAZAR
DOCENTE DE AREA

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-----------|
| ÍNDICE GENERAL..... | IX |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | XII |
| ÍNDICE DE FIGURAS | XIII |
| ABREVIATURAS..... | XIV |
| RESUMEN | XV |
| ABSTRACT | XVI |
| INTRODUCCIÓN | 2 |
| CAPÍTULO I..... | 4 |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 4 |
| Descripción de la situación problemática | 4 |
| Ubicación del problema en un contexto..... | 5 |
| Situación conflicto nudos críticos..... | 6 |
| Delimitación del problema..... | 7 |
| Evaluación del Problema..... | 8 |
| Causas y consecuencias del problema | 11 |
| Formulación del problema..... | 12 |
| Objetivos del proyecto..... | 14 |
| Objetivo general..... | 14 |
| Objetivos específicos | 14 |
| Alcance del problema | 14 |
| Justificación e importancia | 15 |
| Limitaciones del estudio..... | 16 |
| CAPÍTULO II..... | 18 |
| MARCO TEÓRICO | 18 |
| Antecedentes del estudio | 18 |
| Fundamentación teórica | 19 |
| Mantenimiento industrial..... | 19 |
| Concepto y evolución del mantenimiento industrial | 19 |
| Importancia del mantenimiento en los sistemas productivos..... | 20 |
| Indicadores de desempeño en mantenimiento industrial | 21 |
| Tipos de mantenimiento | 22 |
| Mantenimiento correctivo..... | 22 |
| Mantenimiento preventivo..... | 22 |
| Mantenimiento predictivo | 23 |
| Comparación entre mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo..... | 23 |
| Máquinas cerradoras de latas | 23 |
| Funcionamiento general de las máquinas cerradoras de latas..... | 24 |
| Componentes críticos y puntos frecuentes de falla..... | 24 |
| Requerimientos técnicos de mantenimiento en cerradoras de latas..... | 25 |
| Gestión del mantenimiento | 26 |
| Concepto de gestión del mantenimiento..... | 26 |

| | |
|--|-----------|
| Planificación y control del mantenimiento..... | 27 |
| Gestión de órdenes de trabajo..... | 27 |
| Gestión de repuestos y consumibles..... | 28 |
| Sistemas de Gestión de Mantenimiento (SGM / CMMS)..... | 28 |
| Definición y características de un sistema de gestión de mantenimiento | 29 |
| Funcionalidades principales de los sistemas CMMS | 29 |
| Beneficios y limitaciones de los sistemas de gestión de mantenimiento..... | 30 |
| Aplicación de sistemas CMMS en entornos industriales..... | 32 |
| Análisis predictivo aplicado al mantenimiento | 32 |
| Concepto de análisis predictivo | 32 |
| Análisis de datos históricos en mantenimiento | 33 |
| Técnicas de análisis predictivo utilizadas en mantenimiento | 33 |
| Ventajas del análisis predictivo frente a enfoques tradicionales..... | 35 |
| Integración del análisis predictivo en sistemas de mantenimiento..... | 35 |
| Uso de datos para la toma de decisiones en mantenimiento | 36 |
| Modelos de apoyo a la decisión basados en datos..... | 37 |
| Limitaciones del análisis predictivo en entornos industriales..... | 38 |
| Plataformas tecnológicas para el desarrollo de sistemas..... | 38 |
| Sistemas de información aplicados a la gestión del mantenimiento | 39 |
| Arquitecturas de software para sistemas de gestión..... | 39 |
| Criterios para la selección de herramientas de desarrollo | 40 |
| Preguntas científicas para contestarse | 41 |
| Definiciones conceptuales | 42 |
| CAPÍTULO III..... | 44 |
| PROPUESTA TECNOLÓGICA..... | 44 |
| Análisis de factibilidad..... | 44 |
| Factibilidad técnica..... | 45 |
| Factibilidad legal | 45 |
| Factibilidad económica..... | 46 |
| Metodologías del proyecto | 48 |
| Metodología de investigación..... | 48 |
| <i>Población y muestra</i> | 48 |
| Técnicas de recolección de datos..... | 49 |
| Procesamiento y análisis de la información..... | 50 |
| Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información | 50 |
| Metodología de desarrollo del proyecto | 51 |
| Introducción a la metodología de desarrollo..... | 51 |
| Metodología SCRUM..... | 51 |
| <i>Justificación de la metodología SCRUM</i> | 52 |
| <i>Roles en la metodología SCRUM</i>..... | 53 |
| <i>Artefactos de SCRUM</i> | 53 |

| | |
|---|-----------|
| Eventos de SCRUM | 54 |
| Levantamiento y definición de requisitos | 54 |
| <i>Requisitos funcionales del sistema</i> | 55 |
| <i>Requisitos no funcionales del sistema</i> | 56 |
| Planificación del desarrollo por sprints | 57 |
| <i>Definición de sprints</i> | 58 |
| <i>Incrementos del sistema</i> | 58 |
| Herramientas y entorno de desarrollo | 59 |
| Supuestos y restricciones del proyecto | 60 |
| Plan de calidad y verificación | 60 |
| Consideraciones finales de la metodología | 61 |
| Beneficiarios directos e indirectos del proyecto | 62 |
| Beneficiarios directos | 62 |
| Beneficiarios indirectos | 63 |
| Entregables del proyecto | 63 |
| Propuesta | 65 |
| Descripción general de la propuesta | 65 |
| <i>Objetivo de la propuesta</i> | 65 |
| Diseño general del sistema propuesto | 66 |
| <i>Arquitectura del sistema</i> | 66 |
| <i>Módulos del sistema</i> | 68 |
| Modelo funcional del sistema | 68 |
| <i>Flujo general de funcionamiento</i> | 69 |
| <i>Roles de usuario y permisos</i> | 72 |
| Descripción de los módulos del sistema | 74 |
| <i>Módulo de gestión de usuarios</i> | 74 |
| <i>Módulo de registro de equipos</i> | 75 |
| <i>Módulo de órdenes de trabajo</i> | 76 |
| <i>Módulo de inventario de repuestos</i> | 77 |
| <i>Módulo de planificación preventiva</i> | 78 |
| <i>Módulo de análisis predictivo básico (reportes)</i> | 79 |
| <i>Dashboard de mantenimiento</i> | 80 |
| Diseño de la base de datos | 88 |
| CAPÍTULO IV | 92 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 92 |
| Criterios de aceptación del producto o servicio | 92 |
| Conclusiones | 93 |
| Recomendaciones | 95 |
| BIBLIOGRAFÍA | 96 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Delimitación del problema | 8 |
| Tabla 2 Causas y consecuencias..... | 12 |
| Tabla 3 Evolución del mantenimiento industrial..... | 20 |
| Tabla 4 Indicadores de desempeño en mantenimiento industrial | 22 |
| Tabla 5 Comparación entre tipos de mantenimiento | 23 |
| Tabla 6 Componentes críticos y puntos frecuentes de falla en máquinas cerradoras de latas | 25 |
| Tabla 7 Gestión de repuestos y su impacto en el mantenimiento | 28 |
| Tabla 8 Características de los sistemas de gestión de mantenimiento | 29 |
| Tabla 9 Funcionalidades principales de los sistemas CMMS..... | 30 |
| Tabla 10 Tecnologías a utilizarse en el proyecto | 45 |
| Tabla 11 Costos por recursos humanos en el proyecto | 46 |
| Tabla 12 Costos de inversión en hardware en el proyecto | 47 |
| Tabla 13 Costos de inversión en software en el proyecto..... | 47 |
| Tabla 14 Roles definidos en la metodología SCRUM..... | 53 |
| Tabla 15 Requisitos funcionales del sistema | 55 |
| Tabla 16 Definición de sprints del proyecto..... | 58 |
| Tabla 17 Incrementos funcionales del sistema por sprint | 59 |
| Tabla 18 Beneficiarios directos del proyecto..... | 62 |
| Tabla 19 Beneficiarios indirectos del proyecto..... | 63 |
| Tabla 20 Entregables del proyecto | 63 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 Maquina cerradora de latas..... | 24 |
| Figura 2 Sistema de gestión de mantenimiento y análisis predictivo en base a datos históricos | 33 |
| Figura 3 Arquitectura cliente - servidor del prototipo..... | 67 |
| Figura 4 Flujo general del funcionamiento del prototipo | 70 |
| Figura 5 Módulo gestión de usuarios | 81 |
| Figura 6 Módulo de registros de equipos | 82 |
| Figura 7 Módulo ordenes de trabajo..... | 83 |
| Figura 8 Modulo inventario de repuestos | 84 |
| Figura 9 Modulo planificación preventiva | 85 |
| Figura 10 Modulo análisis predictivo básico (reportes)..... | 86 |
| Figura 11 Dashboard de Mantenimiento..... | 87 |
| Figura 12 Base de datos del prototipo | 91 |

ABREVIATURAS

| | |
|------|---|
| FI | Facultad de Ingeniería |
| HTML | Lenguaje de Marca de salida de Hyper Texto |
| HTTP | Protocolo de transferencia de Hyper Texto |
| Ing. | Ingeniero |
| ISP | Proveedor de Servicio de Internet |
| PhD | Doctor en Filosofía |
| UCSG | Universidad de Católica Santiago de Guayaquil |
| URL | Localizador de Fuente Uniforme |
| WWW | World Wide Web (Red Mundial) |



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES**

Prototipo de Sistema de Gestión de Mantenimiento con
Análisis Predictivo para Optimizar Recursos y
Eficiencia Operativa para Máquinas
Cerradoras de Latas en una
Empresa de Guayaquil.

Autor: Angel Joshue Orrego Villamar

Tutor: PhD. Gilberto Fernando Castro Aguilar

RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad desarrollar un prototipo de sistema de gestión de mantenimiento que incorpore técnicas de análisis predictivo para apoyar la toma de decisiones en el mantenimiento de máquinas cerradoras de latas. La investigación parte del análisis de los procesos operativos y los tipos de mantenimiento aplicados en el entorno industrial, identificando la necesidad de estructurar la información técnica y reducir la dependencia del mantenimiento reactivo.

Se diseñó una arquitectura cliente–servidor con base de datos relacional, integrando módulos para la gestión de equipos, órdenes de trabajo, inventario de repuestos, planificación preventiva y análisis predictivo básico. El sistema calcula indicadores como el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), días transcurridos desde la última falla y porcentaje estimado de riesgo, permitiendo clasificar los equipos según su nivel de criticidad.

El prototipo fue validado mediante pruebas funcionales y evaluación por parte de expertos técnicos de la empresa, evidenciando su correcto funcionamiento y utilidad como herramienta de apoyo para mejorar la planificación y confiabilidad operativa. La propuesta contribuye a la transición hacia un modelo de mantenimiento basado en datos e indicadores técnicos.

Palabras clave: Mantenimiento industrial; Análisis predictivo; MTBF; Gestión de mantenimiento; Prototipo de software.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA EN SISTEMAS COMPUTACIONALES**

Prototipo de Sistema de Gestión de Mantenimiento con
Análisis Predictivo para Optimizar Recursos y
Eficiencia Operativa para Máquinas
Cerradoras de Latas en una
Empresa de Guayaquil.

Authors: Angel Joshue Orrego Villamar

Tutor: PhD. Gilberto Fernando Castro Aguilar

ABSTRACT

This work aims to develop a prototype maintenance management system that incorporates predictive analytics techniques to support decision-making in the maintenance of can-sealing machines. The research begins with an analysis of the operational processes and types of maintenance applied in the industrial environment, identifying the need to structure technical information and reduce reliance on reactive maintenance.

A client-server architecture with a relational database was designed, integrating modules for equipment management, work orders, spare parts inventory, preventive planning, and basic predictive analytics. The system calculates indicators such as Mean Time Between Failures (MTBF), days since the last failure, and estimated risk percentage, allowing equipment to be classified according to its criticality level.

The prototype was validated through functional testing and evaluation by the company's technical experts, demonstrating its correct operation and usefulness as a support tool for improving planning and operational reliability. The proposal contributes to the transition toward a maintenance model based on data and technical indicators.

Keywords: Industrial maintenance; Predictive analytics; MTBF; Maintenance management; Software prototype.

INTRODUCCIÓN

La ingeniería en la actualidad enfrenta el desafío constante de optimizar los diferentes procesos productivos mediante el uso de tecnologías que ayuden a mejorar la eficiencia, reducir costos operativos y garantizar la continuidad de las operaciones. En este caso, la gestión del mantenimiento industrial se ha vuelto un componente estratégico dentro de las organizaciones, principalmente en industrias donde la maquinaria desempeña un papel fundamental para la calidad y la estabilidad del proceso productivo. Tal es el caso de las máquinas cerradoras de latas, en gran medida son utilizadas en empresas de Guayaquil dedicadas al envasado de alimentos y bebidas, cuya actividad precisa y continua resulta fundamental para seguir con los estándares de seguridad, higiene y competitividad.

Tomando en cuenta la relevancia de estos equipos, se puede observar que muchas de estas organizaciones operan con registros manuales, procesos no estandarizados y la ausencia de herramientas tecnológicas que permitan gestionar el mantenimiento de manera integral. Esta situación genera tiempos de inactividad no planificados, retrasos operativos costos elevados y una marcada dependencia del mantenimiento reactivo. La ausencia de análisis de datos históricos, también la inexistencia de sistemas que centralicen la información técnica limita la capacidad de anticipar fallas y afecta la toma de decisiones. Dentro del contexto industrial el cual avanza hacia la digitalización, estas limitantes dan a mostrar la importancia de incorporar soluciones basadas en sistemas de información que fortalezcan la gestión operativa.

Desde el punto de vista la ingeniería en sistemas computacionales, el desarrollo de herramientas tecnológicas dirigidas al mantenimiento industrial representa una posibilidad de unir conocimientos de ingeniería de software, base de datos, análisis de datos y modelamiento predictivo. En este contexto, el presente proyecto de integración curricular propone el diseño y construcción de un prototipo de sistema de gestión de mantenimiento con análisis predictivo, dando el enfoque a máquinas cerradoras de latas. La propuesta busca dar solución a las

debilidades encontradas en procesos actuales, añadiendo una herramienta digital que permita registrar información técnica de forma estructurada, gestionar repuestos, programar actividades de mantenimiento y generar análisis basados en datos históricos.

El prototipo se apoya en fundamentos teóricos de mantenimiento industrial, metodologías de desarrollo de software y técnicas de análisis predictivo, y se alinea con las competencias formativas de la Facultad de Ingeniería. También, aporta en la adopción de soluciones tecnológicas aplicadas a la industria, reforzando la trazabilidad del mantenimiento, la eficiencia operativa y toma de decisiones informadas. De tal manera, esta investigación busca no solo aportar un recurso funcional al sector productivo, sino también afianzarse como un ejercicio académico que demuestre la aplicabilidad del conocimiento ingenieril en la solución de problemas reales.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Descripción de la situación problemática

En el entorno industrial de Guayaquil, las máquinas cerradoras de latas desempeñan un papel fundamental en los sectores alimentario, de bebidas y de productos envasados, debido a que garantizan el sellado adecuado y continuo de los envases. Su funcionamiento estable es indispensable para mantener la capacidad productiva y cumplir con estándares de calidad y seguridad. Sin embargo, a pesar de su importancia estratégica, se evidencia que la mayoría de las empresas usuarias y proveedoras de mantenimiento carecen de mecanismos tecnológicos centralizados que permitan gestionar de manera eficiente las actividades de mantenimiento, el historial técnico, el control de repuestos y la planificación de intervenciones. Esta ausencia de herramientas integradas genera un escenario en el cual el mantenimiento se realiza con información dispersa, procedimientos no estandarizados y registros manuales, lo que incrementa la probabilidad de fallas inesperadas y tiempos de inactividad prolongados.

En la práctica operativa se observa que las cerradoras de latas están sometidas a un desgaste continuo debido a la precisión mecánica requerida para el cierre, la fricción de sus componentes, la velocidad de operación y las condiciones de uso. Cuando estas variables no se gestionan adecuadamente, surgen problemas como averías recurrentes, deterioro prematuro de piezas críticas y pérdida de calidad en el proceso productivo. A ello se suma que muchas empresas no disponen de programas sistemáticos de mantenimiento preventivo y predictivo, por lo que los equipos son intervenidos únicamente cuando fallan, generando costos elevados y afectando directamente la productividad. Esta situación refleja la necesidad de contar con sistemas digitales capaces de recopilar, analizar y presentar información técnica en tiempo real, permitiendo anticipar fallas mediante patrones históricos y mejorando la toma de decisiones operativas.

Además, el sector enfrenta limitaciones relacionadas con la trazabilidad del

mantenimiento. Los reportes suelen ser físicos o se almacenan en formatos aislados que no permiten construir un historial confiable del comportamiento del equipo. Esto dificulta la identificación de tendencias de falla, la programación precisa de intervenciones, la gestión de inventario de repuestos y la evaluación del desempeño del mantenimiento. Estudios recientes en ingeniería de mantenimiento señalan que la falta de estandarización y la ausencia de sistemas de gestión integrados reducen significativamente la disponibilidad operativa de maquinaria industrial y aumentan los costos derivados del paro no planificado. En consecuencia, la problemática se centra en la inexistencia de herramientas tecnológicas que permitan integrar información, estructurar procesos y aplicar técnicas de análisis predictivo para optimizar la gestión del mantenimiento en máquinas cerradoras de latas.

Ubicación del problema en un contexto

La problemática descrita se manifiesta actualmente en empresas de la ciudad de Guayaquil que utilizan máquinas cerradoras de latas como parte de su proceso productivo. Estas organizaciones enfrentan síntomas claros, como fallas repentinas, demoras en la reposición de repuestos, mantenimiento reactivo frecuente y falta de registros históricos confiables. Empíricamente, se observa que la ausencia de un sistema centralizado ocasiona pérdida de información técnica, dependencia de criterios subjetivos para programar intervenciones y dificultad para anticipar fallas. Teóricamente, la literatura en mantenimiento industrial sostiene que la gestión basada en datos y el análisis predictivo aumentan sustancialmente la disponibilidad operativa, pero su implementación aún es limitada en entornos industriales locales debido a barreras tecnológicas y metodológicas.

En cuanto a los antecedentes, se identifica que muchas empresas han intentado mejorar sus procesos mediante hojas de cálculo, registros manuales o aplicaciones parciales, pero estas soluciones no permiten integrar de forma eficiente el historial técnico, la planificación de mantenimiento, la gestión de repuestos y el análisis de tendencias. El problema persiste porque las herramientas utilizadas no están diseñadas para soportar el ciclo completo de mantenimiento

ni para generar información analítica que facilite la toma de decisiones. Esto demuestra que existe un vacío tecnológico y metodológico que dificulta la transición hacia modelos de mantenimiento más modernos, especialmente aquellos que incorporan técnicas de predicción basadas en datos.

El problema se circunscribe temporalmente a la coyuntura actual, donde las empresas exigen mayor eficiencia operativa, reducción de tiempos muertos y optimización de recursos. Espacialmente, se ubica en la ciudad de Guayaquil, donde las cerradoras de latas son utilizadas en diversas industrias de producción y donde los talleres especializados realizan las intervenciones de mantenimiento fuera de las instalaciones del cliente, lo que incrementa la importancia de la planificación y de la gestión adecuada del historial técnico. Las variables presentes incluyen: estado del equipo, frecuencia de fallas, tiempos de mantenimiento, disponibilidad de repuestos, registro histórico, y capacidad predictiva del sistema de gestión. La ausencia de integración entre estas variables configura un problema que afecta la continuidad productiva, la eficiencia operativa y la competitividad de las empresas involucradas.

Situación conflicto nudos críticos

La problemática asociada al mantenimiento de máquinas cerradoras de latas en Guayaquil presenta diversos nudos críticos que dificultan la gestión eficiente del equipo y limitan la capacidad de las empresas para sostener niveles adecuados de disponibilidad operativa. El primer nudo crítico surge de la fragmentación de la información técnica, ya que los registros de mantenimiento, fallas y repuestos se encuentran dispersos en documentos físicos, hojas de cálculo o archivos no estandarizados. Esta dispersión impide construir un historial confiable que permita analizar patrones de falla, programar intervenciones y evaluar el comportamiento del equipo a lo largo del tiempo. Aunque existen prácticas básicas de registro, estas no reúnen las condiciones técnicas necesarias para convertirse en una herramienta efectiva de gestión.

El segundo nudo crítico se manifiesta en la predominancia del mantenimiento reactivo, consecuencia directa de la falta de estandarización y la inexistencia de mecanismos de análisis predictivo. Las intervenciones se realizan principalmente cuando el equipo falla, generando paros

imprevistos que afectan la productividad, aumentan los costos y exigen mayores tiempos de intervención. Este comportamiento operativo está vinculado a un vacío tecnológico y metodológico: no existen sistemas capaces de integrar datos históricos, analizarlos y convertirlos en información útil para anticipar fallos. En un contexto industrial donde la continuidad operativa es clave, esta ausencia constituye un factor crítico que repercute directamente en la eficiencia organizacional.

El tercer nudo crítico está relacionado con la gestión deficiente de repuestos y consumibles, la cual deriva de la ausencia de mecanismos digitales que permitan controlar el inventario, registrar movimientos y prever necesidades de reposición. La falta de trazabilidad en los repuestos ocasiona demoras en el proceso de intervención, prolonga los tiempos de inactividad del equipo y dificulta planificar adecuadamente los mantenimientos preventivos. Empíricamente, se determina que estas dificultades se acentúan porque las empresas proveedoras de mantenimiento deben trasladar las máquinas a sus talleres especializados, lo cual exige una planificación precisa que actualmente no puede lograrse debido a la carencia de información confiable.

Delimitación del problema

El presente estudio se ubica dentro del campo de la tecnología aplicada al mantenimiento industrial, con énfasis en el diseño de sistemas digitales orientados a la gestión y análisis de datos operativos. El área específica de investigación corresponde a la gestión del mantenimiento de maquinaria utilizada en procesos productivos en empresas de la ciudad de Guayaquil, particularmente aquellas que operan con máquinas cerradoras de latas. El aspecto central de la problemática se relaciona con la ausencia de herramientas tecnológicas integradas que permitan registrar, analizar y anticipar fallas mediante técnicas de análisis predictivo. Finalmente, el tema de investigación se enfoca en el desarrollo de un prototipo de sistema que contribuya a mejorar la toma de decisiones en el mantenimiento de dichas máquinas, atendiendo así las limitaciones actuales del sector.

A continuación, se presenta la delimitación del problema de acuerdo con los componentes establecidos en la guía institucional:

Tabla 1 *Delimitación del problema*

| DELIMITADOR | DESCRIPCIÓN |
|--------------------|---|
| CAMPO | Tecnología / Ingeniería de Mantenimiento |
| ÁREA | Gestión del mantenimiento industrial en máquinas cerradoras de latas |
| ASPECTO | Falta de integración tecnológica para el registro, análisis y predicción de fallas en los procesos de mantenimiento |
| TEMA | Desarrollo de un prototipo de sistema de gestión de mantenimiento con análisis predictivo para máquinas cerradoras de latas en empresas de la ciudad de Guayaquil |

Fuente: elaboración propia

Evaluación del Problema

Delimitado

El problema se encuentra claramente delimitado en términos de tiempo, espacio, población y alcance tecnológico. Temporalmente, se sitúa en el contexto actual de las empresas de Guayaquil que dependen de máquinas cerradoras de latas para sus procesos productivos y que enfrentan deficiencias en la gestión del mantenimiento. Espacialmente, la investigación se circunscribe a la ciudad de Guayaquil, donde operan tanto las empresas usuarias como los talleres especializados encargados de efectuar el mantenimiento fuera de las instalaciones del cliente, dada la complejidad técnica y las regulaciones sanitarias del proceso. La población objeto incluye a los equipos industriales (cerradoras de latas) y a los actores responsables de su mantenimiento. Este problema, además, se define dentro del campo de la ingeniería de mantenimiento, lo que permite establecer indicadores como disponibilidad operativa, frecuencia de fallas, MTTR (Mean Time To Repair) y MTBF (Mean Time Between Failures), ampliamente reconocidos por normas como ISO 14224 y modelos RAM (Reliability, Availability and Maintainability). La delimitación precisa facilita el análisis sistemático y orienta el diseño del prototipo hacia necesidades reales y verificables dentro del sector industrial.

Evidente

La existencia del problema es evidente debido a las manifestaciones operativas que

afectan directamente a la continuidad productiva. Se observan fallas recurrentes en las máquinas cerradoras de latas, interrupciones imprevistas en la producción y retrasos derivados de la falta de información técnica estructurada. En talleres especializados de mantenimiento, los técnicos reportan que la ausencia de registros centralizados prolonga el diagnóstico, dificulta el análisis del historial y limita la capacidad de anticipar averías. A nivel operativo, los tiempos improductivos derivados del mantenimiento reactivo incrementan los costos y reducen la estabilidad de las líneas de producción. Estas evidencias empíricas se alinean con estudios internacionales que identifican que más del 40% de las fallas en maquinaria industrial están relacionadas con deficiencias en la gestión del mantenimiento y la falta de análisis basados en datos (Mobley, Maintenance Engineering Handbook, 2021). Por tanto, la problemática no es abstracta ni hipotética, sino observable de forma directa en la operación diaria de las empresas.

Relevante

La relevancia del problema radica en su impacto directo en la productividad industrial y en la competitividad de las empresas que dependen de maquinaria crítica como las cerradoras de latas. La falta de sistemas integrados de mantenimiento afecta la eficiencia operativa, incrementa los costos por fallas imprevistas y limita la capacidad de las empresas para implementar estrategias modernas basadas en mantenimiento predictivo, tendencia global impulsada por la digitalización industrial (Industria 4.0). Para la comunidad académica, este problema representa una oportunidad de generar conocimiento aplicado que contribuya al desarrollo de soluciones tecnológicas adaptadas a la realidad ecuatoriana. Para el sector industrial, la investigación es pertinente porque permite explorar un modelo que integra análisis de datos y gestión operativa, alineado con las necesidades actuales de optimización de recursos, reducción del tiempo muerto y planificación inteligente del mantenimiento. En este sentido, resolver la problemática aporta valor tanto a la industria como al ámbito científico-tecnológico.

Factible

La propuesta de abordar este problema mediante el desarrollo de un prototipo de sistema es factible desde el punto de vista metodológico, técnico y temporal. En primer lugar, el acceso a

información real de talleres que realizan mantenimiento a cerradoras de latas permite obtener datos suficientes para el análisis, diseño y validación del prototipo. En segundo lugar, la construcción de un sistema con componentes de análisis predictivo puede realizarse utilizando herramientas de programación, bases de datos y librerías de aprendizaje automático de libre acceso o de bajo costo, lo que reduce las barreras financieras. La metodología de desarrollo basada en prototipos permite avanzar en iteraciones, ajustando la solución a medida que se recopila información técnica. Además, la validación puede efectuarse mediante expertos del área de mantenimiento industrial, sin necesidad de implementar el sistema en producción, lo cual disminuye requerimientos de infraestructura. Todo esto convierte el proyecto en viable dentro de los recursos y el tiempo disponibles para la realización de la tesis.

Original

El problema presenta un carácter original debido a la ausencia de investigaciones locales que integren gestión del mantenimiento industrial con análisis predictivo específicamente enfocado en máquinas cerradoras de latas. Si bien existen estudios sobre mantenimiento preventivo y sistemas CMMS en otras áreas de la industria, no se registran investigaciones que aborden esta problemática dentro del contexto productivo de Guayaquil ni que propongan un prototipo adaptado a las condiciones reales de operación y servicio externo de estos equipos. La originalidad también radica en la combinación metodológica: se plantea un sistema que integra recopilación estructurada de datos, registro del historial técnico, gestión de repuestos y técnicas predictivas aplicadas al análisis de fallas. Este enfoque representa una contribución novedosa tanto para la academia como para la industria, ya que permite explorar un modelo tecnológico aplicable, escalable y adaptable a otros tipos de maquinaria en el futuro.

Variables

El problema identifica con claridad las variables necesarias para su análisis y solución. Entre las variables principales se encuentran: estado del equipo, frecuencia de fallas, tiempo de reparación, disponibilidad operativa, historial técnico, inventario de repuestos y patrones históricos que permitan aplicar técnicas de análisis predictivo. Estas variables pueden ser

observadas, registradas, analizadas y correlacionadas mediante el prototipo propuesto, permitiendo estudiar el comportamiento de las máquinas y los factores que influyen en su mantenimiento. La presencia de variables medibles y verificables facilita el diseño metodológico, el desarrollo del sistema y su posterior validación. Además, la identificación de estas variables se alinea con los modelos de análisis de mantenimiento industrial ampliamente documentados en la literatura técnica, como los sistemas RAM y los enfoques de mantenimiento predictivo basados en datos.

Causas y consecuencias del problema

La gestión del mantenimiento de máquinas cerradoras de latas en empresas de Guayaquil presenta un conjunto de causas estructurales que explican la persistencia del problema central: la ausencia de un sistema tecnológico integrado que permita registrar, analizar y anticipar fallas. Desde la perspectiva del análisis causal de la Metodología de Marco Lógico, estas causas se derivan de fallas en los métodos, procesos, recursos humanos, gestión de datos y disponibilidad de infraestructura tecnológica. La falta de integración entre estas dimensiones genera un entorno operativo vulnerable a fallas inesperadas, tiempos improductivos elevados y decisiones reactivas en lugar de preventivas o predictivas.

Si estas causas no se abordan, las consecuencias continuarán afectando de manera significativa la disponibilidad operativa de las máquinas, la estabilidad del proceso productivo y los costos asociados al mantenimiento. La baja trazabilidad de la información, la ineficiencia en la programación de intervenciones y la dependencia del criterio individual de los técnicos perpetúan un modelo de mantenimiento reactivo que no responde a las exigencias actuales de competitividad industrial. Por ello, identificar con claridad las causas y sus efectos permite orientar el desarrollo de soluciones tecnológicas adecuadas, como el prototipo de sistema de gestión de mantenimiento con análisis predictivo propuesto en esta investigación.

Tabla 2 *Causas y consecuencias*

| Causas (C) | Consecuencias (E) |
|---|---|
| C1. Registros manuales, dispersos o incompletos del mantenimiento realizado. | E1. Pérdida de información técnica e imposibilidad de construir un historial confiable del equipo. |
| C2. Falta de un sistema centralizado para el control de fallas, repuestos e intervenciones. | E2. Dificultad para planificar el mantenimiento y aumento de intervenciones reactivas. |
| C3. Ausencia de análisis de datos históricos para identificar patrones de falla. | E3. Incapacidad de anticipar averías y aumento del tiempo muerto no planificado. |
| C4. Procesos operativos no estandarizados entre técnicos y talleres especializados. | E4. Variabilidad en la calidad de las intervenciones y prolongación de los tiempos de reparación. |
| C5. Dependencia del criterio subjetivo del técnico para diagnosticar fallas. | E5. Diagnósticos imprecisos que pueden generar intervenciones innecesarias o incompletas. |
| C6. Gestión deficiente de inventario de repuestos (sin trazabilidad ni control digital). | E6. Demoras en la reposición de piezas y extensión de los tiempos de inactividad del equipo. |
| C7. Infraestructura tecnológica limitada para apoyar procesos de mantenimiento digital. | E7. Imposibilidad de implementar estrategias modernas de mantenimiento preventivo o predictivo. |
| C8. Falta de capacitación técnica en uso de herramientas digitales para mantenimiento. | E8. Baja adopción tecnológica y dependencia de prácticas tradicionales menos eficientes. |
| C9. Comunicación limitada entre empresas usuarias y talleres externos de mantenimiento. | E9. Retrasos en la entrega de información crítica del equipo y dificultades en la planificación conjunta. |
| C10. Ausencia de indicadores de gestión (MTBF, MTTR, disponibilidad) en la toma de decisiones. | E10. Imposibilidad de evaluar el desempeño del mantenimiento y de mejorar la productividad del proceso. |

Nota: Esta tabla refleja el análisis causal que se realizó en base a la recopilación inicial de información de la situación problemática que genera el proyecto mediante la aplicación de la Metodología de Marco Lógico, se considera por ello datos relevantes de la fase de investigación del proyecto.

Formulación del problema

La industria productiva de la ciudad de Guayaquil depende de manera crítica del funcionamiento continuo de las máquinas cerradoras de latas, equipos que requieren intervenciones sistemáticas de mantenimiento para garantizar su disponibilidad operativa y la

calidad del proceso de sellado. Sin embargo, la ausencia de un sistema tecnológico centralizado que integre registros históricos que controle repuestos, estandarice procesos y permita aplicar técnicas de análisis predictivo, limita la capacidad de las empresas para anticipar fallas, planificar intervenciones y optimizar el uso de los recursos destinados al mantenimiento. Esta situación ha generado un modelo predominantemente reactivo, donde las fallas inesperadas y la falta de trazabilidad producen costos elevados, pérdida de eficiencia y mayor tiempo de inactividad. En este contexto geo-temporal específico empresas que operan con cerradoras de latas en Guayaquil, durante el periodo actual de transición digital industrial surge la necesidad de formular el problema de investigación que orientará el desarrollo de la presente tesis.

Pregunta principal de investigación

¿Cómo influye la ausencia de un sistema centralizado de gestión de mantenimiento con análisis predictivo en la capacidad de las empresas de Guayaquil para registrar, analizar y anticipar fallas en máquinas cerradoras de latas, y qué características debería incorporar un prototipo que permita mejorar dicho proceso?

Objetivos del proyecto

Objetivo general

Desarrollar un prototipo de sistema de gestión de mantenimiento que incorpore técnicas de análisis predictivo para apoyar la toma de decisiones en el mantenimiento de máquinas cerradoras de latas.

Objetivos específicos

- Analizar los procesos operativos, los tipos de mantenimiento y los requerimientos técnicos relacionados con las máquinas cerradoras de latas.
- Estructurar la base conceptual, funcional y técnica que permitirá definir el diseño del prototipo de sistema de gestión de mantenimiento.
- Desarrollar un prototipo de sistema de gestión de mantenimiento empleando técnicas de análisis predictivo sin limitar el uso a una herramienta específica.
- Validar el funcionamiento del prototipo mediante pruebas con expertos en la empresa.

Alcance del problema

El presente proyecto se circunscribe al análisis, diseño, desarrollo y validación de un prototipo de sistema de gestión de mantenimiento con capacidades básicas de análisis predictivo, orientado específicamente a máquinas cerradoras de latas utilizadas por empresas de Guayaquil. El alcance comprende la revisión y levantamiento de información sobre procesos actuales de mantenimiento, la identificación de requerimientos técnicos, la definición de la arquitectura conceptual y funcional del sistema, así como la implementación de un prototipo que permita registrar historial técnico, gestionar repuestos, programar intervenciones y aplicar análisis preliminares basados en datos históricos. El proyecto también incorpora la validación del prototipo mediante la revisión de expertos en mantenimiento industrial.

Se establece como criterio de inclusión toda la información técnica relacionada con fallas, intervenciones, repuestos y tiempos de mantenimiento de las cerradoras de latas, así como la participación de personal técnico dispuesto a colaborar con la retroalimentación durante la fase

de validación. Quedan excluidos del alcance elementos como el desarrollo de sistemas avanzados basados en sensores IoT, la integración con maquinaria en tiempo real, la automatización industrial, la puesta en producción del sistema o su implementación empresarial a gran escala. Tampoco se contempla el desarrollo de módulos administrativos, financieros o contables ajenos a la gestión del mantenimiento.

El prototipo será desarrollado en una plataforma de programación que permita estructurar una base de datos, una interfaz funcional y modelos simples de análisis predictivo. Para efectos de desarrollo y prueba, se utilizará un entorno simulado con datos históricos proporcionados por el taller o la empresa participante. Los roles principales definidos para el prototipo incluyen: administrador del sistema, responsable de configurar equipos y usuarios, y técnico de mantenimiento, encargado de registrar intervenciones y visualizar análisis. Los módulos contemplados abarcan: registro de equipos, historial de mantenimiento, gestión de repuestos, planificación básica de intervenciones y análisis de fallas mediante técnicas predictivas preliminares. El alcance queda limitado a demostrar la viabilidad técnica de estas funcionalidades sin garantizar su operación en entornos corporativos reales.

Justificación e importancia

La realización de este proyecto se justifica por la necesidad de disponer de soluciones tecnológicas que permitan mejorar la gestión del mantenimiento en máquinas cerradoras de latas, equipos cuya falla genera impactos directos en la producción, la calidad del producto y la eficiencia operativa de las empresas industriales de Guayaquil. Desde el punto de vista científico, la investigación aporta un enfoque metodológico que integra análisis de datos y gestión operativa en un mismo prototipo, contribuyendo al avance de la ingeniería de mantenimiento en contextos locales donde la digitalización aún es limitada. La importancia de este estudio radica en su capacidad para demostrar cómo el análisis predictivo puede ser aplicado a procesos de mantenimiento mediante un sistema accesible y adaptable.

En el plano práctico, el prototipo permitirá explorar una alternativa para reducir la

dependencia del mantenimiento reactivo, anticipar fallas y mejorar la planificación, aspectos que tienen repercusión directa en la productividad industrial. Para los talleres especializados, la herramienta representa un medio para mejorar la trazabilidad del mantenimiento, optimizar la gestión de repuestos y fortalecer la toma de decisiones técnicas. Desde la perspectiva teórica, el estudio contribuye a la comprensión del mantenimiento predictivo basado en datos, proporcionando un modelo conceptual y funcional que puede servir como referencia para investigaciones futuras en otros tipos de maquinaria o en otras industrias.

La investigación beneficia a empresas industriales, talleres de mantenimiento, técnicos, ingenieros y académicos interesados en la modernización del mantenimiento industrial. Además, responde a una necesidad creciente en el marco de la Industria 4.0, donde la integración de datos y la inteligencia operativa constituyen pilares fundamentales para aumentar la competitividad. Por ello, la trascendencia del proyecto se manifiesta tanto en su relevancia científica como en su aplicabilidad práctica.

Limitaciones del estudio

El estudio presenta algunas limitaciones que deben considerarse para comprender el alcance real del proyecto. En primer lugar, el prototipo se basa en datos históricos proporcionados por una empresa o taller específico, lo que implica que la calidad, cantidad y consistencia de dicha información pueden restringir la robustez del análisis predictivo. En segundo lugar, la validación del sistema dependerá de la disponibilidad de expertos en mantenimiento industrial, cuya participación podría estar condicionada por la carga laboral, el tiempo o la disposición institucional.

Otra limitación importante es que el prototipo no será probado en un entorno de producción real, sino en un ambiente simulado de pruebas; por tanto, los resultados se orientan más a demostrar viabilidad técnica que a medir impacto operativo en producción. Asimismo, por razones de alcance y recursos, el sistema no incluye integración con sensores IoT ni monitoreo en tiempo real, elementos que podrían mejorar la precisión del análisis predictivo, pero que requieren

infraestructura adicional y mayores costos. Finalmente, el estudio se limita a un tipo específico de maquinaria las cerradoras de latas y a un contexto territorial particular Guayaquil, por lo que los resultados podrían no generalizarse de forma inmediata a otros equipos o regiones sin un ajuste previo del modelo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Antecedentes del estudio

Diversos estudios han abordado la problemática de la gestión del mantenimiento industrial y la incorporación de técnicas de análisis predictivo como una estrategia para mejorar la toma de decisiones y reducir fallas no planificadas en maquinaria crítica. En una investigación desarrollada por Benhanifia & Cheikh (2025), se analizó la evolución del mantenimiento industrial hacia enfoques basados en datos, destacando que la ausencia de sistemas de gestión integrados limita la capacidad de las organizaciones para anticipar fallas y optimizar recursos. El autor concluye que los sistemas computarizados de mantenimiento, apoyados en análisis histórico y modelos predictivos, permiten mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos industriales, especialmente en aquellos procesos donde las paradas no planificadas generan impactos económicos significativos.

En el contexto latinoamericano, Escobar & Ospina (2020), desarrollaron una investigación orientada al diseño de un sistema de gestión de mantenimiento para maquinaria industrial en empresas manufactureras, donde se identificó que la mayoría de las organizaciones operaban bajo un enfoque reactivo debido a la falta de herramientas digitales integradas. Los resultados mostraron que la implementación de un sistema de gestión permitió mejorar el control de órdenes de trabajo, la gestión de repuestos y el seguimiento del historial técnico, aunque se evidenció una limitada incorporación de análisis predictivo. Los autores concluyen que existe una brecha tecnológica en la región que impide aprovechar plenamente los beneficios del mantenimiento basado en datos.

En el ámbito local, Castillo (2025) desarrolló un trabajo de titulación enfocado en el diseño de un sistema de gestión de mantenimiento para maquinaria industrial en una empresa de servicios técnicos, donde se identificó que la información del mantenimiento se encontraba dispersa y era gestionada de forma manual. El estudio concluyó que la ausencia de un sistema

centralizado dificultaba la toma de decisiones y la planificación de intervenciones, recomendando la implementación de plataformas digitales que permitan registrar el historial técnico y analizar el comportamiento de los equipos. Sin embargo, la investigación no incorporó técnicas de análisis predictivo, lo que deja abierta la posibilidad de profundizar en este enfoque.

Fundamentación teórica

Mantenimiento industrial

El mantenimiento industrial constituye una función estratégica dentro de los sistemas productivos modernos, ya que permite garantizar la disponibilidad, confiabilidad y seguridad de los equipos utilizados en los procesos de fabricación (Moreira, 2022). En contextos industriales donde la maquinaria opera de manera continua y bajo altos niveles de exigencia, el mantenimiento deja de ser una actividad meramente correctiva para convertirse en un elemento clave de la gestión operativa. La correcta planificación y ejecución de las actividades de mantenimiento influye directamente en la productividad, la calidad del producto final y la competitividad de las organizaciones (Hernández & Vizán, 2022).

Concepto y evolución del mantenimiento industrial

El mantenimiento industrial puede definirse como el conjunto de acciones técnicas, administrativas y de gestión orientadas a conservar o restablecer un activo físico a un estado en el cual pueda cumplir la función para la cual fue diseñado. De acuerdo con estándares internacionales como la norma ISO 14224, el mantenimiento no solo implica la reparación de fallas, sino también la prevención de estas mediante actividades planificadas, análisis del comportamiento del equipo y toma de decisiones basada en información técnica confiable (Erbiyik, 2022).

Históricamente, el mantenimiento industrial ha evolucionado en función del desarrollo tecnológico y de las exigencias del entorno productivo. En sus primeras etapas, predominaba el mantenimiento reactivo, donde las intervenciones se realizaban únicamente después de que

ocurría una falla. Este enfoque generaba elevados tiempos de inactividad y costos imprevistos, pero era aceptable en sistemas productivos menos complejos. Con el crecimiento de la industrialización y el aumento de la dependencia de la maquinaria, surgió el mantenimiento preventivo, orientado a programar intervenciones periódicas con el objetivo de reducir la probabilidad de fallas (Bokrants & Skoogh, 2020).

En la actualidad, el mantenimiento industrial ha incorporado enfoques más avanzados basados en el análisis de datos y el comportamiento histórico de los equipos, dando lugar al mantenimiento predictivo. Este enfoque busca anticipar fallas antes de que se manifiesten, utilizando información técnica, registros históricos y técnicas analíticas que apoyan la toma de decisiones. La Tabla 2 presenta de manera sintética la evolución del mantenimiento industrial, destacando sus principales características y limitaciones.

Tabla 3 *Evolución del mantenimiento industrial*

| Etapa | Enfoque principal | Características | Limitaciones |
|--------------------------|--------------------------|---|--|
| Mantenimiento reactivo | Reparación tras la falla | Intervención correctiva, mínima planificación | Altos tiempos muertos, costos elevados |
| Mantenimiento preventivo | Prevención programada | Intervenciones periódicas, planificación básica | No evita todas las fallas, posible sobre-mantenimiento |
| Mantenimiento predictivo | Anticipación de fallas | Análisis de datos, uso de historial técnico | Requiere sistemas de información y datos confiables |

Nota: La Tabla 3, muestra la evolución del mantenimiento responde a la necesidad de reducir la incertidumbre operativa y mejorar la eficiencia en la gestión de los activos industriales. Fuente: Información obtenida de (MEINSA, 2022)

Importancia del mantenimiento en los sistemas productivos

El mantenimiento industrial desempeña un rol fundamental en los sistemas productivos, ya que impacta directamente en la continuidad de las operaciones y en el cumplimiento de los objetivos organizacionales. Un sistema productivo sin una estrategia de mantenimiento adecuada está expuesto a paradas no planificadas, fallas recurrentes y pérdida de capacidad operativa, lo que se traduce en costos adicionales y disminución de la competitividad (Fuentes, 2024).

Desde una perspectiva operativa, el mantenimiento permite asegurar que los equipos funcionen dentro de los parámetros técnicos establecidos, manteniendo la calidad del producto y reduciendo el riesgo de accidentes laborales. En sectores industriales donde se utilizan máquinas de alta precisión, como las cerradoras de latas, una falla en el proceso de mantenimiento puede afectar no solo la productividad, sino también la integridad del producto final y el cumplimiento de normativas sanitarias.

Además, el mantenimiento industrial contribuye a la optimización de los recursos, ya que una adecuada planificación reduce el consumo innecesario de repuestos, minimiza los tiempos de intervención y prolonga la vida útil de los equipos. En este sentido, la incorporación de sistemas de gestión y herramientas analíticas fortalece la toma de decisiones, permitiendo priorizar intervenciones, asignar recursos de manera eficiente y anticipar escenarios de riesgo. Por tanto, el mantenimiento deja de ser una actividad de soporte para convertirse en un elemento estratégico dentro de la gestión empresarial (Fuentes, 2024).

Indicadores de desempeño en mantenimiento industrial

La medición del desempeño del mantenimiento industrial es esencial para evaluar la efectividad de las estrategias implementadas y para identificar oportunidades de mejora (Salas & Hernández, 2024). Los indicadores de desempeño permiten cuantificar el comportamiento de los equipos, la eficiencia de las intervenciones y el impacto del mantenimiento en la operación productiva. Entre los indicadores más utilizados se encuentran el MTBF (Mean Time Between Failures), el MTTR (Mean Time To Repair) y la disponibilidad operativa.

El MTBF mide el tiempo promedio entre fallas consecutivas de un equipo, proporcionando información sobre su confiabilidad. Por su parte, el MTTR representa el tiempo promedio requerido para reparar un equipo tras una falla, reflejando la eficiencia del proceso de mantenimiento. La disponibilidad operativa combina ambos indicadores y expresa el porcentaje de tiempo en el que el equipo se encuentra en condiciones de operar. La tabla 4 resume los

principales indicadores de desempeño utilizados en mantenimiento industrial.

Tabla 4 *Indicadores de desempeño en mantenimiento industrial*

| Indicador | Definición | Utilidad |
|------------------|---------------------------------|---|
| MTBF | Tiempo promedio entre fallas | Evalúa la confiabilidad del equipo |
| MTTR | Tiempo promedio de reparación | Mide la eficiencia del mantenimiento |
| Disponibilidad | Tiempo operativo / tiempo total | Determina la capacidad operativa del activo |

Nota: Estos indicadores son fundamentales para los sistemas de gestión de mantenimiento, ya que permiten analizar tendencias, comparar escenarios y apoyar decisiones basadas en datos.

Fuente: Información obtenida de (IBM, 2024)

Tipos de mantenimiento

Los tipos de mantenimiento se clasifican según el enfoque adoptado para gestionar las fallas y el comportamiento de los equipos. Cada tipo responde a una lógica operativa distinta y presenta ventajas y limitaciones que deben ser consideradas al momento de diseñar una estrategia de mantenimiento.

Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo consiste en la intervención del equipo una vez que se ha producido una falla. Este enfoque se caracteriza por su carácter reactivo y por la ausencia de planificación previa. Aunque puede resultar adecuado en equipos de baja criticidad, en sistemas productivos complejos genera altos costos, prolongados tiempos de inactividad y dependencia del criterio del técnico para la reparación.

Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo se basa en la realización de intervenciones programadas con el objetivo de reducir la probabilidad de fallas. Estas actividades se planifican en función del tiempo, el uso del equipo o recomendaciones del fabricante. Si bien este enfoque mejora la confiabilidad respecto al mantenimiento correctivo, no siempre permite anticipar fallas imprevistas

y puede generar intervenciones innecesarias si no se apoya en información técnica suficiente.

Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo utiliza datos históricos, análisis del comportamiento del equipo e indicadores de desempeño para anticipar fallas antes de que estas ocurran. Este enfoque permite planificar intervenciones de manera más precisa, optimizar recursos y reducir los tiempos de inactividad no planificados. Su efectividad depende de la calidad de los datos disponibles y de la existencia de sistemas de información que permitan analizarlos de forma adecuada.

Comparación entre mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo

La comparación entre los distintos tipos de mantenimiento permite identificar las diferencias clave en términos de enfoque, planificación y resultados. La Tabla 5 presenta una comparación sintética de los principales tipos de mantenimiento industrial.

Tabla 5 *Comparación entre tipos de mantenimiento*

| Tipo de mantenimiento | Enfoque | Nivel de planificación | Impacto en la operación |
|------------------------------|-----------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Correctivo | Reactivo | Bajo | Altos tiempos muertos |
| Preventivo | Programado | Medio | Reducción parcial de fallas |
| Predictivo | Basado en datos | Alto | Mayor confiabilidad y eficiencia |

Nota: La Tabla presenta que, el mantenimiento predictivo representa una evolución significativa respecto a los enfoques tradicionales, al permitir una gestión más eficiente y proactiva de los activos industriales. *Fuente:* información obtenida de (Erbiyik, 2022)

Máquinas cerradoras de latas

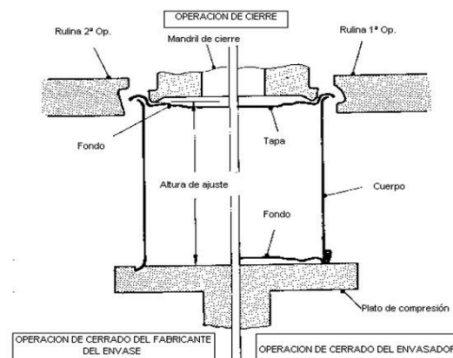
Las máquinas cerradoras de latas son equipos industriales diseñados para realizar el sellado hermético de envases metálicos mediante un proceso mecánico de alta precisión. Su función principal es asegurar la unión adecuada entre el cuerpo de la lata y la tapa, garantizando la integridad del producto, la conservación del contenido y el cumplimiento de normas sanitarias. Debido a su rol crítico dentro de las líneas de envasado, estas máquinas operan de manera continua y están sometidas a elevados niveles de exigencia mecánica, lo que hace indispensable una gestión de mantenimiento rigurosa y bien estructurada (AMS Machine, 2024).

Funcionamiento general de las máquinas cerradoras de latas

El funcionamiento de una máquina cerradora de latas se basa en un proceso secuencial que combina movimientos mecánicos sincronizados para lograr un cierre seguro y uniforme. En términos generales, el proceso inicia con la alimentación de la lata llena y la colocación de la tapa sobre el cuerpo del envase. Posteriormente, la lata es posicionada en el plato elevador, donde se alinea con el cabezal de cierre. A través de la acción de rodillos de primera y segunda operación, se produce el engargolado progresivo que une la tapa y el cuerpo de la lata mediante un doble cierre mecánico (MundoLatas, 2025).

Este proceso requiere una sincronización precisa entre los componentes, ya que pequeñas desviaciones en la alineación, presión o velocidad pueden generar defectos en el sellado, comprometiendo la calidad del producto final. Por ello, el correcto ajuste y calibración de la máquina es fundamental para garantizar un cierre hermético. La Figura 1 ilustra de manera general el principio de funcionamiento de una máquina cerradora de latas y la interacción entre sus componentes principales.

Figura 1 *Maquina cerradora de latas*



Fuente: Ilustración obtenida de (MundoLatas, 2025)

La comprensión del funcionamiento general de estas máquinas resulta esencial para identificar los puntos críticos del proceso y para definir estrategias de mantenimiento que aseguren su operación continua y confiable.

Componentes críticos y puntos frecuentes de falla

Las máquinas cerradoras de latas están compuestas por diversos elementos mecánicos y estructurales que trabajan de manera conjunta. Entre estos componentes, algunos presentan mayor criticidad debido a su función directa en el proceso de cierre y a su exposición constante al desgaste. El deterioro o desajuste de estos elementos puede provocar fallas recurrentes, defectos en el sellado o incluso paradas completas del equipo.

Entre los componentes más críticos se encuentran los rodillos de cierre, el mandril, el plato elevador, el sistema de transmisión y los mecanismos de alineación. Estos elementos están sometidos a fricción constante, esfuerzos mecánicos y vibraciones, lo que incrementa su probabilidad de falla si no se realiza un mantenimiento adecuado. La Tabla 6 presenta los principales componentes críticos de las máquinas cerradoras de latas y los puntos frecuentes de falla asociados.

Tabla 6 Componentes críticos y puntos frecuentes de falla en máquinas cerradoras de latas

| Componente crítico | Función principal | Punto frecuente de falla |
|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Rodillos de cierre | Formar el doble cierre | Desgaste, desalineación |
| Mandril | Soporte y forma del cierre | Deformación, holgura |
| Plato elevador | Posicionar la lata | Desajuste, fallas mecánicas |
| Sistema de transmisión | Transferir movimiento | Desgaste de engranajes |
| Mecanismos de alineación | Garantizar precisión | Pérdida de calibración |

Nota: La Tabla 6 muestra que, la mayoría de los puntos de falla están relacionados con desgaste mecánico y desajustes progresivos, lo que resalta la importancia de realizar inspecciones periódicas y análisis del comportamiento del equipo para anticipar problemas antes de que afecten la operación. *Fuente:* Información obtenida de (Toala & Delgado, 2025)

Requerimientos técnicos de mantenimiento en cerradoras de latas

El mantenimiento de las máquinas cerradoras de latas debe cumplir con requerimientos técnicos específicos que aseguren la precisión del proceso de cierre y la seguridad operativa. Entre estos requerimientos se incluyen la calibración periódica de los rodillos y el mandril, la

lubricación adecuada de los componentes móviles, la inspección de tolerancias mecánicas y la verificación del sistema de transmisión.

Además, debido a que estas máquinas suelen emplearse en industrias alimentarias, el mantenimiento debe realizarse bajo estrictas condiciones de higiene y control, lo que generalmente implica el desmontaje del equipo y su traslado a talleres especializados. Esta particularidad incrementa la necesidad de una planificación precisa del mantenimiento, ya que cualquier retraso prolonga el tiempo de inactividad del equipo. Por ello, resulta fundamental contar con información técnica confiable, historial de intervenciones y análisis de fallas que permitan optimizar la programación de las actividades de mantenimiento.

Gestión del mantenimiento

La gestión del mantenimiento se refiere al conjunto de actividades administrativas, técnicas y estratégicas orientadas a planificar, ejecutar, controlar y mejorar las acciones de mantenimiento de los activos industriales. En entornos productivos modernos, la gestión del mantenimiento no se limita a la ejecución de reparaciones, sino que incorpora procesos de análisis, toma de decisiones y optimización de recursos.

Concepto de gestión del mantenimiento

La gestión del mantenimiento puede definirse como un sistema organizado de planificación y control que busca asegurar que los equipos industriales cumplan su función de manera confiable, segura y eficiente durante su vida útil. Este enfoque integra aspectos técnicos, humanos y tecnológicos, permitiendo coordinar recursos, definir prioridades y evaluar el desempeño del mantenimiento mediante indicadores.

Desde esta perspectiva, la gestión del mantenimiento se convierte en un elemento estratégico de la organización, ya que influye directamente en la disponibilidad operativa, la calidad del producto y los costos de operación. La incorporación de sistemas de información fortalece esta gestión al proporcionar datos estructurados y oportunos para la toma de decisiones.

Planificación y control del mantenimiento

La planificación del mantenimiento consiste en definir qué actividades se realizarán, cuándo, cómo y con qué recursos. Un proceso de planificación adecuado permite anticipar necesidades, reducir improvisaciones y minimizar interrupciones en la producción. El control del mantenimiento, por su parte, implica el seguimiento y evaluación de las actividades ejecutadas, comparando los resultados obtenidos con los objetivos establecidos.

En máquinas cerradoras de latas, la planificación es especialmente crítica debido a la necesidad de desmontaje y traslado del equipo. La falta de planificación genera retrasos, incremento de costos y prolongación del tiempo muerto. Por ello, la planificación y el control deben apoyarse en información histórica, indicadores de desempeño y análisis del comportamiento del equipo.

Gestión de órdenes de trabajo

Las órdenes de trabajo constituyen el principal instrumento operativo para ejecutar el mantenimiento. Estas documentan las actividades a realizar, los recursos asignados, los tiempos estimados y los resultados obtenidos. Una adecuada gestión de órdenes de trabajo permite estandarizar procedimientos, asegurar la trazabilidad de las intervenciones y construir un historial técnico confiable.

En ausencia de sistemas digitales, las órdenes de trabajo suelen gestionarse de forma manual, lo que incrementa el riesgo de errores, pérdida de información y duplicidad de actividades. La incorporación de sistemas de gestión de mantenimiento facilita el registro, seguimiento y análisis de las órdenes de trabajo, fortaleciendo la toma de decisiones y la planificación futura.

Gestión de repuestos y consumibles

La gestión de repuestos y consumibles es un componente esencial de la gestión del mantenimiento, ya que la disponibilidad oportuna de piezas influye directamente en la duración de las intervenciones y en la continuidad operativa. Una gestión deficiente del inventario puede generar retrasos, sobrecostos y prolongación del tiempo de inactividad del equipo.

En el caso de las máquinas cerradoras de latas, los repuestos críticos deben ser identificados, clasificados y controlados de manera sistemática. La Tabla 7 resume los principales elementos involucrados en la gestión de repuestos y su impacto en el mantenimiento.

Tabla 7 *Gestión de repuestos y su impacto en el mantenimiento*

| Elemento | Impacto en el mantenimiento |
|-----------------------------|------------------------------------|
| Disponibilidad de repuestos | Reduce tiempos de intervención |
| Control de inventario | Evita faltantes y sobrecostos |
| Registro de consumo | Apoya la planificación futura |
| Análisis de uso histórico | Permite anticipar necesidades |

Nota: La Tabla 7 muestra que, una gestión adecuada de repuestos contribuye a mejorar la eficiencia del mantenimiento y a reducir los tiempos de inactividad, reforzando la importancia de integrar esta función dentro de un sistema de gestión estructurado.

Sistemas de Gestión de Mantenimiento (SGM / CMMS)

Los Sistemas de Gestión de Mantenimiento, conocidos también como CMMS (Computerized Maintenance Management Systems), constituyen plataformas tecnológicas diseñadas para apoyar la planificación, ejecución y control de las actividades de mantenimiento industrial. En entornos productivos modernos, estos sistemas permiten centralizar la información técnica de los activos, estructurar procesos operativos y facilitar la toma de decisiones basada en datos, superando las limitaciones de los registros manuales o dispersos.

Definición y características de un sistema de gestión de mantenimiento

Un sistema de gestión de mantenimiento puede definirse como una herramienta informática que integra funciones administrativas y técnicas para gestionar de manera sistemática los activos industriales a lo largo de su ciclo de vida. Su objetivo principal es asegurar que los equipos se mantengan en condiciones óptimas de funcionamiento mediante el registro estructurado de información, la programación de actividades y el seguimiento del desempeño del mantenimiento.

Entre las características fundamentales de un SGM se encuentran la centralización de datos, la trazabilidad de las intervenciones, la estandarización de procesos y la capacidad de generar reportes e indicadores de desempeño. Estas características permiten reducir la dependencia del conocimiento tácito de los técnicos y facilitan la continuidad operativa, incluso ante cambios de personal. La Tabla 8 sintetiza las principales características de los sistemas de gestión de mantenimiento.

Tabla 8 Características de los sistemas de gestión de mantenimiento

| Característica | Descripción |
|-------------------------------|---|
| Centralización de información | Almacena datos técnicos en un repositorio único |
| Trazabilidad | Permite seguimiento histórico de intervenciones |
| Estandarización | Unifica procedimientos y formatos de trabajo |
| Generación de reportes | Facilita análisis e indicadores de desempeño |
| Soporte a decisiones | Apoya la planificación y priorización |

Nota: Como se observa en la Tabla 8, estas características convierten a los SGM en herramientas clave para una gestión estructurada del mantenimiento.

Funcionalidades principales de los sistemas CMMS

Los sistemas CMMS integran un conjunto de funcionalidades orientadas a cubrir el ciclo completo del mantenimiento industrial. Entre las más relevantes se encuentran el registro de

activos, la gestión de órdenes de trabajo, la planificación del mantenimiento preventivo, el control de repuestos y la generación de indicadores.

La gestión de órdenes de trabajo permite documentar cada intervención realizada, asignar recursos, registrar tiempos y describir las actividades ejecutadas. Por su parte, la planificación del mantenimiento preventivo facilita la programación de tareas periódicas, reduciendo la probabilidad de fallas inesperadas. Asimismo, el control de inventarios permite gestionar repuestos críticos y consumibles, evitando retrasos por falta de piezas. La Tabla 9 presenta las funcionalidades principales de los sistemas CMMS y su propósito dentro de la gestión del mantenimiento.

Tabla 9 *Funcionalidades principales de los sistemas CMMS*

| Funcionalidad | Propósito |
|--------------------------|--------------------------------------|
| Registro de activos | Identificar y clasificar equipos |
| Órdenes de trabajo | Ejecutar y documentar intervenciones |
| Mantenimiento preventivo | Programar actividades periódicas |
| Gestión de repuestos | Controlar inventario y consumo |
| Indicadores de desempeño | Evaluar eficiencia y confiabilidad |

Fuente: Elaboración propia

Beneficios y limitaciones de los sistemas de gestión de mantenimiento

La implementación de sistemas de gestión de mantenimiento aporta múltiples beneficios a las organizaciones industriales, especialmente en contextos donde la maquinaria es crítica para la continuidad operativa. Estos sistemas permiten estructurar y centralizar la información técnica, facilitando una gestión más ordenada y controlada de las actividades de mantenimiento.

Entre los principales beneficios de los sistemas de gestión de mantenimiento se destacan:

- Mejora en la planificación de las intervenciones, al permitir programar actividades de mantenimiento con base en información histórica y requerimientos técnicos.
- Reducción de los tiempos de inactividad, mediante una mejor coordinación de

recursos, repuestos y personal técnico.

- Incremento de la vida útil de los equipos, gracias a un seguimiento sistemático del estado de los activos y a la ejecución oportuna de las intervenciones.
- Optimización del uso de recursos, al disminuir reparaciones innecesarias y mejorar la asignación de materiales y mano de obra.
- Fortalecimiento de la trazabilidad del mantenimiento, permitiendo registrar y consultar el historial completo de fallas, reparaciones y ajustes realizados.
- Evaluación del desempeño del mantenimiento, a través de indicadores como tiempos de reparación, frecuencia de fallas y disponibilidad operativa.

No obstante, los sistemas de gestión de mantenimiento también presentan limitaciones que deben ser consideradas para una correcta interpretación de su alcance. Entre las principales se identifican las siguientes:

- Dependencia de la calidad de los datos ingresados, ya que información incompleta o incorrecta reduce la confiabilidad del sistema.
- Requerimiento de adopción por parte del personal técnico, lo que implica procesos de capacitación y cambio cultural dentro de la organización.
- Enfoque predominantemente operativo, centrado en el registro y control de actividades, sin incorporar de manera nativa análisis predictivo avanzado.
- Capacidad limitada para anticipar fallas, cuando el sistema no integra herramientas analíticas que permitan interpretar patrones históricos de comportamiento.

En consecuencia, si bien los sistemas de gestión de mantenimiento representan un avance significativo frente a los métodos tradicionales, su impacto suele concentrarse en la mejora operativa con un enfoque principalmente reactivo o preventivo. Esta situación evidencia la necesidad de complementar dichos sistemas con técnicas de análisis predictivo, que permitan transformar los datos registrados en información estratégica para la toma de decisiones y la

anticipación de fallas.

Aplicación de sistemas CMMS en entornos industriales

En entornos industriales, los sistemas CMMS se aplican como herramientas de apoyo a la gestión operativa del mantenimiento, especialmente en sectores donde la maquinaria es crítica para la producción continua. Su implementación permite a las empresas estructurar procesos, reducir la improvisación y generar información histórica valiosa.

Sin embargo, en muchos contextos industriales, particularmente en economías en desarrollo, la adopción de estos sistemas es parcial o limitada. En estos casos, los CMMS se utilizan principalmente como repositorios de información y herramientas de control, sin aprovechar plenamente su potencial analítico. Esta situación refuerza la necesidad de evolucionar hacia sistemas que integren análisis predictivo, capaces de transformar los datos almacenados en conocimiento útil para anticipar fallas y optimizar decisiones.

Análisis predictivo aplicado al mantenimiento

El análisis predictivo aplicado al mantenimiento representa una evolución significativa en la gestión de activos industriales, ya que permite anticipar el comportamiento de los equipos mediante el uso de datos históricos y técnicas analíticas. Este enfoque se alinea con los principios de la Industria 4.0, donde la información y el análisis de datos constituyen pilares fundamentales para la mejora de los procesos productivos.

Concepto de análisis predictivo

El análisis predictivo puede definirse como el conjunto de técnicas estadísticas y computacionales que utilizan datos históricos para identificar patrones y predecir eventos futuros. En el contexto del mantenimiento industrial, su finalidad es anticipar fallas, estimar la vida útil de los componentes y apoyar la planificación de intervenciones.

A diferencia de los enfoques tradicionales, el análisis predictivo no se basa únicamente en calendarios o experiencias previas, sino en el comportamiento real del equipo registrado a lo

largo del tiempo. Esto permite una gestión más precisa y proactiva del mantenimiento.

Análisis de datos históricos en mantenimiento

Los datos históricos constituyen la base del análisis predictivo en mantenimiento. Estos datos incluyen registros de fallas, tiempos de intervención, consumo de repuestos, condiciones operativas y resultados de inspecciones. La correcta estructuración y calidad de estos datos es determinante para la efectividad del análisis.

Cuando los datos se encuentran dispersos o incompletos, el análisis predictivo pierde fiabilidad. Por ello, la integración de sistemas de gestión de mantenimiento con capacidades analíticas permite consolidar la información y generar bases de datos aptas para el análisis. La Figura 2 representa de manera conceptual la relación entre los datos históricos, el sistema de gestión de mantenimiento y el análisis predictivo.

Figura 2 Sistema de gestión de mantenimiento y análisis predictivo en base a datos históricos



Nota: Elaboración propia con base a la información de

Técnicas de análisis predictivo utilizadas en mantenimiento

Las técnicas de análisis predictivo aplicadas al mantenimiento varían en función de la disponibilidad, calidad y volumen de los datos históricos, así como del nivel de complejidad del sistema que se desea analizar. En entornos industriales donde la información es limitada o se

encuentra en fases iniciales de estructuración, se emplean técnicas exploratorias y modelos sencillos que permiten identificar patrones generales y comportamientos recurrentes de los equipos.

Entre las principales técnicas utilizadas en el mantenimiento predictivo se destacan las siguientes:

- **Análisis de tendencias:** Permite identificar patrones de desgaste y comportamiento progresivo de los componentes a lo largo del tiempo, facilitando la detección temprana de desviaciones respecto a condiciones normales de operación.
- **Modelos de regresión:** Se utilizan para estimar el comportamiento futuro de variables relacionadas con el desempeño del equipo, como tiempos entre fallas o deterioro de componentes, a partir de datos históricos.
- **Análisis estadístico descriptivo:** Facilita la evaluación de la frecuencia, recurrencia y distribución de fallas, proporcionando una visión general del comportamiento del equipo y apoyando la toma de decisiones iniciales.
- **Modelos predictivos básicos:** Incluyen técnicas sencillas de clasificación o predicción que permiten anticipar eventos de falla con base en patrones previamente observados, siendo especialmente útiles cuando se dispone de información estructurada pero aún limitada.

A medida que las organizaciones consolidan bases de datos más completas y confiables, estas técnicas pueden complementarse o evolucionar hacia modelos más avanzados, incrementando la precisión del mantenimiento predictivo y su aporte a la gestión de los activos industriales.

Ventajas del análisis predictivo frente a enfoques tradicionales

El análisis predictivo presenta ventajas significativas frente a los enfoques tradicionales de mantenimiento correctivo y preventivo, ya que permite una gestión más proactiva y basada en el comportamiento real de los equipos. Estas ventajas se reflejan tanto en la operación diaria como en la planificación estratégica del mantenimiento.

Entre las principales ventajas del análisis predictivo se encuentran:

- Reducción de fallas inesperadas, al anticipar posibles eventos de falla antes de que se manifiesten de forma crítica.
- Optimización del uso de repuestos y recursos, evitando intervenciones innecesarias y mejorando la gestión del inventario.
- Mejora en la planificación del mantenimiento, al permitir programar intervenciones en función del riesgo real y no solo de calendarios predefinidos.
- Disminución de los tiempos de inactividad no planificados, lo que contribuye a una mayor continuidad operativa.
- Priorización de intervenciones basada en datos, reduciendo tanto el sub-mantenimiento como el sobre mantenimiento.

En el caso de maquinaria crítica, como las máquinas cerradoras de latas, estas ventajas se traducen en una mayor confiabilidad operativa, mejor aprovechamiento de los recursos disponibles y una toma de decisiones más objetiva. En consecuencia, el análisis predictivo se consolida como un complemento necesario de los sistemas de gestión de mantenimiento, fortaleciendo el enfoque de mantenimiento basado en datos y alineado con las exigencias de la industria moderna.

Integración del análisis predictivo en sistemas de mantenimiento

La integración del análisis predictivo en los sistemas de mantenimiento representa un avance significativo en la gestión de activos industriales, ya que permite transformar datos

históricos en información útil para la toma de decisiones. Mientras que los sistemas de gestión de mantenimiento tradicionales se enfocan principalmente en el registro y control de actividades, la incorporación de análisis predictivo amplía su alcance hacia un enfoque proactivo, orientado a la anticipación de fallas y a la optimización de recursos.

Esta integración se sustenta en la disponibilidad de datos estructurados, la capacidad de procesamiento de la información y la aplicación de modelos analíticos que apoyan la toma de decisiones operativas y estratégicas dentro del mantenimiento industrial.

Uso de datos para la toma de decisiones en mantenimiento

El uso de datos en la toma de decisiones constituye uno de los pilares del mantenimiento moderno. Los sistemas de gestión de mantenimiento permiten recopilar información relacionada con fallas, tiempos de intervención, consumo de repuestos, frecuencia de mantenimientos y desempeño de los equipos. Cuando estos datos son analizados de forma sistemática, se convierten en una fuente de conocimiento que apoya la planificación y priorización de las actividades de mantenimiento.

Entre las principales decisiones que pueden apoyarse mediante el uso de datos se encuentran:

- Priorización de intervenciones, en función de la criticidad del equipo y la probabilidad de falla.
- Programación del mantenimiento, basada en el comportamiento histórico del activo y no únicamente en calendarios fijos.
- Asignación de recursos, optimizando el uso de personal técnico, tiempo y repuestos.
- Evaluación del desempeño, mediante indicadores que permiten identificar oportunidades de mejora.

En este contexto, la integración del análisis predictivo permite que las decisiones se fundamenten en evidencia objetiva, reduciendo la dependencia del criterio subjetivo del personal técnico y mejorando la confiabilidad del proceso de mantenimiento.

Modelos de apoyo a la decisión basados en datos

Los modelos de apoyo a la decisión basados en datos constituyen herramientas analíticas que permiten interpretar la información recopilada por los sistemas de gestión de mantenimiento y generar recomendaciones para la acción. Estos modelos pueden variar en complejidad, desde análisis descriptivos hasta modelos predictivos que estiman el comportamiento futuro de los equipos.

Entre los principales tipos de modelos de apoyo a la decisión utilizados en mantenimiento se incluyen:

- Modelos descriptivos, que analizan datos históricos para identificar patrones de fallas, frecuencias y tendencias.
- Modelos predictivos, que estiman la probabilidad de ocurrencia de fallas o el deterioro de componentes en un horizonte temporal determinado.
- Modelos de priorización, que combinan variables técnicas y operativas para determinar qué equipos requieren atención inmediata.
- Modelos de simulación, que permiten evaluar distintos escenarios de mantenimiento y su impacto en la operación.

Estos modelos no sustituyen la experiencia del personal técnico, sino que la complementan, proporcionando información objetiva que mejora la calidad de las decisiones y fortalece la gestión del mantenimiento basada en datos.

Limitaciones del análisis predictivo en entornos industriales

A pesar de sus ventajas, el análisis predictivo presenta limitaciones que deben ser consideradas al momento de integrarlo en sistemas de mantenimiento industrial. Una de las principales limitaciones es la dependencia de la calidad y disponibilidad de los datos, ya que registros incompletos, inconsistentes o dispersos reducen la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Otras limitaciones relevantes incluyen:

- Restricciones en la cantidad de datos históricos, especialmente en organizaciones que recién inician procesos de digitalización.
- Resistencia al cambio organizacional, que puede dificultar la adopción de enfoques basados en datos.
- Limitaciones tecnológicas, relacionadas con infraestructura, capacidad de procesamiento o conectividad.
- Complejidad en la interpretación de resultados, que requiere conocimientos técnicos para traducir los análisis en acciones concretas.

Estas limitaciones no invalidan el análisis predictivo, sino que resaltan la importancia de una implementación gradual, adaptada al contexto industrial y alineada con las capacidades reales de la organización.

Plataformas tecnológicas para el desarrollo de sistemas

El desarrollo de sistemas de gestión de mantenimiento con capacidades de análisis predictivo requiere el uso de plataformas tecnológicas que permitan estructurar información, procesar datos y presentar resultados de manera clara y accesible. En esta investigación, el análisis se centra en los criterios generales para la selección de dichas plataformas, sin comprometer el uso de herramientas específicas.

Sistemas de información aplicados a la gestión del mantenimiento

Los sistemas de información aplicados a la gestión del mantenimiento integran componentes de software que permiten registrar, almacenar y procesar datos relacionados con los activos industriales. Estos sistemas actúan como repositorios de información técnica y como plataformas de apoyo a la toma de decisiones.

Entre las funciones clave de estos sistemas se encuentran:

- Registro estructurado del historial técnico de los equipos.
- Gestión de órdenes de trabajo y actividades de mantenimiento.
- Control de inventarios de repuestos y consumibles.
- Generación de reportes e indicadores de desempeño.

La correcta implementación de estos sistemas facilita la transición desde enfoques tradicionales hacia modelos de mantenimiento basados en datos.

Arquitecturas de software para sistemas de gestión

Las arquitecturas de software definen la forma en que los componentes de un sistema interactúan entre sí. En los sistemas de gestión de mantenimiento, la arquitectura debe garantizar escalabilidad, modularidad y facilidad de mantenimiento.

De manera general, las arquitecturas utilizadas en este tipo de sistemas suelen considerar:

- Separación entre capa de datos, lógica de negocio e interfaz de usuario, lo que facilita el mantenimiento y la evolución del sistema.
- Modularidad, permitiendo incorporar o modificar funcionalidades sin afectar el sistema completo.
- Interoperabilidad, para facilitar la integración con otros sistemas de información si fuese necesario.

Una arquitectura bien definida constituye la base para el desarrollo de sistemas robustos y adaptables a distintos contextos industriales.

Criterios para la selección de herramientas de desarrollo

La selección de herramientas de desarrollo para un sistema de gestión de mantenimiento debe basarse en criterios técnicos y metodológicos, más que en preferencias particulares. Estos criterios permiten garantizar que la solución sea viable, escalable y adecuada al contexto de aplicación.

Entre los principales criterios a considerar se incluyen:

- Compatibilidad con bases de datos, para asegurar un manejo eficiente de la información.
- Facilidad de desarrollo y mantenimiento, reduciendo la complejidad del sistema.
- Escalabilidad, que permita ampliar funcionalidades en futuras versiones.
- Soporte a análisis de datos, facilitando la integración de técnicas predictivas.
- Disponibilidad de documentación y comunidad de soporte, que contribuya a la sostenibilidad del sistema.

El análisis de estos criterios permitirá, en fases posteriores del proyecto, seleccionar las herramientas más adecuadas para el desarrollo del prototipo, sin comprometer la flexibilidad ni la viabilidad de la investigación.

Preguntas científicas para contestarse

Las preguntas científicas planteadas buscan determinar si la incorporación de un enfoque sistematizado y basado en datos contribuye a mejorar la eficiencia operativa, optimizar recursos y fortalecer la gestión del mantenimiento en máquinas cerradoras de latas utilizadas por empresas de la ciudad de Guayaquil.

En este contexto, se formulan las siguientes preguntas científicas a contestarse:

- ¿La integración de un sistema de gestión de mantenimiento con análisis predictivo permitirá optimizar la planificación de las actividades de mantenimiento en máquinas cerradoras de latas utilizadas por empresas de la ciudad de Guayaquil?
- ¿El uso de datos históricos de fallas, intervenciones y consumo de repuestos contribuirá a mejorar la toma de decisiones en el mantenimiento de máquinas cerradoras de latas?
- ¿La aplicación de técnicas de análisis predictivo facilitará la identificación temprana de posibles fallas en máquinas cerradoras de latas, reduciendo los tiempos de inactividad no planificados?
- ¿La sistematización de la información de mantenimiento mediante un prototipo de sistema permitirá fortalecer la trazabilidad y el control de las actividades de mantenimiento?
- ¿La validación del prototipo mediante la revisión de expertos permitirá determinar su pertinencia y coherencia funcional para apoyar la gestión del mantenimiento industrial?

Definiciones conceptuales

Activo industrial

Bien físico utilizado en procesos productivos cuya operación, confiabilidad y disponibilidad influyen directamente en el desempeño de la organización.

Cierre hermético

Unión mecánica segura entre el cuerpo de la lata y la tapa que garantiza la integridad del envase y la conservación del producto contenido.

Engargolado

Proceso mecánico mediante el cual se forma el doble cierre entre la tapa y el cuerpo de la lata a través de la acción secuencial de rodillos.

Historial técnico

Conjunto de registros documentados que contienen información sobre fallas, intervenciones, ajustes y mantenimientos realizados a un equipo.

Orden de trabajo

Documento físico o digital que detalla las actividades de mantenimiento a ejecutar, los recursos asignados y los resultados obtenidos.

Disponibilidad operativa

Capacidad de un equipo para encontrarse en condiciones de funcionamiento durante un período determinado.

Confiabilidad

Probabilidad de que un equipo opere sin fallas durante un intervalo de tiempo bajo condiciones específicas.

Tiempo de inactividad

Período durante el cual un equipo no se encuentra operativo debido a fallas, mantenimiento o ajustes técnicos.

Desgaste mecánico

Deterioro progresivo de los componentes de un equipo causado por fricción, esfuerzo continuo o condiciones operativas.

Trazabilidad del mantenimiento

Capacidad de rastrear y consultar de manera ordenada todas las intervenciones y eventos asociados al mantenimiento de un equipo.

Base de datos histórica

Repositorio estructurado de información que almacena registros técnicos acumulados a lo largo del tiempo.

Patrón de comportamiento

Tendencia o regularidad identificable en los datos históricos que describe la forma en que un equipo responde a determinadas condiciones.

Apoyo a la toma de decisiones

Proceso mediante el cual la información analizada facilita la selección de acciones técnicas u operativas más adecuadas.

Modelo de apoyo a la decisión

Representación analítica que utiliza datos para evaluar escenarios y orientar decisiones relacionadas con el mantenimiento.

Prototipo funcional

Versión preliminar de un sistema que permite demostrar y validar sus principales funcionalidades sin constituir un producto final.

CAPÍTULO III

PROPUESTA TECNOLÓGICA

Como se ha indicado en los capítulos anteriores, el presente proyecto tiene como objetivo el desarrollo de un prototipo de sistema de gestión de mantenimiento que incorpore técnicas de análisis predictivo como apoyo a la toma de decisiones en el mantenimiento de máquinas cerradoras de latas utilizadas por empresas de la ciudad de Guayaquil. La propuesta tecnológica se orienta a estructurar y sistematizar la información técnica del mantenimiento, permitiendo registrar datos históricos, analizar tendencias y generar alertas básicas que contribuyan a mejorar la eficiencia operativa y la optimización de recursos.

La propuesta contempla el diseño y desarrollo de un sistema web basado en tecnologías de libre acceso, el cual integrará funcionalidades esenciales de gestión del mantenimiento con mecanismos simples de análisis predictivo. Al tratarse de un prototipo, el enfoque se centra en demostrar la viabilidad técnica y funcional de la solución, sin considerar su implementación a escala productiva ni la integración con sistemas industriales en tiempo real.

Análisis de factibilidad

El análisis de factibilidad tiene como finalidad evaluar las posibilidades reales de éxito del sistema propuesto, considerando aspectos operacionales, técnicos, legales y económicos. Este análisis permite determinar si el desarrollo del prototipo es viable dentro de las condiciones actuales, así como identificar posibles limitaciones que puedan afectar su ejecución.

Factibilidad operacional

La factibilidad operacional analiza si el sistema propuesto podrá ser utilizado de manera efectiva por los usuarios finales y si existe un entorno favorable para su adopción. En el contexto del presente proyecto, el sistema está dirigido a personal técnico y responsables del mantenimiento, quienes actualmente gestionan la información de manera manual o mediante herramientas no especializadas.

El prototipo ha sido concebido con una interfaz sencilla y funcionalidades alineadas a los procesos reales de mantenimiento, lo que facilita su comprensión y uso. Además, la sistematización de la información permite reducir la carga administrativa y mejorar la trazabilidad de las intervenciones, aspectos que favorecen la aceptación del sistema por parte de los usuarios. Al tratarse de un prototipo académico, no se requiere una reestructuración organizacional profunda, lo que incrementa la factibilidad operacional del proyecto.

Factibilidad técnica

La factibilidad técnica evalúa la disponibilidad y adecuación de los recursos tecnológicos necesarios para el desarrollo del sistema. En este proyecto, se empleará un entorno de desarrollo basado en XAMPP, que integra servidor web, lenguaje de programación y sistema de gestión de bases de datos, permitiendo el desarrollo y prueba del prototipo sin requerir infraestructura especializada.

Las tecnologías seleccionadas son ampliamente utilizadas, cuentan con documentación suficiente y permiten implementar funcionalidades de análisis predictivo básico mediante cálculos estadísticos, métricas de mantenimiento y reglas por umbrales. La Tabla 10 presenta las tecnologías a utilizarse en el proyecto.

Tabla 10 *Tecnologías a utilizarse en el proyecto*

| Tecnología | Versión |
|--------------------------|----------------|
| Servidor web | Apache (XAMPP) |
| Lenguaje de programación | PHP |
| Base de datos | MySQL |
| Entorno de desarrollo | XAMPP |
| Sistema operativo | Windows |

Nota: En esta tabla se presentan las herramientas seleccionadas para el desarrollo del prototipo, considerando su disponibilidad, facilidad de uso y adecuación al alcance del proyecto. La elaboración es propia.

Factibilidad legal

El análisis de factibilidad legal tiene como objetivo verificar que el sistema propuesto no

infrinja normativas legales ni reglamentos institucionales. El prototipo no maneja información sensible de carácter personal ni datos confidenciales regulados por leyes específicas, ya que se centra en información técnica de mantenimiento.

Asimismo, el uso de herramientas de software de libre acceso y tecnologías ampliamente difundidas no implica violaciones a licencias propietarias. El sistema se orienta exclusivamente a fines académicos y de investigación, lo que garantiza su compatibilidad con el marco legal vigente y evita riesgos de tipo legal durante su desarrollo y validación.

Factibilidad económica

La factibilidad económica analiza si los costos asociados al desarrollo del prototipo se justifican frente a los beneficios esperados. Al tratarse de un proyecto académico, la inversión se centra principalmente en el recurso humano, mientras que los costos de hardware y software son mínimos debido al uso de herramientas de libre acceso. La Tabla 11 presenta los costos estimados por recursos humanos considerados para el desarrollo del proyecto, la Tabla 12 muestra los costos estimados de inversión en hardware. La Tabla 13 costos de inversión en software en el proyecto

Tabla 11 *Costos por recursos humanos en el proyecto*

| Cargo | Costo | Cantidad | Total |
|-----------------------|--------------|-----------------|-------------------|
| Investigador | \$800,00 | 1 | \$800,00 |
| Desarrollador | \$900,00 | 1 | \$900,00 |
| Diseñador del sistema | \$500,00 | 1 | \$500,00 |
| Total | | | \$2.200,00 |

Nota: En esta tabla se presentan los recursos humanos considerados para el desarrollo del prototipo.

Tabla 12 *Costos de inversión en hardware en el proyecto*

| Equipo | Costo | Cantidad | Total |
|---------------------|--------------|-----------------|-----------------|
| Computador personal | \$800,00 | 1 | \$800,00 |
| Total | | | \$800,00 |

Nota: El hardware corresponde al equipo necesario para el desarrollo y pruebas del prototipo.

Tabla 13 *Costos de inversión en software en el proyecto*

| Descripción | Costo | Cantidad | Total |
|--------------------|--------------|-----------------|---------------|
| XAMPP | \$0,00 | 1 | \$0,00 |
| PHP | \$0,00 | 1 | \$0,00 |
| MySQL | \$0,00 | 1 | \$0,00 |
| Total | | | \$0,00 |

Nota: Se utilizan herramientas de software de libre acceso, por lo que no se incurre en costos de licenciamiento.

Metodologías del proyecto

El presente trabajo de integración curricular se desarrolla bajo un enfoque metodológico que permite diagnosticar la problemática existente en la gestión del mantenimiento de máquinas cerradoras de latas y sustentar el diseño de una propuesta tecnológica viable. La metodología aplicada combina técnicas cualitativas de investigación con el desarrollo de un prototipo de sistema, orientado a la sistematización de la información y al apoyo de la toma de decisiones mediante análisis predictivo básico.

En este capítulo se describe la metodología de investigación empleada, la población y muestra considerada, las técnicas e instrumentos de recolección de datos, así como los procedimientos utilizados para el procesamiento y análisis de la información obtenida.

Metodología de investigación

La investigación adopta un enfoque cualitativo, de tipo diagnóstico–exploratorio, ya que busca comprender la situación actual del mantenimiento de máquinas cerradoras de latas, identificar problemas operativos y determinar los requerimientos funcionales de un sistema de gestión de mantenimiento con análisis predictivo.

Este enfoque es pertinente para propuestas tecnológicas, debido a que permite obtener información directa de actores involucrados en el proceso de mantenimiento, facilitando la identificación de necesidades reales, limitaciones operativas y criterios de factibilidad del sistema propuesto.

Población y muestra

Población.

La población de estudio está conformada por personas con experiencia directa en el mantenimiento de máquinas cerradoras de latas, específicamente propietarios, técnicos y personal responsable de la gestión del mantenimiento en talleres o empresas que utilizan este

tipo de maquinaria.

Muestra.

La muestra fue no probabilística e intencional, seleccionada en función del conocimiento técnico y la experiencia práctica de los participantes. Se entrevistó a dos especialistas, considerados informantes clave, debido a su vinculación directa con el mantenimiento de máquinas cerradoras de latas.

Los participantes fueron:

- Un propietario de taller especializado en mantenimiento de cerradoras de latas.
- Un mecánico con experiencia directa en reparación y mantenimiento de cerradoras de latas.

Este tipo de muestreo es adecuado para investigaciones cualitativas, donde el objetivo no es la generalización estadística, sino la obtención de información profunda y relevante para el diagnóstico del problema y la validación de la propuesta tecnológica.

Técnicas de recolección de datos.

La técnica de recolección de datos utilizada fue la entrevista semiestructurada, debido a que permite obtener información detallada sobre procesos, experiencias y percepciones de los participantes, manteniendo flexibilidad en el desarrollo de las preguntas. El instrumento aplicado fue una guía de entrevista, conformada por diez preguntas abiertas orientadas a identificar:

- La gestión actual del mantenimiento.
- Las problemáticas más frecuentes.
- El manejo de la información histórica.
- La factibilidad y aceptación de un sistema digital.
- La utilidad del análisis predictivo como apoyo a la toma de decisiones.

Las entrevistas fueron realizadas de manera directa y sus transcripciones completas se presentan como anexos del presente trabajo.

Procesamiento y análisis de la información

El procesamiento de la información se realizó de forma manual, mediante la revisión y organización de las respuestas obtenidas en las entrevistas. Posteriormente, se aplicó un análisis de contenido, identificando ideas recurrentes, patrones y categorías relacionadas con la problemática, la factibilidad y los requerimientos del sistema propuesto. Para el análisis de la información cualitativa se siguieron los siguientes pasos:

- Revisión de las respuestas obtenidas en cada entrevista.
- Identificación de coincidencias y diferencias entre los participantes.
- Agrupación de la información en categorías temáticas.
- Interpretación de los resultados en relación con los objetivos de la investigación.

Este análisis permitió obtener insumos clave para el diseño del prototipo del sistema de gestión de mantenimiento y para justificar la incorporación de funcionalidades como el registro histórico, la trazabilidad y las alertas predictivas.

Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información

Dado el carácter cualitativo de la investigación y el tamaño reducido de la muestra, no se aplicaron técnicas estadísticas inferenciales ni fórmulas de cálculo muestral. El análisis se centró en la interpretación cualitativa de la información obtenida, lo cual es coherente con el enfoque diagnóstico–exploratorio del estudio. Los resultados del análisis cualitativo sirvieron como base para la definición de requerimientos funcionales del sistema y para la validación conceptual de la propuesta tecnológica.

Metodología de desarrollo del proyecto

Introducción a la metodología de desarrollo

El desarrollo de la propuesta tecnológica planteada en este trabajo se apoya en una metodología de desarrollo de software que permite estructurar de manera ordenada, flexible y controlada el proceso de construcción del prototipo. Dado que el proyecto tiene como finalidad el diseño e implementación de un sistema prototipo de gestión de mantenimiento con análisis predictivo básico, resulta indispensable adoptar una metodología que facilite la adaptación progresiva de los requerimientos, la validación continua de funcionalidades y la obtención de resultados parciales funcionales.

En este contexto, se selecciona la metodología SCRUM, un marco de trabajo ágil ampliamente utilizado en proyectos de desarrollo de software, especialmente adecuado para prototipos tecnológicos. SCRUM permite organizar el trabajo en iteraciones cortas, denominadas sprints, en las cuales se desarrollan y validan incrementos funcionales del sistema, priorizando las necesidades reales del usuario final y la retroalimentación constante.

La aplicación de esta metodología en el proyecto posibilita integrar de manera gradual los módulos del sistema de gestión de mantenimiento, tales como el registro de equipos, órdenes de trabajo, historial técnico, control de repuestos y análisis predictivo basado en datos históricos. Asimismo, SCRUM facilita la gestión de cambios derivados del análisis de la información recolectada mediante entrevistas y del diagnóstico del entorno operativo, sin comprometer los objetivos ni el alcance del prototipo.

Metodología SCRUM

La metodología SCRUM es un marco de trabajo ágil orientado al desarrollo iterativo e incremental de productos de software, que promueve la flexibilidad, la colaboración constante con los usuarios y la entrega progresiva de funcionalidades operativas. Este enfoque se basa en

ciclos cortos de trabajo denominados sprints, dentro de los cuales se planifican, desarrollan y evalúan conjuntos específicos de funcionalidades.

En el contexto del presente proyecto, SCRUM se adapta de manera adecuada al desarrollo de un prototipo de sistema de gestión de mantenimiento con análisis predictivo básico, ya que permite construir el sistema de forma modular, validar tempranamente los requerimientos funcionales y realizar ajustes conforme se obtiene retroalimentación del entorno real de aplicación. Al tratarse de un prototipo académico, la metodología facilita demostrar avances tangibles sin la necesidad de implementar un sistema de producción a gran escala.

Justificación de la metodología SCRUM

La selección de la metodología SCRUM frente a otras metodologías tradicionales, como el modelo en cascada, responde a razones tanto técnicas como académicas. En primer lugar, SCRUM ofrece un alto nivel de adaptabilidad ante cambios en los requerimientos, característica fundamental en proyectos de tipo exploratorio y prototipado, donde los detalles funcionales se refinan a medida que avanza el desarrollo.

Desde el punto de vista técnico, SCRUM permite dividir el sistema en módulos funcionales independientes (usuarios, equipos, órdenes de trabajo, inventario, análisis predictivo), los cuales pueden desarrollarse y validarse de manera progresiva. Esto reduce el riesgo de errores acumulativos y facilita la identificación temprana de inconsistencias en el diseño o la lógica del sistema.

Desde el enfoque académico, la metodología SCRUM proporciona entregables claros y verificables, tales como historias de usuario, sprints, incrementos funcionales y revisiones periódicas, lo cual permite evidenciar de manera estructurada el proceso de desarrollo del prototipo. Además, su enfoque iterativo se alinea con el objetivo del proyecto, que no busca un sistema final industrial, sino una solución tecnológica demostrativa, funcional y validable.

Roles en la metodología SCRUM

Para la implementación de la metodología SCRUM en el presente proyecto, se definieron los roles fundamentales del marco de trabajo, adaptados a la naturaleza académica y al alcance del prototipo. La Tabla 14 presenta los roles asumidos y sus responsabilidades dentro del proyecto.

Tabla 14 Roles definidos en la metodología SCRUM

| Rol | Responsable | Función principal |
|----------------------|--------------|---|
| Product Owner | Investigador | Definir y priorizar los requerimientos del sistema, asegurando que las funcionalidades desarrolladas respondan a la problemática identificada |
| Scrum Master | Investigador | Velar por la correcta aplicación de SCRUM, organizar los sprints y eliminar impedimentos durante el desarrollo |
| Equipo de desarrollo | Investigador | Diseñar, programar y probar los módulos del sistema prototipo |

Nota: En esta tabla se describen los roles SCRUM asumidos dentro del proyecto, considerando que el desarrollo del prototipo es realizado por un solo investigador, quien cumple múltiples funciones. Elaboración propia

Artefactos de SCRUM

Los artefactos de SCRUM constituyen los elementos documentales y funcionales que permiten organizar, planificar y controlar el desarrollo del proyecto. En el presente trabajo se emplearon los siguientes artefactos:

- **Product Backlog:** Conjunto priorizado de historias de usuario que representan las funcionalidades del sistema, tales como el registro de cerradoras de latas, la gestión de órdenes de trabajo, el control de repuestos y el análisis predictivo basado en datos históricos.
- **Sprint Backlog:** Subconjunto del Product Backlog seleccionado para cada sprint, que define las tareas específicas a desarrollar en un periodo determinado. Este artefacto permitió organizar el trabajo de forma progresiva y enfocada en objetivos concretos.
- **Incrementos:** Resultado funcional obtenido al final de cada sprint, correspondiente a módulos operativos del sistema. Cada incremento fue evaluado para verificar su coherencia con los requerimientos y su correcto funcionamiento dentro del prototipo.

Estos artefactos permitieron mantener una trazabilidad clara entre los requerimientos identificados, las funcionalidades implementadas y los avances logrados en cada etapa del desarrollo.

Eventos de SCRUM

Durante el desarrollo del prototipo se aplicaron los principales eventos definidos por la metodología SCRUM, adaptados al contexto académico del proyecto:

- **Sprint Planning:** Evento en el cual se definieron los objetivos de cada sprint, se seleccionaron las historias de usuario prioritarias y se establecieron las tareas necesarias para su implementación.
- **Desarrollo del Sprint:** Fase de ejecución en la que se realizó la programación, integración y pruebas de las funcionalidades seleccionadas. Durante este periodo se trabajó de manera iterativa, enfocándose en la obtención de incrementos funcionales.
- **Revisión del Sprint:** Al finalizar cada sprint, se evaluaron los resultados obtenidos, verificando el cumplimiento de los objetivos planteados y la operatividad de los módulos desarrollados. Esta revisión permitió identificar mejoras y ajustes para los siguientes sprints.

La aplicación de estos eventos garantizó un proceso de desarrollo ordenado, controlado y alineado con los objetivos del proyecto, fortaleciendo la calidad del prototipo y la coherencia metodológica de la propuesta tecnológica.

Levantamiento y definición de requisitos

El levantamiento y definición de requisitos del sistema se realizó a partir de un proceso de análisis cualitativo, basado en entrevistas semiestructuradas aplicadas a personal directamente vinculado con el mantenimiento de máquinas cerradoras de latas, así como en la revisión del contexto operativo identificado en el Capítulo I. Este proceso permitió comprender las

necesidades reales del entorno de trabajo, las limitaciones actuales en la gestión del mantenimiento y las oportunidades de mejora mediante el uso de una solución tecnológica.

Las entrevistas efectuadas a un propietario y a un técnico mecánico evidenciaron problemáticas comunes relacionadas con la pérdida de información histórica, la falta de trazabilidad en los mantenimientos, la gestión manual de registros y la inexistencia de alertas que permitan anticipar fallas. A partir de esta información empírica, se procedió a identificar y estructurar los requisitos del sistema, diferenciándolos en requisitos funcionales y no funcionales.

El análisis de los requerimientos se complementó con la revisión del marco teórico, especialmente en lo referente a sistemas de gestión de mantenimiento y análisis predictivo básico, lo que permitió asegurar la coherencia entre la propuesta tecnológica y los fundamentos teóricos del estudio. Los requisitos definidos responden al carácter de prototipo funcional, evitando sobre dimensionamientos y manteniendo un enfoque realista y defendible académicamente.

Requisitos funcionales del sistema

Los requisitos funcionales describen las acciones específicas que el sistema debe realizar para cumplir con su propósito. Estos requisitos fueron definidos considerando las necesidades expresadas por los entrevistados, así como los objetivos del proyecto. La Tabla 15 presenta el listado estructurado de los requisitos funcionales del prototipo.

Tabla 15 *Requisitos funcionales del sistema*

| Código | Requisito funcional | Descripción |
|---------------|----------------------------|---|
| RF-01 | Autenticación de usuarios | Permitir el inicio y cierre de sesión mediante credenciales de acceso |
| RF-02 | Gestión de roles | Asignar roles de administrador y técnico con permisos diferenciados |
| RF-03 | Registro de equipos | Crear, editar y consultar información de las máquinas cerradoras de latas |
| RF-04 | Ficha técnica del equipo | Visualizar información técnica e historial asociado a cada equipo |
| RF-05 | Catálogo de fallas | Registrar y consultar fallas estandarizadas asociadas a las cerradoras |

| | | |
|-------|--|--|
| RF-06 | Catálogo de componentes | Registrar componentes críticos para el mantenimiento |
| RF-07 | Gestión de órdenes de trabajo | Crear, modificar y cerrar órdenes de trabajo de mantenimiento |
| RF-08 | Registro de actividades de mantenimiento | Registrar fallas, causas, actividades realizadas y tiempos de reparación |
| RF-09 | Historial técnico del equipo | Consultar el historial de mantenimientos y fallas por equipo |
| RF-10 | Gestión de inventario | Registrar y controlar repuestos utilizados en mantenimiento |
| RF-11 | Alertas de stock | Generar alertas cuando el stock de repuestos sea bajo |
| RF-12 | Planificación preventiva | Registrar tareas preventivas y generar órdenes de trabajo |
| RF-13 | Análisis de tendencias | Analizar la recurrencia de fallas a partir del historial |
| RF-14 | Indicadores básicos | Calcular métricas como MTTR y aproximación de MTBF |
| RF-15 | Alertas predictivas | Mostrar alertas cuando se aproxime un intervalo promedio de falla |
| RF-16 | Dashboard | Visualizar indicadores clave del estado del mantenimiento |

Nota: Elaboración propia

Requisitos no funcionales del sistema

Los requisitos no funcionales establecen las condiciones de calidad, seguridad, desempeño y operatividad que el sistema debe cumplir para garantizar su correcto funcionamiento. Estos requisitos no describen funciones específicas, sino características que influyen en la experiencia del usuario y en la confiabilidad del sistema. A continuación, se describen los principales requisitos no funcionales definidos para el prototipo:

- **Usabilidad:** El sistema deberá contar con una interfaz clara e intuitiva, que facilite su uso por parte de técnicos y personal administrativo, minimizando la necesidad de capacitación especializada.
- **Seguridad:** El acceso al sistema deberá estar restringido mediante autenticación de usuarios, asegurando que solo personal autorizado pueda acceder a la información de mantenimiento.

- **Disponibilidad:** El sistema deberá estar disponible durante la jornada laboral, permitiendo el registro y consulta de información en tiempo real dentro del entorno local.
- **Rendimiento:** Las operaciones básicas del sistema (registro, consulta y generación de indicadores) deberán ejecutarse en tiempos aceptables, sin afectar la operatividad del usuario.
- **Escalabilidad:** El diseño del sistema permitirá la incorporación futura de nuevos equipos, usuarios o funcionalidades sin afectar la estructura base del prototipo.
- **Confiabilidad:** La información almacenada deberá mantenerse íntegra y consistente, evitando pérdidas de datos históricos de mantenimiento.
- **Portabilidad:** El sistema deberá ejecutarse en un entorno web local, accesible desde navegadores compatibles con tecnologías estándar.
- **Mantenibilidad:** El código del sistema deberá estar organizado de forma modular, facilitando futuras modificaciones o mejoras.

Estos requisitos no funcionales garantizan que el prototipo no solo sea funcional, sino también viable, usable y coherente con el entorno tecnológico en el que será implementado.

Planificación del desarrollo por sprints

La planificación del desarrollo del prototipo se estructuró mediante iteraciones cortas denominadas sprints, conforme a los principios de la metodología SCRUM. Esta planificación permitió organizar el trabajo de manera incremental, priorizando las funcionalidades más relevantes y garantizando la obtención progresiva de resultados funcionales.

La división del proyecto en sprints facilitó el control del avance, la verificación continua de los requisitos y la validación temprana de los módulos desarrollados. Cada sprint tuvo objetivos claramente definidos y entregables concretos, lo que permitió asegurar la coherencia entre el

diseño del sistema, los requerimientos funcionales y los resultados obtenidos al finalizar cada iteración.

Definición de sprints

Para el desarrollo del prototipo se definieron varios sprints de duración homogénea, considerando el tiempo disponible para la investigación y el carácter académico del proyecto. Cada sprint se orientó al desarrollo de un conjunto específico de funcionalidades, priorizadas a partir del Product Backlog. La Tabla 16 presenta la definición de los sprints, su duración y los objetivos principales asociados a cada uno.

Tabla 16 *Definición de sprints del proyecto*

| Sprint | Duración estimada | Objetivo principal |
|---------------|--------------------------|--|
| Sprint 1 | 2 semanas | Análisis del contexto, definición de requisitos y diseño inicial del sistema |
| Sprint 2 | 2 semanas | Implementación de la gestión de usuarios y registro de equipos |
| Sprint 3 | 2 semanas | Desarrollo del módulo de órdenes de trabajo e historial técnico |
| Sprint 4 | 2 semanas | Implementación del inventario de repuestos y planificación preventiva |
| Sprint 5 | 2 semanas | Desarrollo de indicadores, análisis predictivo básico y dashboard |

Nota: Los sprints fueron definidos considerando el alcance del prototipo y la disponibilidad de tiempo para el desarrollo académico del proyecto. Elaboración propia.

Incrementos del sistema

Cada sprint concluyó con la entrega de un incremento funcional del sistema, entendido como un conjunto de funcionalidades operativas que aportan valor al prototipo. Estos incrementos permitieron demostrar de manera tangible el avance del desarrollo y verificar el cumplimiento de los objetivos planteados para cada iteración. La Tabla 17 presenta los principales incrementos obtenidos al finalizar cada sprint.

Tabla 17 Incrementos funcionales del sistema por sprint

| Sprint | Incremento obtenido |
|---------------|--|
| Sprint 1 | Documento de requisitos, arquitectura general del sistema y diseño de la base de datos |
| Sprint 2 | Módulo de autenticación, gestión de usuarios y registro de máquinas cerradoras |
| Sprint 3 | Módulo de órdenes de trabajo, registro de fallas y generación automática de historial |
| Sprint 4 | Módulo de inventario de repuestos, alertas de stock y planificación preventiva |
| Sprint 5 | Dashboard de mantenimiento, indicadores MTTR/MTBF aproximado y alertas predictivas básicas |

Nota: Los incrementos descritos corresponden a resultados funcionales evaluables dentro del alcance del prototipo desarrollado. Elaboración propia.

La planificación por sprints permitió estructurar el desarrollo del sistema de manera ordenada y progresiva, asegurando que cada iteración contribuyera al cumplimiento del objetivo general del proyecto. Asimismo, este enfoque facilitó la validación continua del prototipo, reduciendo riesgos y fortaleciendo la calidad del producto final.

Herramientas y entorno de desarrollo

El desarrollo del prototipo se realizó en un entorno tecnológico orientado a la creación de aplicaciones web, seleccionado por su accesibilidad, compatibilidad y adecuación a proyectos académicos de alcance experimental. El entorno de desarrollo permitió integrar componentes de gestión de información, procesamiento de datos y visualización de resultados, sin requerir infraestructura compleja ni tecnologías de alta especialización.

El sistema fue concebido bajo un enfoque modular, lo que facilitó la organización del código, la separación de responsabilidades y la escalabilidad futura del prototipo. Asimismo, el entorno empleado permitió el desarrollo local del sistema, la gestión de bases de datos relacionales y la ejecución de pruebas funcionales en un contexto controlado.

Es importante señalar que las herramientas utilizadas se seleccionaron con fines demostrativos y académicos, sin comprometer el uso de tecnologías específicas en una eventual implementación a nivel productivo. Este enfoque garantiza la flexibilidad del proyecto y la

posibilidad de adaptación a otros entornos tecnológicos según las necesidades futuras de la organización.

Supuestos y restricciones del proyecto

Durante el desarrollo del proyecto se establecieron determinados supuestos y restricciones que delimitan el alcance y las condiciones bajo las cuales se ejecutó el prototipo.

Supuestos del proyecto

- Se dispone de información básica sobre los equipos y actividades de mantenimiento.
- El personal técnico cuenta con conocimientos elementales para el uso de sistemas digitales.
- El prototipo se ejecuta en un entorno local controlado.
- La información registrada en el sistema es ingresada de forma veraz y oportuna.

Restricciones del proyecto

- El sistema se desarrolla como un prototipo académico, no como una solución industrial definitiva.
- No se integran sensores en tiempo real ni sistemas de adquisición automática de datos.
- El análisis predictivo se limita a técnicas básicas basadas en datos históricos.
- El acceso a información histórica previa es parcial o limitada.
- El número de usuarios y equipos considerados es reducido.

Estas restricciones no afectan la viabilidad del proyecto, pero sí establecen límites claros respecto a la profundidad y complejidad de la solución propuesta.

Plan de calidad y verificación

El plan de calidad del proyecto tiene como objetivo garantizar que el prototipo cumpla con los requisitos definidos y funcione de manera correcta dentro de su alcance. Para ello, se

establecieron criterios y mecanismos de verificación aplicados durante y al finalizar el desarrollo del sistema.

Los principales criterios de calidad considerados fueron:

- Cumplimiento de los requisitos funcionales y no funcionales.
- Correcta operación de los módulos del sistema.
- Integridad y consistencia de la información almacenada.
- Facilidad de uso y claridad de la interfaz.
- Coherencia de los indicadores generados con los datos registrados.

En cuanto a los mecanismos de verificación, se aplicaron:

- Pruebas funcionales sobre cada módulo desarrollado.
- Validación de flujos de trabajo (registro, consulta y cierre de órdenes).
- Revisión de resultados de indicadores e históricos generados.
- Evaluación del prototipo mediante revisión por expertos, enfocada en la utilidad y coherencia del sistema.

Estos mecanismos permitieron detectar errores, realizar ajustes y asegurar que el prototipo responda adecuadamente a los objetivos planteados.

Consideraciones finales de la metodología

La metodología de desarrollo aplicada permitió estructurar el proyecto de manera ordenada, flexible y coherente con su naturaleza académica. La adopción del marco SCRUM facilitó la planificación incremental, la validación progresiva de funcionalidades y la obtención de resultados funcionales en cada etapa del desarrollo.

Asimismo, el uso de un entorno tecnológico accesible, junto con la definición clara de supuestos, restricciones y criterios de calidad, garantizó la viabilidad del prototipo y su alineación con los objetivos de la investigación. La metodología empleada permitió integrar aspectos teóricos y prácticos, fortaleciendo el carácter aplicado del proyecto.

Con la culminación del presente capítulo, se establecen las bases metodológicas necesarias para abordar el desarrollo y la implementación del sistema propuesto, los cuales serán descritos en el siguiente capítulo, donde se presentará el diseño, funcionamiento y validación del prototipo de gestión de mantenimiento con análisis predictivo básico.

Beneficiarios directos e indirectos del proyecto

La identificación de los beneficiarios del proyecto permite reconocer a los actores que obtendrán beneficios directos o indirectos a partir de la implementación del prototipo propuesto. En el presente trabajo, el sistema de gestión de mantenimiento con análisis predictivo básico se orienta a mejorar la organización, trazabilidad y apoyo a la toma de decisiones en el mantenimiento de máquinas cerradoras de latas, lo cual impacta a distintos grupos involucrados en el proceso productivo.

Con base en la Fase 2 de la Metodología de Marco Lógico (Análisis de Involucrados), se identificaron y categorizaron los principales actores relacionados con el proyecto, diferenciándolos en beneficiarios directos e indirectos.

Beneficiarios directos

Los beneficiarios directos son aquellas personas u organizaciones que interactúan de manera directa con el sistema o participan activamente en los procesos que este apoya. En el contexto del presente proyecto, estos beneficiarios están directamente vinculados con la gestión del mantenimiento y el uso operativo del prototipo. La Tabla 18 presenta los principales beneficiarios directos identificados.

Tabla 18 *Beneficiarios directos del proyecto*

| Beneficiario | Descripción del beneficio |
|--------------------------------|--|
| Técnicos de mantenimiento | Acceso a información histórica organizada, reducción de tiempos de diagnóstico y apoyo en la planificación de intervenciones |
| Propietarios o administradores | Mejora en la toma de decisiones, control de fallas recurrentes y optimización del uso de recursos |
| Personal operativo | Reducción de paradas imprevistas y mejora en la continuidad del proceso productivo |

Investigador Desarrollo y validación de un prototipo funcional alineado a los objetivos académicos

Nota: En esta tabla se identifican los actores que participan directamente en el uso o desarrollo del sistema propuesto. Elaboración propia.

Beneficiarios indirectos

Los beneficiarios indirectos son aquellos actores que, sin interactuar directamente con el sistema, reciben beneficios derivados de su implementación. Estos beneficios se reflejan en mejoras operativas, organizacionales o económicas en el entorno de influencia del proyecto. La Tabla 19 muestra los principales beneficiarios indirectos identificados.

Tabla 19 *Beneficiarios indirectos del proyecto*

| Beneficiario | Descripción del beneficio |
|--------------------------------|--|
| Empresas del sector industrial | Mejora potencial en la eficiencia operativa y reducción de costos asociados a fallas |
| Clientes finales | Mayor confiabilidad en la calidad del producto envasado |
| Proveedores de repuestos | Mejor planificación de compras y reposición de componentes |
| Comunidad académica | Referencia metodológica y técnica para futuros proyectos de investigación |

Nota: Los beneficiarios indirectos se encuentran dentro del área de influencia del proyecto y se benefician de manera no inmediata de los resultados obtenidos. Elaboración propia.

Entregables del proyecto

Los entregables del proyecto corresponden a los productos tangibles e intangibles generados como resultado del desarrollo del prototipo, de acuerdo con la metodología ágil SCRUM aplicada. Estos entregables permiten evidenciar el cumplimiento de los objetivos planteados y constituyen los resultados verificables del trabajo de integración curricular. La Tabla 20 presenta los principales entregables definidos para el proyecto.

Tabla 20 *Entregables del proyecto*

| Entregable | Descripción |
|-----------------------------|--|
| Documento de requisitos | Definición formal de los requisitos funcionales y no funcionales del sistema |
| Product Backlog | Listado priorizado de historias de usuario del sistema |
| Código fuente del prototipo | Implementación del sistema de gestión de mantenimiento |
| Base de datos | Script de creación de tablas y relaciones |

| | |
|-----------------------|--|
| Módulos funcionales | Usuarios, equipos, órdenes de trabajo, inventario y análisis predictivo básico |
| Dashboard | Visualización de indicadores e información clave del mantenimiento |
| Manual técnico | Descripción de la arquitectura, instalación y configuración del sistema |
| Manual de usuario | Guía de uso del prototipo para técnicos y administradores |
| Resultados de pruebas | Evidencia de la verificación funcional del sistema |
| Acta de validación | Registro de la revisión del prototipo por expertos |

Nota: Los entregables descritos corresponden al alcance de un prototipo académico y fueron definidos conforme a la metodología de desarrollo utilizada. Elaboración propia.

Propuesta

Descripción general de la propuesta

La presente propuesta consiste en el diseño y desarrollo de un prototipo de sistema de gestión de mantenimiento con análisis predictivo básico, orientado a mejorar la organización, trazabilidad y apoyo a la toma de decisiones en el mantenimiento de máquinas cerradoras de latas utilizadas en entornos industriales.

La solución tecnológica propuesta surge como respuesta a la problemática identificada en el diagnóstico, donde se evidenció la ausencia de registros históricos organizados, la gestión manual de la información de mantenimiento y la falta de herramientas que permitan anticipar fallas. Estas limitaciones generan pérdida de información, incremento de tiempos de reparación y una gestión reactiva del mantenimiento.

El sistema propuesto centraliza la información de equipos, fallas, órdenes de trabajo y repuestos, permitiendo consolidar datos históricos y generar indicadores básicos que apoyen la planificación y el control del mantenimiento. Al tratarse de un prototipo, la propuesta se enfoca en demostrar la viabilidad técnica y funcional de una solución digital que incorpore principios de análisis predictivo-basados en datos históricos, sin recurrir a herramientas de alta complejidad.

Objetivo de la propuesta

El objetivo de la presente propuesta es diseñar y desarrollar un prototipo de sistema de gestión de mantenimiento que permita registrar, organizar y analizar información histórica de mantenimiento, incorporando análisis predictivo básico para apoyar la toma de decisiones y mejorar la eficiencia operativa en máquinas cerradoras de latas.

Este objetivo se orienta a proporcionar una solución tecnológica funcional que permita:

- Centralizar la información de mantenimiento.
- Mejorar la trazabilidad de fallas e intervenciones.
- Apoyar la planificación preventiva.

- Generar alertas e indicadores basados en el comportamiento histórico de los equipos.

Diseño general del sistema propuesto

El diseño general del sistema propuesto presenta una visión global del funcionamiento del prototipo y la interacción entre sus principales componentes. El sistema se concibe como una aplicación web, accesible mediante navegador, que integra módulos funcionales orientados a la gestión del mantenimiento y al análisis de información histórica.

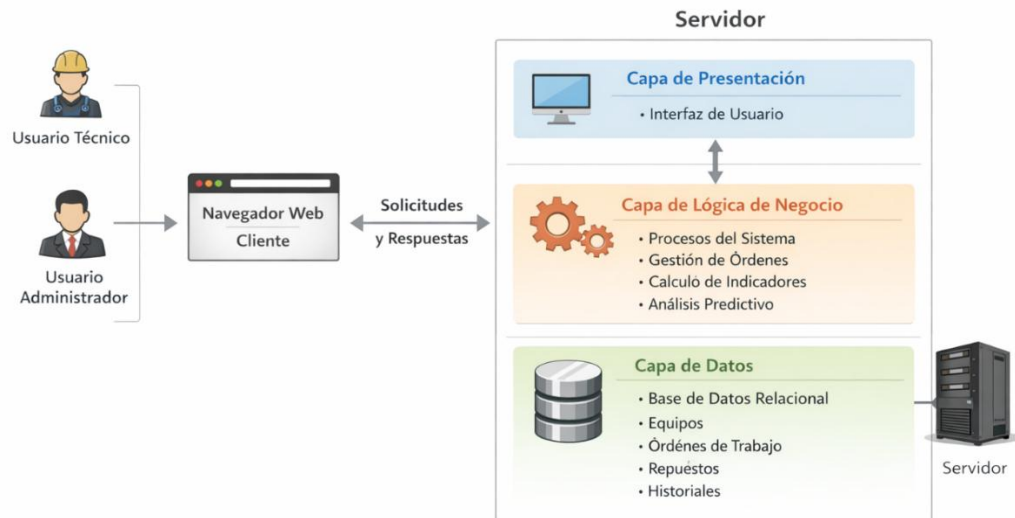
Desde el punto de vista funcional, el sistema permite que los usuarios ingresen y consulten información relacionada con los equipos, registren órdenes de trabajo, controlen el uso de repuestos y visualicen indicadores que reflejan el estado del mantenimiento. A partir de los datos almacenados, el sistema realiza cálculos básicos de tendencias y métricas, que sirven como base para el análisis predictivo preliminar.

El diseño general prioriza la simplicidad, la claridad en los flujos de información y el modularidad, de manera que cada componente del sistema cumpla una función específica dentro del proceso de gestión del mantenimiento.

Arquitectura del sistema

La arquitectura del sistema propuesto presentada en la Figura 3 se basa en un modelo cliente–servidor de tipo web, en el cual los usuarios acceden al sistema a través de un navegador web (cliente), mientras que el procesamiento de la lógica del sistema y el almacenamiento de la información se realizan en el servidor.

Figura 3 *Arquitectura cliente - servidor del prototipo.*



Nota: Elaboración propia

El sistema está estructurado en tres capas principales:

- Capa de presentación: Corresponde a la interfaz gráfica del usuario, desde la cual se realizan las operaciones de registro, consulta y visualización de información.
- Capa de lógica de negocio: Encargada de procesar las reglas del sistema, gestionar los órdenes de trabajo, calcular indicadores y ejecutar los análisis predictivos básicos.
- Capa de datos: responsable del almacenamiento de la información en una base de datos relacional, donde se registran los equipos, fallas, mantenimientos, repuestos e historiales.

Esta arquitectura permite una clara separación de responsabilidades, facilita el mantenimiento del sistema y posibilita futuras ampliaciones o mejoras del prototipo sin afectar su estructura base.

Módulos del sistema

El sistema propuesto se encuentra organizado en módulos funcionales, cada uno orientado a cubrir un conjunto específico de necesidades del proceso de mantenimiento. Esta organización modular permite una mejor gestión del desarrollo y una comprensión clara del funcionamiento del prototipo.

De manera general, el sistema está compuesto por los siguientes módulos:

- **Módulo de gestión de usuarios:** Permite el control de accesos al sistema mediante roles y credenciales.
- **Módulo de registro de equipos:** Facilita el almacenamiento de información técnica y operativa de las máquinas cerradoras de latas.
- **Módulo de órdenes de trabajo:** Gestiona la creación, seguimiento y cierre de las actividades de mantenimiento.
- **Módulo de inventario de repuestos:** Controla el registro y uso de repuestos asociados a las actividades de mantenimiento.
- **Módulo de planificación preventiva:** Permite programar tareas periódicas de mantenimiento.
- **Módulo de análisis predictivo básico:** Analiza los datos históricos para identificar tendencias, recurrencia de fallas y generar alertas.
- **Dashboard de mantenimiento:** Presenta indicadores y resúmenes visuales para apoyar la toma de decisiones.

Modelo funcional del sistema

El modelo funcional del sistema describe la forma en que los distintos módulos del prototipo interactúan entre sí y cómo los usuarios hacen uso de estos para gestionar de manera integral el mantenimiento de las máquinas cerradoras de latas. El sistema ha sido concebido bajo un enfoque modular e integrado, en el cual cada módulo cumple una función específica, pero

comparte información a través de una base de datos centralizada, garantizando la trazabilidad y consistencia de los datos.

La interacción entre los módulos permite que la información fluya de manera continua desde el registro inicial de los equipos, pasando por la ejecución del mantenimiento, hasta el análisis histórico y predictivo, apoyando la toma de decisiones operativas y preventivas. De esta manera, el sistema integra los procesos técnicos, administrativos y analíticos del mantenimiento industrial dentro de una sola plataforma.

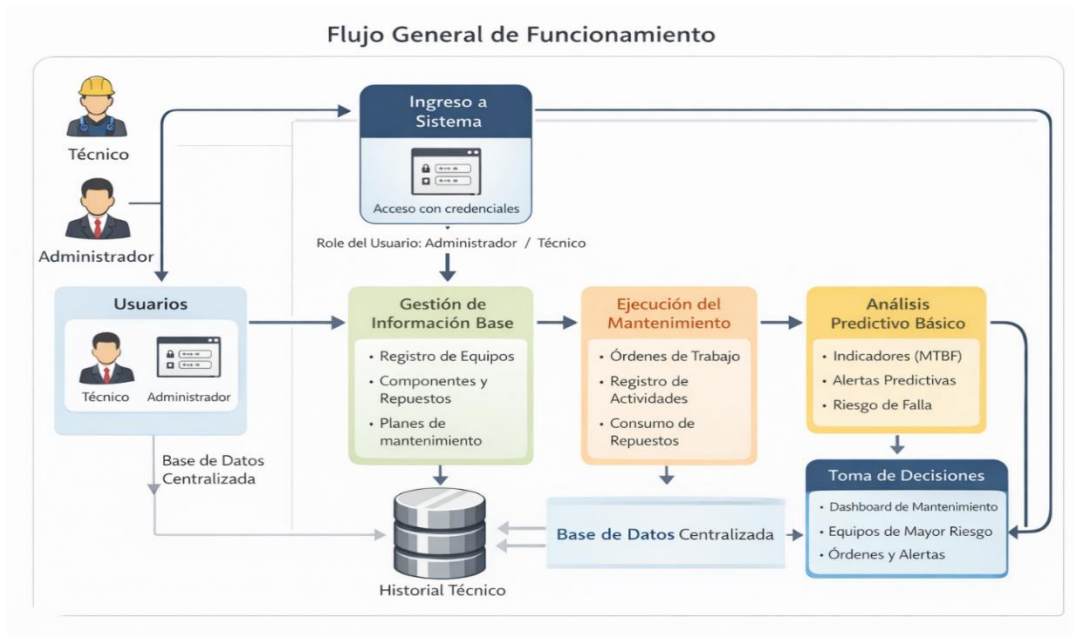
Desde el punto de vista del usuario, el modelo funcional establece una clara relación entre los roles definidos (Administrador y Técnico) y las funcionalidades disponibles, asegurando que cada usuario acceda únicamente a la información y operaciones que corresponden a sus responsabilidades. Esta interacción controlada contribuye a mejorar la seguridad, la confiabilidad de la información y la eficiencia operativa del proceso de mantenimiento.

Flujo general de funcionamiento

El flujo general de funcionamiento del sistema propuesto sigue una secuencia lógica y estructurada que inicia con el acceso del usuario a la plataforma y culmina con la toma de decisiones basada en información histórica y en el análisis predictivo básico. Este enfoque permite evolucionar desde una gestión de mantenimiento predominantemente reactiva hacia una gestión orientada al uso sistemático de datos.

La Figura 4 ilustra de manera general el flujo funcional del sistema, mostrando la interacción entre los usuarios, los módulos principales y la base de datos centralizada, así como la transformación progresiva de la información operativa en insumos para la toma de decisiones.

Figura 4 Flujo general del funcionamiento del prototipo



Nota: Elaboración propia

El funcionamiento del sistema se desarrolla a través de las siguientes etapas:

Ingreso al sistema

- El proceso inicia con el acceso del usuario a la plataforma mediante credenciales de autenticación (usuario y contraseña).
- El sistema valida que las credenciales sean correctas y, una vez autenticado, identifica el rol asignado al usuario (Administrador o Técnico), habilitando automáticamente los permisos y funcionalidades correspondientes dentro del sistema.

Gestión de información base

Una vez autenticado, el Administrador accede a los módulos de gestión de información base, donde se registra y mantiene actualizada la información estructural del sistema, que incluye:

- Equipos industriales (cerradoras de latas)
- Componentes críticos asociados a cada equipo
- Repuestos e inventario disponible

- Planes de mantenimiento preventivo

Esta información constituye la base operativa sobre la cual se ejecutan todas las actividades de mantenimiento y se garantiza la estandarización y trazabilidad de los datos.

Ejecución del mantenimiento

A partir de la planificación preventiva o de la detección de una falla, el sistema permite la gestión operativa del mantenimiento mediante:

- La generación de órdenes de trabajo preventivas o correctivas
- La asignación de técnicos responsables
- El registro detallado de las actividades realizadas
- El ingreso de tiempos de reparación, tiempos de parada y consumo de repuestos

Durante esta etapa, el Técnico interactúa principalmente con el módulo de órdenes de trabajo y el módulo de inventario, asegurando que toda la información relevante quede registrada de forma estructurada.

Almacenamiento del historial técnico

Toda la información generada durante la ejecución del mantenimiento se almacena automáticamente en una base de datos centralizada, conformando el historial técnico de cada equipo. Este historial incluye datos sobre fallas recurrentes, intervenciones realizadas, tiempos de reparación y repuestos utilizados, lo que permite mantener una trazabilidad completa del ciclo de vida del mantenimiento. Tal como se observa en la Figura 4, el historial técnico constituye el vínculo entre la operación diaria y los procesos de análisis del sistema.

Análisis predictivo básico

Con base en el historial de fallas y órdenes de trabajo cerradas, el sistema ejecuta un análisis automático orientado a la identificación de patrones y comportamientos recurrentes. En esta etapa se calculan indicadores de confiabilidad, tales como:

- MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas)
- Tendencias de ocurrencia de fallas

- Estimación del riesgo de falla futura

A partir de estos resultados, los equipos son clasificados en niveles de riesgo (alto, medio o bajo), generándose alertas preventivas que apoyan la planificación del mantenimiento.

Toma de decisiones

Finalmente, la información procesada es presentada al usuario a través del dashboard de mantenimiento, donde se visualizan de forma integrada:

- Equipos con mayor riesgo de falla
- Órdenes de trabajo pendientes o vencidas
- Fallas más frecuentes
- Alertas predictivas y alertas de inventario

Esta etapa permite al administrador y al personal técnico priorizar intervenciones, planificar acciones preventivas y reducir paradas no programadas, consolidando un enfoque de mantenimiento basado en datos.

Roles de usuario y permisos

El sistema propuesto contempla una estructura de control de accesos basada en roles, con el objetivo de garantizar la seguridad de la información, la correcta asignación de responsabilidades y la integridad de los datos registrados. Cada usuario accede al sistema mediante credenciales individuales, y las funcionalidades disponibles se habilitan de acuerdo con el rol asignado.

Para el desarrollo del prototipo se han definido dos roles principales: Administrador y Técnico, los cuales responden a las necesidades operativas y de gestión del mantenimiento industrial.

Administrador

El rol de Administrador está orientado a la gestión integral del sistema y al control global del proceso de mantenimiento. Este usuario cuenta con privilegios ampliados que le permiten configurar, supervisar y analizar la información generada por los distintos módulos del sistema.

Entre las principales responsabilidades y accesos del Administrador se encuentran:

- Gestionar usuarios del sistema, asignando roles y permisos correspondientes.
- Registrar, editar y actualizar la información de los equipos (cerradoras de latas).
- Administrar el catálogo de componentes críticos y repuestos.
- Crear, modificar y supervisar los planes de mantenimiento preventivo.
- Generar y visualizar órdenes de trabajo preventivas y correctivas.
- Consultar reportes globales de mantenimiento e indicadores de desempeño.
- Acceder a las alertas predictivas y al análisis de riesgo de fallas.
- Supervisar el estado general del mantenimiento a través del dashboard.

Este rol tiene una visión estratégica del sistema, permitiendo la toma de decisiones informadas para optimizar la planificación del mantenimiento y reducir paradas no programadas.

Técnico

El rol de Técnico está enfocado en la ejecución operativa de las actividades de mantenimiento. Este usuario interactúa principalmente con los módulos relacionados con las órdenes de trabajo y el registro de información en campo. Las principales responsabilidades y accesos del Técnico incluyen:

- Consultar las órdenes de trabajo asignadas.
- Registrar las actividades de mantenimiento realizadas.
- Reportar fallas detectadas durante la operación de los equipos.
- Ingresar tiempos de reparación y tiempos de parada.
- Registrar el consumo de repuestos utilizados en cada intervención.
- Consultar el historial técnico de los equipos asignados.
- Visualizar el dashboard operativo para identificar prioridades de trabajo.

El Técnico no cuenta con permisos para modificar la estructura del sistema ni la información base, lo que garantiza la consistencia de los datos y evita alteraciones no autorizadas.

Control de accesos y seguridad

La diferenciación de roles permite establecer un control de accesos adecuado, asegurando que cada usuario únicamente interactúe con las funcionalidades necesarias para el desempeño de sus funciones. Esta separación de responsabilidades contribuye a:

- Proteger la información crítica del sistema.
- Mantener la trazabilidad de las acciones realizadas por cada usuario.
- Reducir errores operativos y manipulaciones indebidas de los datos.

Descripción de los módulos del sistema

El sistema propuesto se estructura de manera modular, permitiendo que cada componente funcional cumpla una responsabilidad específica dentro de la gestión del mantenimiento industrial. Esta organización facilita la comprensión del sistema, mejora la mantenibilidad del prototipo y permite futuras ampliaciones sin afectar la estructura general.

Cada módulo interactúa con una base de datos centralizada y con los demás módulos a través de flujos de información definidos, garantizando la trazabilidad de los datos y la coherencia de la información registrada. A continuación, se describen los módulos implementados en el prototipo, iniciando con los módulos base que sustentan el funcionamiento del sistema.

Módulo de gestión de usuarios

El módulo de gestión de usuarios tiene como finalidad administrar el acceso al sistema y controlar los permisos de operación de acuerdo con el rol asignado a cada usuario. Este módulo constituye el primer nivel de seguridad y control del prototipo, ya que garantiza que únicamente personal autorizado pueda acceder y operar las funcionalidades del sistema.

A través de este módulo, el Administrador del sistema puede realizar las siguientes acciones:

- Registrar nuevos usuarios, ingresando información básica como nombres, apellidos, correo electrónico y credenciales de acceso.
- Asignar roles de usuario (Administrador o Técnico), los cuales determinan los permisos disponibles dentro del sistema.
- Definir el estado del usuario (activo o inactivo), permitiendo restringir el acceso cuando sea necesario.
- Gestionar la actualización de información de usuarios existentes.

La Figura X muestra la interfaz correspondiente al módulo de gestión de usuarios, donde se evidencia el formulario de registro que permite ingresar los datos del usuario, seleccionar su rol y definir su estado dentro del sistema. Esta interfaz ha sido diseñada de forma clara e intuitiva, facilitando su uso por parte del personal administrativo y reduciendo errores en el ingreso de información.

Este módulo asegura la trazabilidad de las acciones realizadas en el sistema, ya que cada operación queda asociada a un usuario identificado, fortaleciendo el control y la responsabilidad sobre la información registrada.

Módulo de registro de equipos

El módulo de registro de equipos es responsable de gestionar la información técnica de los activos sujetos a mantenimiento, en este caso, las máquinas cerradoras de latas. La información registrada en este módulo constituye la base sobre la cual se ejecutan las órdenes de trabajo, la planificación preventiva y el análisis predictivo.

Mediante este módulo, el Administrador puede:

- Registrar nuevos equipos, asignándoles un código único de identificación.
- Ingresar datos técnicos relevantes como nombre del equipo, modelo, línea o área

de operación.

- Definir el estado operativo del equipo (operativo, en mantenimiento, fuera de servicio).
- Asignar un nivel de criticidad (alta, media o baja), lo cual permite priorizar las acciones de mantenimiento.
- Consultar, editar o eliminar equipos previamente registrados.

La Figura X presenta la interfaz del módulo de registro de equipos, donde se observa un listado estructurado de las cerradoras registradas en el sistema, mostrando información clave como código, área, estado y criticidad. Además, la interfaz incluye opciones de acción que permiten visualizar el detalle del equipo, editar su información o eliminarlo cuando corresponda.

Este módulo es fundamental para la gestión del mantenimiento, ya que permite centralizar la información técnica de los activos y establecer una relación directa entre los equipos, las órdenes de trabajo, el historial técnico y los indicadores de confiabilidad generados por el sistema.

Módulo de órdenes de trabajo

El módulo de órdenes de trabajo constituye el núcleo operativo del sistema de mantenimiento, ya que permite gestionar, controlar y documentar todas las intervenciones realizadas sobre las máquinas cerradoras de latas. A través de este módulo se materializan las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo, garantizando la trazabilidad de cada acción ejecutada.

Como se observa en la Figura X, correspondiente a la interfaz de gestión de órdenes de trabajo, el sistema presenta un listado estructurado de las órdenes registradas, mostrando información clave como el código de la orden, el equipo intervenido, el tipo de mantenimiento, la prioridad asignada, el estado de la orden, el técnico responsable y la fecha de creación. Esta visualización facilita el seguimiento del estado operativo del mantenimiento en tiempo real.

El módulo permite las siguientes funcionalidades principales:

- Creación de órdenes de trabajo, asociando cada orden a un equipo específico.
- Clasificación del tipo de mantenimiento, diferenciando entre órdenes correctivas y preventivas.
- Asignación de prioridades, permitiendo identificar intervenciones críticas.
- Gestión del estado de la orden, con transiciones controladas entre pendiente, en proceso y cerrada.
- Asignación de técnicos responsables, fortaleciendo la responsabilidad operativa.
- Consulta y edición de órdenes existentes, según los permisos del usuario.

Durante la ejecución del mantenimiento, el técnico registra las actividades realizadas, lo cual permite documentar de manera precisa la intervención efectuada. Una vez cerrada la orden de trabajo, la información queda almacenada automáticamente como parte del historial técnico del equipo, constituyendo una fuente esencial para el análisis posterior.

Módulo de inventario de repuestos

El módulo de inventario de repuestos está orientado al control y gestión de los materiales necesarios para las actividades de mantenimiento, asegurando la disponibilidad oportuna de los repuestos críticos y evitando retrasos en las intervenciones.

Tal como se muestra en la Figura X, el sistema presenta un listado de repuestos registrados, donde se visualiza información relevante como el código del repuesto, su descripción, el nivel de stock disponible, el stock mínimo definido y la ubicación física dentro del almacén o bodega.

Las principales funcionalidades de este módulo incluyen:

- Registro y actualización de repuestos, permitiendo mantener un catálogo organizado.
- Control de stock, mostrando en tiempo real las existencias disponibles.
- Definición de niveles mínimos de inventario, para cada repuesto crítico.

- Generación de alertas de stock bajo, cuando la cantidad disponible alcanza o desciende por debajo del mínimo establecido.
- Asociación del consumo de repuestos a órdenes de trabajo, fortaleciendo la trazabilidad entre mantenimiento e inventario.

El sistema resalta visualmente los repuestos con niveles críticos de stock, lo que permite al administrador anticiparse a posibles desabastecimientos y planificar reposiciones oportunas. Esta funcionalidad resulta especialmente relevante en equipos de alta criticidad, donde la falta de un repuesto puede generar paradas prolongadas y pérdidas operativas.

Módulo de planificación preventiva

El módulo de planificación preventiva tiene como objetivo organizar y programar de manera sistemática las actividades de mantenimiento preventivo de las máquinas cerradoras de latas, con el fin de reducir la ocurrencia de fallas inesperadas y prolongar la vida útil de los equipos. A través de este módulo, el administrador puede definir planes de mantenimiento asociados a equipos específicos, estableciendo parámetros clave como:

- Frecuencia de ejecución (días, semanas o meses).
- Descripción de las tareas preventivas a realizar.
- Fecha estimada de la próxima intervención.
- Estado del plan (activo o inactivo).

La Figura X muestra la interfaz de creación de un plan preventivo, donde se evidencia la selección del equipo, la definición de la frecuencia y la descripción de las actividades a ejecutar. Esta estructura permite una programación clara y flexible, adaptada a las condiciones operativas de cada máquina.

Una característica fundamental de este módulo es la generación automática de órdenes de trabajo preventivas, las cuales se crean conforme se cumple la periodicidad definida en el plan. Estas órdenes se integran directamente con el módulo de órdenes de trabajo, garantizando

la trazabilidad entre planificación y ejecución del mantenimiento.

De esta manera, el módulo de planificación preventiva contribuye a una gestión más proactiva del mantenimiento, disminuyendo la dependencia exclusiva del mantenimiento correctivo y fortaleciendo la continuidad operativa del sistema productivo.

Módulo de análisis predictivo básico (reportes)

El módulo de análisis predictivo básico constituye el componente innovador del sistema propuesto, ya que permite anticipar posibles fallas mediante el análisis de datos históricos de mantenimiento correctivo registrados en el sistema.

Este módulo procesa automáticamente la información almacenada en la base de datos, principalmente aquella proveniente de órdenes de trabajo cerradas, para calcular indicadores de confiabilidad que apoyan la toma de decisiones. Entre los principales indicadores calculados se encuentran:

- MTBF (Tiempo Medio Entre Fallas), expresado en días.
- Días transcurridos desde la última falla registrada.
- Porcentaje estimado de riesgo de falla, calculado a partir de la relación entre el tiempo transcurrido y el MTBF.

Con base en estos valores, el sistema clasifica los equipos en niveles de riesgo (alto, medio o bajo) y estima una fecha probable de ocurrencia de una nueva falla, permitiendo al usuario priorizar acciones preventivas antes de que se produzcan paradas no programadas.

La Figura 10 presenta una vista del módulo de reportes analíticos, donde se muestran los valores de MTBF por equipo, los tiempos de paro acumulados y las fallas más frecuentes. Esta información constituye la base para el análisis predictivo implementado en el prototipo.

Es importante señalar que este análisis predictivo corresponde a un enfoque preliminar basado en patrones históricos, adecuado al alcance del prototipo, y no emplea modelos complejos de aprendizaje automático. No obstante, su aplicación demuestra el potencial del uso

de datos históricos como soporte para una gestión de mantenimiento basada en información.

Dashboard de mantenimiento

El dashboard de mantenimiento es el módulo encargado de presentar de forma visual, resumida y en tiempo real la información más relevante del sistema, facilitando una rápida interpretación del estado general del mantenimiento industrial. Este módulo consolida datos provenientes de los distintos componentes del sistema y los muestra mediante indicadores y listados organizados, entre los que se destacan:

- Estado de las órdenes de trabajo (pendientes, en proceso y cerradas).
- Número de equipos operativos.
- Alertas de repuestos con stock bajo.
- Fallas más frecuentes registradas.
- Alertas predictivas basadas en el MTBF y el nivel de riesgo de falla.

La Figura X muestra la interfaz principal del dashboard, donde se evidencian los indicadores clave y las alertas predictivas generadas automáticamente por el sistema. Esta visualización permite al administrador y al personal técnico identificar rápidamente los equipos críticos, los repuestos que requieren reposición y las prioridades de intervención.

Gracias a su diseño integrado, el dashboard actúa como un centro de control del mantenimiento, apoyando la toma de decisiones operativas y estratégicas, y permitiendo una transición efectiva desde una gestión reactiva hacia una gestión preventiva y basada en datos.

Figura 5 Módulo gestión de usuarios

The screenshot shows a web browser window with the URL `localhost/sistema_mantenimiento/public/usuarios/nuevo`. The page title is "Nuevo usuario" and it is identified as a "Prototipo". The user is logged in as "Administrador Sistema" with the name "admin".

The main content area is titled "Registrar usuario" and is a "Prototipo visual (sin BD)". It contains the following form fields:

- Nombres:** Input field with placeholder "Ej: Juan Carlos".
- Apellidos:** Input field with placeholder "Ej: Pérez".
- Correo:** Input field with placeholder "correo@empresa.com".
- Rol:** Dropdown menu with "Administrador" selected.
- Estado:** Dropdown menu with "Activo" selected.
- Usuario:** Input field with "admin" entered.
- Contraseña:** Password input field with masked characters ".....".

At the bottom right of the form, there are two buttons: "Cancelar" and "Guardar (mock)".

Nota: Elaboración propia.

Figura 6 Módulo de registros de equipos

The screenshot shows a web browser window with the URL `localhost/sistema_mantenimiento/public/equipos/nuevo`. The page is titled "Nuevo equipo" and the user is logged in as "Administrador Sistema admin". The main content area is a form for adding a new equipment record, titled "Nuevo equipo (Cerradora de latas)". The form contains the following fields:

- Código**: A text input field.
- Nombre del equipo**: A text input field.
- Marca**: A text input field.
- Modelo**: A text input field.
- Serie**: A text input field.
- Área**: A dropdown menu with the selected option "— Selecciona —".
- Ubicación (línea/estación)**: A text input field.
- Fecha de instalación**: A date picker showing "dd/mm/aaaa".
- Criticidad**: A dropdown menu with the selected option "MEDIA".
- Estado**: A dropdown menu with the selected option "OPERATIVO".
- Observaciones**: A large text area for notes.

At the bottom of the form, there are two buttons: "Volver" (light gray) and "Guardar" (blue).

Nota: Elaboración propia.

Figura 7 Módulo ordenes de trabajo

Órdenes de Trabajo

Prototipo

Administrador Sistema **admin** [Salir](#)

Órdenes de Trabajo (OT)
Listado desde base de datos. [+ Nueva OT](#)

| Código | Equipo | Tipo | Prioridad | Estado | Técnico | Creación | Acciones |
|-----------|--|------------|-----------|-----------|-------------------------------|---------------------|--|
| OT-0203 | Cerradora Ferrum Línea 2 (Mantenimiento) CERR-004 | CORRECTIVO | ALTA | CERRADA | Tecnico Mantenimiento tecnico | 2026-01-28 07:00:00 | Ver Editar |
| OT-0202 | Cerradora Ferrum Línea 2 (Mantenimiento) CERR-004 | CORRECTIVO | MEDIA | CERRADA | Tecnico Mantenimiento tecnico | 2025-10-10 08:30:00 | Ver Editar |
| OT-0201 | Cerradora Ferrum Línea 2 (Mantenimiento) CERR-004 | CORRECTIVO | ALTA | CERRADA | Tecnico Mantenimiento tecnico | 2025-08-18 06:50:00 | Ver Editar |
| OT-0103 | Cerradora Angelus Línea 1 (Backup) CERR-002 | CORRECTIVO | MEDIA | CERRADA | Tecnico Mantenimiento tecnico | 2026-01-20 09:10:00 | Ver Editar |
| OT-0102 | Cerradora Angelus Línea 1 (Backup) CERR-002 | CORRECTIVO | ALTA | CERRADA | Tecnico Mantenimiento tecnico | 2025-11-02 07:40:00 | Ver Editar |
| OT-0101 | Cerradora Angelus Línea 1 (Backup) CERR-002 | CORRECTIVO | MEDIA | CERRADA | Tecnico Mantenimiento tecnico | 2025-09-05 08:00:00 | Ver Editar |
| OT-P-0002 | Cerradora Ferrum Línea 2 CERR-003 | PREVENTIVO | MEDIA | PENDIENTE | Tecnico Mantenimiento tecnico | 2026-02-12 04:23:10 | Ver Editar |
| OT-P-0001 | Cerradora Angelus Línea 1 CERR-001 | PREVENTIVO | MEDIA | PENDIENTE | Tecnico Mantenimiento tecnico | 2026-02-12 04:23:10 | Ver Editar |
| OT-0006 | Cerradora Ferrum Línea 2 CERR-003 | CORRECTIVO | ALTA | CERRADA | Tecnico Mantenimiento tecnico | 2026-02-01 07:00:00 | Ver Editar |
| OT-0005 | Cerradora Ferrum Línea 2 CERR-003 | CORRECTIVO | MEDIA | CERRADA | Tecnico Mantenimiento tecnico | 2025-12-01 08:10:00 | Ver Editar |
| OT-0004 | Cerradora Ferrum Línea 2 CERR-003 | CORRECTIVO | ALTA | CERRADA | Tecnico Mantenimiento tecnico | 2025-09-20 06:50:00 | Ver Editar |
| OT-0003 | Cerradora Angelus Línea 1 CERR-001 | CORRECTIVO | ALTA | CERRADA | Tecnico Mantenimiento tecnico | 2026-01-05 07:30:00 | Ver Editar |

Nota: Elaboración propia.

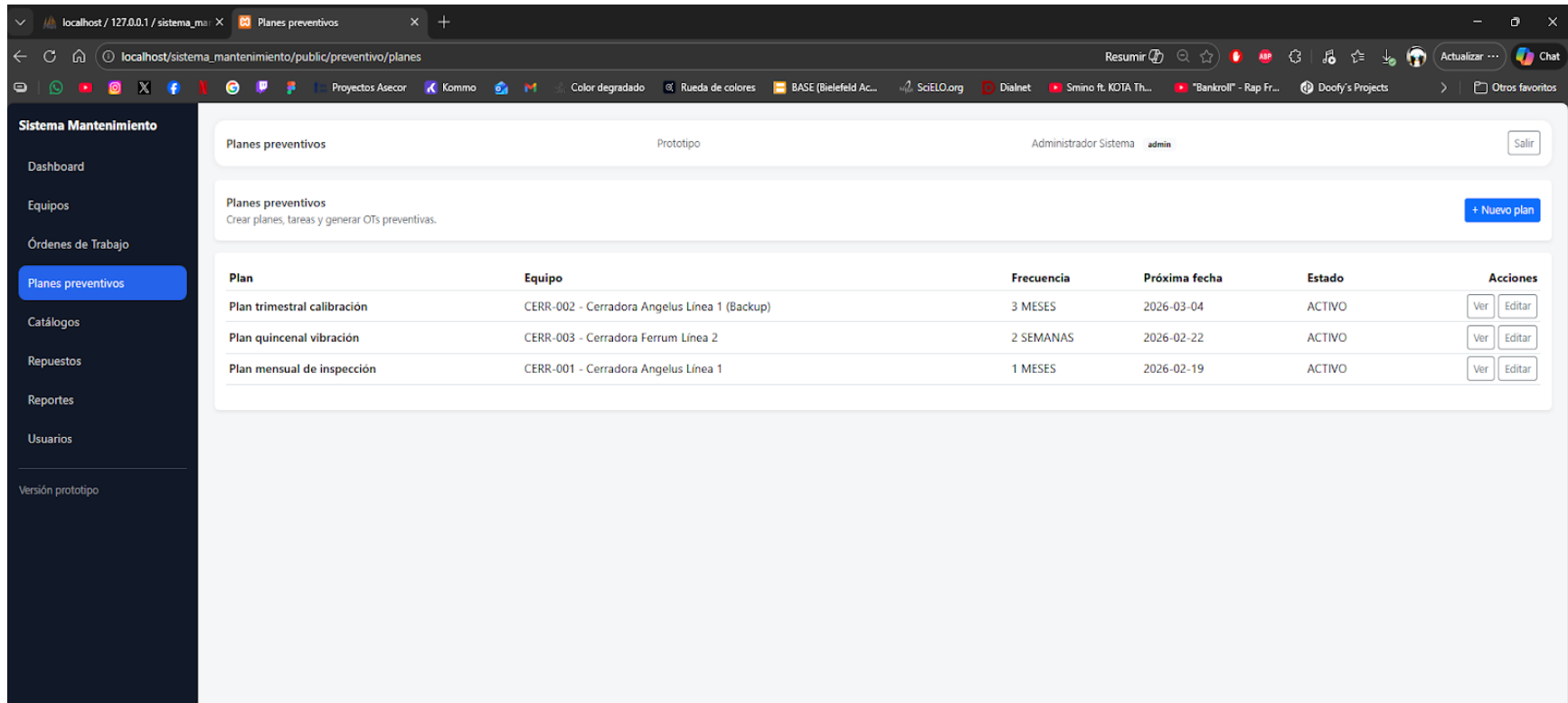
Figura 8 Modulo inventario de repuestos

The screenshot shows a web browser window with the URL localhost/sistema_mantenimiento/public/repuestos. The page title is 'Repuestos' and the user is logged in as 'Administrador Sistema admin'. The main content area is titled 'Inventario de repuestos' and includes a sub-header 'Control de stock y consumo por OT.' and two buttons: 'Ver alertas' and '+ Nuevo repuesto'. Below this is a table with the following data:

| Código | Repuesto | Stock | Stock mínimo | Ubicación | Acciones |
|--------|------------------------------|----------|--------------|----------------------|-----------------|
| R-005 | Correa transmisión A-42 | 2.00 UND | 3.00 | Bodega A - Estante 4 | Editar Eliminar |
| R-004 | Lubricante grado alimenticio | 20.00 LT | 10.00 | Bodega B - Estante 3 | Editar Eliminar |
| R-001 | Rodamiento 6205 | 5.00 UND | 5.00 | Bodega A - Estante 1 | Editar Eliminar |
| R-002 | Rodamiento 6206 | 4.00 UND | 6.00 | Bodega A - Estante 1 | Editar Eliminar |
| R-003 | Sensor de tapa inductivo | 2.00 UND | 2.00 | Bodega B - Estante 2 | Editar Eliminar |

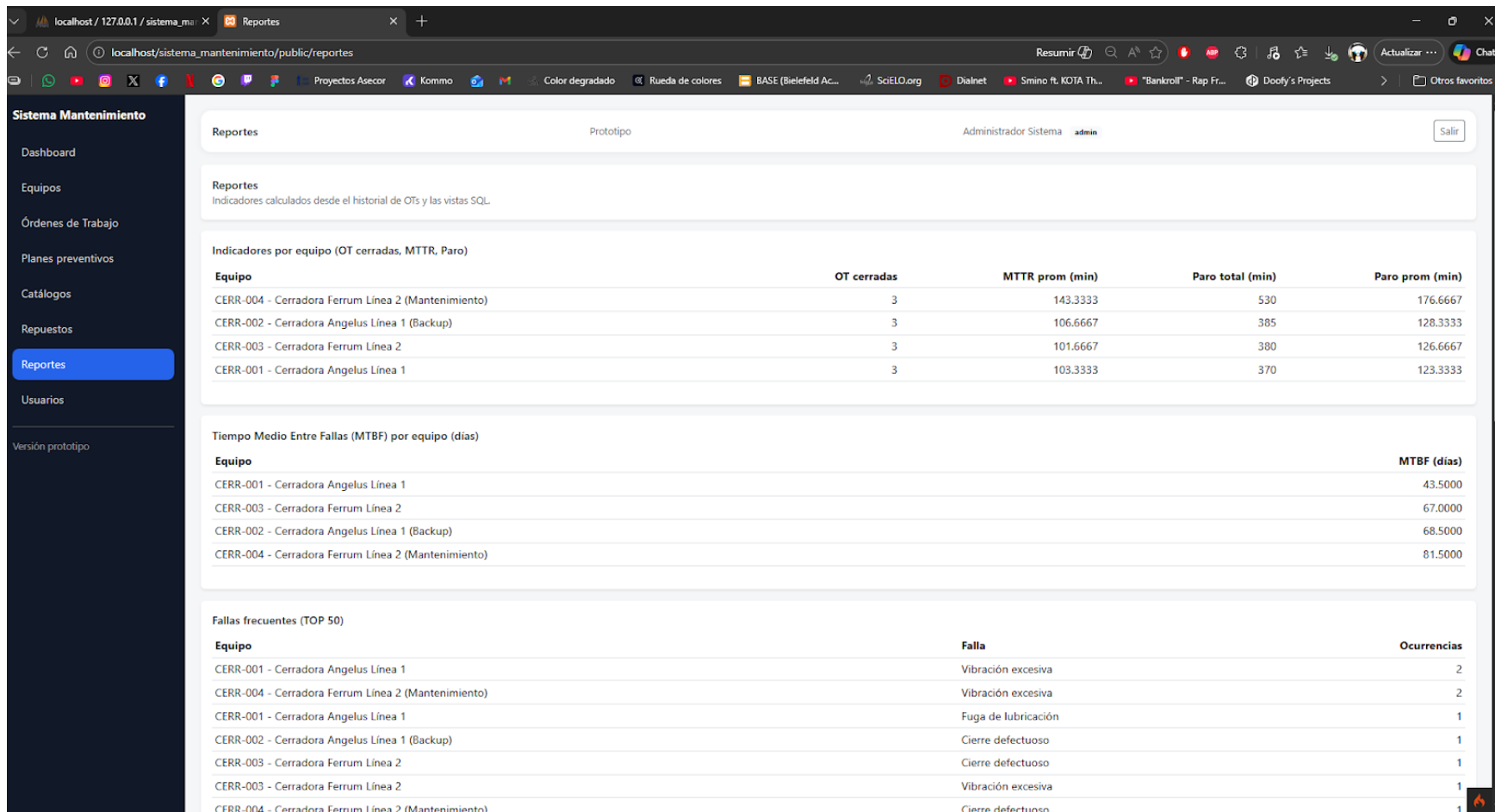
Nota: Elaboración propia.

Figura 9 Modulo planificación preventiva



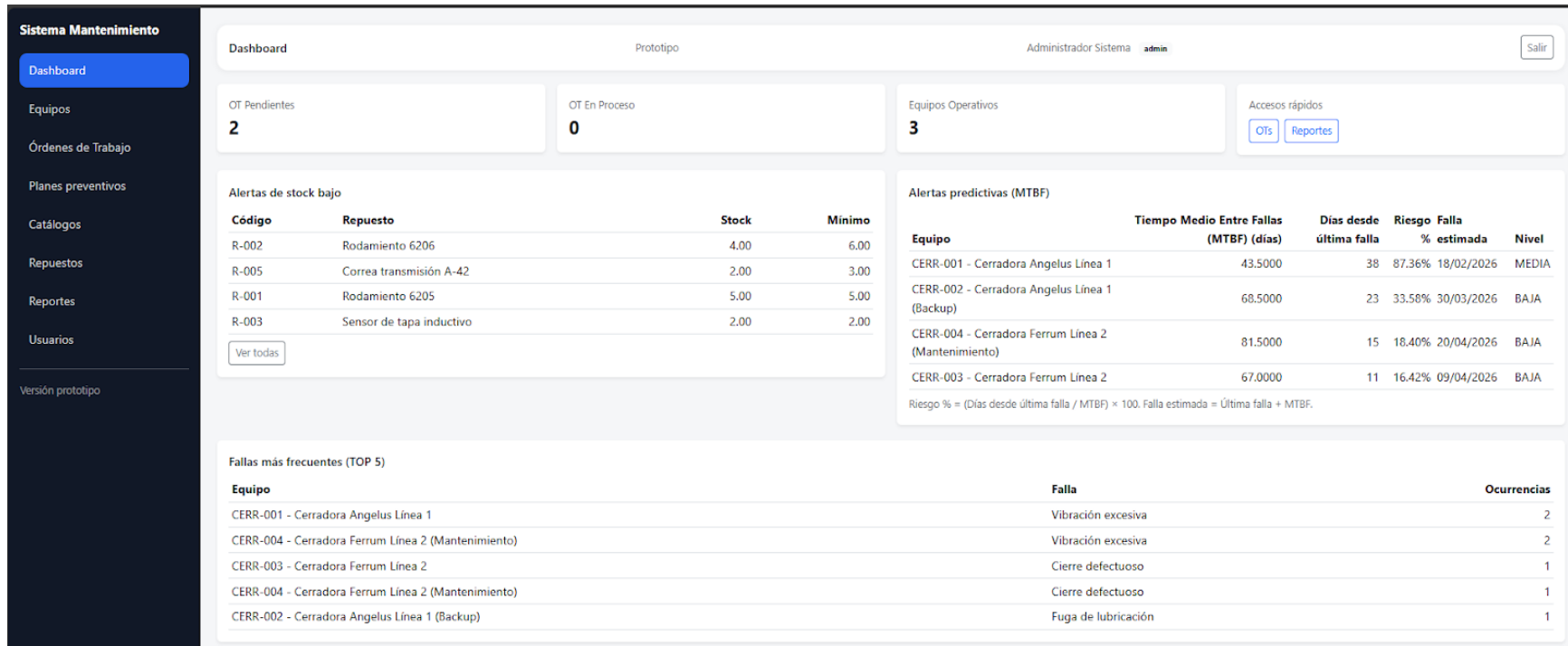
Nota: Elaboración propia.

Figura 10 Modulo análisis predictivo básico (reportes)



Nota: Elaboración propia.

Figura 11 Dashboard de Mantenimiento



Nota: Elaboración propia

Diseño de la base de datos

El diseño de la base de datos del sistema de mantenimiento fue concebido bajo un enfoque relacional y centralizado, con el propósito de garantizar la integridad de la información, la trazabilidad de los procesos de mantenimiento y el soporte al análisis operativo y predictivo. La estructura permite registrar de forma ordenada los datos generados desde la detección de una falla hasta la ejecución de actividades de mantenimiento y su posterior evaluación mediante indicadores.

La base de datos se compone de un conjunto de entidades principales interrelacionadas, las cuales representan los elementos clave del proceso de mantenimiento industrial. Entre estas entidades se destacan:

- Usuarios
- Equipos
- Componentes
- Órdenes de trabajo
- Actividades de mantenimiento
- Repuestos
- Movimientos de inventario
- Planes de mantenimiento preventivo

A continuación, se describe conceptualmente el rol de cada entidad y sus relaciones más relevantes.

- **Usuarios:** La entidad Usuarios almacena la información del personal que interactúa con el sistema, incluyendo administradores y técnicos de mantenimiento. Cada usuario se asocia a un rol específico, lo que permite controlar los permisos de acceso y las acciones disponibles dentro del sistema. Además,

esta entidad se relaciona con eventos de auditoría, órdenes de trabajo y movimientos de inventario, garantizando la trazabilidad de las acciones realizadas.

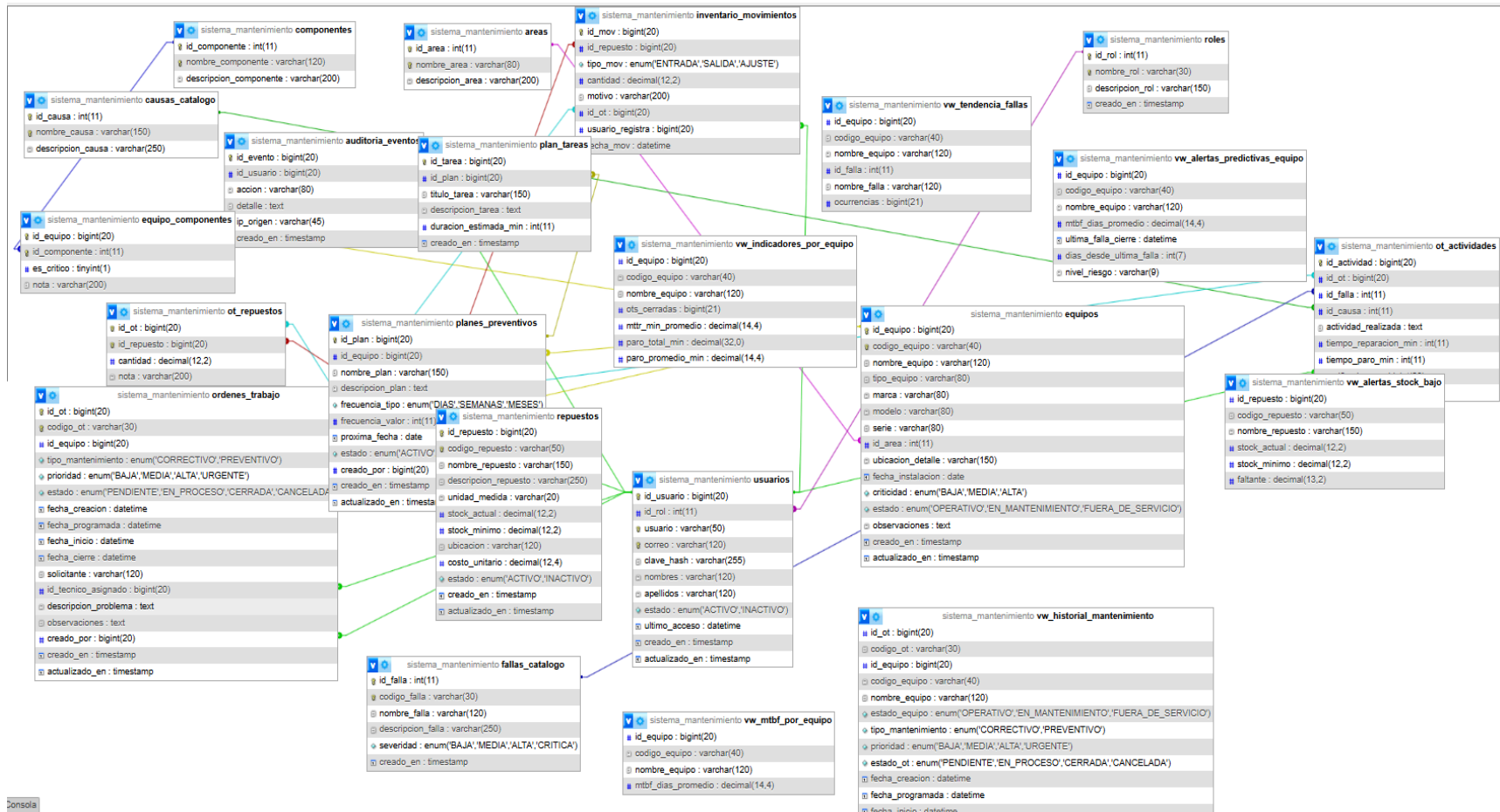
- **Equipos:** La entidad Equipos constituye el eje central del sistema, ya que representa los activos industriales sujetos a mantenimiento. Cada equipo registra información como código, nombre, área, estado operativo y nivel de criticidad. Los equipos se relacionan directamente con órdenes de trabajo, planes preventivos, actividades de mantenimiento y análisis de fallas, permitiendo un seguimiento completo de su historial operativo.
- **Componentes:** Los Componentes representan las partes que conforman un equipo. Esta relación permite identificar fallas a nivel de componente y no únicamente a nivel del equipo completo. La asociación entre equipos y componentes facilita un análisis más detallado de las causas de falla y mejora la planificación del mantenimiento preventivo.
- **Órdenes de trabajo:** La entidad Órdenes de trabajo gestiona las intervenciones de mantenimiento correctivo y preventivo. Cada orden se vincula a un equipo específico y registra información clave como tipo de mantenimiento, prioridad, estado, fechas de programación y cierre, así como el técnico asignado. Esta entidad actúa como el vínculo principal entre la planificación, la ejecución y el registro de las actividades realizadas.
- **Actividades de mantenimiento:** Las Actividades de mantenimiento detallan las tareas específicas ejecutadas dentro de una orden de trabajo. Estas actividades se relacionan con fallas, causas y tiempos de reparación, permitiendo un análisis preciso del desempeño del mantenimiento, especialmente para el cálculo de indicadores como el MTTR.
- **Repuestos:** La entidad Repuestos almacena la información de los materiales y piezas utilizadas durante las actividades de mantenimiento. Incluye datos de stock

actual, stock mínimo y costos, lo que permite integrar la gestión del mantenimiento con el control de inventarios.

- **Movimientos de inventario:** Los Movimientos de inventario registran las entradas, salidas y ajustes de repuestos. Esta entidad se relaciona tanto con los repuestos como con los usuarios que realizan los movimientos, asegurando un control detallado del consumo de materiales y la generación de alertas por stock bajo.
- **Planes de mantenimiento preventivo:** La entidad Planes preventivos permite definir y gestionar los planes de mantenimiento asociados a los equipos. Estos planes establecen frecuencias, tareas y fechas de ejecución, y se relacionan directamente con la generación automática de órdenes de trabajo preventivas, fortaleciendo la gestión proactiva del mantenimiento.

Las relaciones entre estas entidades permiten mantener una trazabilidad completa del proceso de mantenimiento, desde la identificación de una falla, su causa y actividad correctiva, hasta el consumo de repuestos y el análisis posterior mediante indicadores históricos y predictivos. Este diseño asegura coherencia de la información, facilita la explotación de datos para la toma de decisiones y respalda el funcionamiento integral del sistema propuesto.

Figura 12 Base de datos del prototipo



Nota: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Criterios de aceptación del producto o servicio

El prototipo de Sistema de Gestión de Mantenimiento que se ha efectuado en presente proyecto satisface los criterios de aceptación los cuales fueron dados en el alcance de la investigación. Como primer punto, el proyecto cumple con los diferentes puntos necesarios para la centralización de la información, tales como, inventario de repuestos, historial técnico, ordenes de trabajo y el registro de equipos. También, permite la planificación de mantenimientos preventivos y a su vez facilita el ingreso de datos históricos los mismos que dan paso a la generación de reportes.

A su vez, bajo los requerimientos que se lograron identificar durante el levantamiento de información el sistema fue diseñado con una arquitectura funcional, tomando en cuenta la integridad de los datos y el correcto funcionamiento de los módulos. Como punto final, el prototipo fue puesto a prueba y puesto en revisión de expertos en mantenimiento industrial, los mismo que analizaron la coherencia funcional, la operatividad y la aplicabilidad del mismo en un escenario real de las maquinas cerradoras de latas.

Conclusiones

En contexto del desarrollo del proyecto y desarrollo de los objetivos específicos que se plantearon, se puede llegar a concluir:

Con respecto al primer objetivo específico, el mismo que se dirige hacia analizar los procesos operativos, los tipos de mantenimiento y los requerimientos técnicos relacionados con las máquinas cerradoras de latas, se puede concluir que en estos equipos existe una tendencia muy acentuada a que los mantenimientos tienden a realizarse de manera reactiva, ya que por la falta herramientas tecnológicas de apoyo, se pudo identificar que la falta de indicadores técnicos, registros manuales y dispersión de la información hace que la capacidad de anticiparse a fallas y planificación se torne difícil. A su vez, se pudo determinar que en la cerradora de latas existen componentes críticos los mismos que están expuestos a un desgaste constante, lo que hace necesario un control sistemático realizado mediante datos históricos confiables. Con el cual este análisis permitió exponer y comprender las debilidades actuales de los modelos de mantenimiento que se llevan a cabo en la actualidad y fundamento la necesidad de una solución tecnológica.

Tomando en cuenta el segundo objetivo específico, el cual hace énfasis en estructurar la base conceptual, funcional y técnica que permitirá definir el diseño del prototipo de sistema de gestión de mantenimiento, se pudo dar paso a un marco teórico conciso integrando los fundamentos de gestión de sistemas CMMS, mantenimiento industrial, principios de análisis predictivo e indicadores de desempeño (MTBF, MTTR, disponibilidad). Una vez dado esto se dio paso a definir una arquitectura modular que abarca registro de equipos, inventario de repuestos, gestión de usuarios y análisis de datos históricos. Con esta estructura se procedió a la conceptualización de los conceptos teóricos en modelo alineado y funcionalmente coherente con las necesidades tomando en cuenta el contexto industrial de la ciudad de Guayaquil.

Dado el tercer objetivo específico, el mismo que consiste en desarrollar un prototipo de sistema de gestión de mantenimiento empleando técnicas de análisis predictivo sin limitar el uso

a una herramienta específica, se pudo concluir que fue viable diseñar una solución tecnológica totalmente funcional integrando el almacenamiento estructurado de datos y generación de reportes. El prototipo pudo justificar que mediante la incorporación de análisis de datos históricos logra visualizar tendencias, apoyar la toma de decisiones técnicas y identificar patrones de fallas. A pesar de que el sistema no abarca la implementación con sensores en tiempo real ni algoritmos avanzados de aprendizaje autónomo, satisface la viabilidad técnica del mantenimiento predictivo.

Como punto final respecto al cuarto objetivo específico, validar el funcionamiento del prototipo mediante pruebas con expertos en la empresa, se pudo concluir que la revisión realizada por técnicos expertos permitió confiar en la coherencia funcional del sistema, su potencial y aplicabilidad permite mejorar el contexto de los mantenimientos en la actualidad. Los expertos concuerdan que centralizar la información y la muestra de indicadores demostraran mejoras significativas con respecto al modelo actual basado en registros manuales.

Recomendaciones

Tomando en cuenta los resultados obtenidos, se proponen las siguientes recomendaciones:

- **Integración con tecnologías IoT:** Para fortalecer el componente predictivo, se sugiere incorporar en trabajos futuros sensores que permitan capturar datos en tiempo real sobre vibración, temperatura o presión, mejorando la precisión de los modelos de análisis.
- **Integración de módulos administrativos:** En una futura versión, podrían añadirse módulos de análisis financiero y costo de mantenimiento permitiendo tener una visión acerca del impacto económico del mantenimiento.
- **Capacitación del personal técnico:** La adopción de herramientas digitales requiere procesos de capacitación que permitan a los técnicos utilizar el sistema de manera eficiente y comprender la importancia del registro estructurado de información.

BIBLIOGRAFÍA

- AMS Machine. (2024). Automation 101: Hermetic Seal Definition and Manufacturing Explained. Retrieved from AMS AUTOMATED MACHINE SYSTEMS: <https://amsmachinesinc.com/what-is-hermetic-seal-definition-guide/>
- Benhanifia, A., & Cheikh, Z. (2025). Systematic review of predictive maintenance practices in the manufacturing sector. Retrieved from ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667305325000274>
- Bokrants, J., & Skoogh, A. (2020). Smart Maintenance: a research agenda for industrial maintenance management. Retrieved from ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527319303731>
- Castillo, G. (2025). Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento preventivo para el proceso industrial de extrusión en la empresa de INDUCUERDAS. Retrieved from Universidad Nacional de Chimborazo: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/14657/1/Castillo%20P.%2C%20Gabriela%20OF.%282025%29%20Dise%C3%B1o%20de%20un%20sistema%20de%20gesti%C3%B3n%20de%20mantenimiento%20preventivo%20para%20el%20proceso%20industrial%20de%20extrusi%C3%B3n%20en%20la%20empr>
- Erbiyik, H. (2022). Definition of Maintenance and Maintenance Types with Due Care on Preventive Maintenance. Retrieved from ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/366236297_Definition_of_Maintenance_and_Maintenance_Types_with_Due_Care_on_Preventive_Maintenance
- Escobar, H., & Ospina, J. (2020). Diseño de un sistema de gestión del mantenimiento para la empresa Mane sucursal Colombia S.A. Retrieved from Intituto Tecnológico Metropolitan: <https://repositorio.itm.edu.co/server/api/core/bitstreams/6090a7ec-85d8-4651-b3c4-632d74442e3d/content>
- Fuentes, S. (2024). Análisis y propuesta de mejora en los procesos de operación mantenimiento de una empresa almacenadora de materia prima de balanceados ubicada en la ciudad de Durán. Retrieved from Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/29452/1/UPS-GT005989.pdf>
- Hernández, J., & Vizán, A. (2022). Lean Manufacturing. Retrieved from Escuela de organización industrial: https://fabricacion.industriales.upm.es/wp-content/uploads/2022/04/EOI_LeanManufacturing_2013.pdf
- IBM. (2024). MTTR vs. MTBF: What's the difference? Retrieved from International Business Machines: <https://www.ibm.com/think/topics/mttr-vs-mtbf>
- MEINSA. (2022). El mantenimiento industrial y su evolución. Retrieved from <https://meinsa.com/2023/01/mantenimiento-industrial-evolucion/>
- Moreira, O. (2022). Aplicación de mantenimiento productivo total (TPM) para el mejoramiento de los procesos operativos del taller mecánico industrial en una unidad educativa de la ciudad de Guayaquil. Retrieved from Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22961/1/UPS-GT003900.pdf>
- MundoLatas. (2025). Cerradoras de latas o envases metálicos. Retrieved from <https://mundolatas.com/maquinas-cerradoras-de-latas/>
- Oliviera, J., & Borsato, J. (2025). Application of a Predictive Model to Reduce Unplanned Downtime in Automotive Industry Production Processes: A Sustainability Perspective. Retrieved from MDPI: <https://www.mdpi.com/2071-1050/17/9/3926>

- Salas, C., & Hernández, M. (2024). Evaluación y mejora de un modelo de gestión de mantenimiento en una institución de educación superior. Retrieved from Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar: <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/download/13613/19551/>
- Toala, J., & Delgado, R. (2025). Análisis de las principales fallas en máquinas cerradoras utilizadas en el sector pesquero. Retrieved from Revista Científica de Ingeniería, Industria y Arquitectura : <https://publicacionescd.ulead.edu.ec/index.php/finibus/article/download/1398/2187/6625>



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Orrego Villamar, Angel Joshue**, con C.C: # **0930536875** autor/a del trabajo de titulación: **“Prototipo de sistema de gestión de mantenimiento con análisis predictivo para optimizar recursos y eficiencia operativa para máquinas cerradoras de latas en una empresa de Guayaquil.”** previo a la obtención del título de **Ingeniero en Sistemas Computacionales** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 2 de marzo de 2026

Nombre: **Orrego Villamar, Angel Joshue**

C.C **0930536875**

REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

| | | | |
|---------------------------------------|--|------------------------|-------|
| TEMA Y SUBTEMA: | Prototipo de sistema de gestión de mantenimiento con análisis predictivo para optimizar recursos y eficiencia operativa para máquinas cerradoras de latas en una empresa de Guayaquil. | | |
| AUTOR(ES) | Orrego Villamar, Angel Joshue | | |
| REVISOR(ES)/TUTOR(ES) | Castro Aguilar, Gilberto Fernando | | |
| INSTITUCIÓN: | Universidad Católica de Santiago de Guayaquil | | |
| FACULTAD: | Ingeniería | | |
| CARRERA: | Ingeniería en Sistemas Computacionales | | |
| TITULO OBTENIDO: | Ingeniero en Sistemas Computacionales | | |
| FECHA DE PUBLICACIÓN: | 2 de marzo de 2026 | No. DE PÁGINAS: | 96 p. |
| ÁREAS TEMÁTICAS: | Sistemas de información, Bases de datos, Mantenimiento industrial, Gestión de operaciones. | | |
| PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS: | mantenimiento industrial; análisis predictivo; MTBF; gestión de mantenimiento; prototipo de software. | | |

RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras): El presente trabajo tiene como finalidad desarrollar un prototipo de sistema de gestión de mantenimiento que incorpore técnicas de análisis predictivo para apoyar la toma de decisiones en el mantenimiento de máquinas cerradoras de latas. La investigación parte del análisis de los procesos operativos y los tipos de mantenimiento aplicados en el entorno industrial, identificando la necesidad de estructurar la información técnica y reducir la dependencia del mantenimiento reactivo. Se diseñó una arquitectura cliente-servidor con base de datos relacional, integrando módulos para la gestión de equipos, órdenes de trabajo, inventario de repuestos, planificación preventiva y análisis predictivo básico. El sistema calcula indicadores como el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), días transcurridos desde la última falla y porcentaje estimado de riesgo, permitiendo clasificar los equipos según su nivel de criticidad. El prototipo fue validado mediante pruebas funcionales y evaluación por parte de expertos técnicos de la empresa, evidenciando su correcto funcionamiento y utilidad como herramienta de apoyo para mejorar la planificación y confiabilidad operativa. La propuesta contribuye a la transición hacia un modelo de mantenimiento basado en datos e indicadores técnicos.

| | | |
|---|---|--|
| ADJUNTO PDF: | <input checked="" type="checkbox"/> SI | <input type="checkbox"/> NO |
| CONTACTO CON AUTOR/ES: | Teléfono: +593 99 613 8558 | E-mail: angel.orrego@cu.ucsg.edu.ec joshuevillamar@gmail.com |
| CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE): | Nombre: Gilberto Fernando Castro Aguilar | |
| | Teléfono: 0982266659 | |
| | E-mail: gilberto.castro@cu.ucsg.edu.ec | |

SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA

| | |
|---|--|
| Nº. DE REGISTRO (en base a datos): | |
| Nº. DE CLASIFICACIÓN: | |
| DIRECCIÓN URL (tesis en la web): | |