



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN

**DESARROLLO DE UN MÓDULO WEB PARA LA GESTIÓN DEL
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL, CON FICHAS TÉCNICAS DE EQUIPOS
Y VISUALIZACIÓN DE PROCESOS MEDIANTE DIAGRAMAS
INTERACTIVOS.**

**PROPUESTA DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN**

AUTORES:

David Alexander Chasi Jiménez

Eddy Alvaro Lucero Tipán

TUTOR:

Ing. Diego Geovanny Falconí Punguil

LATACUNGA, ABRIL – AGOSTO, 2026

Latacunga, agosto de 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Chasi Jiménez David Alexander y Lucero Tipán Eddy Alvaro** declaramos ser autores del proyecto de titulación **“DESARROLLO DE UN MÓDULO WEB PARA LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL, CON FICHAS TÉCNICAS DE EQUIPOS Y VISUALIZACIÓN DE PROCESOS MEDIANTE DIAGRAMAS INTERACTIVOS”**, siendo el **Ing. Diego Geovanny Falconí Punguil, Mg.** tutor del presente trabajo de titulación; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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



Chasi Jiménez David Alexander
CC. 1751558931

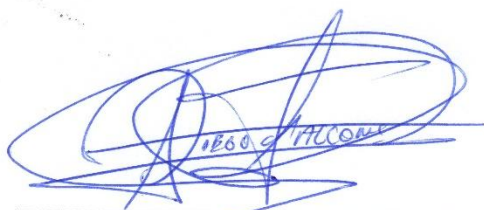


Lucero Tipán Eddy Alvaro
CC. 0504751553

Latacunga, 6 de Agosto del 2026

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACION

En calidad de Tutor del **PROYECTO DE INVESTIGACION** sobre el título: **“DESARROLLO DE UN MÓDULO WEB PARA LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL, CON FICHAS TÉCNICAS DE EQUIPOS Y VISUALIZACIÓN DE PROCESOS MEDIANTE DIAGRAMAS INTERACTIVOS”**, propuesto por los estudiantes **CHASI JIMÉNEZ DAVID ALEXANDER Y LUCERO TIPÁN EDDY ALVARO** de la Carrera de Sistemas de información, considero que dicho proyecto de titulación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos al tribunal de lectores.



Ing. Falconí Punguill Diego Geovanny, Mg.
C.C. 0550080774
TUTOR

Latacunga, agosto del 2026

AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES

Cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores de Tribunal de Proyecto de Investigación con el Título **“DESARROLLO DE UN MÓDULO WEB PARA LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL, CON FICHAS TÉCNICAS DE EQUIPOS Y VISUALIZACIÓN DE PROCESOS MEDIANTE DIAGRAMAS INTERACTIVOS”**, propuesto por los estudiantes **Chasi Jiménez David Alexander y Lucero Tipán Eddy Alvaro** de la Carrera de Sistemas de Información, nos permitimos indicar que los estudiantes han concluido todas las observaciones y realizado las correcciones señaladas por el Tribunal de Lectores, por lo cual presentamos el Aval de aprobación del Proyecto de Titulación correspondiente a la modalidad **PROYECTO DE INVESTIGACIÓN** en virtud de lo cual los postulantes puede presentarse a la Defensa de su Proyecto de Titulación.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines legales pertinentes.

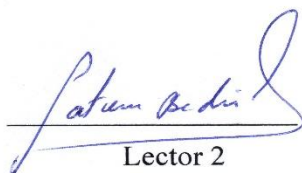
Atentamente,



Lector 1 (Presidente)

Ing. Luis René Quisaguano
Collaguazo, Mg.

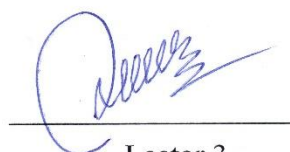
CC: 1721895181



Lector 2

Ing. Edison Patricio Bedón
Salazar, Mg.

CC: 0502253271



Lector 3

Ing. Karla Susana Cantuña
Flores, Mg.

CC: 0502305113

AVAL DE TRADUCCIÓN

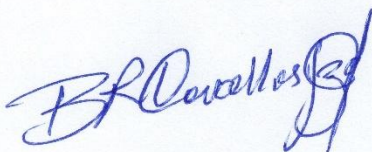
En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“DESARROLLO DE UN MÓDULO WEB PARA LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL, CON FICHAS TÉCNICAS DE EQUIPOS Y VISUALIZACIÓN DE PROCESOS MEDIANTE DIAGRAMAS INTERACTIVOS”** presentado por: **Chasi Jiménez David Alexander** y **Lucero Tipán Eddy Alvaro** egresados de la Carrera de: **Ingeniería en Sistemas de Información**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

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

Latacunga, agosto del 2026

Atentamente,



Mg. Bolívar Cevallos Galarza
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI: 0910821669



CENTRO
DE IDIOMAS

AGRADECIMIENTO

Quiero empezar dando gracias a Dios, quien me ha sostenido y ayudado a llegar hasta donde estoy. Fueron muchos los momentos en los que sentí que no podía continuar, pero su sustento estuvo siempre ahí, dándome fuerzas para seguir adelante y no rendirme.

Agradezco profundamente a mis padres, Patricio Lucero y María Consuelo Tipán por cada una de sus oraciones, su apoyo, sus consejos y por estar presentes durante todo este proceso. Gracias por confiar en mí, por impulsarme a seguir cuando las cosas se hicieron difíciles y por enseñarme que todo esfuerzo tiene su recompensa.

A mis hermanas, Aracely Lucero y Anahi Lucero gracias por acompañarme durante esta etapa, por sus palabras de ánimo y por estar presentes en cada momento importante. También agradezco a mis tíos, tías, primos y primas, quienes de una u otra forma me apoyaron y motivaron durante este camino.

Al Ing. Diego Falconí, tutor de este trabajo de titulación, gracias por compartir sus conocimientos y guiarme en cada etapa. Su orientación y valiosas correcciones fueron fundamentales para culminar este proceso.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, estuvieron presentes durante estos años de estudio. A quienes me brindaron una palabra de ánimo, una ayuda o simplemente estuvieron ahí cuando lo necesité, les doy las gracias.

Este logro representa el resultado de muchos años de esfuerzo, aprendizaje, sacrificios y momentos que hoy forman parte de una etapa que llega a su fin. Con gratitud, cierro este capítulo y miro hacia lo que viene con la esperanza de seguir creciendo y alcanzar nuevas metas.

Eddy Lucero

DEDICATORIA

Dedico este logro a mis padres, Patricio Lucero y María Consuelo Tipán, por ser mi mayor apoyo, por sus oraciones, sus consejos y por acompañarme en cada paso de este camino. Este logro también es de ustedes.

A mis hermanas, Aracely Lucero y Anahi Lucero, por su cariño y por estar conmigo en los momentos buenos y difíciles.

A toda mi familia, por creer en mí y motivarme a seguir adelante. Cada palabra de aliento fue importante para alcanzar esta meta.

A mi abuelita y abuelitos, porque su luz sigue iluminando mi vida. Aunque hoy me falte su presencia en un día tan importante, sus recuerdos y su amor sigue intacto en mi corazón. Esto también es por y para ustedes.

Con cariño, dedico este trabajo a todos ustedes.

Eddy Lucero

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme concedido la salud, la fortaleza y la constancia necesarias para culminar esta etapa de mi formación profesional.

A mis padres, por su apoyo incondicional a lo largo de todos estos años. Su esfuerzo y su confianza fueron el sustento que me permitió continuar cuando el camino se volvía difícil. Cada logro alcanzado lleva consigo su sacrificio.

A mi docente tutor Ing. Diego Falconí por la orientación brindada durante todo el proceso de investigación. Su acompañamiento, sus observaciones oportunas y su exigencia constante fueron determinantes para la culminación de este proyecto.

David Chasi

DEDICATORIA

A mi madre Fanny Jimenez, por su entrega diaria y su presencia constante a lo largo de todo este recorrido. Por sus palabras de aliento en los momentos de desánimo y por enseñarme con su ejemplo que la perseverancia y el trabajo duro rinden frutos. Cada esfuerzo suyo se refleja en este logro.

A mi padre Angel Chasi, por su sacrificio y trabajo sostenido durante todos estos años para brindarme las mejores oportunidades. Por inculcarme los valores de la responsabilidad y la disciplina que hoy sustentan mi formación profesional, y por confiar plenamente en mis capacidades incluso cuando el camino se tornaba complejo.

A mis hermanos Angel, Cesar y Christian, por estar presentes en cada etapa de este camino, por compartir risas y momentos difíciles, y por darme siempre ánimos para seguir adelante. Su respaldo, sus consejos y la unión de crecer juntos han sido un impulso constante para alcanzar esta meta.

A mis amigos que formaron parte de este proceso y contribuyeron, de una u otra manera, a que hoy pueda cerrar este capítulo de mi vida.

David Chasi

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

Tema: “Desarrollo de un módulo web para la gestión del mantenimiento industrial, con fichas técnicas de equipos y visualización de procesos mediante diagramas interactivos.”

Autores

David Alexander Chasi Jiménez

Eddy Alvaro Lucero Tipán

RESUMEN

La desorganización y dispersión de los registros físicos en el mantenimiento de equipos electromecánicos ralentiza la consulta de historiales, dificulta el control de intervenciones y limita la visibilidad sobre los flujos de trabajo. Ante esta problemática, la investigación tuvo como objetivo desarrollar el módulo web GPM Industrial, plataforma orientada a estructurar la información técnica mediante fichas técnicas de equipos y diagramas interactivos de procesos, partiendo de la hipótesis de que su implementación mejoraría la organización de la información de mantenimiento en la empresa. El estudio adoptó un enfoque aplicado de alcance descriptivo con diseño no experimental. La muestra fue censal, integrada por los tres beneficiarios directos del departamento de mantenimiento y los treinta y cuatro activos electromecánicos críticos inventariados. Las técnicas empleadas fueron la entrevista semiestructurada y la observación directa, mediante guía de entrevista y ficha de observación técnica. El desarrollo se llevó a cabo con la metodología Extreme Programming, que organizó la construcción en historias de usuario, ciclos iterativos y pruebas funcionales al cierre de cada entrega. La plataforma obtenida centraliza la administración de empresas, proyectos, usuarios, fichas técnicas, historiales operativos y un diagrama interactivo para la representación visual de tareas. La comprobación de la hipótesis se efectuó mediante validación por juicio de expertos, la escala de usabilidad del sistema y el coeficiente V de Aiken, cuyos valores respaldaron el cumplimiento de lo planteado. La solución sistematiza la gestión técnica transformando datos dispersos en una herramienta clave para la continuidad operacional del taller.

Palabras clave: gestión del mantenimiento industrial, fichas técnicas, diagramas interactivos, módulo web, Extreme Programming.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

Theme: “Development of a Web Module for Industrial Maintenance Management, Including Equipment Specification Sheets and Process Visualisation Using Interactive Diagrams.”

Authors:

Chasi Jiménez David Alexander

Lucero Tipán Eddy Alvaro

ABSTRACT

The disorganisation and scattered nature of physical records in the maintenance of electromechanical equipment slows down the retrieval of maintenance histories, makes it difficult to monitor maintenance work and limits visibility of workflows. In light of this problem, the research aimed to develop the GPM Industrial web module, a platform designed to structure technical information through equipment data sheets and interactive process diagrams, based on the hypothesis that its implementation would improve the organisation of maintenance information within the company. The study adopted an applied, descriptive approach with a non-experimental design. The sample was a census, comprising the three direct beneficiaries from the maintenance department and the thirty-four critical electromechanical assets listed in the inventory. The techniques employed were semi-structured interviews and direct observation, using an interview guide and a technical observation form. The development was carried out using the Extreme Programming methodology, which organised the build into user stories, iterative cycles and functional testing at the end of each sprint. The resulting platform centralises the management of companies, projects, users, technical data sheets, operational histories and an interactive diagram for the visual representation of tasks. The hypothesis was tested through expert judgement validation, the system’s usability scale and Aiken’s V-coefficient, the results of which confirmed that the objectives had been met. The solution systematises technical management by transforming scattered data into a key tool for the workshop’s operational continuity.

Keywords: Industrial Maintenance Management, Technical Data Sheets, Interactive Diagrams, Web Module, Extreme Programming

ÍNDICE GENERAL

1. INFORMACIÓN GENERAL	11
2. INTRODUCCIÓN	12
2.1.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	12
2.1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	13
2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN	13
2.3.1 Objeto de Investigación:	13
2.3.2 Campo de Acción:	13
2.4 BENEFICIARIOS	14
2.4.1 Directo	14
2.4.2 Indirecto	14
2.5 JUSTIFICACIÓN	14
2.6 ALCANCE	15
2.7 OBJETIVOS	16
2.7.1 General	16
2.7.2 Específicos	16
3. HIPÓTESIS Y SISTEMAS DE TAREAS	16
3.1 HIPÓTESIS	16
3.2 SISTEMA DE TAREAS	16
4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	19
4.1 ANTECEDENTES	19
4.1.1 Antecedentes Internacionales	19
4.1.2 Antecedentes Nacionales	20

4.2 BASES TEÓRICAS	21
4.2 ARQUITECTURA Y TECNOLOGÍAS WEB	21
4.2.1 Sistemas Web.....	21
4.2.2 Aplicaciones Web Empresariales	21
4.2.3 Arquitectura Cliente-Servidor	22
4.2.4 API REST	22
4.2.5 Bases de Datos Relacionales	23
4.2.6 PostgreSQL.....	23
4.2.7 Seguridad y Control de Acceso	24
4.3 DESARROLLO DE SOFTWARE Y UX.....	24
4.3.1 Usabilidad.....	24
4.3.2 Experiencia de Usuario (UX)	25
4.3.3 Metodologías de desarrollo de software	25
4.3.4 Tecnologías de desarrollo	29
4.4 TRANSFORMACIÓN DIGITAL.....	30
4.4.1 Características de la transformación digital.....	31
4.4.2 Diagramas Interactivos	31
4.4.3 Visualización de Información.....	32
4.5 MANTENIMIENTO INDUSTRIAL	32
4.5.1 Objetivos del mantenimiento industrial.....	33
4.5.2 Importancia del mantenimiento industrial	33
4.5.3 Beneficios del mantenimiento industrial	34
4.5.4 Gestión del Mantenimiento.....	34
4.5.5 Objetivos de la gestión del mantenimiento.....	35
4.5.6 Funciones de la gestión del mantenimiento.....	35

4.5.7 Importancia de la gestión del mantenimiento	36
4.5.8 Tipos de Mantenimiento	37
4.5.9 Historial de Mantenimiento	38
4.6 EQUIPOS ELECTROMECAÑICOS	38
4.6.1 Gestión de Activos Industriales	39
4.6.2 Fichas Técnicas de Equipos	39
5. METODOLOGÍA	40
5.1 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN	40
5.2 TIPOS DE INVESTIGACIÓN	40
5.2.1 Investigación aplicada	40
5.2.2 Investigación bibliográfica	40
5.2.3 Investigación de campo	41
5.2.4 Investigación descriptiva	41
5.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	42
5.3.1 Método analítico	42
5.3.2 Método sintético	42
5.3.3 Método inductivo	42
5.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN	42
5.4.1 Revisión bibliográfica	43
5.4.2 Entrevista semiestructurada	43
5.4.3 Observación directa	43
5.5 TÉCNICAS ESPECÍFICAS E INSTRUMENTOS DE DESARROLLO	44
5.5.1 Validación de expertos	44
5.5.2 System Usability Scale (SUS)	44

5.5.3 En V de Aiken	44
5.5.4 Metodología XP	45
5.5.5 Programación por pares	46
5.5.6 Justificación de la selección de XP para el proyecto	47
5.5.7 Valores de XP aplicados al proyecto	48
5.6 FASES DEL DESARROLLO (XP)	48
5.6.1 Planificación	49
5.6.2 Diseño	49
5.6.3 Codificación.....	49
5.6.4 Pruebas.....	49
5.7 POBLACIÓN Y MUESTRA	50
5.7.1 Población	50
5.7.2 Muestra	50
5.8 RECURSOS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS	51
5.8.1 Equipos Utilizado	51
5.8.2 Tecnologías y herramientas de desarrollo	52
5.8.3 Frameworks y librerías	53
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS	54
6.1 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	54
6.1.1 Resultados de la entrevista semiestructurada	54
6.1.2 Resultados de la observación directa	56
6.2 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA XP	57
6.2.1 PLANIFICACIÓN	57
6.2.1.1 Valores de XP aplicados	57

6.2.1.2 Roles desempeñados	58
6.2.1.3 Historias de usuario implementadas	59
6.2.1.4 Product Backlog desarrollado	72
6.2.1.5 Iteration Planning desarrollado	73
6.2.2 DISEÑO	74
6.2.2.1 Arquitectura del sistema	74
6.2.2.2 Resultados del Modelo Entidad Relación	75
6.2.3 CODIFICACIÓN	75
6.2.4 PRUEBAS	76
6.2.4.1 Autenticación	76
6.2.4.2 Usuarios	76
6.2.4.3 Empresas	78
6.2.4.4 Proyectos	78
6.2.4.5 Diagramas interactivos (Canvas)	79
6.2.4.6 Fichas técnicas	79
6.2.4.7 Historial de mantenimiento	80
6.2.4.8 Pruebas manuales desarrolladas	80
6.3 COSTO DEL SOFTWARE	87
6.4 COMPROBACIÓN DE LA DE LA HIPÓTESIS	88
6.4.1 Resultados de la validación de expertos	88
6.4.2 Resultados del cuestionario SUS	91
6.4.3 Resultados del Coeficiente V de Aiken	93
6.4.4 Resultado general	94
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95

7.1 CONCLUSIONES	95
7.2 RECOMENDACIONES	95
8. REFERENCIAS	96
9. ANEXOS	103
Anexo A. INSTRUMENTO DE ENTREVISTA SEMIESTRUCTURADA	103
Anexo B. INSTRUMENTO DE OBSERVACIÓN DIRECTA	105
Anexo C. PROTOTIPOS DEL SISTEMA	108
Anexo D. CODIFICACION DEL SOFTWARE	111
Anexo E. HISTORIAS DE USUARIO RESTANTES	112
Anexo F. PRUEBAS MANUALES RESTANTES	119
Anexo G. TARJETAS CRC (CLASE, RESPONSABILIDAD Y COLABORACIÓN)	126
Anexo H. MATRIZ DE PRUEBAS UNITARIAS APLICANDO TDD	129
Anexo I. PERFIL DE EXPERTOS Y MOTIVO DE SELECCIÓN	141
Anexo J. CAPACIDAD DE USUARIOS	142

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Áreas Conocimiento Unesco.....	12
Tabla 2.1 Beneficiario directos	14
Tabla 2.2 Beneficiarios indirectos.....	14
Tabla 3.1 Sistema de tareas planificadas.....	17
Tabla 4.1 Comparativa entre XP y Scrum	29
Tabla 4.2 Tecnologías de desarrollo	30
Tabla 4.3 Funciones de la gestión del mantenimiento	36
Tabla 5.1 Modelo para las historias de usuario.....	45
Tabla 5.2 Formato Product Backlog	46
Tabla 5.3 Formato Iteración planning.....	46
Tabla 5.4 Formato Pruebas Manuales.....	47
Tabla 5.5 Aplicación de los valores XP en el proyecto	48
Tabla 5.6 Especificaciones del primer dispositivo.....	51
Tabla 5.7 Especificaciones del primer dispositivo.....	51
Tabla 5.8 Tecnologías y herramientas de desarrollo.....	52
Tabla 5.9 Frameworks y librerías.....	53
Tabla 6.1 Entrevista semiestructurada	55
Tabla 6.2 Resultados de la Observación directa	57
Tabla 6.3 Resultados de la aplicación de los valores XP en el proyecto	58
Tabla 6.4 Roles desempeñados durante el desarrollo del proyecto	59

Tabla 6.5 Historia de usuario 001	60
Tabla 6.6 Historia de usuario 002	61
Tabla 6.7 Historia de usuario 003	62
Tabla 6.8 Historia de usuario 004	63
Tabla 6.9 Historia de usuario 005	64
Tabla 6.10 Historia de usuario 006	65
Tabla 6.11 Historia de usuario 007	66
Tabla 6.12 Historia de usuario 008	67
Tabla 6.13 Historia de usuario 009	68
Tabla 6.14 Historia de usuario 010	69
Tabla 6.15 Historia de usuario 011	70
Tabla 6.16 Historia de usuario 012	71
Tabla 6.17 Product Backlog desarrollado	72
Tabla 6.18 Iteration Planning - Primera Iteración.....	73
Tabla 6.19 Iteration Planning - Segunda iteración.....	73
Tabla 6.20 Iteration Planning - Tercera Iteración	73
Tabla 6.21 Iteration Planning - Cuarta Iteración.....	74
Tabla 6.22 Prueba manual CPF001.....	81
Tabla 6.23 Prueba manual CPF002.....	82
Tabla 6.24 Prueba manual CPF003.....	83
Tabla 6.25 Prueba manual CPF004.....	84

Tabla 6.26 Prueba manual CPF005.....	85
Tabla 6.27 Prueba manual CPF006.....	86
Tabla 6.28 Costo del software.....	87
Tabla 6.29 Resultados de la evaluación mediante escala de Likert	88
Tabla 6.30 Puntajes obtenidos mediante el cuestionario SUS	92
Tabla 6.31 Cálculo del coeficiente V de Aiken por criterio	93
Tabla 6.32 Consolidado del coeficiente V de Aiken.....	93

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de comunicación cliente-servidor [14].	22
Figura 2 Modelo de arquitectura REST API [16].	23
Figura 3 Diagrama de arquitectura del aplicativo web	74
Figura 4 Modelo relacional de la base de datos	75
Figura 5 Interfaz de inicio de sesión	76
Figura 6 Interfaz de Gestión de Supervisores y solicitudes de registro	77
Figura 7 Interfaz de Gestión de Técnicos por empresa.	77
Figura 8 Interfaz de empresas registradas.	78
Figura 9 Interfaz de proyectos registrados.	79
Figura 10 Interfaz del canvas.	79
Figura 11 Interfaz de la ficha técnica.	80
Figura 12 Interfaz del historial de mantenimiento	80
Figura 13 Pantalla principal y gestión de proyectos.	108
Figura 14 Prototipo de editar perfil.	109
Figura 15 Prototipo del canvas y equipos electromecánicos.	109
Figura 16 Conexión entre equipos.	110
Figura 17 Prototipos de los formularios de registro.	110
Figura 18 Controlador de proyectos	111
Figura 19 Lógica del lienzo (canvas).	111

1. INFORMACIÓN GENERAL

Tema del proyecto:

Desarrollo de un módulo web para la gestión del mantenimiento industrial, con fichas técnicas de equipos y visualización de procesos mediante diagramas interactivos.

Modalidad de Titulación:

MODALIDAD DE TITULACIÓN	HOMOLOGACIONES PARA INFORME FINAL DE TITULACIÓN	SELECCIÓN
Propuesta tecnológica	Informe de propuesta tecnológica	
	Patente, Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual.	
	Artículo científico	
Proyecto de investigación	Informe de Proyecto de investigación	X
	Artículo científico	
	Patente, Modelo de utilidad, Certificado de propiedad intelectual.	
Examen de indicadores de RDA		

Trabajo de Titulación Vinculado al Proyecto:

Repotenciación e innovación tecnológica en máquinas y/o equipos electromecánicos a través de la optimización integral del Mantenimiento (OIM) en la provincia de Cotopaxi.

Equipo de Trabajo del Trabajo de Titulación:

Estudiantes:

Chasi Jiménez David Alexander

Lucero Tipán Eddy Alvaro

Tutor de Titulación:

Diego Geovanny Falconí Punguil

Área de Conocimiento:

Tabla 1.1 Áreas Conocimiento Unesco

06 información y Comunicación (TIC)	061 Información y Comunicación (TIC)	0611 el uso del Ordenador
		0612 base de datos, diseño y administración de redes
		0613 software y desarrollo y análisis de aplicativos

Línea de investigación:

Tecnología de la información y las comunicaciones, robótica, automatización y optimización de sistemas.

Sublíneas de investigación de la Carrera:

Ciencias informáticas para la modelación y automatización de sistemas a través de las TI

2. INTRODUCCIÓN**2.1.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA**

En el ámbito industrial, la continuidad de la producción y la eficiencia operativa están directamente atadas al manejo oportuno de la maquinaria electromecánica. Unidades como motores, compresores y paneles de control exigen esquemas de revisión continua si se busca prevenir sobrecostos por paradas imprevistas. Sobre este punto, en la investigación de [1] se argumenta que transicionar hacia esquemas digitales dentro del mantenimiento no solo eleva la productividad, sino que fortalece la confiabilidad global de los equipos al amortiguar fallas no programadas.

Pese a estos beneficios, cerca del 65% de talleres pequeños aún dependen de hojas impresas o archivos de Excel desvinculados para registrar mantenimientos [2]. Como lo advierte [2], aferrarse a estas prácticas tradicionales restringe severamente la capacidad de adaptación en las organizaciones y frena la consolidación de historiales técnicos fiables sobre los activos.

Esta problemática cobra especial relevancia en la provincia de Cotopaxi, donde más del 70% de las PYMES industriales utilizan maquinaria electromecánica, pero menos del 25% cuenta con sistemas digitales de gestión [3]. En la dinámica local predomina el manejo fragmentado de los datos, imposibilitando rastrear patrones de avería a tiempo. A partir de las observaciones de [3], esta falta de sistematización termina desencadenando diagnósticos erróneos, jornadas de trabajo sobrecargadas para los técnicos e ineficiencias críticas en la prestación del servicio.

Las consecuencias directas abarcan paradas operativas prolongadas, que pueden extenderse hasta 12 horas en talleres medianos, generando sobrecostos superiores al 30% del presupuesto anual de mantenimiento [3]. Ciertamente, en el mercado existen sistemas integrales de mantenimiento (CMMS) que, como destacan en [4], incorporan análisis predictivo para acortar paradas y mejorar la trazabilidad. No obstante, las pymes locales no logran adquirirlos ni adoptarlos debido a los altos costos de licenciamiento, que superan los 15.000 USD anuales, además de la rigidez funcional y la complejidad de implementar una suite completa de gestión.

Frente a esta barrera económica y técnica, no resulta viable implantar un sistema monolítico de golpe, sino abordar la problemática de forma escalable. Por ello, la presente investigación propone el desarrollo de un módulo web centrado en su primera fase operativa: la gestión del mantenimiento industrial mediante fichas técnicas y la visualización de procesos a través de diagramas interactivos. El entorno permitirá registrar la información técnica clave de los equipos electromecánicos, graficar la secuencia de actividades en la empresa y mantener un historial organizado de las intervenciones. De esta manera, el propósito central radica en optimizar el ordenamiento de los datos, simplificar la visualización de la interacción entre los equipos y aportar a un control más eficiente dentro del área operativa. Asimismo, este desarrollo articula competencias transversales consolidadas a lo largo de la carrera tales como modelado de bases de datos, programación web, diseño de interfaces y metodologías ágiles para estructurar una herramienta funcional que responda a las demandas reales del sector y contribuya a la mejora continua en la gestión del mantenimiento industrial.

2.1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Con la problemática identificada, se formula la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo mejorar la organización de la información técnica y de los registros de mantenimiento de equipos electromecánicos en las pymes de Cotopaxi?

2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1 Objeto de Investigación:

Módulo web para la gestión del mantenimiento industrial

2.3.2 Campo de Acción:

0613 Software y desarrollo y análisis de aplicativos.

2.4 BENEFICIARIOS

2.4.1 Directo

Tabla 2.1 Beneficiarios directos

Beneficiarios	Cargo	Descripción	No Personas
Directos	Representante de INPLÁSTICO	Encargado de supervisar la implementación y uso del sistema en la empresa.	1
	Encargados de mantenimiento en INPLÁSTICO	Responsables de gestionar los módulos de mantenimiento según su rol.	2
Beneficiarios directos totales			3

2.4.2 Indirecto

Tabla 2.2 Beneficiarios indirectos

Beneficiarios	Cargo	Descripción	No Personas
Indirectos	Consumidores finales	No usan directamente el aplicativo, pero se benefician del aumento en la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, lo cual mejora la producción.	350
Beneficiarios indirectos totales			350

2.5 JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de este trabajo responde al interés personal y laboral de aplicar soluciones informáticas accesibles frente a las deficiencias operativas de las pymes de Cotopaxi, donde más del 70% de las empresas depende de equipos electromecánicos, pero carece de herramientas digitales de gestión.

La importancia de la investigación radica en resolver la desorganización de los datos técnicos en INPLÁSTICO. Frente a un entorno donde el 65% de talleres depende de métodos manuales, la implementación de un módulo web centralizado permitirá estructurar fichas técnicas, consolidar

historiales de trabajo y esquematizar procesos, reduciendo los tiempos de respuesta del personal de planta.

Desde el ámbito académico, el proyecto aporta teóricamente al sistematizar la relación entre el mantenimiento industrial y el software en arquitectura cliente-servidor. Metodológicamente, plantea la adopción de marcos de desarrollo ágil orientados a entregas iterativas, combinados con una fase de evaluación mediante cuestionarios de percepción, métricas de usabilidad y técnicas de validación por juicio de expertos. En lo práctico, sus beneficios se traducen en la entrega de una herramienta funcional que elimine la duplicidad documental y construya un repositorio técnico confiable.

La factibilidad del proyecto se sustenta en el uso de tecnologías web de código abierto, evitando licencias comerciales que superan los 15.000 USD anuales y adaptándose a la infraestructura existente, con una baja complejidad que facilita su adopción operativa.

Finalmente, este estudio constituye una contribución parcial a una investigación de mayor alcance, al articularse como la fase inicial del proyecto institucional "Repotenciación e innovación tecnológica en máquinas y/o equipos electromecánicos a través de la Optimización Integral del Mantenimiento (OIM) en la provincia de Cotopaxi".

2.6 ALCANCE

El presente trabajo corresponde a la primera fase del proyecto de investigación "**Repotenciación e innovación tecnológica en máquinas y/o equipos electromecánicos a través de la optimización integral del mantenimiento (OIM) en la provincia de Cotopaxi**".

En esta etapa inicial, el alcance se acota al desarrollo de un módulo web que organice la información técnica de los equipos electromecánicos. La plataforma permite llenar fichas técnicas, guardar el historial de mantenimientos y graficar procesos mediante diagramas interactivos que muestran cómo se conectan los equipos entre sí.

Con esta herramienta el proyecto macro de Optimización Integral del Mantenimiento (OIM) recibe un aporte directo, pues logra centralizar datos que antes estaban dispersos o en papel. Al transformar esos registros manuales en una base de datos relacional confiable, se deja estructurada la información base para las siguientes fases del estudio, donde se prevé programar automáticamente los planes de mantenimiento usando este mismo historial.

2.7 OBJETIVOS

2.7.1 General

Desarrollar un módulo web para la gestión del mantenimiento industrial mediante fichas técnicas de equipos y visualización de procesos a través de diagramas interactivos, con el fin de organizar la información técnica y las actividades de mantenimiento de los equipos electromecánicos.

2.7.2 Específicos

- Definir las bases teóricas relacionadas con la gestión de mantenimiento y visualización de procesos operativos mediante una revisión bibliográfica de fuentes confiables, para sustentar académicamente el desarrollo del proyecto.
- Determinar la metodología ágil más adecuada para el desarrollo de la plataforma web mediante el análisis de metodologías existentes, con el fin de orientar la ejecución del proyecto.
- Implementar un módulo web para la gestión del mantenimiento industrial mediante fichas técnicas de equipos y diagramas interactivos para la visualización de procesos, con el fin de mejorar el control de la información técnica y de los registros de mantenimiento de los equipos electromecánicos.

3. HIPÓTESIS Y SISTEMAS DE TAREAS

3.1 HIPÓTESIS

Si se implementa un módulo web para la gestión del mantenimiento industrial, mejoraría la organización de la información de mantenimiento dentro de la empresa.

Variable independiente:

Implementación del módulo web para la gestión del mantenimiento industrial.

Variable dependiente:

Organización de la información de mantenimiento dentro de la empresa.

3.2 SISTEMA DE TAREAS

A continuación, se detalla el sistema de tareas planificado para dar cumplimiento a los objetivos específicos de la investigación. Cada fase contempla actividades secuenciales orientadas al desarrollo, implementación y evaluación del módulo web dentro de la gestión del mantenimiento industrial.

Tabla 3.1 Sistema de tareas planificadas

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, medios e instrumentos
Definir las bases teóricas relacionadas con la gestión de mantenimiento y visualización de procesos operativos mediante una revisión bibliográfica de fuentes confiables, para sustentar académicamente el desarrollo del proyecto.	Revisión de información científica relacionada con el mantenimiento industrial, diagramas de procesos y desarrollo de aplicaciones web.	Fundamentación teórica que sustenta el desarrollo del módulo web.	Técnica: Revisión bibliográfica. Medio: Artículos científicos y libros, Zotero. Instrumento: Fichas bibliográficas.
	Organización y análisis de la información recopilada para estructurar el marco teórico.	Marco teórico elaborado de acuerdo con los objetivos de la investigación.	Técnica: Revisión bibliográfica. Medio: Artículos científicos y libros, Zotero. Instrumento: Fichas bibliográficas.
Determinar la metodología ágil más adecuada para el desarrollo de la plataforma web mediante el análisis de metodologías existentes, con el fin de orientar la ejecución del proyecto.	Definición de la metodología XP y planificación de las actividades de desarrollo.	Metodología de desarrollo establecida para el proyecto.	Técnica: Metodología XP. Medio: Documentación sobre metodologías ágiles. Instrumento: Historias de usuario, Product Backlog e Iteration Planning.

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, medios e instrumentos
	Elaboración de las historias de usuario y planificación de las iteraciones de trabajo.	Planificación de los requerimientos funcionales del sistema.	Técnica: Entrevista semiestructurada, Observación directa. Medio: Reuniones con el responsable del proyecto. Instrumento: Guía de entrevista, ficha de observación.
Implementar un módulo web para la gestión del mantenimiento industrial mediante fichas técnicas de equipos y diagramas interactivos para la visualización de procesos, con el fin de mejorar el control de la información técnica y de los registros de mantenimiento de los equipos electromecánicos.	Desarrollo de los módulos funcionales del sistema de acuerdo con las historias de usuario definidas.	Módulo web implementado con sus funcionalidades principales.	Técnica: Programación por pares. Medio: React, NestJS, PostgreSQL y Visual Studio Code. Instrumento: Tabla de iteraciones, Pruebas manuales.
	Realización de pruebas funcionales y evaluación del sistema por expertos para	Sistema validado mediante pruebas manuales y evaluación de expertos.	Técnica: Validación por expertos, System Usability Scale (SUS), V de Aiken. Medio: Google Forms y plataforma web implementada.

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, medios e instrumentos
	validar la hipótesis de investigación.		Instrumento: Cuestionario.

4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

4.1 ANTECEDENTES

4.1.1 Antecedentes Internacionales

En el estudio presentado en [5] se desarrolla una metodología basada en los cinco pilares fundacionales del mantenimiento planificado, uno de los componentes del mantenimiento productivo total (TPM): gestión de activos fijos, gestión de órdenes de trabajo, gestión de análisis de averías, gestión de almacén técnico y desarrollo de expertos técnicos. En dicho trabajo se señala que la gestión de activos implica conocer la vida de cada equipo desde su ingreso hasta su baja, registrando actividades, cambios e identificándolo mediante un código único que permita vincularlo con equipos de características similares. Este antecedente resulta relevante porque establece los elementos mínimos de información técnica que debe contener una ficha de equipo (identificación, ubicación, fecha de instalación, estado, historial de fallas y programa de mantenimiento), insumos que sirven de referencia directa para el diseño de las fichas técnicas digitales del presente proyecto.

Por su parte en [6] se analizan los factores que facilitan el desarrollo e implementación de un sistema de gestión del mantenimiento computarizado (CMMS) y de gestión de activos industriales (EAM) en una planta manufacturera. El estudio aplica el Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM) para conocer el nivel de aceptación del sistema por parte de los usuarios y proponer acciones de mejora orientadas a incrementar la satisfacción y el nivel de servicio. Este antecedente aporta evidencia sobre la importancia de considerar la usabilidad y la aceptación del usuario final como criterios de diseño en sistemas web de mantenimiento, aspecto que se retoma en el presente proyecto al plantear interfaces basadas en diagramas interactivos.

Finalmente, el estudio publicado en [7] describe un proyecto que está enfocado en centralizar el mantenimiento mediante la aplicación de TPM a través de un diagnóstico que muestra las deficiencias en la planificación y la ausencia de un sistema de información centralizado. Este caso es relevante porque nos revela un problema similar al identificado en el presente proyecto sobre la dispersión de la información de mantenimiento y la necesidad de un sistema centralizado que permita su consulta y trazabilidad.

4.1.2 Antecedentes Nacionales

El trabajo desarrollado en [8] abordó la digitalización de los procesos de mantenimiento en la empresa Industria ILE mediante la integración de dispositivos IoT, bases de datos temporales y plataformas en la nube. A través de herramientas como Node-RED, InfluxDB y Grafana, la investigación logró optimizar la eficiencia operativa y acortar los tiempos de parada no programados. La implementación evidenció incrementos en la productividad de la maquinaria, mejoras en el control de calidad y una disminución efectiva de riesgos laborales, confirmando que la migración hacia esquemas digitales en el entorno industrial ecuatoriano constituye un paso viable y alineado a las exigencias de la Industria 4.0.

Por otro lado la investigación dada en [9] se centró en el desarrollo de un sistema web enfocado para el mantenimiento de equipos especializados en el sector público. La importancia de este estudio consiste en que el problema surgió en el contexto ecuatoriano, demostrando que la transición digital en la gestión de actividades técnicas no es solo una idea, sino una necesidad real que ha sido abordada por diversos sectores en todo el país.

El estudio desarrollado en [10] se basa en un objetivo similar, permitiendo directamente la automatización del mantenimiento con el incremento de la productividad de la fábrica. Que las universidades del país sigan investigando esta relación demuestra que el orden operacional es esencial para prevenir pérdidas en la línea de producción lo cual se justifica por la implementación completa de la aplicación web que proponemos en este proyecto.

4.2 BASES TEÓRICAS

4.2 ARQUITECTURA Y TECNOLOGÍAS WEB

4.2.1 Sistemas Web

Un sistema web es un tipo especial de aplicación cliente/servidor donde el navegador, el servidor y el protocolo con el que se comunican ya están estandarizados y no exigen que el programador los construya desde cero. El software se ejecuta directamente en el navegador sin instalación en el equipo del usuario lo que permite centralizar la base de datos y aplicar actualizaciones desde el servidor sin que nadie tenga que detener su trabajo ni pedir soporte técnico. Por esa razón la industria ha ido dejando atrás las aplicaciones de escritorio, reemplazándolas por entornos web que dan acceso inmediato a los datos desde cualquier punto de la red.

El desarrollo actual también se inclina por arquitecturas desacopladas en lugar de sistemas monolíticos. Bajo este esquema, el frontend y el backend funcionan como piezas independientes que se comunican exclusivamente mediante una API. Este tipo de separación ya se ha aplicado en sistemas de gestión por procesos, integrando un framework distinto para cada capa comunicados entre sí a través de la API [11]. Segmentar así la lógica de presentación y la persistencia de los datos vuelve al sistema más fácil de mantener y le permite responder con rapidez incluso bajo flujos de trabajo continuos.

4.2.2 Aplicaciones Web Empresariales

Las aplicaciones web empresariales son sistemas de software que están diseñados para dar soporte a los procesos de negocio de una organización mediante la centralización de la gestión de información y la automatización de tareas administrativas y operativas. Se caracterizan por la gestión de múltiples usuarios con roles diferenciados, la centralización de datos en una base de datos compartida, la trazabilidad de las operaciones y la integración con otros sistemas de la organización.

En [12] se describe el desarrollo de un sistema web utilizando frameworks modernos para la gestión de procesos como un caso de estudio que demuestra cómo las aplicaciones web empresariales permiten a las organizaciones formalizar, documentar y supervisar sus procesos internos a través de interfaces accesibles desde cualquier dispositivo.

4.2.3 Arquitectura Cliente-Servidor

El desarrollo de software hoy en día se basa en gran medida en el modelo de cliente-servidor. El concepto es simple: un cliente inicia el proceso al enviar solicitudes de servicios o recursos, mientras que el servidor procesa esas solicitudes y devuelve la respuesta correspondiente. Según [13] este mecanismo es fundamental para casi cualquier servicio de internet ya que permite que muchos usuarios consulten un almacén de datos centralizado al mismo tiempo. Su viabilidad técnica depende de acoplar de forma óptima las terminales, los servidores, los canales de red y los protocolos de comunicación.

La organización de estas capas se adapta a las exigencias del negocio. Puede variar entre una arquitectura simple de dos capas con comunicación directa entre el emisor y el receptor hasta esquemas de tres o más niveles que intercalan servidores específicos para aislar la lógica de negocio. Aunque [13] relaciona este enfoque con ventajas directas en términos de modularidad y escalabilidad de sistemas heterogéneos, también introduce complejidades en cuanto a costos de infraestructura y vulnerabilidades de seguridad.

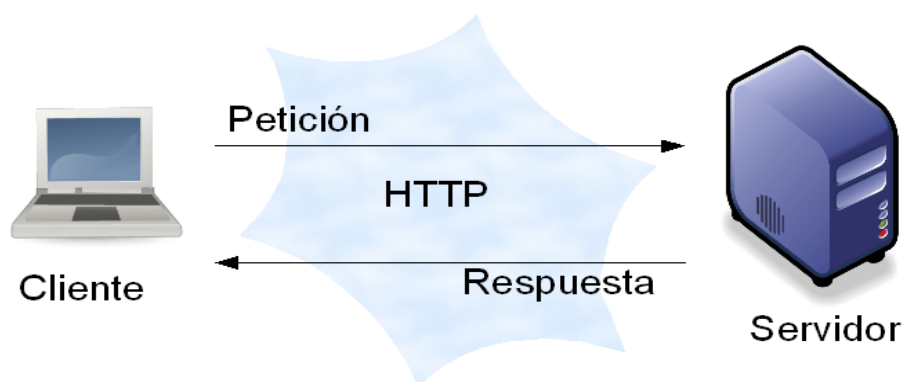


Figura 1 Esquema de comunicación cliente-servidor [14].

4.2.4 API REST

El concepto de API REST surge de la propuesta de Roy Fielding en el año 2000, planteada en su tesis de doctorado sobre el diseño de arquitecturas de software en red. Se trata esencialmente de un conjunto de principios de diseño destinados a estandarizar el intercambio de datos en la web. Según [15], una interfaz de programación de aplicaciones (API) se considera REST cuando cumple con restricciones clave como una clara separación entre cliente y servidor, una comunicación totalmente

sin estado (stateless), una estructura organizada por capas, una interfaz uniforme y, opcionalmente, la capacidad de transferir código ejecutable bajo demanda.

Actualmente, estas interfaces son la opción preferida para integrar sistemas debido a su versatilidad. Al apoyarse sobre el protocolo HTTP y estructurar sus respuestas habitualmente en formato JSON, garantizan una interoperabilidad casi inmediata con cualquier lenguaje de programación.

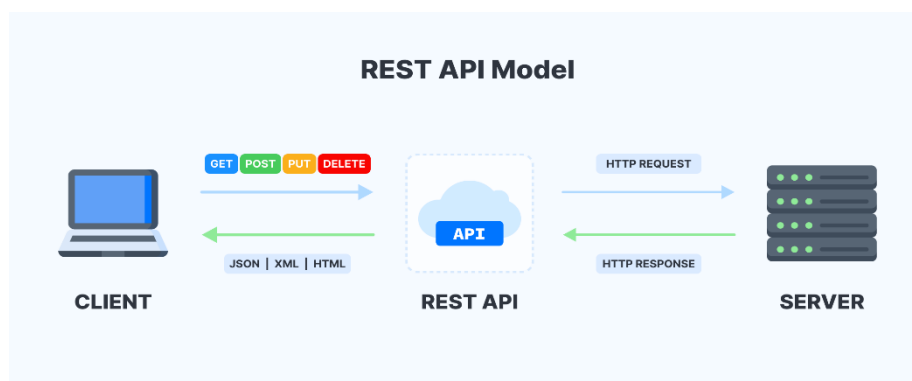


Figura 2 Modelo de arquitectura REST API [16].

4.2.5 Bases de Datos Relacionales

Durante décadas la industria ha utilizado el modelo relacional de Edgar Codd (1970) para estructurar su información. Lejos de almacenar registros de forma aislada, este sistema vincula los datos mediante tablas conectadas por claves primarias y foráneas. Este diseño simplifica la consistencia de los datos al normalizar las tablas, eliminar duplicados y permitir la generación de informes avanzados, así como cruzar datos mediante consultas SQL directas.

Este modelo de almacenamiento es esencial en entornos corporativos que requieren consistencia, trazabilidad y cruce de datos entre múltiples tablas. Para la gestión de mantenimiento esta estructura es ideal debido a las dependencias naturales de la información, cada equipo físico se vincula de manera única a una ficha técnica, acumula de forma secuencial diversos registros en su historial y se asocia a nodos específicos dentro de los diagramas de proceso del taller. De acuerdo con [17], PostgreSQL se distingue como uno de los gestores relacionales más robustos para este fin, proporcionando soporte para SQL estándar, gran escalabilidad y la estabilidad necesaria para manejar estas cargas de trabajo sin pérdida de información.

4.2.6 PostgreSQL

PostgreSQL se originó en Berkeley a mediados de la década de 1980 como un proyecto de motor objeto-relacional de código abierto. Según [18] lo describe como una de las opciones más robustas

para manejar grandes volúmenes de datos sin comprometer la estabilidad. Su fortaleza está en asegurar transacciones ACID y usar un control de concurrencia multiversión (MVCC). Este último mecanismo es fundamental porque permite que muchos usuarios hagan lecturas y escrituras al mismo tiempo sin bloquear la base de datos ni dañar la información en uso de ese momento.

El modelo relacional es muy eficaz para estructurar datos con jerarquías estrictas, como sucede al conectar un equipo con su historial y su ficha técnica. Para simplificar esta comunicación, los ORM como Prisma actúan como un puente para traducir automáticamente el código a tablas. Además [18] menciona que para formatos semiestructurados como JSONB aporta flexibilidad al esquema rígido tradicional. De esta forma, PostgreSQL es capaz de manejar consultas dinámicas y soportar un flujo de trabajo intenso y constante sin corromper los datos.

4.2.7 Seguridad y Control de Acceso

La autenticación sin estado (stateless) es clave para proteger servicios web sin comprometer el rendimiento. Los JSON Web Tokens (JWT) resuelven esto al empaquetar credenciales firmadas criptográficamente de manera compacta [29]. En lugar de un registro plano, un JWT une tres bloques de texto codificados en Base64URL mediante puntos. El primero (header) indica cómo se firmó el token; el del medio (payload) guarda los datos del usuario o claims, como su rol en el sistema; y el último (signature) sirve para contrastar que la información no haya sido alterada durante el viaje [19].

Este modelo prescinde de las clásicas sesiones en servidor. En lugar de saturar la memoria guardando estados, el backend simplemente valida la firma del token que recibe en cada petición HTTP y autoriza la acción al instante como la edición de fichas técnicas o la modificación de registros de mantenimiento [19]. Al omitir las consultas recurrentes para verificar la identidad del usuario, el sistema reduce la latencia en las solicitudes y agiliza el control de permisos en las rutas protegidas.

4.3 DESARROLLO DE SOFTWARE Y UX

4.3.1 Usabilidad

La usabilidad determina qué tan ágil e intuitiva resulta la interacción entre el usuario y una plataforma digital. Según se plantea en [20], un sistema alcanza esta condición si permite cumplir tareas concretas bajo criterios de eficacia, eficiencia y satisfacción dentro del entorno de trabajo real. En la práctica, estos pilares evalúan el logro de los objetivos, el consumo de tiempo o recursos requeridos durante el proceso, y la percepción final del operario frente a la herramienta.

Este factor cobra especial relevancia en entornos industriales. Allí, tanto técnicos de campo como supervisores necesitan consultar o ingresar datos de manera rápida para resolver contingencias en planta. Por ello, la integración de elementos como los formularios dinámicos o los diagramas interactivos de arrastrar y soltar debe responder a metodologías centradas en el usuario. Así se reduce la curva de aprendizaje inicial, asegurando que la interfaz dinamice las labores de mantenimiento sin ralentizar la rutina operativa.

4.3.2 Experiencia de Usuario (UX)

La Experiencia de Usuario abarca las reacciones, impresiones y nivel de respuesta de una persona al interactuar con un entorno digital. Existe una diferencia marcada con la usabilidad: mientras esta última mide la eficiencia técnica de la plataforma, la UX evalúa el factor humano, incluyendo la frustración, las expectativas y la comodidad del operador [21]. Ignorar estos aspectos en entornos industriales suele traducirse en un mayor margen de error y cansancio mental para el personal.

Diseñar software para la industria exige simplificar la complejidad operativa. En este módulo web que reúne fichas técnicas, historiales y diagramas interactivos se requiere una navegación ágil y respuestas visuales al instante frente a cada acción del usuario. Asimismo, la herramienta debe ajustarse a dos realidades distintas dentro de la planta: el técnico que revisa información de forma rápida desde un celular y el supervisor que analiza los datos desde un equipo de escritorio.

4.3.3 Metodologías de desarrollo de software

4.3.3.1 Metodologías Tradicionales

Los modelos tradicionales de ingeniería de software buscan controlar el proyecto dividiendo el ciclo de vida en fases rígidas y secuenciales. Quienes aplican este enfoque priorizan la documentación detallada y la planificación previa para mantener la gobernanza del sistema. Sin embargo, como advierte [22], esa misma rigidez vuelve vulnerable al equipo cuando los requisitos cambian a mitad de camino, dejando muy poco margen para reaccionar ante imprevistos.

Esta dificultad se nota en esquemas lineales como el modelo en cascada o el modelo en V. En ellos, las fases de análisis, diseño, código y pruebas avanzan en estricto orden; no se pasa a la siguiente etapa sin cerrar formalmente la anterior. Aunque este control aporta estructura, resulta problemático al hacer ajustes de último momento, pues obliga a rehacer documentación previa, lo que incrementa los costos y retrasa la entrega.

Por su parte, marcos como el Proceso Unificado de Rational (RUP) llevan el control documental a un nivel superior, exigiendo especificaciones muy detalladas desde el inicio. Si bien esta rigidez se justifica en proyectos de gran escala o bajo normas muy estrictas, en entornos cambiantes la burocracia técnica frena la capacidad de respuesta frente a soluciones que exigen mayor velocidad.

En definitiva, la limitación de los enfoques predictivos no es su falta de rigor, sino su baja flexibilidad frente a los cambios. Aunque ofrecen un entorno controlado y documentado, el ritmo de evolución del desarrollo de software ha puesto en evidencia sus barreras operativas, impulsando la adopción de esquemas ágiles centrados en la entrega incremental y la retroalimentación continua.

4.3.3.2 Metodologías Ágiles

Las metodologías ágiles nacen como respuesta directa a los tropiezos del desarrollo tradicional. En lugar de amarrarse a planes rígidos, este enfoque prioriza la adaptación rápida y el trabajo colaborativo. La base conceptual proviene del Manifiesto Ágil de 2001, referenciado en [23]. Este documento cambió el rumbo de la industria al poner por encima de la burocracia documental aspectos como el contacto frecuente entre las partes, la flexibilidad ante imprevistos y la autonomía de los programadores.

Bajo este esquema, el software deja de tratarse como un producto cerrado. Pasa a ser un desarrollo en evolución constante. Tal enfoque facilita ajustar requerimientos a mitad del camino sin paralizar el proyecto ni inflar los costos, algo crítico al trabajar en entornos con alta incertidumbre técnica.

Operativamente, la agilidad rompe los esquemas habituales. Los desarrolladores no esperan meses para mostrar un avance; liberan módulos funcionales de manera periódica para recibir retroalimentación real y corregir fallas a tiempo. A la par, el cliente se involucra activamente en la rutina de trabajo. Su papel es validar que cada avance responda a la realidad del negocio, evitando sorpresas al final.

Por otro lado, la planificación se fragmenta en iteraciones cortas. Si surge un cambio de última hora, el equipo lo integra sin necesidad de rehacer todo el plan inicial. Finalmente, la toma de decisiones se descentraliza. Las estructuras jerárquicas ceden paso a equipos autoorganizados donde la responsabilidad se comparte. En la práctica, esta forma de trabajo reduce los tiempos de entrega, aclara la comunicación interna y eleva la calidad técnica del producto final.

4.2.3.3 *Extreme Programming (XP)*

Dentro del abanico ágil, la Programación Extrema (XP) resalta por poner el foco en la disciplina técnica del código. Resulta idónea cuando los requerimientos son inestables o están incompletos. La premisa central de XP, tal como postula [24], consiste en empujar las mejores prácticas de ingeniería de software a su límite operativo. Con esto se busca que la arquitectura del sistema absorba cambios drásticos sin romperse, manteniendo una validación constante con el usuario final y protegiendo la calidad interna de la aplicación en cada ciclo.

A diferencia de otros marcos que dan recomendaciones de gestión, XP impone reglas técnicas estrictas. De acuerdo con el planteamiento de [24], el flujo de trabajo depende de cuatro prácticas de ingeniería fundamentales. En primer lugar, la programación en pareja exige que dos desarrolladores compartan pantalla y teclado para la misma tarea. Esta dinámica actúa como una revisión de código en tiempo real, lo que reduce fallos de lógica y acelera el aprendizaje dentro del equipo.

En segundo lugar, se aplica el desarrollo guiado por pruebas (TDD). Esto significa redactar las pruebas unitarias antes de escribir el código funcional, asegurando que el módulo cumpla la especificación técnica desde el primer momento. Por otra parte, la refactorización continua impide la acumulación de deuda técnica; los programadores simplifican la estructura y eliminan redundancias de forma permanente, sin esperar a que el código falle.

Finalmente, XP exige una integración continua del sistema. Los cambios de cada desarrollador se suben e integran en el repositorio central varias veces al día, detectando colisiones entre módulos de manera inmediata. Esta combinación de prácticas encaja bien en equipos pequeños o medianos donde la comunicación es directa. Al entregar iteraciones funcionales en plazos breves, XP permite validar cada avance con el cliente y ajustar el rumbo del proyecto con un control técnico riguroso.

4.2.3.4 *Scrum*

Scrum parte de una premisa clara: en proyectos de software complejos, la planificación detallada a largo plazo fracasa porque los requerimientos cambian de forma constante. Con base en lo señalado por [25], este marco prescinde de manuales procedimentales rígidos y organiza el trabajo mediante una estructura simple de roles, reuniones periódicas y herramientas de control. La meta práctica es dividir el desarrollo en ciclos fijos llamados sprints, garantizando la entrega continua de funcionalidades y una adaptación rápida frente a imprevistos.

Esta metodología se sostiene sobre tres pilares empíricos: la transparencia total en el estado de las tareas, la inspección constante del avance y la adaptación inmediata. Dichos principios permiten reaccionar con agilidad ante cualquier variación del entorno. Cada iteración con una duración habitual de dos a cuatro semanas debe cerrar obligatoriamente con un incremento de software funcional. Esto asegura validar las prioridades con los usuarios reales y ajustar la dirección del sistema sin perder tiempo.

A nivel operativo, el esquema de Scrum distribuye responsabilidades y actividades de forma muy concreta. Por un lado, la célula de trabajo divide sus funciones entre el Product Owner (quien prioriza las necesidades del negocio), el Scrum Master (encargado de remover bloqueos en el flujo) y el equipo de desarrollo (responsable directa de la construcción técnica).

Por otro lado, la rutina se coordina a través de eventos con propósitos definidos: la reunión de planificación al inicio del ciclo, sincronizaciones diarias breves para alinear al equipo, la sesión de revisión del producto frente a los interesados y la retrospectiva, enfocada en corregir fallas del proceso interno.

La trazabilidad del proyecto se gestiona mediante tres artefactos centrales. El Product Backlog funciona como la lista general de requerimientos; el Sprint Backlog delimita las tareas comprometidas para la iteración en curso; y el Incremento representa el resultado funcional acumulado. La ventaja de trabajar en estos bloques temporales es que reduce el riesgo operativo, permitiendo pivotar el rumbo de la aplicación al término de cada sprint sin malgastar recursos. Por esta razón, Scrum se ha afianzado en la industria como un estándar eficaz para gestionar desarrollos en entornos inestables.

4.2.3.5 Comparativa entre XP y Scrum

XP y Scrum comparten los mismos principios ágiles, pero atacan el problema del desarrollo desde ángulos opuestos. La cita [24] marca bien esta distancia: XP pone la lupa en la disciplina del código y la ingeniería, mientras Scrum se enfoca en coordinar al equipo mediante roles, eventos y artefactos de seguimiento.

La siguiente tabla sintetiza las diferencias operativas entre ambos marcos:

Tabla 4.1 Comparativa entre XP y Scrum

Característica	Extreme Programming (XP)	Scrum
Enfoque	Ingeniería de software	Gestión de proyectos
Tamaño del equipo	Pequeño (2–10 integrantes)	Mediano a grande (hasta 9–12 integrantes por equipo)
Adaptación al cambio	Alta, con retroalimentación constante del cliente	Moderada, cambios gestionados en cada sprint
Prácticas técnicas	TDD, refactorización, integración continua, programación en pares	No define prácticas técnicas específicas
Iteraciones	Muy cortas (1–2 semanas)	Sprints definidos (2–4 semanas)
Orientación	Calidad del código y satisfacción del cliente	Organización del trabajo y entrega incremental

Por esta razón, XP encaja mejor en grupos pequeños donde el código cambia a diario y la arquitectura técnica es la prioridad. Scrum, en cambio, responde mejor cuando el verdadero problema es ordenar el flujo de trabajo, alinear expectativas con el cliente y mantener entregas constantes en proyectos con más personas.

Al final, no compiten entre sí. XP da las reglas técnicas para escribir un software sólido; Scrum da la estructura organizativa para gestionar el proyecto. Saber diferenciar ambos enfoques ayuda a tomar la decisión correcta según los recursos y limitaciones de cada caso.

4.3.4 Tecnologías de desarrollo

En el desarrollo de software moderno, la arquitectura se divide en componentes especializados. La siguiente tabla define conceptualmente las tecnologías clave que estructuran estas plataformas:

Tabla 4.2 Tecnologías de desarrollo

Tecnología	Rol	Definición Conceptual	Ventaja Técnica Principal	Ref.
React + TypeScript	Frontend	Biblioteca de componentes con tipado estático.	Evita errores de datos antes de ejecutar el código.	[26]
NestJS	Backend	Framework modular para Node.js.	Organiza el servidor mediante inyección de dependencias.	[27]
Prisma ORM	Capa de datos	Traductor objeto-relacional (ORM).	Genera consultas automatizadas y seguras sin usar SQL manual.	[28]
PostgreSQL	Almacenamiento	Gestor de base de datos relacional (RDBMS).	Garantiza la integridad total de la información (normas ACID).	[18]
Vite	Entorno	Compilador y de servidor desarrollo.	Recarga y procesa el código del navegador casi al instante.	[29]

4.4 TRANSFORMACIÓN DIGITAL

El mantenimiento industrial conforma el conjunto de acciones técnicas destinadas a preservar la continuidad operativa de los activos físicos que integran la línea de producción. Como se señala en

[30], "el mantenimiento es un proceso continuo para garantizar que los componentes y las unidades de producción tengan una funcionalidad y un rendimiento óptimos para mantenerlos en buenas condiciones durante períodos de funcionamiento más prolongados".

Esta perspectiva transforma el mantenimiento en una estrategia activa frente a la degradación natural o forzada de la maquinaria. Dentro de nuestra propuesta tecnológica, este enfoque se materializa en la sistematización de las hojas de vida técnicas, permitiendo que el área operativa sustituya los registros manuales por un historial digitalizado, accesible y estructurado cronológicamente.

4.4.1 Características de la transformación digital

La transformación digital se caracteriza por integrar recursos tecnológicos que redefinen por completo la administración física dentro de una planta. Como se determina en [30], "La transformación digital de diversos procesos de mantenimiento, involucra recursos tecnológicos de innovación para la administración de activos para actividades preventivas y correctivas, lo cual facilita un estudio de información relacionados directamente con los activos".

Lejos de ser un simple cambio de herramientas este enfoque teórico se resume en la capacidad de suprimir o eliminar los registros de bitácoras físicas en el taller y los reemplaza con flujos de información integrados e instantáneos. En lo que respecta al presente proyecto esta transición influye directamente en la arquitectura de la aplicación web. Debido a la implementación del sistema, la planta da un salto significativo en cuanto a la adaptabilidad operativa de este modo los datos de las órdenes de trabajo ya no son estáticos y almacenados en carpetas y se transforman en recursos digitales listos para facilitar la toma de decisiones.

4.4.2 Diagramas Interactivos

Los diagramas interactivos permiten representar procesos y flujos de trabajo de forma dinámica. En lugar de limitarse a observar, el usuario toma un rol activo al desplazar elementos, seleccionar componentes, ampliar la vista o profundizar en distintos niveles de detalle, lo que facilita comprender cómo se relacionan y se afectan entre sí las partes de un sistema. En [31] se retoman los principios de interacción definidos por Shneiderman para la visualización de datos, según los cuales dicha interacción debe permitir al usuario, como mínimo, las operaciones de "vista general, zoom, filtro y selección".

En el ámbito web este concepto se aplica a un lienzo o canvas. En este cada nodo equivale a un equipo o subproceso dentro de la planta, mientras que las líneas de unión (aristas) nos indican la secuencia y las dependencias del taller. Al seleccionar cualquier nodo, se despliega su información técnica correspondiente transformando el gráfico en un panel de control dinámico para la gestión de los datos industriales.

4.4.3 Visualización de Información

La visualización de información consiste en representar datos de forma gráfica para poder facilitar su comprensión, análisis y comunicación. Dentro de un sistema de información industrial esto no se limita a tablas ni listados también incluye diagramas de proceso, mapas de activos, paneles de control y diagramas espaciales de equipos con los cuales permite al usuario comprender de un vistazo el estado del sistema y cómo se relacionan sus componentes entre sí.

Esta necesidad no es exclusiva del ámbito industrial, en [32] se sostiene que la visualización de información y conocimiento desempeña un papel fundamental en la comunicación de resultados de investigación ya que las representaciones gráficas permiten transmitir estructuras complejas que el texto por sí solo no logra expresar con la misma claridad. Aplicado a un sistema de mantenimiento este principio se traduce en reunir datos técnicos que de otro modo estarían dispersos (como fichas de equipos, historiales, estados operativos) en una representación única que el usuario puede recorrer sin perder de vista el conjunto.

4.5 MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

El mantenimiento industrial abarca todas las tareas técnicas que están enfocadas a prevenir paradas no planificadas en las líneas de producción. Como se explica en [33], se trata de "un proceso continuo para garantizar que los componentes y las unidades de producción tengan una funcionalidad y un rendimiento óptimos para mantenerlos en buenas condiciones durante períodos de funcionamiento más prolongados".

Esta perspectiva transforma el mantenimiento en una estrategia proactiva para combatir la degradación natural o forzada de la maquinaria. En nuestra propuesta tecnológica, este enfoque se traduce en la sistematización de los registros de mantenimiento lo que permite al área operativa sustituir las entradas de registros manuales por un historial digitalizado, accesible y estructurado cronológicamente.

4.5.1 Objetivos del mantenimiento industrial

Los objetivos de la gestión de equipos deben estar totalmente alineados con la rentabilidad de la empresa para reducir el impacto financiero provocados por paros no planificados en el taller. Como se detalla en las pautas técnicas [33], el objetivo principal de estas tareas es "aminorar costos y tiempos en la ejecución de los requerimientos" de las operaciones de la planta y, por lo tanto, controlar cualquier evento imprevisto que pudiera interrumpir la cadena de producción.

Este principio evidencia que la efectividad del mantenimiento no solo se basa de la reparación de fallas, sino también de la rapidez y la precisión de su gestión. La digitalización de los procesos permite reducir la burocracia interna y priorizar las máquinas esenciales para prevenir colapsos catastróficos en la línea de producción. En nuestra aplicación web, este principio de optimización se implementa mediante un módulo interactivo que permite al supervisor gestionar las órdenes de trabajo utilizando un sistema de prioridades jerárquico. Al centralizar y procesar los tiempos de intervención técnica a través de la base de datos PostgreSQL, el sistema no solo mide el rendimiento del personal también limita el desperdicio de material en el taller, transformando así la reducción de costos en un control operativo automatizado y auditable en tiempo real.

4.5.2 Importancia del mantenimiento industrial

Contar con un área de mantenimiento bien estructurado es fundamental ya que impacta directamente en la estabilidad financiera y operativa de cualquier empresa. Como demuestra la investigación [34], “Invertir en un departamento de mantenimiento sólido y bien administrado no solo garantiza la funcionalidad y seguridad del equipo, sino que también ayuda a mejorar la eficiencia operativa y alcanzar los objetivos comerciales”.

Desde este enfoque la relevancia de este proceso industrial radica en su habilidad para convertir la gestión correctiva e imprevista en un entorno de trabajo eficiente, predecible y controlado. En relación con esta propuesta tecnológica, dicha necesidad justifica plenamente el diseño de la interfaz de software. Al proporcionar a los administradores un canal informático centralizado, la planta obtiene los recursos necesarios para analizar y evaluar el desempeño del personal técnico y al mismo tiempo, prolongar la vida útil de la maquinaria pesada a través de un monitoreo adecuado.

4.5.3 Beneficios del mantenimiento industrial

Organizar de forma seria el control de los activos dentro de la planta trae beneficios prácticos desde el primer día, ya que ayuda a eliminar los cuellos de botella y permite que el personal trabaje mejor. Como se analiza en [35], la verdadera ventaja de un buen plan de trabajo es "tener una adecuada administración del estado de los equipos evitando paros inesperados no deseados" que alteren o detengan bruscamente la cadena de producción manufacturera.

Desde esta perspectiva, las ventajas intrínsecas del mantenimiento se potencian sustancialmente cuando se integran herramientas de software interactivas al flujo operativo. El impacto principal de esta transición se traduce en la eliminación definitiva de las bitácoras y registros en papel suelto. Al automatizar las fichas técnicas mediante formularios web interconectados, la planta no solo reduce drásticamente los errores de comunicación interna, sino que asegura que la información transaccional permanezca organizada, segura y lista para auditorías de calidad en tiempo real.

4.5.4 Gestión del Mantenimiento

Llevar adelante la gestión del mantenimiento significa asumir el rol administrativo de coordinar y guiar cada tarea orientada a conservar los activos físicos en sus mejores condiciones posibles. Esto asegura que cada equipo funcione alineado con los propósitos generales de la empresa. En este sentido, en [36] se define este proceso como “las actuaciones con las que la dirección de una organización de mantenimiento sigue una política determinada”. Con esto en mente, queda claro que la meta principal consiste en equilibrar el rendimiento de la maquinaria, recortando los tiempos muertos y los gastos operativos para empujar la productividad global hacia arriba.

Visto así, el mantenimiento no es más que la suma de tareas técnicas y administrativas pensadas para planear, ejecutar y revisar el cuidado de los equipos industriales, buscando que sigan siendo útiles, seguros y confiables durante toda su vida operativa. Dentro del marco de este proyecto, dicha lógica es el punto de partida para dar forma a una plataforma web. La idea central es reunir en un solo lugar toda la información de los sistemas electromecánicos; de esta manera se podrán controlar fichas técnicas, llevar el día a día de las reparaciones y agilizar la toma de decisiones con datos claros y actualizados al momento.

4.5.5 Objetivos de la gestión del mantenimiento

Es fundamental que las metas del departamento de mantenimiento se alineen de forma directa con la planeación estratégica de la empresa, logrando que cada tarea operativa aporte de verdad al éxito del negocio. Al respecto, en [36] se resalta que "los objetivos de mantenimiento deben estar acorde con los de la empresa y estos deben ser específicos y estar presentes en las acciones que realice el área". Del mismo modo, al analizar las variables críticas para la eficiencia de este departamento, la misma fuente destaca aspectos como "el incremento de la disponibilidad del equipamiento, la reducción de los costos de mantenimiento, y el incremento de la vida útil económica de los activos fijos" [36].

A partir de este enfoque conceptual, el autor sintetiza los propósitos fundamentales de la actividad en cinco pilares esenciales [36]:

- "Maximizar la productividad".
- "Minimizar los costos".
- "Obtener la calidad requerida".
- "Incrementar el ahorro energético".
- "Maximizar la seguridad e higiene".

Desde este punto de vista teórico, los objetivos del mantenimiento sirven como principio que orienta y da sentido a todos los esfuerzos por preservar la infraestructura de una planta industrial. Su adecuada implementación permite mitigar el impacto de las fallas mecánicas, optimizar la gestión de recursos, prolonga la vida útil de la maquinaria y garantiza entornos de trabajo seguros tanto para los operarios como para los procesos internos. En relación con este proyecto, esos objetivos justifican plenamente la creación de la plataforma web. Esta herramienta se diseñó para centralizar los flujos de información dentro del área además de estructurar los planes de acción con mayor claridad y proporcionar datos precisos, organizados y actualizados en tiempo real que contribuyan así directamente a la toma de decisiones estratégicas.

4.5.6 Funciones de la gestión del mantenimiento

La gestión del mantenimiento abarca todas las tareas administrativas y operativas esenciales para el buen funcionamiento de esta área en cualquier empresa. En este sentido, [36] destaca que "La gestión del mantenimiento abarca el cumplimiento de un conjunto de funciones: la planificación, la organización, la ejecución y el control". De acuerdo con esta fuente, estos pasos constituyen el núcleo

del proceso y representan el mecanismo ideal para coordinar los recursos humanos y materiales con la finalidad de garantizar la operatividad de la maquinaria.

Esta perspectiva teórica demuestra que el éxito del mantenimiento no depende de esfuerzos aislados, sino de un ciclo ordenado de fases interconectadas. Así, la planificación anticipa los pasos y los recursos; la organización distribuye la carga de trabajo; la ejecución implementa los planes; y el control evalúa la conformidad de los resultados con lo previsto. Aplicado al desarrollo de nuestro módulo web, este análisis convierte este ciclo en el pilar del diseño del sistema. La plataforma está diseñada para proporcionar soporte digital para cada una de estas fases, permitiendo a los usuarios planificar el mantenimiento futuro además de organizar la información técnica, mantener un historial de cada reparación realizada y realizar un seguimiento centralizado del historial completo de los equipos electromecánicos.

Tabla 4.3 Funciones de la gestión del mantenimiento

Función	Descripción
Planificación	Define las actividades, recursos y medios necesarios para ejecutar el mantenimiento de manera eficiente.
Organización	Distribuye y coordina los recursos humanos, materiales y financieros para alcanzar los objetivos establecidos.
Ejecución	Realiza las actividades de mantenimiento mediante personal propio, terceros o un modelo mixto.
Control	Comprueba que las actividades se desarrollen conforme a lo planificado y permite corregir desviaciones detectadas.

4.5.7 Importancia de la gestión del mantenimiento

Tradicionalmente, las empresas percibían el mantenimiento como un departamento aislado encargado de solucionar averías imprevistas, catalogándolo muchas veces como un gasto inevitable. Sin

embargo, hoy en día esta perspectiva ha cambiado radicalmente, consolidándose como una función estratégica imprescindible para la rentabilidad de cualquier organización industrial. En este sentido, en [36] se explica que “las organizaciones de mantenimiento actuales desempeñan un rol de vital importancia, debido a que el incremento de los niveles de automatización en las empresas exige de una mayor disponibilidad, fiabilidad y seguridad de los activos fijos”. Bajo este panorama, en la misma investigación se advierte que la ausencia de una estrategia integrada dificulta el control de las operaciones y la medición del desempeño, elementos indispensables si se desea alcanzar la mejora continua. Por lo tanto, “cumplir con el ciclo de gestión del mantenimiento... ofrecería ventajas en términos de disponibilidad técnica del equipamiento productivo” [36].

Esta evolución demuestra que una gestión organizada es la única vía para transformar un entorno lleno de fallas imprevistas en un proceso predictivo, controlado y eficiente. En lo que respecta a este proyecto, dicha necesidad justifica por completo el desarrollo de la plataforma web. Dado que las exigencias actuales obligan a responder de forma inmediata, depender de registros manuales o archivos dispersos resulta obsoleto. El sistema web propuesto se convierte en una herramienta clave porque centraliza la información técnica de los equipos electromecánicos, facilita el registro de las intervenciones y proporciona un flujo de datos confiable en tiempo real, garantizando la continuidad de las operaciones y respaldando la toma de decisiones estratégicas.

4.5.8 Tipos de Mantenimiento

4.5.8.1 *Mantenimiento correctivo*

El mantenimiento correctivo se enfoca en reparar las fallas a medida que van apareciendo en la maquinaria. Al respecto, en [37] se señala que “El sistema o equipo es utilizado hasta que se produce algún fallo, ahí es donde interviene el mantenimiento para subsanar dicho fallo y volver a poner el equipo o sistema en marcha. Una de las ventajas que presenta este tipo de mantenimiento es que las inversiones a realizar son mínimas.”

4.5.8.2 *Mantenimiento preventivo*

Según [37] el mantenimiento preventivo “tiene el objetivo de asegurar el correcto funcionamiento de los equipos y sistemas realizando una serie de intervenciones programadas a intervalos fijos en los puntos en los que el encargado de mantenimiento crea oportunos. Este tipo de mantenimiento es de carácter sistemático”.

4.5.8.3 Mantenimiento predictivo

Respecto al mantenimiento predictivo, en [38] se menciona que este enfoque debe ejecutarse mediante “la recopilación y la interpretación de datos estadísticos que estos a su vez permiten anticipar o detectar cuando se va a dar un fallo en las maquinarias o equipos mediante valores anómalos y mediante esto se puede dar un reemplazo de algún componente antes de que se produzca la avería”.

4.5.9 Historial de Mantenimiento

El historial de mantenimiento consiste en la bitácora cronológica de cada intervención aplicada a una máquina desde que ingresa al taller. Más allá de un registro formal, este archivo condensa la información operativa clave de cada trabajo: fecha de ejecución, tipo de servicio, técnico a cargo, repuestos sustituidos, costo incurrido y observaciones finales. Asimismo, detalla el diagnóstico de fallas críticas, el tiempo que el equipo permaneció fuera de servicio y el procedimiento aplicado para corregir la avería.

Contar con esta trazabilidad bien armada cambia por completo el juego en la planta. En primer lugar, ayuda a detectar de inmediato qué fallas se están repitiendo más de la cuenta; también da argumentos reales para decidir si conviene más comprar un activo nuevo o seguir reparando el viejo, facilita programar los mantenimientos preventivos usando datos reales de campo y sirve de escudo ante auditorías o controles de calidad rigurosos. Justamente, en [37] se señala que “la gestión de mantenimiento contribuye a aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos precisamente a través del registro continuo y el análisis de los datos históricos de mantenimiento”.

4.6 EQUIPOS ELECTROMECAÑICOS

En cualquier planta industrial, los equipos electromecánicos son el motor del proceso, ya que amalgaman la parte eléctrica con la mecánica para mover, controlar o transformar energía. Por eso, descuidar su estado es sinónimo de parar la producción. Analizando este panorama, en [39] se advierte que "este mantenimiento enfrenta desafíos como la obsolescencia tecnológica, la falta de personal calificado y los altos costos asociados a las intervenciones preventivas y correctivas, factores que afectan directamente la disponibilidad y confiabilidad de los equipos".

Cuando miramos la realidad de las pequeñas y medianas empresas, elementos cotidianos como motores, compresores, bombas y sistemas hidráulicos son los que sostienen el negocio en el día a día.

Al depender tanto de ellos, es una obligación hacerles chequeos constantes y llevar un control estricto de cada reparación. El verdadero problema aquí y lo que buscamos solucionar con este proyecto es que casi ninguna de estas plantas tiene fichas técnicas en digital ni un historial ordenado, dejando toda la gestión amarrada a papeles que se terminan perdiendo.

4.6.1 Gestión de Activos Industriales

La gestión de los activos industriales es el proceso de administrar activos físicos de una organización a lo largo de su ciclo de vida con el objetivo de incrementar su valor y rendimiento. Tal como se define en [5] la gestión de activos representa un proceso que busca dar solución a demandas y exigencias de mercados y a las partes interesadas en un entorno económico altamente competitivo donde la excelencia en los procesos clave es esencial.

En el ámbito industrial, los activos físicos incluyen maquinaria, equipos electromecánicos, instalaciones y sistemas de producción. El ciclo de vida de un activo abarca desde su adquisición, operación, mantenimiento y actualizaciones, hasta su eventual desmantelamiento. Un sistema de gestión de activos que integra fichas de datos, historial de mantenimiento y visualización de procesos permite la toma de decisiones basada en datos con respecto a la priorización de recursos, la planificación de intervenciones y el reemplazo oportuno de equipos.

4.6.2 Fichas Técnicas de Equipos

Una ficha técnica es un documento que describe el funcionamiento y los componentes de fabricación de un equipo, material o sistema. En el contexto industrial, constituye el instrumento de referencia técnica de cada activo, reuniendo en un único soporte los datos esenciales para su identificación, operación y mantenimiento. Los elementos fundamentales que debe contener una ficha técnica de equipo incluyen: código de identificación, descripción del equipo, marca y modelo, fecha de instalación, ubicación, especificaciones técnicas (potencia, voltaje, capacidad, dimensiones), proveedor, y observaciones relevantes.

Al respecto, en [5] se establece que la información básica con la que se debe disponer sobre las máquinas es su "identificación (código), ubicación, fecha de instalación, estado o condición, información técnica, historia del equipo (fallas registradas y tipo de fallas) y programa de mantenimiento, herramientas especiales y procedimientos de seguridad". Llevar este registro a un entorno digital permite centralizar todos estos datos pesados, facilitando que cualquier consulta desde

un punto autorizado sea inmediata y logrando conectar directamente la ficha técnica con el historial de reparaciones de cada activo.

5. METODOLOGÍA

5.1 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación utiliza un **enfoque mixto** (cualitativo y cuantitativo) para combinar la recolección de necesidades en campo con la medición del rendimiento del sistema. La parte cualitativa busca entender el proceso de mantenimiento a través de observaciones directas y entrevistas semiestructuradas al personal de mantenimiento. Este diagnóstico inicial permite identificar las falencias del proceso actual y levantar las historias de usuario necesarias para el desarrollo del módulo web mediante la metodología XP.

Por su parte, el componente cuantitativo se enfoca en la estructuración de la información técnica (fichas, registros de trabajo e historiales) y en la evaluación final del software. La validación de la herramienta se apoyará en un criterio de expertos que responderán cuestionarios bajo la escala de Likert y el test de usabilidad SUS (System Usability Scale). Dichos datos se organizarán en Microsoft Excel para su procesamiento estadístico, determinando la usabilidad de la plataforma y el contraste de la hipótesis.

5.2 TIPOS DE INVESTIGACIÓN

5.2.1 Investigación aplicada

La investigación aplicada se orienta a utilizar los conocimientos obtenidos para atender una problemática concreta mediante el desarrollo de una solución tecnológica. En el presente trabajo, este tipo de investigación se empleará para desarrollar un módulo web destinado a mejorar la organización de la información técnica y los registros de mantenimiento de los equipos electromecánicos de la empresa INPLÁSTICO.

5.2.2 Investigación bibliográfica

La investigación bibliográfica permitirá fundamentar el proyecto mediante la revisión de literatura especializada en gestión de mantenimiento industrial, equipos electromecánicos, diagramas interactivos, metodologías ágiles y desarrollo web. Este proceso consiste en la recopilación

sistemática de fuentes documentales (artículos científicos, libros, tesis y normas técnicas) para construir el marco conceptual y sustentar el enfoque del estudio [40].

La información obtenida servirá de base para guiar la lógica y el diseño del módulo web. Asimismo, las referencias consultadas se administrarán a través del gestor bibliográfico Zotero con el fin de mantener el orden y la trazabilidad de las citas en el documento.

5.2.3 Investigación de campo

La investigación de campo se caracteriza por la recolección de datos primarios en el lugar donde ocurren los hechos, permitiendo estudiar la realidad operativa sin alterar el entorno habitual de trabajo [41]. Este tipo de indagación resulta fundamental para comprender el comportamiento de los procesos directos, la interacción del personal con la maquinaria y las deficiencias presentes en la rutina diaria.

En el marco de esta tesis, la investigación de campo se ejecutará mediante visitas a las instalaciones de la empresa INPLÁSTICO para analizar la gestión del mantenimiento y la operación de los equipos electromecánicos. Durante estas jornadas se aplicará la observación directa sobre los activos y se realizarán entrevistas al personal del área. De este modo, la información recopilada permitirá documentar el flujo de trabajo actual, registrar las especificaciones técnicas del equipamiento y definir los requerimientos funcionales que guiarán el desarrollo del módulo web.

5.2.4 Investigación descriptiva

La investigación descriptiva tiene como objetivo detallar la estructura y propiedades de un fenómeno o población determinada, caracterizando situaciones, eventos y procesos de manera sistemática [42]. Su enfoque principal radica en representar la realidad observada en su entorno natural, lo que permite registrar patrones operativos y definir variables clave sin modificar ni manipular las condiciones existentes durante el estudio [43].

En el contexto de esta tesis, la investigación descriptiva se aplicará para detallar la situación actual de la gestión de mantenimiento en la empresa INPLÁSTICO, analizando cómo se registra, organiza y consulta la información técnica de los equipos electromecánicos. A su vez, servirá para especificar las características del módulo web, abarcando la gestión de fichas técnicas, el registro de mantenimientos y la visualización de procesos mediante diagramas interactivos. De este modo, se documentará la problemática del taller y se definirán las funcionalidades de la solución tecnológica, sin alterar el funcionamiento normal de las instalaciones durante el estudio.

5.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

5.3.1 Método analítico

De acuerdo con [44], el método analítico consiste en descomponer un fenómeno o problema en sus partes constitutivas para examinar cada elemento de manera independiente y comprender su naturaleza.

Mediante el método analítico se examinarán por separado los componentes que intervienen en la gestión del mantenimiento. A partir de las observaciones, entrevistas y la revisión bibliográfica, se evaluarán el flujo actual de trabajo, las características del equipamiento y las necesidades del personal. Este desglose facilitará la identificación de los requerimientos funcionales que deben integrarse en la plataforma.

5.3.2 Método sintético

Según señala [45], el método sintético se encarga de integrar los elementos previamente analizados para obtener una visión global y coherente del objeto de estudio.

El método sintético permitirá articular la información reunida en las distintas etapas del estudio. Al integrar los hallazgos del marco teórico con los datos del trabajo de campo, se consolidarán las especificaciones técnicas del sistema, dando paso a una arquitectura de software alineada a las necesidades reales del taller.

5.3.3 Método inductivo

Tal como se menciona [46], el método inductivo parte de la observación de casos o situaciones particulares para establecer conclusiones o criterios de carácter general.

A través del método inductivo se interpretará la información técnica y operativa recogida en planta. Partiendo de casos y eventos particulares del mantenimiento diario reportados por los técnicos, se generarán criterios generales para guiar la lógica del módulo web y estructurar las pruebas de validación de la herramienta.

5.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

La recopilación de la información empírica y el levantamiento de los requerimientos en el entorno operativo se estructuraron mediante la selección combinada de técnicas de campo e instrumentos

específicos. Este enfoque metodológico garantizó la validez, consistencia y trazabilidad de los datos de entrada requeridos para modelar el comportamiento del módulo web de mantenimiento.

5.4.1 Revisión bibliográfica

La revisión bibliográfica posibilitará la recolección de literatura científica vinculada con la gestión del mantenimiento industrial, las metodologías ágiles, la esquematización de procesos y las arquitecturas web. La información recopilada conformará el soporte teórico de la investigación.

- **Instrumento:** Fichas bibliográficas.

5.4.2 Entrevista semiestructurada

Esta técnica se aplicará con el fin de diagnosticar la gestión operativa del mantenimiento en la empresa e identificar las necesidades del sistema. Permitirá obtener detalles clave sobre el registro de trabajos, fichas técnicas y manejo de historiales.

- **Informante clave:** Ing. Gonzalo Vizuite.
- **Instrumento:** Guía de entrevista semiestructurada.

Las preguntas orientadoras comprenderán:

- ¿Cómo registran actualmente el mantenimiento?
- ¿Cómo controlan las órdenes de trabajo?
- ¿Qué información contiene una ficha técnica?
- ¿Qué dificultades existen para consultar el historial?
- ¿Cómo identifican un equipo?
- ¿Qué problemas presentan los planos actuales?
- ¿Qué funcionalidades consideran necesarias?
- ¿Cómo realizan la planificación del mantenimiento?

5.4.3 Observación directa

La observación directa se llevará a cabo en el área operativa para levantar la información técnica de la maquinaria electromecánica, insumo que nutrirá las fichas técnicas del módulo web.

- **Instrumento:** Ficha de observación técnica.

Los datos a recolectar abarcarán:

- Marca.

- Modelo.
- Número de serie.
- Parámetros eléctricos.
- Ubicación del equipo.

5.5 TÉCNICAS ESPECÍFICAS E INSTRUMENTOS DE DESARROLLO

5.5.1 Validación de expertos

Consiste en la evaluación del sistema por parte de un panel de profesionales seleccionados por su trayectoria en ingeniería industrial, mantenimiento electromecánico y desarrollo de software. Este grupo examina el módulo web enfocándose en la estructura de datos, la fluidez de navegación, la aplicabilidad en taller y el impacto operativo. La recolección de los criterios técnicos se realiza mediante un cuestionario estructurado en escala de Likert de cinco niveles, que van desde totalmente en desacuerdo hasta totalmente de acuerdo [47].

- **Instrumento:** Cuestionario con escala de Likert.

5.5.2 System Usability Scale (SUS)

Es un instrumento estandarizado aplicado para evaluar la experiencia de usuario y la facilidad de uso de la plataforma interactiva. Consta de diez ítems que procesan la usabilidad percibida sobre una escala global de 0 a 100 puntos, lo que permite clasificar el nivel de adopción e interacción con el entorno web [48].

- **Instrumento:** Cuestionario System Usability Scale (SUS).

5.5.3 En V de Aiken

Es un método estadístico utilizado para medir la validez de contenido de los cuestionarios aplicados mediante el consenso del panel de expertos. Esta técnica cuantifica el grado de acuerdo entre evaluadores sobre la claridad y pertinencia de los ítems [54]. La prueba procesa las respuestas obtenidas en la escala Likert de cinco niveles mediante la fórmula:

$$V = \frac{\sum S}{n(c - 1)}$$

Donde $S = r - 1$ (siendo r la calificación del experto), n representa la cantidad de evaluadores ($n = 4$) y c el número de opciones de la escala ($c = 5$). Los valores resultantes oscilan entre 0 y 1, donde las puntuaciones más altas confirman la consistencia interna y validez de los reactivos del instrumento [49].

- **Instrumento:** Hojas de cálculo de Microsoft Excel.

5.5.4 Metodología XP

Es un marco de trabajo ágil centrado en la adaptación rápida a los cambios y la entrega continua de software funcional. Se enfoca en estructurar el trabajo en iteraciones cortas para construir el sistema a partir de las necesidades prioritarias identificadas con el usuario.

- **Instrumento:** Historias de usuario, Product Backlog.

5.5.4.1 Historias de usuario

Las historias de usuario representan un recurso ágil para capturar requerimientos funcionales desde la perspectiva del usuario final. Según [50], se redactan en un formato sencillo que sigue la estructura “*Como [rol], quiero [funcionalidad] para [beneficio]*”. Este enfoque permite que las necesidades se expresen de manera clara y comprensible, facilitando la organización del trabajo en iteraciones dentro de Extreme Programming (XP) y asegurando que cada funcionalidad aporte valor real al sistema.

En el desarrollo del presente proyecto, las historias de usuario van a ser el mecanismo principal para identificar y organizar los requerimientos funcionales. Cada una describió una necesidad específica, lo que permitió planificar las funcionalidades que se implementarían en cada iteración de XP. A partir de estas historias se construyó el Product Backlog, que sirvió como base para priorizar y desarrollar progresivamente los módulos del sistema de mantenimiento industrial.

Tabla 5.1 Modelo para las historias de usuario

Historia de Usuario			
Puntos de Historia		Usuario	
Prioridad		Iteración asignada	
Descripción			
Criterios de aceptación			
Definición de hecho			
Programador responsable			

5.5.4.2 Product Backlog

El Product Backlog se define como el listado prioritario donde se agrupan los requerimientos funcionales del sistema. Cada elemento de este registro nace de las historias de usuario obtenidas durante las reuniones con el responsable de mantenimiento, organizándose según su urgencia técnica y el ciclo de trabajo asignado. Este instrumento sirve para estructurar el avance del proyecto, estableciendo el orden exacto en que se van a programar las tareas de acuerdo con la dinámica que exige la metodología XP.

Tabla 5.2 Formato Product Backlog

ID	ID HU	Historia de Usuario	Prioridad	Puntos de historia

5.5.5 Programación por pares

Es una técnica operativa de desarrollo donde dos programadores trabajan de forma conjunta en la misma estación de trabajo. Mientras un desarrollador escribe la lógica del código en el frontend o backend, el otro analiza la sintaxis, detecta errores al momento y sugiere optimizaciones en la estructura.

- **Instrumento:** Tabla de iteraciones.

5.5.5.1 Iteration Planning

La planificación de iteraciones permite desglosar las historias de usuario en tareas específicas, estimar el esfuerzo y asignar responsables.

Tabla 5.3 Formato Iteracion planning

ID	Historia	Tarea	Horas	Responsable	Estado

5.5.5.2 Pruebas manuales

Las pruebas manuales permiten validar el comportamiento funcional del sistema desde la perspectiva del usuario, asegurando que las funcionalidades respondan a los requerimientos iniciales.

Tabla 5.4 Formato Pruebas Manuales

N° Caso de Prueba		N° de Historia de Usuario		N.º de iteración	
Usuario					
Objetivo de la prueba					
Descripción					
Condiciones de entrada					
Entrada	Resultado esperado	Resultado obtenido	Estado	Evidencia	

5.5.6 Justificación de la selección de XP para el proyecto

La decisión de implementar Extreme Programming (XP) en este proyecto surge directamente de la inestabilidad de los requisitos y de la necesidad de proporcionar un software técnicamente impecable. En un módulo web orientado a la gestión de mantenimiento industrial, las fallas de lógica y la burocracia documental tienen un impacto directo en la operación de planta. La elección de XP responde a esta exigencia: reemplaza la planificación rígida por un flujo iterativo capaz de absorber cambios inmediatos sin desestabilizar la arquitectura de la aplicación.

Esta decisión se respalda en dos aspectos operativos concretos. Por una parte, la escala reducida del equipo de desarrollo permite aplicar prácticas de ingeniería estrictas como TDD y programación en pareja. Al trabajar en conjunto y redactar pruebas unitarias antes del código funcional, la revisión es constante y la detección de errores ocurre en tiempo real. Por otra parte, la ejecución de iteraciones cortas facilita mostrar avances funcionales al personal de mantenimiento en plazos breves. De este modo, la retroalimentación del usuario final ajusta el sistema a las necesidades operativas reales del taller antes de liberar la versión final.

Al final, XP se justifica por sí sola al aportar el equilibrio exacto que este módulo requiere, la flexibilidad necesaria para ajustar el rumbo ante cualquier imprevisto técnico y el rigor de ingeniería indispensable para asegurar un producto final robusto, eficiente y de alta calidad.

5.5.7 Valores de XP aplicados al proyecto

Durante el desarrollo se aplicarán los cinco principios de Extreme Programming (XP): comunicación, simplicidad, retroalimentación, valentía y respeto [51]. Lejos de tratarse de teoría rígida, aplicamos estos valores en el día a día para coordinar las tareas del equipo, asegurar que el código sea limpio y reaccionar sin retrasos ante cualquier cambio imprevisto en los requerimientos.

Tabla 5.5 Aplicación de los valores XP en el proyecto

Valor de XP	Aplicación en el proyecto de mantenimiento industrial
Comunicación	Se mantendrá comunicación continua con el Ing. Gonzalo Vizuite para definir requerimientos, validar funcionalidades y realizar ajustes conforme avanzó el desarrollo.
Simplicidad	El desarrollo se enfocó primero en las funciones básicas del taller. Se evitó programar herramientas innecesarias y solo se añadieron extras cuando el proceso lo exigía.
Retroalimentación	Cada revisión permitió identificar mejoras en la interfaz, permisos, diagramas interactivos y gestión de la información técnica, integrando la opinión del responsable de mantenimiento.
Valentía	Se realizarán modificaciones cuando sea necesario en la arquitectura y en módulos como el Canvas para mejorar su funcionamiento, aun cuando implicó refactorizar código previamente desarrollado.
Respeto	Se considerarán las observaciones del responsable del área de mantenimiento y se respetaron las necesidades operativas de los futuros usuarios del sistema.

5.6 FASES DEL DESARROLLO (XP)

Según postula [52], el ciclo de vida en XP opera de forma iterativa e incremental para liberar software de alta calidad con un ritmo constante y flexible ante variaciones. A diferencia de los esquemas lineales, este enfoque integra la totalidad de las fases de desarrollo dentro de cada ciclo comenzando en la planificación y concluyendo en la entrega, lo cual facilita corregir la dirección del proyecto a partir de la retroalimentación y los requerimientos que vayan surgiendo.

5.6.1 Planificación

La etapa de planificación arranca con una serie de reuniones junto al Ing. Gonzalo Vizuite, responsable del proyecto, para levantar los requerimientos iniciales. En estos encuentros se busca identificar las necesidades centrales del sistema, como el registro de equipos, las fichas técnicas, el historial de mantenimiento y la parte gráfica de los procesos industriales; todo esto con el fin de dejar claro el alcance de la primera versión.

Con esa base establecida, la estrategia consiste en traducir esas necesidades técnicas en historias de usuario, lo que permitirá armar la lista de tareas pendientes (Product Backlog) y organizar los ciclos de trabajo que van a guiar todo el desarrollo.

5.6.2 Diseño

La fase de diseño se enfoca en estructurar la arquitectura general del sistema web con base en los requerimientos previos. El trabajo se plantea bajo un modelo cliente-servidor, donde se define el diseño de la base de datos, la distribución de las interfaces y la organización de los módulos de la aplicación. Asimismo, la estrategia incluye trazar el flujo de navegación y la conexión entre los componentes del software, buscando un orden que simplifique la programación y deje el sistema listo para recibir futuras mejoras sin tener que rehacer el código.

5.6.3 Codificación

La fase de codificación se plantea para construir de forma progresiva las funciones definidas en la etapa de planificación. El desarrollo del código se planifica de manera incremental, de modo que cada módulo se va integrando según los ciclos de trabajo que marca la metodología XP. Asimismo, la estrategia contempla que en esta etapa se puedan sumar cambios o ajustes que surjan de las revisiones técnicas y de la retroalimentación recibida; esto ayuda a mantener estable el sistema y facilita su adaptación si aparecen nuevas necesidades sobre la marcha.

5.6.4 Pruebas

La fase de pruebas se plantea para verificar el comportamiento del software a través de pruebas funcionales a lo largo del desarrollo. Cada ciclo de trabajo permite comparar el avance real con los requerimientos iniciales, lo que ayuda a detectar y corregir fallas antes de pasar a la siguiente iteración. De igual forma, las observaciones obtenidas en esta etapa sirven para hacer los ajustes necesarios en el código, asegurando que el sistema responda correctamente y quede bien pulido.

5.7 POBLACIÓN Y MUESTRA

5.7.1 Población

La población objeto de estudio para esta investigación se delimitó a partir de dos universos específicos que coexisten dentro del entorno industrial evaluado, correspondiendo directamente a los elementos humanos y físicos que interactúan con la gestión del mantenimiento:

Población Humana: Constituida por la totalidad del personal adscrito al área de mantenimiento industrial del taller que participa directamente en el flujo operativo. Este grupo está integrado por el Ing. Gonzalo Vizuite en calidad de encargado y planificador (rol de Supervisor en la plataforma web), y por los 2 técnicos operativos responsables de ejecutar las tareas en el campo (rol de Técnico), sumando un universo humano total de 3 personas.

Población Física: Conformada por el 100% de los activos y equipos electromecánicos críticos identificados durante el levantamiento en la empresa INPLASTICO correspondiente a un total de **34 equipos**, los cuales requieren el control de fichas técnicas, historiales de mantenimiento y registro de intervenciones preventivas, correctivas y predictivas. Entre estos se incluyen motores eléctricos, tableros eléctricos, variadores de frecuencia, bombas hidráulicas, cilindros, PLC, transportadores y demás componentes asociados a los procesos industriales.

5.7.2 Muestra

Para la selección de la muestra no se emplearon fórmulas estadísticas ni criterios de muestreo probabilístico, debido a que el tamaño de ambos universos es pequeño, acotado y perfectamente accesible para el investigador. Por lo tanto, se adoptó un enfoque de muestra censal, el cual determina que se trabaja de forma directa con la totalidad de los elementos que integran la población.

La muestra quedó constituida exactamente por los 3 beneficiarios directos del departamento de mantenimiento de INPLASTICO (el encargado del área y los 2 técnicos de campo), en conjunto con el total de los activos electromecánicos críticos inventariados durante la fase de observación técnica. Cabe señalar que la optimización de los datos de estos activos genera un impacto positivo indirecto sobre los 350 usuarios finales que dependen de la continuidad operativa de la planta para evitar paradas imprevistas en la producción.

5.8 RECURSOS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Para que las herramientas de desarrollo funcionen sin problemas, la plataforma requiere una base técnica bien estructurada desde la planificación. El objetivo de combinar estos equipos y programas es asegurar que la parte visual, el servidor y el almacenamiento de datos funcionen sin problemas. Con esto en mente, las siguientes tablas detallan las características de las laptops utilizadas y el catálogo de herramientas del proyecto.

5.8.1 Equipos Utilizado

Tabla 5.6 Especificaciones del primer dispositivo

PRIMER DISPOSITIVO	
Marca	DELL
Modelo	Dell G15 5515
Procesador	AMD Ryzen 7 5800H with Radeon Graphics (3.20 GHz)
RAM	16,0 GB
Tarjeta gráfica	NVIDIA GeForce RTX 3050 Ti Laptop GPU (4 GB) AMD Radeon(TM) Graphics (496 MB)
Almacenamiento	477 GB
Tipo de sistema	Sistema operativo de 64 bits, procesador x64
Sistema operativo	Windows 11 Home
Versión	25H2

Tabla 5.7 Especificaciones del primer dispositivo

SEGUNDO DISPOSITIVO	
Marca	Acer
Modelo	Aspire E5-475
Procesador	Intel(R) Core(TM) i5-7200U CPU @ 2.50GHz 2.71 GHz
RAM	12,0 GB
Tarjeta gráfica	Intel(R) HD Graphics 620 (128 MB)
Almacenamiento	1.14 TB

SEGUNDO DISPOSITIVO	
Tipo de sistema	Sistema operativo de 64 bits, procesador x64
Sistema operativo	Windows 10 Home Single Language
Versión	22H2

5.8.2 Tecnologías y herramientas de desarrollo

Tabla 5.8 Tecnologías y herramientas de desarrollo

Nº	Gráfica	Nombre	Versión	Descripción
1		TypeScript	5.9.3	Lenguaje seleccionado para programar el frontend y backend de la aplicación.
2		PostgreSQL	18	Motor elegido para almacenar la información de los equipos e historiales.
3		Visual Studio Code	1.128.0	Entorno seleccionado para la escritura y depuración del código fuente.
4		GitHub	2.49.0	Plataforma para el control de versiones y respaldo del código en la nube.
5		HTML5	HTML5	Estándar que se utilizará para estructurar las interfaces de la plataforma.

N°	Gráfica	Nombre	Versión	Descripción
6		CSS3	CSS3	Herramienta para gestionar el diseño visual y la adaptabilidad de las pantallas.
7		JavaScript	v22.19.0	Lenguaje complementario para el manejo de eventos en el navegador.
8		Node.js	v22.19.0	Entorno base requerido para ejecutar los servicios y herramientas del backend.
9		Figma	v2.0	Software planeado para el diseño previo de los prototipos visuales.

5.8.3 Frameworks y librerías

Tabla 5.9 Frameworks y librerías

N°	Framework / Librería	Función
1	React	Construir la interfaz de usuario interactiva del sistema.
2	NestJS	Programar la lógica del servidor, módulos y servicios del backend.
3	Prisma ORM	Conectar el backend con la base de datos PostgreSQL.
4	Vite	Compilar, ejecutar y optimizar el rendimiento del frontend.

N°	Framework / Librería	Función
5	Tailwind CSS	Diseñar y estructurar los estilos visuales de las pantallas.
6	React Router DOM	Controlar las rutas y la navegación interna de la aplicación.
7	Axios	Conectar las peticiones del frontend con la API del servidor.
8	Socket.IO	Manejar el envío de datos y alertas en tiempo real.
9	Passport JWT	Gestionar la seguridad y protección de accesos mediante tokens.
10	bcrypt	Cifrar las contraseñas de los usuarios en la base de datos.
11	class-validator	Validar que los datos ingresados al backend sean correctos.
12	class-transformer	Moldear y mapear la estructura de datos que recibe la API.
13	Nodemailer	Servicio planeado para envío de notificaciones por correo.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

6.1.1 Resultados de la entrevista semiestructurada

La entrevista semiestructurada sirvió para identificar los principales problemas y necesidades reales en la gestión del mantenimiento. A través de la conversación con el Ing. Gonzalo Vizuete, responsable del proyecto, se conoció a detalle cómo se manejaban las actividades diarias, los límites del control actual y las funciones exactas que el sistema web debía incluir para solucionar las fallas operacionales. Estos hallazgos funcionaron como el punto de partida para estructurar los requerimientos funcionales y fijar las prioridades en la construcción de la aplicación.

Tabla 6.1 Entrevista semiestructurada

Pregunta realizada	Hallazgo identificado	Requerimiento derivado
¿Cómo registran actualmente el mantenimiento?	El registro de mantenimiento se realiza manualmente mediante bitácoras físicas.	Implementar un módulo digital para el registro de mantenimientos.
¿Cómo controlan las órdenes de trabajo?	El seguimiento de las actividades se realiza verbalmente con apoyo de las bitácoras.	Incorporar un sistema que permita organizar y consultar las actividades de mantenimiento.
¿Qué información contiene una ficha técnica?	Las fichas incluyen código, tipo de equipo, potencia, voltaje, corriente, marca, serie y modelo.	Desarrollar un módulo para la gestión de fichas técnicas de los equipos.
¿Qué dificultades existen para consultar el historial?	La consulta del historial requiere revisar manualmente las bitácoras, lo que dificulta el acceso a la información.	Implementar un historial digital de mantenimiento con opciones de consulta.
¿Cómo identifican un equipo?	Cada equipo es identificado mediante un código único.	Incorporar la identificación de equipos mediante códigos dentro del sistema.
¿Qué problemas presentan los planos actuales?	Los planos se encuentran desactualizados y no reflejan el estado actual de la planta.	Implementar diagramas interactivos que representen la distribución actual de los equipos.
¿Qué funcionalidades consideran necesarias?	Se requiere enlazar equipos, consultar fichas técnicas y revisar el historial de mantenimiento.	Incorporar un Canvas interactivo con acceso a fichas técnicas e historial de mantenimiento.

Pregunta realizada	Hallazgo identificado	Requerimiento derivado
¿Cómo realizan la planificación del mantenimiento?	La planificación se realiza consultando las bitácoras físicas existentes.	Centralizar la información del mantenimiento para apoyar la planificación de las actividades.

La entrevista semiestructurada corroboró la prevalencia de un esquema de gestión analógico sustentado en bitácoras físicas. Esta práctica ralentizaba la operativa del taller: dificultaba el acceso inmediato a la información, demoraba la trazabilidad de las intervenciones y complicaba la verificación del estado de los activos.

A partir de la información recabada se definieron las especificaciones funcionales para la plataforma GPM Industrial. El levantamiento priorizó la digitalización de fichas técnicas, la codificación estandarizada de la maquinaria, el registro estructurado de mantenimientos y la visualización interactiva de procesos. Los hallazgos cualitativos pasaron así de ser un diagnóstico de planta a constituir la base directa de requerimientos del sistema.

6.1.2 Resultados de la observación directa

La inspección in situ en el taller permitió evaluar el estado operativo de los activos electromecánicos y la gestión de sus datos técnicos. Se constató la fragmentación del inventario: la información de los equipos dependía de placas de características con desgaste severo y cuadernos de anotaciones físicas, situación que entorpecía la localización de variables operativas.

Pese a esta limitación, el levantamiento de campo posibilitó extraer los parámetros nominales de la maquinaria. Los datos recopilados sintetizados en la Tabla 17.2 sirvieron de insumo técnico para estructurar el módulo de fichas digitales y definir el modelo relacional de la base de datos en el sistema web.

BANDA TRANSPORTADORA

Tabla 6.2 Resultados de la Observación directa

Equipo	Marca	Modelo	Serie	Voltaje	Potencia	Amperaje
Tablero Eléctrico	Schneider Electric	PrismaSeT P	TE240001	460 V	0 HP	125 A
Variador de Frecuencia	Schneider Electric	Altivar ATV320	VF240015	460 V	7.5 HP	12 A
Motor AC	Siemens	1LE1003	MA240128	460 V	7.5 HP	11.6 A
Acople	Lovejoy	L-190	AC240041	0 V	0 HP	0 A
Reductor	SEW-Eurodrive	R67	RD240032	0 V	7.5 HP	0 A
Transportador	FlexLink	X85 Conveyor	TR240018	460 V	2 HP	3.4 A

Mediante observación directa en el taller se inspeccionaron los equipos electromecánicos. La información técnica figuraba fragmentada entre placas físicas de especificaciones y anotaciones manuales. El levantamiento abarcó el código del activo, marca, modelo, número de serie y variables eléctricas como voltaje, potencia y amperaje. Estos datos determinaron la estructura de las fichas técnicas y el modelado de las entidades relacionales en la base de datos de GPM Industrial.

En el **Anexo B**, se muestra las 5 tablas de la observación restantes de los equipos electromecánicos encontrados dentro de la empresa.

6.2 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA XP

6.2.1 PLANIFICACIÓN

6.2.1.1 Valores de XP aplicados

Durante la construcción del sistema web, la adopción de los valores de Extreme Programming (XP) fue clave para estructurar la dinámica de trabajo y asegurar la integración progresiva de cada módulo. El contacto directo con el responsable del proyecto facilitó la validación oportuna de los entregables, mientras que los comentarios recibidos en cada ciclo se tradujeron en optimizaciones inmediatas sobre el código. Factores como la simplicidad en el diseño, la valentía ante cambios estructurales y

el respeto mutuo guiaron las decisiones técnicas, logrando que el software final se acoplara con precisión a las necesidades reales del entorno industrial. En la Tabla 18 se analiza de manera detallada cómo impactó cada uno de estos valores durante el desarrollo del proyecto.

Tabla 6.3 Resultados de la aplicación de los valores XP en el proyecto

Valor de XP	Resultados obtenidos durante el desarrollo
Comunicación	Se mantuvo comunicación constante con el Ing. Gonzalo Vizuite para revisar los avances y realizar ajustes durante el desarrollo del sistema.
Simplicidad	El desarrollo inició con las funcionalidades principales y posteriormente se incorporaron módulos como el Canvas interactivo.
Retroalimentación	Las observaciones realizadas durante las revisiones permitieron mejorar la interfaz, los permisos de usuario y el funcionamiento del sistema.
Valentía	Se realizaron modificaciones en el código y en la arquitectura cuando fue necesario optimizar el funcionamiento del sistema o incorporar nuevos requerimientos.
Respeto	Se consideraron las observaciones del responsable del proyecto y las necesidades de los usuarios durante el desarrollo del sistema.

6.2.1.2 Roles desempeñados

El esquema de roles de Extreme Programming (XP) dirigió el proceso de trabajo durante el desarrollo de la plataforma web. En la función de cliente, el Ing. Gonzalo Vizuite priorizó los requerimientos y validó técnicamente las interfaces en cada ciclo. La arquitectura del sistema, el diseño UI, la programación backend y las pruebas funcionales recayeron en el equipo de desarrollo, integrado por Eddy Lucero y David Chasi. Los técnicos de taller retroalimentaron la usabilidad de los módulos; su validación directa adaptó el software a las rutinas operativas dentro del taller. La Tabla 19 detalla el aporte específico de cada rol en la ejecución del proyecto.

Tabla 6.4 Roles desempeñados durante el desarrollo del proyecto

Rol XP	Actor / Responsable	Resultado obtenido durante el desarrollo
Cliente / Responsable	Ing. Gonzalo Vizuite	Definió los requerimientos del sistema, validó los entregables y proporcionó retroalimentación durante el desarrollo.
Equipo de desarrollo	Eddy Lucero y David Chasi	Responsables del diseño, desarrollo e implementación del sistema, incluyendo la arquitectura, la base de datos y las pruebas manuales.
Usuarios finales	Técnicos del taller	Validaron los módulos desarrollados y aportaron retroalimentación para mejorar su funcionamiento.

6.2.1.3 Historias de usuario implementadas

Con los requerimientos identificados en la etapa de levantamiento, se diseñaron las historias de usuario que sirvieron como guía para codificar la aplicación. Cada registro representó una solución directa a las necesidades manifestadas, organizando el desarrollo en metas alcanzables para cada ciclo de la metodología XP.

El esfuerzo de programación se estimó utilizando los números de Fibonacci (1, 2, 3, 5 y 8 puntos), lo que ayudó a cuantificar la complejidad. Las siguientes tablas muestran las historias de usuario principales que componen el núcleo del sistema web para el taller:

Tabla 6.5 Historia de usuario 001

Historia de Usuario		HU001 - Inicio de sesión	
Puntos de Historia	3	Usuario	Usuario del sistema
Prioridad	Alta	Iteración asignada	1
Descripción	Como usuario registrado quiero iniciar sesión con mi correo electrónico y contraseña para acceder al sistema y utilizar las funciones disponibles de acuerdo con mi rol.		
Criterios de aceptación	• El sistema debe permitir ingresar el correo electrónico y la contraseña. • El sistema debe validar que las credenciales sean correctas. • Solo los usuarios con una cuenta activa podrán acceder al sistema. • Si las credenciales son incorrectas, el sistema mostrará un mensaje indicando el error. • Al iniciar sesión correctamente, el sistema dirigirá al usuario al panel correspondiente según su rol.		
Definición de hecho	• La autenticación funciona correctamente para usuarios registrados y activos. • El acceso se restringe a usuarios con credenciales válidas. • El sistema redirige al usuario al módulo correspondiente según el rol asignado. • La funcionalidad fue implementada, integrada y probada satisfactoriamente.		
Programador responsable	Sr. Eddy Lucero		

Tabla 6.6 Historia de usuario 002

Historia de Usuario		HU002 – Registro de supervisor	
Puntos de Historia	5	Usuario	Supervisor
Prioridad	Alta	Iteración asignada	1
Descripción	Como supervisor quiero registrar mi empresa durante la creación de mi cuenta para solicitar el acceso al sistema y administrar posteriormente los proyectos y mantenimientos de mi organización.		
Criterios de aceptación	• El sistema debe permitir registrar la información personal del supervisor. • El sistema debe permitir ingresar el RUC de la empresa. • Si la empresa ya existe, el sistema deberá asociar la solicitud a dicha empresa. • Si la empresa no existe, el sistema deberá permitir registrar la información correspondiente. • La solicitud deberá quedar en estado pendiente hasta ser revisada por el Super Administrador. • El sistema deberá informar que la solicitud fue registrada correctamente.		
Definición de hecho	• El supervisor puede registrar su información y la de la empresa correctamente. • La empresa queda registrada o asociada según corresponda. • La solicitud permanece en estado pendiente hasta su aprobación. • La funcionalidad fue implementada y probada satisfactoriamente.		
Programador responsable	Sr. Eddy Lucero		

Tabla 6.7 Historia de usuario 003

Historia de Usuario		HU003 – Registro de técnico	
Puntos de Historia	5	Usuario	Tecnico
Prioridad	Alta	Iteración asignada	1
Descripción	Como técnico quiero crear una cuenta seleccionando la empresa donde trabajo para solicitar el acceso al sistema y registrar actividades de mantenimiento dentro de la empresa una vez que mi solicitud sea aprobada.		
Criterios de aceptación	• El sistema debe permitir registrar la información personal del técnico. • El técnico debe poder buscar y seleccionar una empresa registrada. • La solicitud debe quedar asociada a la empresa seleccionada. • La solicitud debe permanecer en estado pendiente hasta ser aprobada por el supervisor. • El sistema debe informar que la solicitud fue enviada correctamente.		
Definición de hecho	• El técnico puede registrar su información correctamente. • La empresa seleccionada queda asociada a la solicitud. • La solicitud permanece en estado pendiente hasta su aprobación. • El técnico no puede acceder al sistema mientras su solicitud no haya sido aprobada. • La funcionalidad fue implementada y probada satisfactoriamente.		
Programador responsable	Sr. Eddy Lucero		

Tabla 6.8 Historia de usuario 004

Historia de Usuario		HU004 – Aprobación de supervisor	
Puntos de Historia	5	Usuario	administrador
Prioridad	Alta	Iteración asignada	1
Descripción	Como administrador quiero revisar las solicitudes de los supervisores para comprobar que la empresa y sus datos sean correctos antes de permitirles ingresar al sistema.		
Criterios de aceptación	• El sistema debe mostrar las solicitudes de supervisores que se encuentren pendientes. • El administrador debe poder consultar los datos personales del solicitante. • El sistema debe mostrar el RUC y la información de la empresa asociada. • Antes de aprobar la solicitud, se debe verificar que no exista un registro duplicado del supervisor o de la empresa. • El administrador debe poder aprobar o rechazar la solicitud. • Cuando la solicitud sea aprobada, la cuenta del supervisor debe cambiar a estado activo. • Cuando la solicitud sea rechazada, el supervisor no podrá ingresar al sistema. • El sistema debe mostrar un mensaje que confirme la decisión realizada.		
Definición de hecho	• Las solicitudes pendientes pueden visualizarse desde el panel del administrador. • Los datos del supervisor y de la empresa pueden revisarse antes de tomar una decisión. • El sistema permite aprobar o rechazar correctamente la solicitud. • El estado de la cuenta se actualiza de acuerdo con la decisión tomada. • El supervisor aprobado puede iniciar sesión en el sistema. • La funcionalidad fue implementada y probada satisfactoriamente.		
Programador responsable	Sr. David Chasi		

Tabla 6.9 Historia de usuario 005

Historia de Usuario		HU005 – Aprobación de técnico	
Puntos de Historia	3	Usuario	Supervisor
Prioridad	Alta	Iteración asignada	2
Descripción	Como supervisor quiero revisar las solicitudes de los técnicos que desean unirse a mi empresa para aprobar o rechazar su ingreso y controlar quién puede participar en los proyectos de mantenimiento.		
Criterios de aceptación	• El sistema debe mostrar las solicitudes de técnicos pendientes de aprobación. • El supervisor debe poder visualizar la información del técnico solicitante. • El supervisor debe poder aprobar o rechazar cada solicitud. • Cuando la solicitud sea aprobada, el técnico podrá acceder al sistema con su cuenta. • Cuando la solicitud sea rechazada, el técnico no podrá ingresar al sistema. • El sistema deberá mostrar un mensaje confirmando la acción realizada.		
Definición de hecho	• El supervisor puede visualizar todas las solicitudes pendientes de su empresa. • El sistema permite aprobar o rechazar correctamente a un técnico. • El estado de la solicitud se actualiza de acuerdo con la decisión tomada. • El técnico solo puede acceder al sistema cuando su solicitud ha sido aprobada. • La funcionalidad fue implementada y probada satisfactoriamente.		
Programador responsable	Sr. David Chasi		

Tabla 6.10 Historia de usuario 006

Historia de Usuario		HU006 – Gestión de proyectos	
Puntos de Historia	8	Usuario	Supervisor
Prioridad	Alta	Iteración asignada	2
Descripción	Como supervisor quiero crear y administrar proyectos para organizar la información de los procesos de mantenimiento de mi empresa y facilitar el trabajo de los técnicos.		
Criterios de aceptación	• El sistema debe permitir crear un nuevo proyecto. • El sistema debe permitir visualizar los proyectos registrados. • El sistema debe permitir editar la información de un proyecto. • El sistema debe permitir eliminar proyectos cuando sea necesario. • Cada proyecto debe quedar asociado a la empresa del supervisor. • El sistema debe mostrar mensajes de confirmación al realizar cada operación.		
Definición de hecho	• El supervisor puede crear, consultar, actualizar y eliminar proyectos correctamente. • Los proyectos quedan asociados a la empresa correspondiente. • La información se almacena correctamente en la base de datos. • La funcionalidad fue implementada, integrada y probada satisfactoriamente.		
Programador responsable	Sr. Eddy Lucero y Sr. David Chasi		

Tabla 6.11 Historia de usuario 007

Historia de Usuario		HU007 – Invitar técnicos al proyecto	
Puntos de Historia	5	Usuario	Supervisor
Prioridad	Alta	Iteración asignada	3
Descripción	Como supervisor quiero invitar a los técnicos de mi empresa a un proyecto para que puedan consultar la información asignada y registrar los mantenimientos que les correspondan.		
Criterios de aceptación	• El sistema debe mostrar únicamente los técnicos que pertenecen a la empresa del supervisor. • El supervisor debe poder buscar y seleccionar un técnico para asignarlos al proyecto. • El sistema no debe permitir invitar técnicos pertenecientes a otra empresa. • El técnico invitado debe obtener acceso al proyecto seleccionado. • La asignación debe quedar registrada correctamente. • El sistema debe mostrar un mensaje que confirme la invitación realizada.		
Definición de hecho	• El supervisor puede consultar la lista de técnicos activos de su empresa. • Los técnicos seleccionados quedan asociados al proyecto correspondiente. • Los técnicos invitados pueden acceder al proyecto de acuerdo con sus permisos. • No es posible asignar usuarios de empresas diferentes. • La funcionalidad fue implementada y probada satisfactoriamente.		
Programador responsable	Sr. David Chasi		

Tabla 6.12 Historia de usuario 008

Historia de Usuario		HU008 – Canvas interactivo	
Puntos de Historia	8	Usuario	Supervisor
Prioridad	Alta	Iteración asignada	3
Descripción	Como supervisor quiero colocar y organizar los equipos dentro de un espacio gráfico para representar de forma visual cómo se relacionan los elementos del proceso industrial.		
Criterios de aceptación	• El sistema debe mostrar una biblioteca de equipos disponibles. • El supervisor debe poder arrastrar los equipos hacia el área de trabajo. • Cada equipo agregado debe visualizarse como un elemento independiente dentro del Canvas. • El supervisor debe poder mover y organizar los equipos según la distribución del proceso. • La posición de los equipos debe conservarse al guardar el proyecto. • El técnico debe poder consultar el diagrama sin modificar su estructura.		
Definición de hecho	• El supervisor puede agregar, mover y organizar equipos dentro del Canvas. • Los equipos y sus posiciones se guardan correctamente en el proyecto. • El diagrama se carga con la misma distribución al volver a abrirlo. • Los técnicos pueden visualizar el Canvas en modo de consulta. • La funcionalidad fue implementada, integrada y probada satisfactoriamente.		
Programador responsable	Sr. Eddy Lucero y Sr. David Chasi		

Tabla 6.13 Historia de usuario 009

Historia de Usuario		HU009 – Conexiones entre equipos	
Puntos de Historia	5	Usuario	Supervisor
Prioridad	Media	Iteración asignada	3
Descripción	Como supervisor quiero conectar los equipos dentro del diagrama para representar la relación que existe entre los diferentes equipos electromecánicos.		
Criterios de aceptación	• El sistema debe permitir seleccionar dos equipos para establecer una conexión. • La conexión debe representarse gráficamente dentro del Canvas. • El supervisor debe poder mover o eliminar una conexión cuando sea necesario. • Las conexiones deben guardarse junto con el proyecto. • Al abrir nuevamente el proyecto, las conexiones deben mostrarse correctamente.		
Definición de hecho	• El supervisor puede crear, mover y eliminar conexiones entre equipos. • Las conexiones permanecen almacenadas correctamente en el proyecto. • El diagrama conserva las conexiones al volver a cargar la información. • La funcionalidad fue implementada, integrada y probada satisfactoriamente.		
Programador responsable	Sr. Eddy Lucero		

Tabla 6.14 Historia de usuario 010

Historia de Usuario		HU010 – Administración de fichas técnicas	
Puntos de Historia	8	Usuario	Supervisor
Prioridad	Alta	Iteración asignada	4
Descripción	Como supervisor quiero registrar y actualizar la información de los equipos de mi empresa para tener sus datos técnicos organizados y poder consultarlos cuando sea necesario.		
Criterios de aceptación	● El sistema debe permitir crear una ficha técnica para un equipo registrado. ● El sistema debe permitir modificar la información de una ficha técnica existente. ● El sistema debe permitir consultar la información registrada de cada equipo. ● La ficha técnica debe almacenar información del equipo registrado. ● La información ingresada debe quedar asociada al equipo correspondiente. ● El sistema debe mostrar un mensaje de confirmación cuando la ficha técnica sea creada o actualizada.		
Definición de hecho	● El supervisor puede registrar la información técnica de los equipos. ● La información de la ficha técnica puede ser modificada correctamente. ● Los datos registrados pueden ser consultados desde el equipo asociado. ● La información mostrada corresponde al equipo seleccionado. ● La funcionalidad fue implementada, integrada y probada satisfactoriamente.		
Programador responsable	Sr. Eddy Lucero		

Tabla 6.15 Historia de usuario 011

Historia de Usuario		HU011 – Registro de mantenimiento	
Puntos de Historia	8	Usuario	Técnico
Prioridad	Alta	Iteración asignada	4
Descripción	Como técnico quiero registrar los datos del mantenimiento realizado a un equipo para mantener actualizado su historial y facilitar el seguimiento de las intervenciones efectuadas.		
Criterios de aceptación	• El sistema debe permitir seleccionar el proyecto y el equipo correspondiente. • El técnico debe poder registrar la información del mantenimiento realizado. • El sistema debe almacenar la fecha, el tipo de mantenimiento y la información ingresada. • El mantenimiento debe quedar asociado a la ficha técnica del equipo. • El sistema debe mostrar un mensaje confirmando que el registro fue realizado correctamente.		
Definición de hecho	• El técnico puede registrar mantenimientos correctamente. • La información queda almacenada y vinculada al equipo correspondiente. • El historial del equipo se actualiza automáticamente con el nuevo registro. • Los datos registrados pueden ser consultados posteriormente por los usuarios autorizados. • La funcionalidad fue implementada, integrada y probada satisfactoriamente.		
Programador responsable	Sr. David Chasi		

Tabla 6.16 Historia de usuario 012

Historia de Usuario		HU012 – Consulta del historial de mantenimiento	
Puntos de Historia	5	Usuario	Técnico
Prioridad	Alta	Iteración asignada	4
Descripción	Como técnico quiero consultar el historial de mantenimiento de un equipo para conocer las intervenciones realizadas y disponer de información que facilite el diagnóstico y la planificación de futuros mantenimientos.		
Criterios de aceptación	• El sistema debe permitir seleccionar el proyecto y el equipo correspondiente. • El sistema debe mostrar el historial de mantenimiento asociado al equipo. • El historial debe incluir información como la fecha, el tipo de mantenimiento y las observaciones registradas. • Solo los usuarios autorizados podrán consultar esta información. • El sistema debe presentar la información de forma clara y ordenada.		
Definición de hecho	• El historial de mantenimiento se consulta correctamente. • La información mostrada corresponde al equipo seleccionado. • Los registros se presentan de forma cronológica. • Solo los usuarios con permisos pueden acceder al historial. • La funcionalidad fue implementada, integrada y probada satisfactoriamente.		
Programador responsable	Sr. Eddy Lucero		

En el punto **6.2.3** de las historias de usuario implementadas tenemos todas las cuales consideramos principales dentro del sistema, pero en no obstante en el **Anexo D**, se muestran las historias de usuarios faltantes.

En el **Anexo G**, se muestran los CRC de las principales historias de usuario.

6.2.1.4 Product Backlog desarrollado

A partir de las historias de usuario definidas durante la planificación del proyecto, se construyó el Product Backlog del sistema web de mantenimiento industrial. Este artefacto permitió organizar las funcionalidades según su prioridad y complejidad, facilitando la planificación de las iteraciones y el desarrollo progresivo de cada módulo. La Tabla 32 presenta el Product Backlog implementado durante el desarrollo del sistema.

Tabla 6.17 Product Backlog desarrollado

ID	ID HU	Historia de Usuario	Prioridad	Puntos de historia
1	HU001	Inicio de sesión	Alta	3
2	HU002	Registro de supervisor y empresa	Alta	5
3	HU003	Registro de técnico	Alta	5
4	HU004	Aprobación de supervisor	Alta	5
5	HU005	Aprobación de técnico	Alta	3
6	HU006	Gestión de proyectos	Alta	8
7	HU007	Invitar técnicos al proyecto	Alta	5
8	HU008	Canvas interactivo	Alta	8
9	HU009	Conexiones entre equipos	Media	5
10	HU010	Gestión de fichas técnicas	Alta	8
11	HU011	Registro de mantenimiento	Alta	8
12	HU012	Consulta del historial de mantenimiento	Alta	5

6.2.1.5 Iteration Planning desarrollado

Una vez definido el Product Backlog, las historias de usuario fueron distribuidas en diferentes iteraciones de trabajo. Para cada historia se identificaron las actividades necesarias para su implementación, estimando el tiempo requerido, asignando los responsables y estableciendo los criterios que permitieron verificar la finalización de cada tarea. Esta planificación facilitó el seguimiento del desarrollo y permitió organizar el trabajo de forma progresiva conforme a la metodología XP.

Tabla 6.18 Iteration Planning - Primera Iteración

ID	Historia	Tarea	Horas	Responsable	Estado
1	HU001	Inicio de sesión	8	Eddy Lucero	Completado
2	HU002	Registro supervisor	12	Eddy Lucero	Completado
3	HU003	Registro técnico	10	Eddy Lucero	Completado

Tabla 6.19 Iteration Planning - Segunda iteración

ID	Historia	Tarea	Horas	Responsable	Estado
4	HU004	Aprobación del supervisor	8	David Chasi	Completado
5	HU005	Aprobación del técnico	6	David Chasi	Completado
6	HU006	Gestión proyectos	18	Eddy / David	Completado

Tabla 6.20 Iteration Planning - Tercera Iteración

ID	Historia	Tarea	Horas	Responsable	Estado
7	HU007	Invitar técnicos al proyecto	8	David Chasi	Completado
8	HU008	Canvas interactivo	30	Eddy / David	Completado
9	HU009	Conexiones entre equipos	14	Eddy Lucero	Completado

Tabla 6.21 Iteration Planning - Cuarta Iteración

ID	Historia	Tarea	Horas	Responsable	Estado
10	HU010	Gestión de fichas técnicas	20	Eddy Lucero	Completado
11	HU011	Registro de mantenimiento	20	David Chasi	Completado
12	HU012	Consulta del historial de mantenimiento	10	Eddy Lucero	Completado

6.2.2 DISEÑO

6.2.2.1 Arquitectura del sistema

Como resultado del sistema GPM Industrial dio como resultado una arquitectura web cliente-servidor estructurada en tres capas bien definidas: interfaz de usuario, lógica de negocio y persistencia de datos. Para alcanzar este acoplamiento, se configuró un ecosistema de desarrollo basado en React y TypeScript montado sobre Vite para el frontend, mientras que el backend se centralizó en NestJS, utilizando Prisma ORM como puente de comunicación hacia la base de datos PostgreSQL. Esta base tecnológica se complementó con herramientas específicas como JWT para la seguridad de accesos, Socket.IO para los flujos en tiempo real, Axios para el consumo de la API y Tailwind CSS para el diseño visual. Gracias a esta distribución, las funciones del sistema operan mediante componentes independientes, lo que agiliza el intercambio de datos entre módulos y garantiza una comunicación limpia entre el cliente y el servidor.

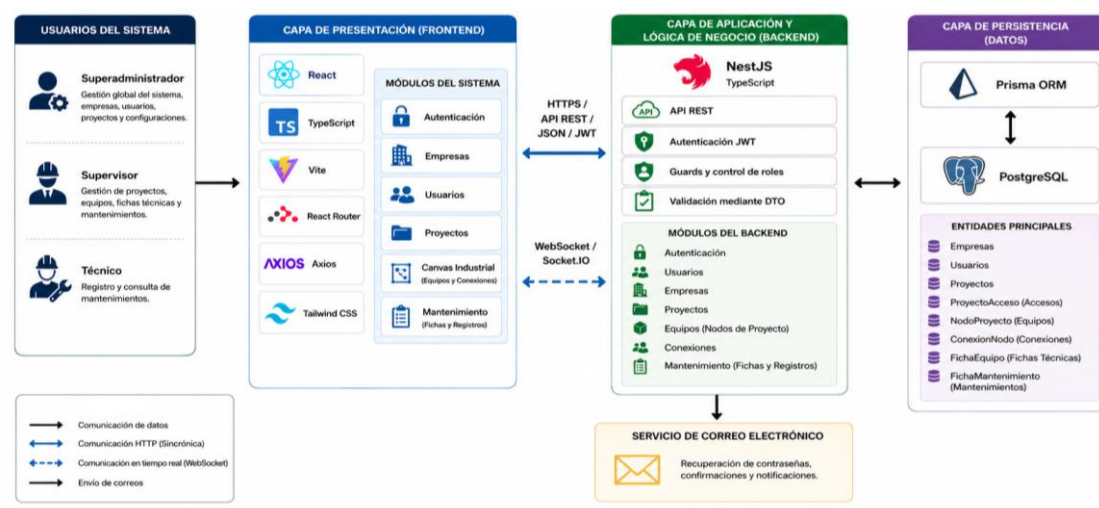


Figura 3 Diagrama de arquitectura del aplicativo web

La Figura 3 presenta la arquitectura general implementada en el sistema, mostrando la interacción entre la capa de presentación, la lógica de negocio y la capa de persistencia de datos.

En la etapa de diseño se estructuraron las interfaces principales del sistema para validar el flujo de navegación y la distribución visual; el detalle de estos prototipos se incluye en el **Anexo C**.

6.2.2.2 Resultados del Modelo Entidad Relación

Como parte de la implementación del sistema, se obtuvo el modelo entidad relación de la base de datos, el cual representa las entidades principales y las relaciones establecidas para administrar la información de usuarios, empresas, proyectos, equipos, fichas técnicas y registros de mantenimiento.

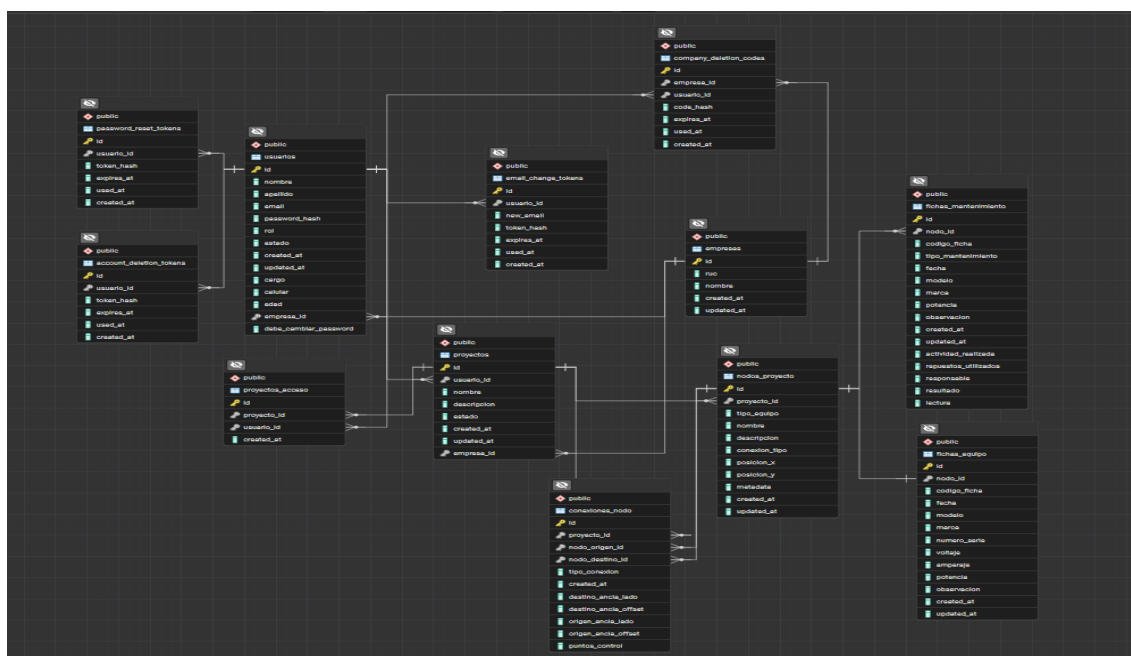


Figura 4 Modelo relacional de la base de datos

6.2.3 CODIFICACIÓN

Concluida la fase de diseño, se avanzó con la codificación de la plataforma web mediante el desarrollo progresivo de las historias de usuario en la metodología Extreme Programming (XP). En esta etapa se programaron tanto las interfaces del cliente en React utilizando TypeScript y Vite, como los servicios del servidor en NestJS, articulando el almacenamiento de datos en PostgreSQL a través de Prisma.

La implementación permitió estructurar la lógica de negocio para la administración de usuarios, la ficha técnica de los equipos electromecánicos, el registro del historial de intervenciones y el desarrollo del lienzo gráfico. La estructura del servidor se organizó para gestionar la autenticación y el control de los datos de planta, mientras que en la interfaz visual se diseñaron componentes dedicados al catálogo de equipos y al diagrama de procesos.

Como constancia del desarrollo técnico, la *Figura 18* expone la lógica implementada en NestJS para la gestión del controlador y servicio de los datos de mantenimiento. Por su parte, la *Figura 19* muestra el componente de React encargado del funcionamiento del lienzo interactivo, donde se procesan los eventos de arrastrar y soltar equipos, así como el trazado de las líneas que los conectan. El código fuente complementario se adjunta en el **Anexo D**.

Se aplicó TDD mediante pruebas unitarias en los módulos principales del sistema. La matriz de pruebas se presenta en el **Anexo H**.

6.2.4 PRUEBAS

6.2.4.1 Autenticación

Como resultado de la implementación, el sistema incorpora un mecanismo de autenticación que solicita el correo electrónico y la contraseña del usuario. Una vez validadas las credenciales, identifica el rol correspondiente y redirige automáticamente al panel principal habilitado para dicho perfil.

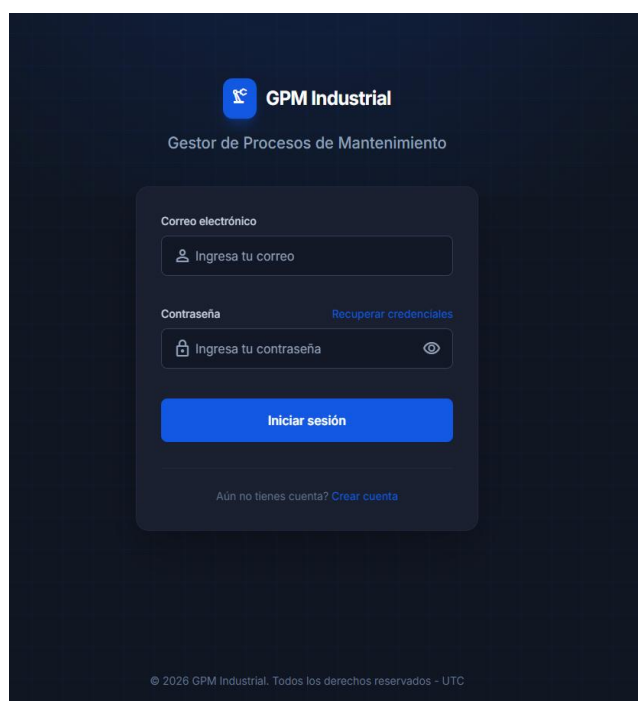


Figura 5 Interfaz de inicio de sesión

6.2.4.2 Usuarios

Como parte de la implementación, el sistema incorpora un módulo para la administración de usuarios, permitiendo gestionar las cuentas de supervisores y técnicos de acuerdo con la jerarquía de roles establecida.

La **Figura 6** detalla el panel administrativo para registrar, activar y gestionar el estado operativo de los supervisores. Por su parte, la **Figura 7** presenta la interfaz donde los supervisores coordinan al personal de campo, validan datos técnicos y monitorean su disponibilidad.

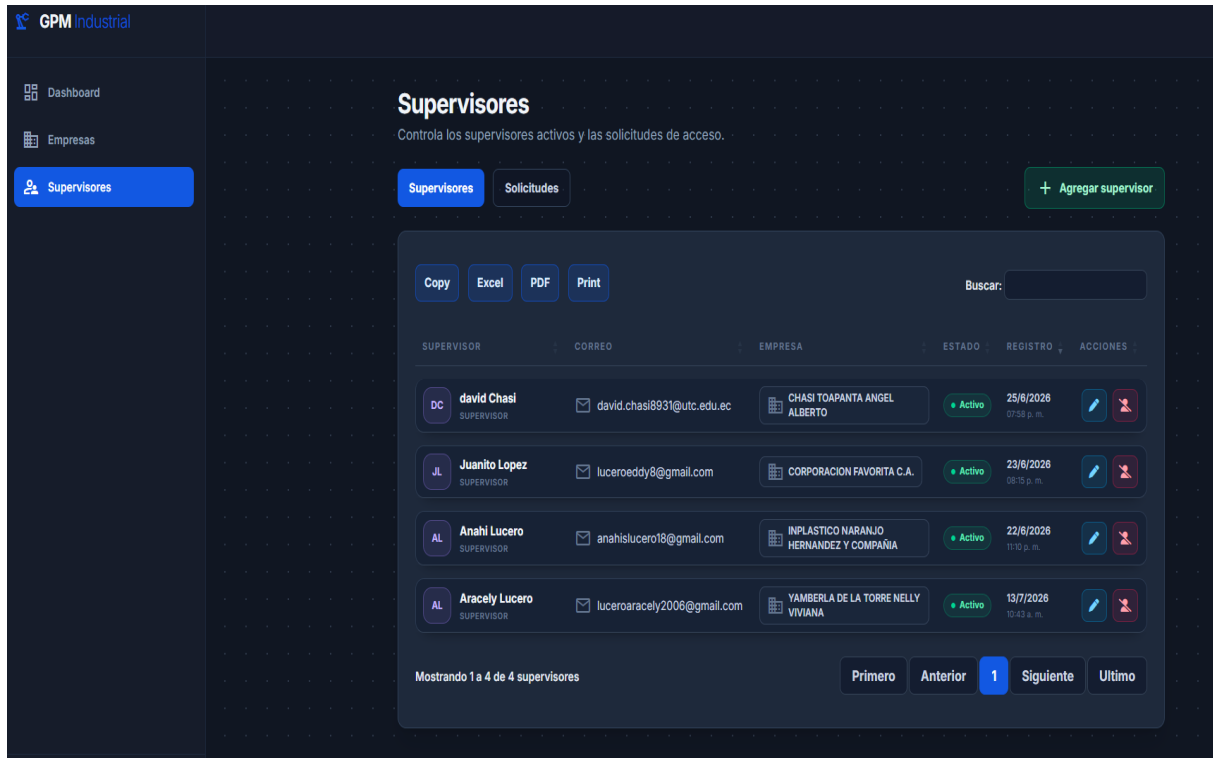


Figura 6 Interfaz de Gestión de Supervisores y solicitudes de registro

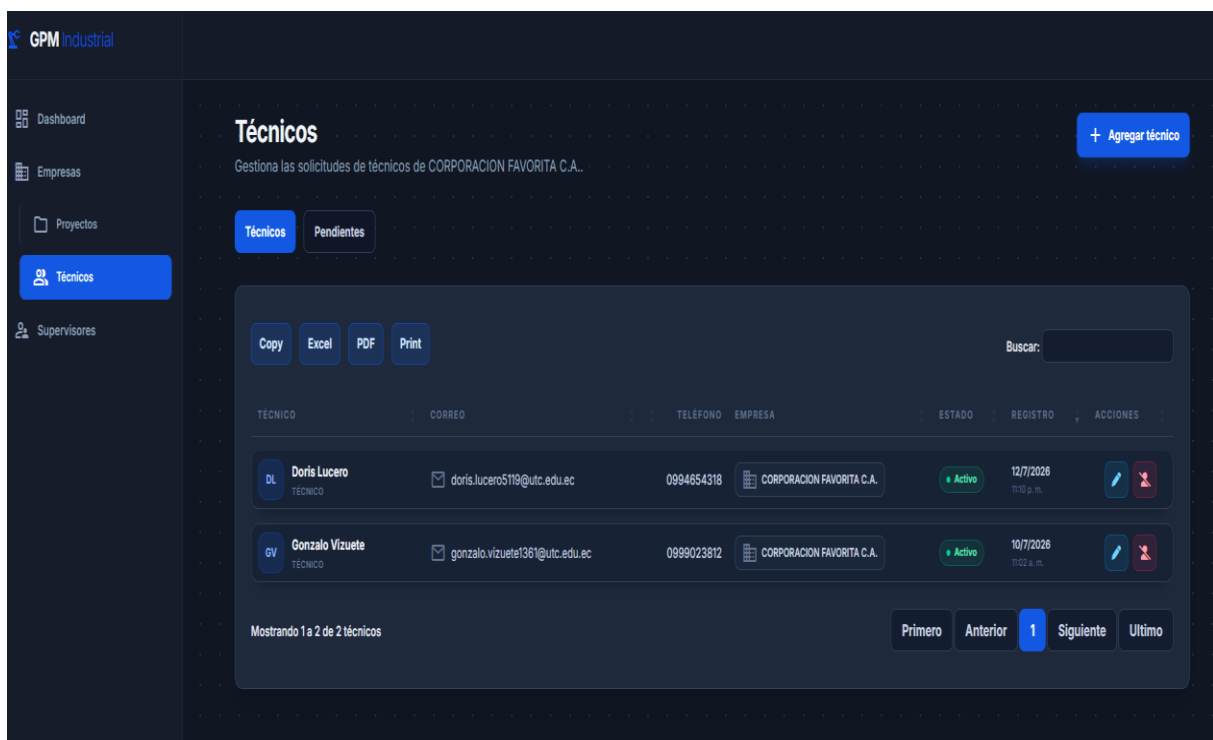


Figura 7 Interfaz de Gestión de Técnicos por empresa

6.2.4.3 Empresas

Como resultado del desarrollo, se implementó un módulo para la administración de empresas, el cual permite visualizar las organizaciones registradas y aprobadas dentro de la plataforma. La interfaz muestra información general de cada empresa, como el RUC, la cantidad de usuarios, supervisores asociados y el estado de la organización, facilitando su consulta y administración por parte del superadministrador.

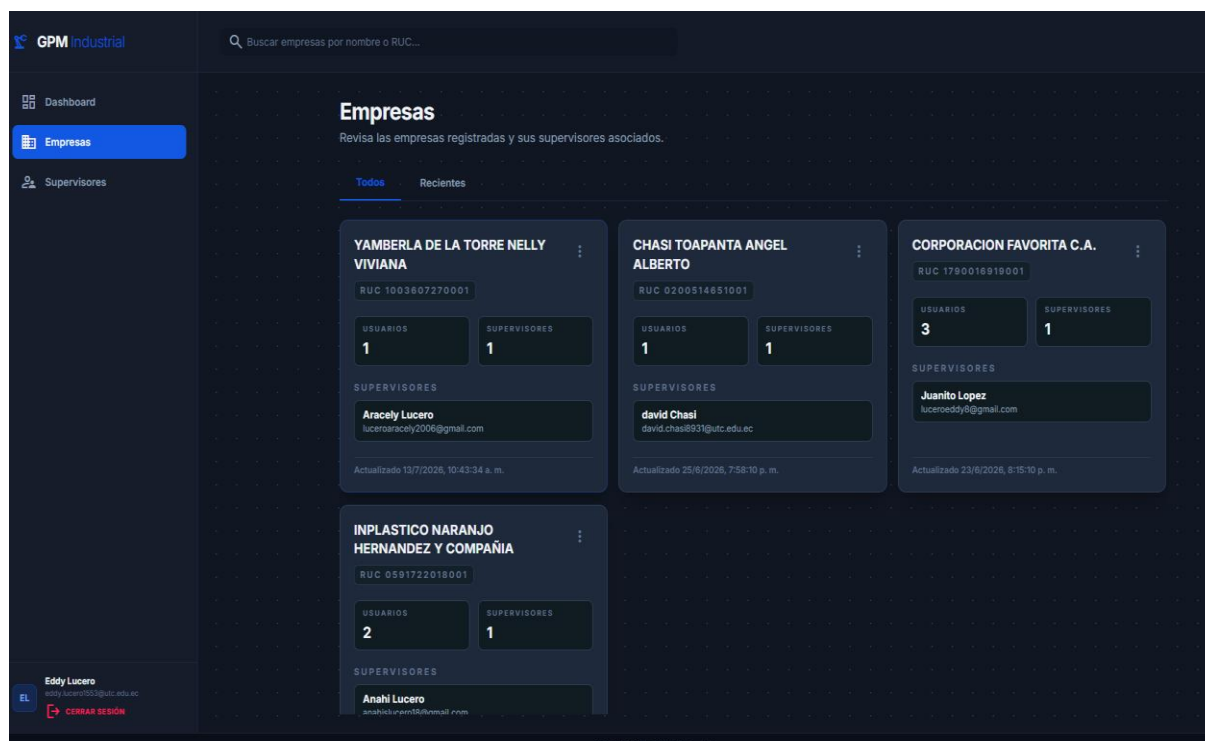


Figura 8 Interfaz de empresas registradas

6.2.4.4 Proyectos

Como resultado de la implementación, el sistema incorpora un módulo para la gestión de proyectos pertenecientes a una empresa previamente seleccionada. Desde esta interfaz el supervisor puede consultar los proyectos existentes, registrar nuevos proyectos y acceder al entorno donde se administran los equipos industriales y los procesos de mantenimiento.

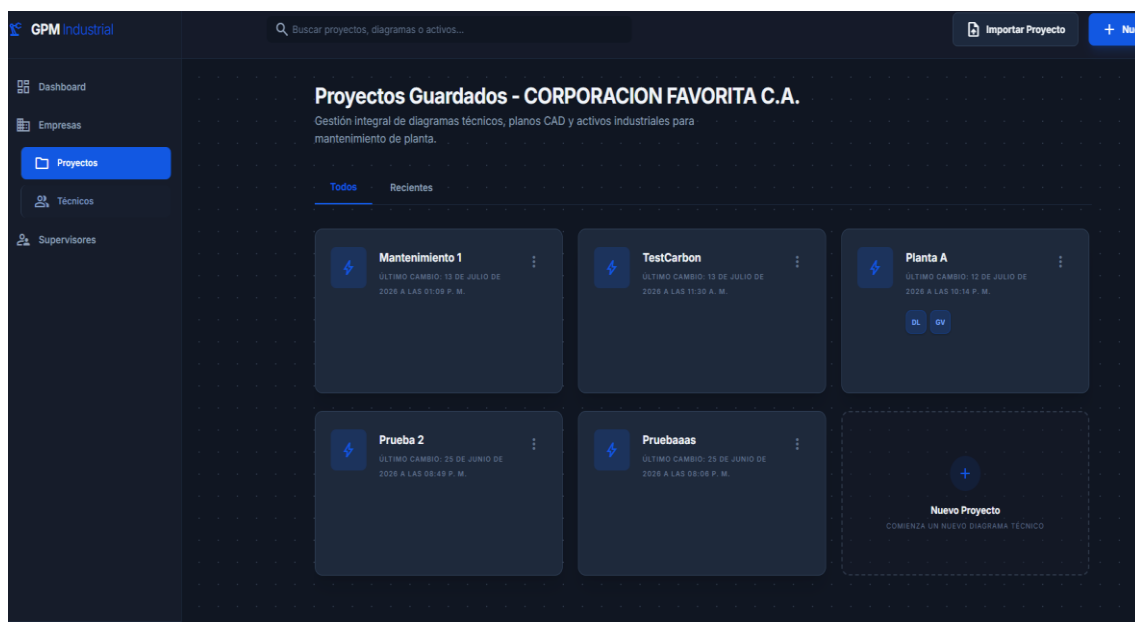


Figura 9 Interfaz de proyectos registrados

6.2.4.5 Diagramas interactivos (Canvas)

Como resultado de la implementación, el sistema incorpora un Canvas interactivo que permite representar gráficamente los procesos industriales de cada proyecto. Desde este entorno es posible organizar la distribución de los equipos, establecer conexiones entre ellos y acceder a las fichas técnicas e historial de mantenimiento asociados a cada activo.

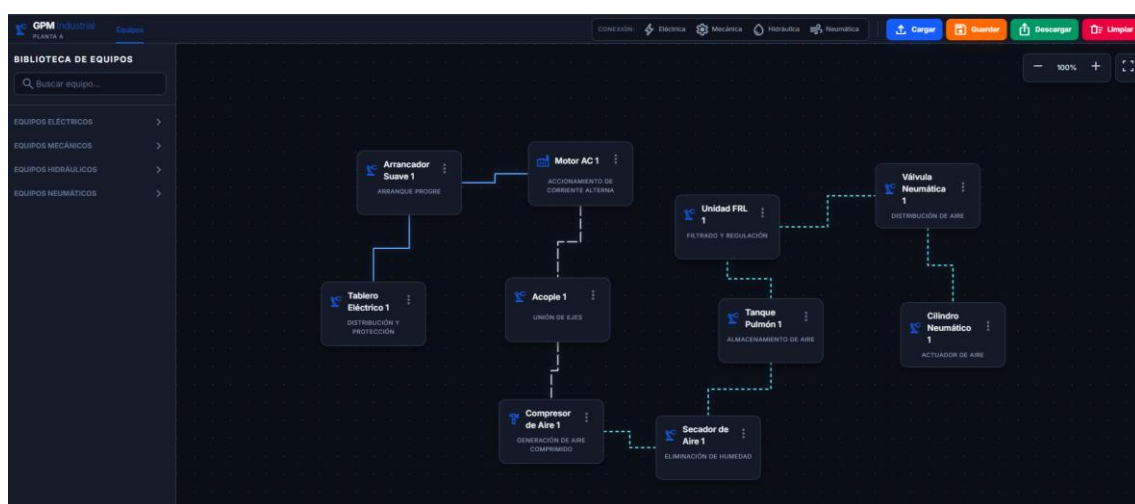


Figura 10 Interfaz del canvas

6.2.4.6 Fichas técnicas

Como resultado de la implementación, el sistema incorpora un módulo de fichas técnicas de los equipos industriales, permitiendo registrar y consultar la información técnica necesaria para la identificación y administración de cada activo dentro de los proyectos de mantenimiento.

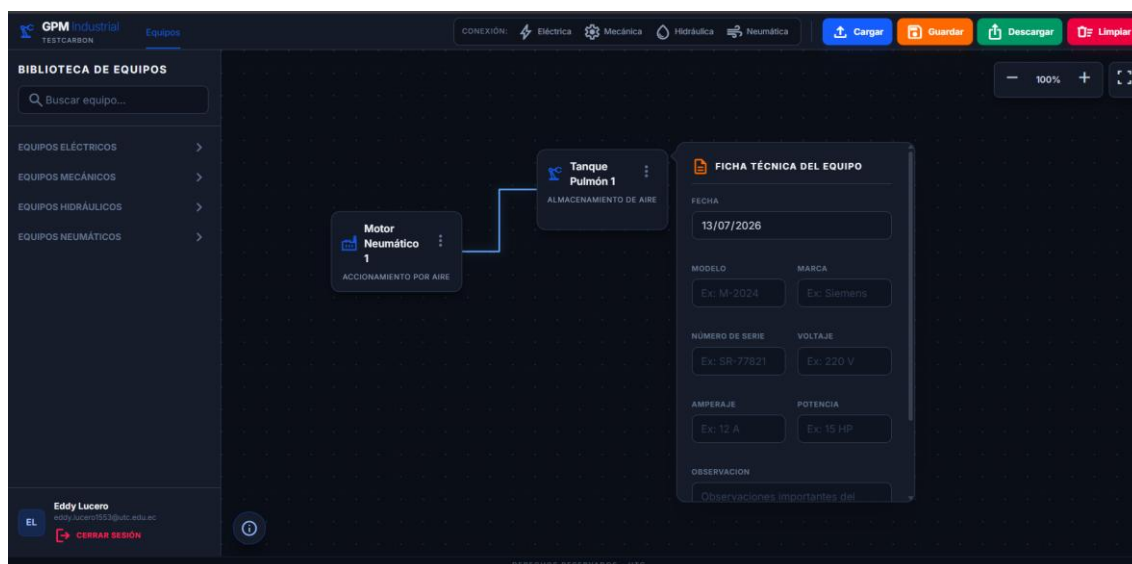


Figura 11 Interfaz de la ficha técnica

6.2.4.7 Historial de mantenimiento

Como resultado de la implementación, el sistema incorpora un módulo para el registro y consulta del historial de mantenimiento de los equipos industriales, permitiendo almacenar de forma cronológica las intervenciones realizadas y mantener un seguimiento de las actividades ejecutadas sobre cada activo.

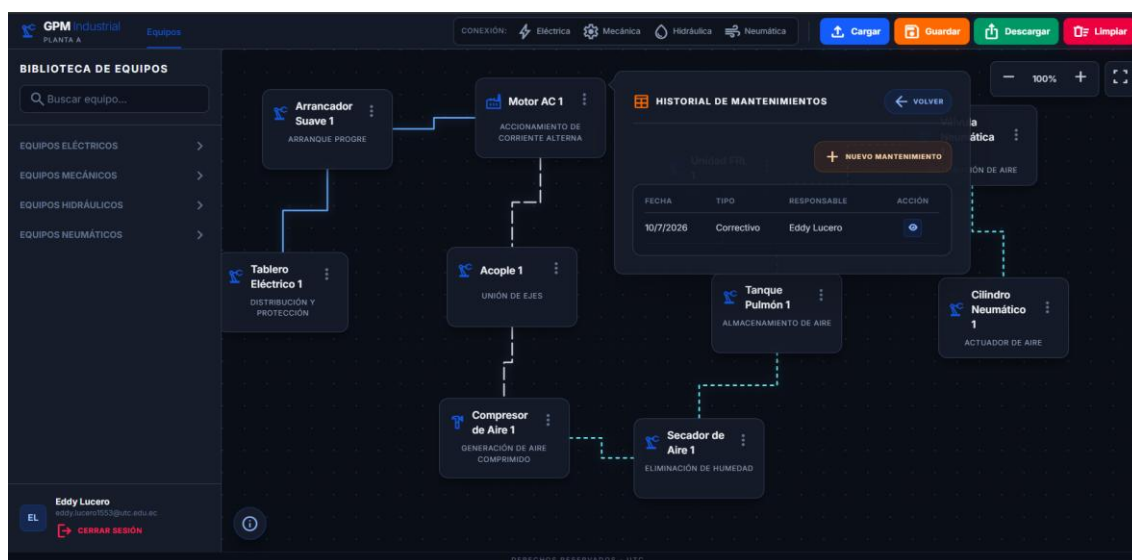


Figura 12 Interfaz del historial de mantenimiento

6.2.4.8 Pruebas manuales desarrolladas

Concluida la implementación de las historias de usuario planificadas, se realizaron pruebas manuales para verificar el correcto funcionamiento de cada módulo del sistema. Estas pruebas permitieron comprobar que las funcionalidades implementadas respondieran a los requerimientos establecidos

durante la etapa de planificación, identificando posibles ajustes antes de la validación final. La **Tabla 5.4** presenta el formato utilizado para documentar los casos de prueba ejecutados durante el desarrollo.

Tabla 6.22 Prueba manual CPF001

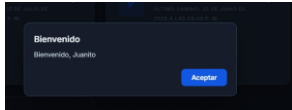
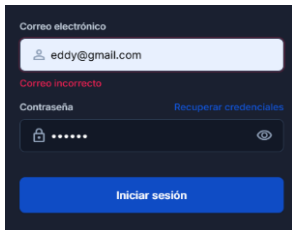
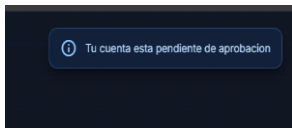
N° Caso de Prueba	CPF001	N° de Historia de Usuario	HU001	N.º de iteración	1
Usuario	Usuario del sistema (Administrador, Supervisor o Técnico)				
Objetivo de la prueba	Validar que el sistema permita el acceso únicamente a usuarios registrados, con credenciales válidas y permisos habilitados.				
Descripción	Se verifica el funcionamiento del módulo de inicio de sesión comprobando el comportamiento del sistema ante credenciales válidas e inválidas, así como la correcta redirección según el rol del usuario.				
Condiciones de entrada	- El usuario debe estar registrado en el sistema. - La cuenta debe encontrarse activa y aprobada. - El usuario debe disponer de un correo electrónico y contraseña válidos. - El servidor y la base de datos deben encontrarse en funcionamiento.				
Entrada	Resultado esperado	Resultado obtenido	Estado	Evidencia	
Ingresar un correo electrónico y contraseña válidos.	El sistema autentica al usuario y muestra el panel correspondiente según su rol.	El usuario inició sesión correctamente y fue redirigido al panel asignado.	Aprobado		
Ingresar una contraseña incorrecta.	Denegar acceso y mostrar mensaje de credenciales incorrectas.	El sistema mostró el mensaje de error y no permitió el acceso.	Aprobado		
Intento de inicio de sesión con cuenta pendiente.	Notificación de estado y bloqueo de acceso.	Acceso denegado y notificación emitida correctamente.	Aprobado		

Tabla 6.23 Prueba manual CPF002

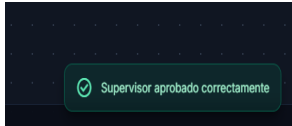
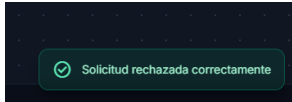
N° Caso de Prueba	CPF002	N° Historia de Usuario	HU004	N.º de iteración	2
Usuario	Administrador				
Objetivo de la prueba	Validar la revisión, aprobación o rechazo de solicitudes de supervisores previa verificación de datos del solicitante y la empresa.				
Descripción	Verificación del flujo de solicitudes pendientes: validación de permisos del administrador, estado de la solicitud y control de empresas duplicadas.				
Condiciones de entrada	- El administrador debe haber iniciado sesión y tener una cuenta activa. - Debe existir al menos una solicitud de supervisor en estado pendiente. - La solicitud debe contener los datos personales del supervisor, el RUC y el nombre de la empresa. - El sistema debe tener acceso a la información de empresas y supervisores ya registrados.				
Entrada	Resultado esperado	Resultado obtenido	Estado	Evidencia	
Aprobar una solicitud pendiente cuyos datos y empresa han sido revisados.	El sistema cambia la cuenta del supervisor a estado activo, confirma la aprobación y permite posteriormente su acceso.	La solicitud fue aprobada, el estado del supervisor cambió a activo y se mostró el mensaje de confirmación.	Aprobado		
Rechazar una solicitud pendiente que no cumple con las condiciones de registro.	El sistema rechaza la solicitud, impide el acceso del supervisor y muestra un mensaje de confirmación.	La solicitud fue rechazada correctamente y el usuario no quedó habilitado para ingresar.	Aprobado		
Intentar aprobar una solicitud con datos de empresas duplicados.	Mostrar advertencia de coincidencia y solicitar revisión previa.	Advertencia mostrada y aprobación pausada hasta su revisión.	Aprobado		

Tabla 6.24 Prueba manual CPF003

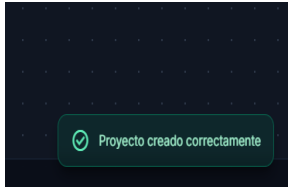
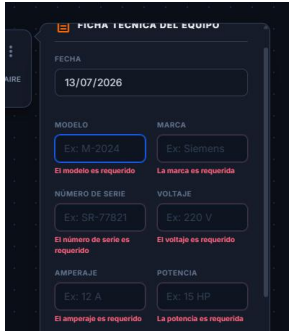
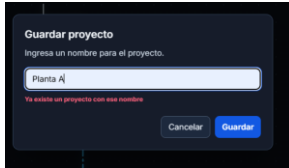
N° Caso de Prueba	CPF003	N° de Historia de Usuario	HU006	N.º de iteración	2
Usuario	Supervisor				
Objetivo de la prueba	Validar que el supervisor pueda crear y administrar proyectos, verificando que la información ingresada cumpla con las reglas establecidas por el sistema.				
Descripción	Se verifica el funcionamiento del módulo de gestión de proyectos comprobando la creación de un proyecto con datos válidos, la validación de campos obligatorios y la restricción de nombres duplicados.				
Condiciones de entrada	- El supervisor debe haber iniciado sesión. - La empresa del supervisor debe estar aprobada y activa. - El usuario debe contar con permisos para administrar proyectos. - El sistema debe tener conexión con la base de datos.				
Entrada	Resultado esperado	Resultado obtenido	Estado	Evidencia	
Registrar un proyecto con todos los datos obligatorios correctamente.	El sistema registra el proyecto y lo incorpora al listado de proyectos de la empresa.	El proyecto fue registrado correctamente y se visualizó en el listado.	Aprobado		
Intentar registrar un proyecto dejando campos obligatorios vacíos.	El sistema impide el registro y muestra mensajes indicando los campos que deben completarse.	El sistema mostró las validaciones correspondientes y no permitió guardar la información.	Aprobado		
Intentar registrar un proyecto con un nombre que ya existe dentro de la empresa.	El sistema informa que el proyecto ya existe y evita crear un registro duplicado.	El sistema detectó el nombre duplicado y bloqueó el registro.	Aprobado		

Tabla 6.25 Prueba manual CPF004

N° Caso de Prueba	CPF004	N° de Historia de Usuario	HU008	N.º de iteración	3
Usuario	Supervisor				
Objetivo de la prueba	Validar que el supervisor pueda diseñar y administrar el diagrama interactivo del proyecto mediante la incorporación, organización y conexión de los equipos industriales.				
Descripción	Se verifica el funcionamiento del Canvas interactivo comprobando la creación del diagrama, la incorporación de equipos, la modificación de su ubicación y el almacenamiento correcto de la información.				
Condiciones de entrada	• El supervisor debe haber iniciado sesión. • Debe existir un proyecto previamente registrado. • El proyecto debe encontrarse activo. • Deben existir equipos registrados para incorporarlos al Canvas. • El usuario debe contar con permisos para modificar el proyecto.				
Entrada	Resultado esperado	Resultado obtenido	Estado	Evidencia	
Agregar uno o varios equipos al Canvas y guardar los cambios.	El sistema incorpora los equipos al diagrama y almacena correctamente su información.	Los equipos fueron agregados y el diagrama se guardó correctamente.	Aprobado		
Modificar la posición de un equipo dentro del Canvas y guardar nuevamente el proyecto.	El sistema actualiza la ubicación del equipo y conserva los cambios realizados.	La nueva posición fue almacenada y se visualizó correctamente al recargar el proyecto.	Aprobado		
Intentar modificar el Canvas con un usuario que no posee permisos sobre el proyecto.	El sistema impide realizar modificaciones y muestra un mensaje indicando que el usuario no tiene autorización.	El sistema bloqueó la edición del Canvas para el usuario sin permisos.	Aprobado		

Tabla 6.26 Prueba manual CPF005

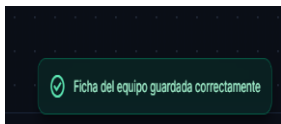
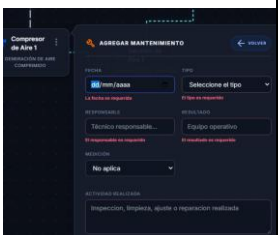
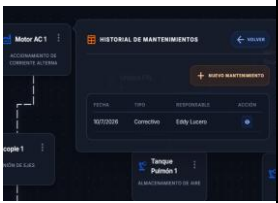
N° Caso de Prueba	CPF005	N° Historia de Usuario	HU010	N.º de iteración	4
Usuario	Supervisor				
Objetivo de la prueba	Validar que el supervisor pueda registrar y administrar correctamente las fichas técnicas de los equipos industriales.				
Descripción	Se verifica el funcionamiento del módulo de fichas técnicas comprobando el registro de un equipo con información válida, la validación de los campos obligatorios y la actualización de la información técnica registrada.				
Condiciones de entrada	- El supervisor debe haber iniciado sesión. - Debe existir un proyecto activo. - El usuario debe contar con permisos para administrar fichas técnicas. - El equipo debe pertenecer al proyecto seleccionado.				
Entrada	Resultado esperado	Resultado obtenido	Estado	Evidencia	
Registrar una ficha técnica con toda la información requerida.	El sistema registra la ficha técnica y la asocia correctamente al equipo correspondiente.	La ficha técnica fue registrada y almacenada correctamente.	Aprobado		
Intentar registrar una ficha técnica dejando campos obligatorios vacíos.	El sistema impide el registro y muestra los mensajes de validación correspondientes.	El sistema validó los campos obligatorios y no permitió guardar la información incompleta.	Aprobado		
Modificar la información de una ficha técnica previamente registrada.	El sistema actualiza la información y conserva los cambios realizados.	La información fue actualizada correctamente y se reflejó en la consulta posterior.	Aprobado		

Tabla 6.27 Prueba manual CPF006

N° Caso de Prueba	CPF006	N° Historia de Usuario	HU011	N.º de iteración	4
Usuario	Técnico				
Objetivo de la prueba	Validar que el técnico registre actividades de mantenimiento y se almacenen en el historial del equipo.				
Descripción	Comprobación del registro de una intervención, validación de datos obligatorios y actualización automática del historial.				
Condiciones de entrada	- El técnico debe haber iniciado sesión. - El técnico debe pertenecer a la empresa y al proyecto correspondiente. - Debe existir un proyecto activo. - El equipo debe contar con una ficha técnica registrada. - El usuario debe tener permisos para registrar mantenimientos.				
Entrada	Resultado esperado	Resultado obtenido	Estado	Evidencia	
Registrar un mantenimiento con los campos requeridos.	El sistema registra el mantenimiento y lo asocia al equipo.	El mantenimiento se registró correctamente en el historial del equipo.	Aprobado		
Intentar registrar un mantenimiento dejando campos obligatorios vacíos.	El sistema impide el registro y muestra los mensajes de validación correspondientes.	El sistema validó los campos obligatorios y no permitió guardar la información incompleta.	Aprobado		
Consultar el historial del equipo después de registrar el mantenimiento.	El nuevo mantenimiento debe visualizarse dentro del historial del equipo.	El historial mostró correctamente el mantenimiento registrado con toda su información.	Aprobado		

Aquí solo se muestra las pruebas manuales, principales realizadas en el **Anexo F**, se puede evidenciar las pruebas manuales restantes.

6.3 COSTO DEL SOFTWARE

La estimación del costo del software se calculó según la técnica de estimación por esfuerzo COCOMO II, la cual permite proyectar el costo de un sistema a partir del tiempo de programación y el salario de los desarrolladores [53]. En este caso, se tomó como referencia el sueldo base de un programador junior en Ecuador y el tiempo real invertido en la construcción del módulo. Dado que el proyecto adoptó la metodología XP y un stack tecnológico libre de licencias (React, NestJS, Prisma y PostgreSQL), los costes corresponden íntegramente a la mano de obra, capacitación e infraestructura mínima.

Estimación de costo del software:

- **Salario mensual promedio junior en Ecuador:** \$700
- **Salario por día:**

$$\frac{700}{30} = 23,33_{\text{dólares}}$$

Mano de obra:

- **Días trabajados:** 81
- **Costo por desarrollador:** $81 \times 23,33 = 1.889,73 \text{ USD}$
- **Dos desarrolladores:** $1.889,73 \times 2 = 3.779,46 \text{ USD}$

Otros costos:

- **Servidor Railway:**

$$5_{\text{mes}} \times 2_{\text{mes}} = 10_{\text{dólares}}$$

- **Capacitación:** Cursos React + NestJS + mantenimiento industrial = 100_{dólares}
- **Documentación:**

$$142_{\text{páginas}} \times 1_{\text{páginas}} = 142_{\text{dólares}}$$

Tabla 6.28 Costo del software

Concepto	Descripción	Total
Mano de obra (2 devs)	81 días $\times$ 23,33 $\times$ 2	\$3.779,46
Servidor Railway	Plan Hobby mensual	\$10,00
Capacitación	Cursos técnicos	\$100,00
Documentación	142 páginas	\$142,00
Total, estimado		\$4.031.46

6.4 COMPROBACIÓN DE LA DE LA HIPÓTESIS

6.4.1 Resultados de la validación de expertos

Para evaluar la funcionalidad y utilidad del módulo web, se aplicó una validación con cuatro expertos del ámbito académico y profesional de la ingeniería. Los evaluadores utilizaron un cuestionario estructurado en una escala de Likert de cinco niveles para calificar la organización de los datos técnicos, el manejo de fichas técnicas, los diagramas interactivos, el historial de mantenimiento y el impacto general del sistema en la gestión de la información.

La selección de los expertos se realizó considerando su formación académica y experiencia profesional relacionada con las áreas involucradas en el desarrollo y aplicación del módulo web. El perfil de los profesionales seleccionados y los criterios considerados para su elección se presentan en el **Anexo I**. Se contó con la participación de cuatro evaluadores, cuyos perfiles permitieron obtener criterios desde diferentes perspectivas relacionadas con la ingeniería, el mantenimiento y el desarrollo tecnológico.

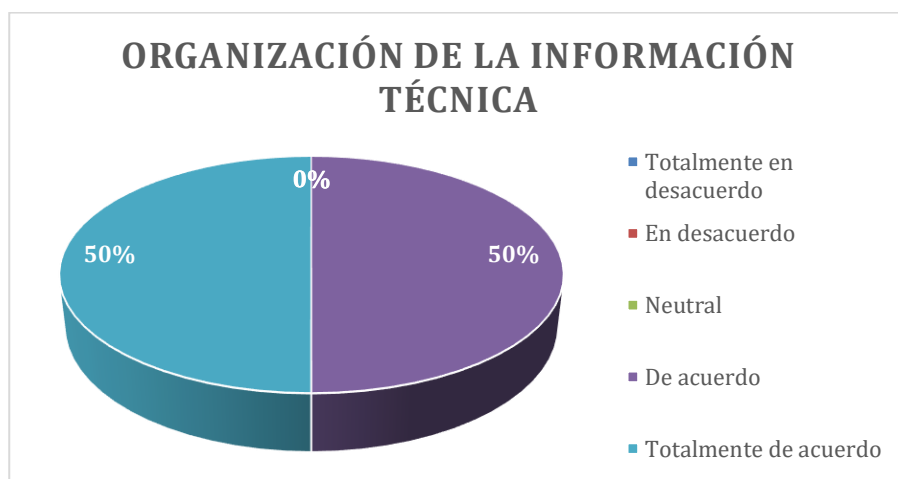
Tabla 6.29 Resultados de la evaluación mediante escala de Likert

Criterio evaluado	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
El sistema organiza adecuadamente la información técnica de los equipos.	0	0	0	2	2
Las fichas técnicas facilitan la consulta de la información.	0	0	0	1	3
Los diagramas interactivos mejoran la comprensión del proceso.	0	0	0	1	3
El historial de mantenimiento facilita el seguimiento de las intervenciones.	0	0	0	2	2

Criterio evaluado	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutral	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
El módulo web mejora la gestión de la información para el mantenimiento.	0	0	0	2	2

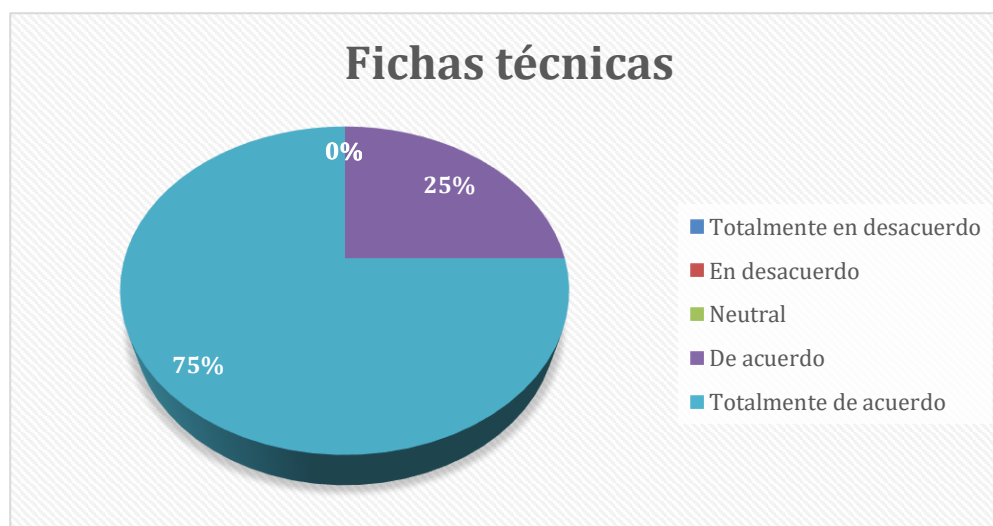
6.4.1.1 Interpretación de los resultados

1. Organización de la información técnica



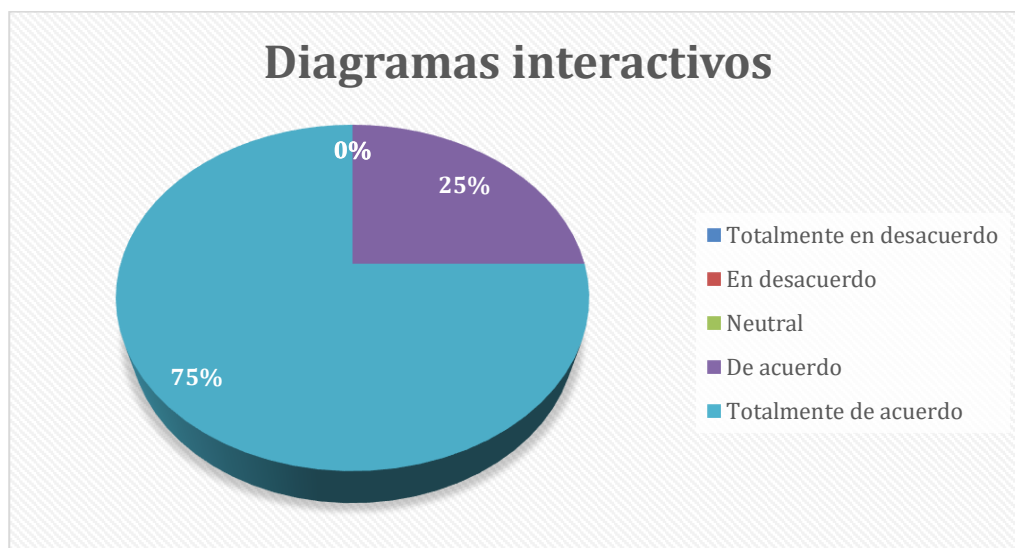
La mitad de los evaluadores opinó estar de acuerdo y el 50 % restante totalmente de acuerdo. Con esto se valida que la plataforma ordena de forma clara los datos de los equipos electromecánicos, lo que agiliza su consulta y gestión diaria.

2. Fichas técnicas



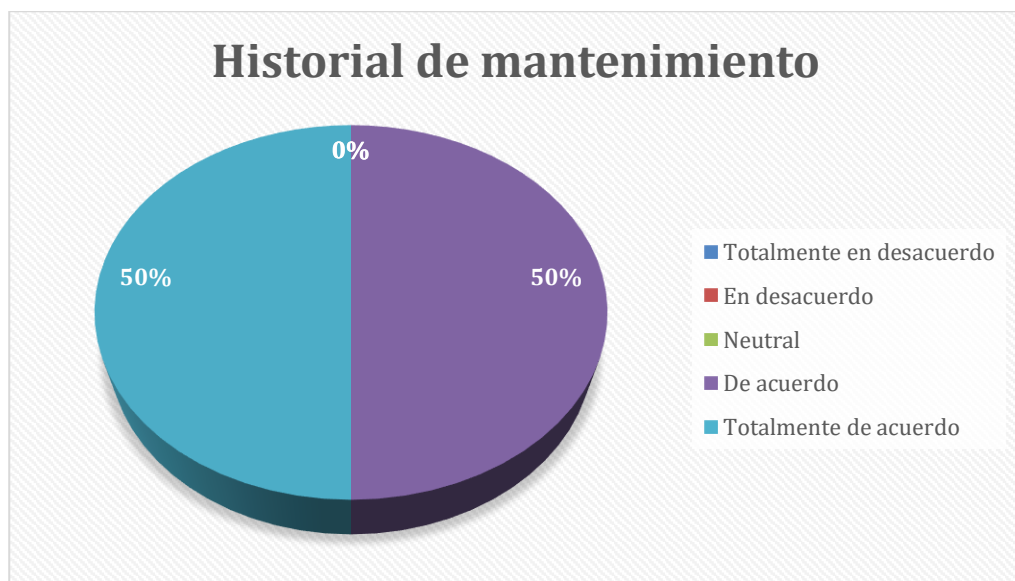
El uso de las fichas técnicas para la consulta de información recibió un respaldo positivo unánime: el 75 % de los expertos votó "Totalmente de acuerdo" y el 25 % "De acuerdo". Esto demuestra que el módulo centraliza de forma práctica los expedientes de cada equipo.

3. Diagramas interactivos



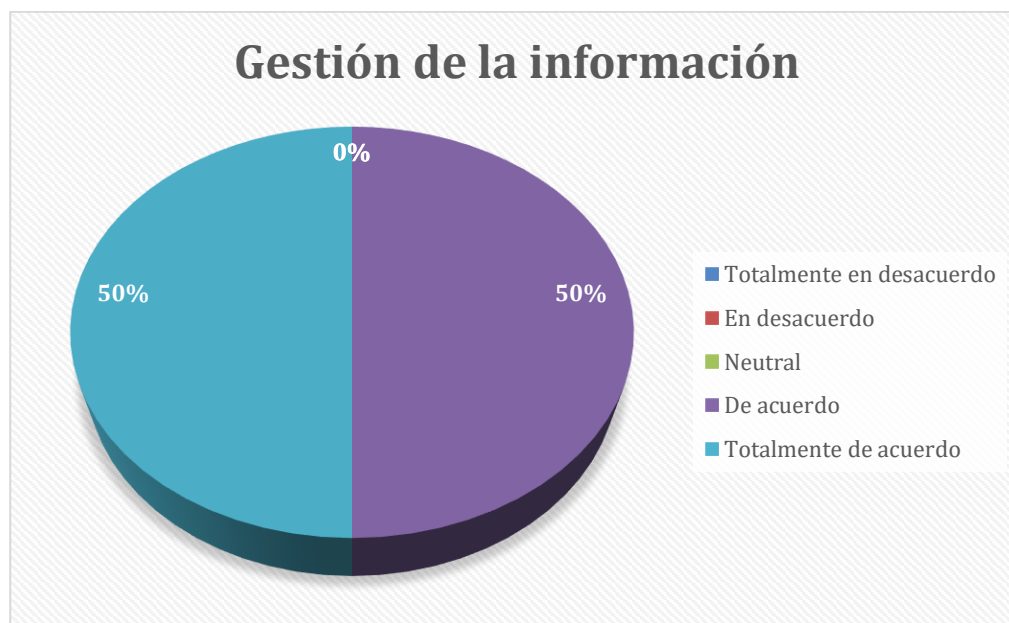
Tres de cada cuatro especialistas estuvieron totalmente de acuerdo en que los esquemas interactivos facilitan la lectura del proceso, mientras que el 25 % restante marcó estar de acuerdo. Este resultado respalda el uso de gráficos dinámicos para ubicar los equipos dentro de la empresa.

4. Historial de mantenimiento



Las respuestas se repartieron por igual: 50 % de acuerdo y 50 % totalmente de acuerdo. La valoración demuestra que registrar las intervenciones pasadas ayuda a llevar un control claro del trabajo realizado sobre cada activo.

5. Gestión de la información



Finalmente, el 50 % de los profesionales estuvo de acuerdo y el otro 50 % totalmente de acuerdo con el impacto del sistema. Los resultados respaldan al módulo web como un recurso útil para coordinar la información del área de mantenimiento industrial.

6.4.1.2 Interpretación general de la validación

En términos generales, la evaluación del módulo web fue positiva. La totalidad de las respuestas se concentró en las escalas "De acuerdo" y "Totalmente de acuerdo", sin registrarse valoraciones neutras ni negativas. Este consenso favorable valida la utilidad operativa de la plataforma y ofrece un respaldo técnico para la comprobación de la hipótesis planteada.

6.4.2 Resultados del cuestionario SUS

El cuestionario System Usability Scale (SUS) se aplicó a cuatro expertos con el fin de evaluar la usabilidad del módulo web. Tal como se menciona en [54], el SUS es un instrumento estandarizado que permite obtener un puntaje global de usabilidad a partir de diez ítems tipo Likert, ofreciendo una medida confiable y ampliamente utilizada en la evaluación de sistemas interactivos.

6.4.2.1 Cálculo paso a paso:

- Para los ítems impares, se restó 1 al valor marcado por el evaluador.

- Para los ítems pares, se restó la puntuación asignada del total de 5 puntos (5 – *valor*).
- Se sumaron los resultados ajustados de los diez ítems por cada evaluador.
- El total obtenido se multiplicó por 2,5, generando el puntaje SUS individual en escala de 0 a 100.

6.4.2.2 Puntaje de cada experto y promedio general

A partir de los datos recolectados, el procesamiento individual y el promedio general arrojaron los siguientes valores:

Tabla 6.30 Puntajes obtenidos mediante el cuestionario SUS

Nombre	Cargo	Sumatoria	Puntaje SUS (x 2,5)
Raúl Reinoso	Docente UTC	29	72,50
Gonzalo Vizuite	Ingeniero Mecánico	31	77,50
Luis Tipán	Ingeniero Electromecánico	32	80,00
Paul Vega	Ingeniero Industrial	29	72,50

El promedio general de usabilidad se calculó dividiendo la suma de los puntajes individuales entre los cuatro encuestados:

$$\frac{72,50 + 77,50 + 80,00 + 72,50}{4} = 75,63$$

6.4.2.3 Clasificación de usabilidad

De acuerdo con [54], un puntaje superior a 68 puntos en la escala SUS indica que el sistema supera la media de aceptabilidad, mientras que valores en el rango de 70 a 80 puntos ubican a la plataforma dentro de la categoría de usabilidad "Buena" (*Grado B*).

En este sentido, el módulo web obtuvo un puntaje promedio de 75,63 puntos, lo que demuestra que la interfaz es clara y usable. Este resultado valida la efectividad de la navegación y la facilidad de interacción del sistema para la gestión del mantenimiento industrial.

6.4.3 Resultados del Coeficiente V de Aiken

Para validar el contenido del instrumento aplicado, se calculó el coeficiente V de Aiken sobre las valoraciones del panel de especialistas. Este análisis mide cuantitativamente el nivel de concordancia entre los evaluadores en cada criterio examinado.

La razón de validez se determinó mediante la expresión:

$$V = \frac{\sum s}{n(c - 1)}$$

La **Tabla 6.31** detalla el procesamiento de las respuestas de campo y el valor V de Aiken individual para cada ítem.

Tabla 6.31 Cálculo del coeficiente V de Aiken por criterio

Criterio	Respuestas (r)	Valores s (r - 1)	$\sum s$	V de Aiken
Organización de la información	4, 5, 5, 4	3, 4, 4, 3	14	0,875
Fichas técnicas	4, 5, 5, 5	3, 4, 4, 4	15	0,938
Diagramas interactivos	5, 5, 5, 4	4, 4, 4, 3	15	0,938
Historial de mantenimiento	4, 5, 4, 5	3, 4, 3, 4	14	0,875
Gestión de la información	4, 5, 5, 4	3, 4, 4, 3	14	0,875

Posteriormente, se calculó el promedio general de validez del instrumento mediante la media aritmética de los coeficientes obtenidos en los cinco criterios evaluados ($k = 5$):

$$\text{Promedio } V = \frac{0,875 + 0,938 + 0,938 + 0,875 + 0,875}{5} = \frac{4,501}{5} = 0,9002 \approx 0,900$$

Este valor representa el indicador consolidado del cuestionario, expuesto en la **Tabla 6.32**.

Tabla 6.32 Consolidado del coeficiente V de Aiken

Indicador	Valor
Promedio V de Aiken	0,900

6.4.3.1 Interpretación de resultados

Los resultados por criterio se ubicaron entre 0,875 y 0,938, alcanzando un promedio general de 0,900. Según la literatura técnica [55], valores superiores a 0,800 demuestran una elevada validez de contenido y reflejan un consenso sólido entre los evaluadores.

Este resultado confirma la consistencia interna del instrumento empleado. De igual forma, el criterio favorable del panel de expertos respalda que la plataforma web optimiza la organización de la información técnica, simplifica el uso de fichas y diagramas dinámicos, y facilita el seguimiento del historial de mantenimiento, aportando evidencia empírica para la comprobación de la hipótesis de investigación.

6.4.4 Resultado general

Los datos recopilados en las tres etapas de evaluación ofrecen la evidencia empírica necesaria para sostener la hipótesis de trabajo: "La implementación de un módulo web para la gestión del mantenimiento industrial mejora la organización de la información dentro de la empresa".

El soporte cuantitativo de esta afirmación se fundamenta en los siguientes hallazgos:

- **Efecto en la variable dependiente:** La evaluación en escala de Likert registró un 100% de respuestas favorables ("De acuerdo" y "Totalmente de acuerdo") en criterios clave como la estructuración de datos técnicos, el uso de fichas y el seguimiento de historiales de trabajo.
- **Operatividad del sistema (Variable independiente):** La prueba SUS alcanzó una media de 75,63 puntos, ubicando la plataforma en un nivel de usabilidad "Buena" (*Grado B*). Esto confirma que el entorno web es accesible y funcional para la operación diaria.
- **Validez de contenido y consenso:** El coeficiente *V* de Aiken se consolidó en 0,900, superando el umbral técnico de 0,800. Este indicador demuestra un acuerdo sólido entre los especialistas sobre la efectividad del módulo para ordenar la información operativa.

Al registrarse una valoración positiva unánime, un nivel de usabilidad superior a la media y un alto consenso estadístico entre los evaluadores, se acepta la hipótesis de investigación de trabajo y se descarta la hipótesis nula.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- La revisión bibliografía permitió estructurar los fundamentos teóricos en el campo del mantenimiento industrial, visualización de procesos y sistemas web. Estas referencias garantizaron un enfoque estructurado durante el desarrollo y su posterior ejecución.
- La aplicación de la metodología Extreme Programming (XP) resulto ideal dentro del desarrollo y organización del proyecto para trabajar a través de historias de usuario e iteraciones cortas, facilitando así la entrega de cada requisito solicitado.
- Se implementó el módulo web GPM Industrial donde reúne fichas técnicas, el historial de mantenimiento y diagramas interactivos. Al juntar estos datos en un solo sitio, la búsqueda de información sobre los equipos se volvió mucho más rápida y sencilla.

7.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda mantener actualizada la fundamentación teórica a través de la consulta de fuentes científicas vinculadas a la gestión del mantenimiento industrial y las tecnologías para el desarrollo de sistemas web, con el fin de potenciar futuras mejoras del sistema.
- Se propone continuar aplicando la metodología Extreme Programming (XP) en futuras extensiones del sistema, facilitando la organización iterativa del trabajo, la validación continua por parte del usuario y la integración de nuevos requisitos.
- Se propone la implementación de una siguiente fase enfocada en la generación automática de planes de mantenimiento, complementando el módulo actual para sistematizar la programación de actividades periódicas en la planta.

8. REFERENCIAS

- [1] F. R. Avendaño, Sistema tecnológico aplicado a la digitalización de procesos de mantenimiento industrial, Tesis de Ingeniería, Universidad Técnica Particular de Loja, 2025. Disponible en: <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/29.500.19856/72786>
- [2] J. A. Iza Viracocha, Desarrollo de sistema web para el control de mantenimientos y equipos, Tesis de Ingeniería, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2021. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/26317>
- [3] G. N. Guachamín, Sistema web para CMMS: mantenimiento preventivo, Tesis de Ingeniería, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2025. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/26317>
- [4] Revista AEM, “Mantenimiento predictivo con inteligencia artificial”, vol. 35, no. 2, pp. 45–60, 2024. Disponible en: <https://aem.es>
- [5] F. E. P. Cantos, D. P. B. Jordan, y F. B. G. Chata, “Metodología de una propuesta de gestión de mantenimiento para equipos electromecánicos en una instalación universitaria”, Polodelconocimiento.com, abr-2024. [En línea]. Disponible en: <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/6969>. [Consultado: 12-jun-2026].
- [6] R. O. García y J. A. M. Merodio, “Estudio y propuesta de los factores que facilitan el desarrollo e implementación de un sistema de mantenimiento y gestión de activos en un entorno industrial”, en ATICA 2023: Aplicación de Tecnologías de la Información y Comunicaciones Avanzadas y Accesibilidad: Instituto Tecnológico de Aguascalientes (México), del 18 al 20 de octubre de 2023, 2023, pp. 193–200.
- [7] S. Martínez Rabanales, A. Hernández Martínez, A. M. Sosa Pintle, M. R. García Sierra, y V. Martínez Ramírez, “Sistema de gestión y control de mantenimiento industrial para líneas de producción de cojinetes alto volumen”, REVISTA IPSUMTEC, vol. 7, núm. 2, pp. 258–263, 2024.
- [8] [39] F. R. Avendaño Jiménez, Sistema tecnológico aplicado a la digitalización de procesos de mantenimiento industrial para la Industria ILE, Tesis de Grado, Universidad Técnica Particular de Loja, 2025. Disponible en: <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/29.500.19856/72786>

- [9] Pincay Barreiro, Yadira Mariuxi, Ronquillo Casquete, Isaias Ivan, "Implementación de sistema Web para gestión y control de mantenimiento en equipos y sistemas del área de instrumentos meteorológicos de dirección general de Aviación Civil del Ecuador", Repositorio Digital Universidad de Guayaquil., mar-2021. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ug.edu.ec/items/dd41b53c-eda2-4b67-b507-5a903a0123df>
- [10] B. Ramírez y J. Sebastián, "Sistema de Gestión del Mantenimiento Industrial para incrementar la eficiencia del proceso productivo". Repositorio Institucional UTPL. [En línea]. Disponible: <https://dspace.utpl.edu.ec/handle/29.500.19856/70333>
- [11] S. A. Matute, D. Avila-Pesantez y L. Miriam Avila, "Desarrollo de sistema Web basado en los frameworks de Laravel y VueJs, para la gestión por procesos: Un estudio de caso", ResearchGate, 2020. [En línea]. Disponible: <https://www.researchgate.net/publication/346973093>
- [12] J. J. Barojas, D. P. Bolaños y J. A. Villanueva, "Arquitectura REST para el desarrollo de aplicaciones web empresariales", Revista Electrónica sobre Tecnología, Educación y Sociedad (CTES), vol. 8, núm. 15, pp. 1-15, ene.-jun. 2021. [En línea]. Disponible: <https://ctes.org.mx/index.php/ctes/article/download/748/909>
- [13] Infranetworking, "Modelo Cliente Servidor: Qué es, cómo funciona y ejemplos," Blog de Infranetworking, 2026. [En línea]. Disponible en: <https://blog.infranetworking.com/modelo-cliente-servidor/>. [Accedido: 15-jul-2026].
- [14] E. B. C., "Modelo cliente-servidor," EdgarBC Blog, WordPress, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://edgarbc.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/02/501f9-cliente-servidor.png?w=950>. [Consultado: 15-jul-2026].
- [15] Red Hat, "¿Qué es una API REST?". [En línea]. Disponible: <https://www.redhat.com/es/topics/api/what-is-a-rest-api>
- [16] Cloud Oort, "REST API Model," Velog, 2022. [En línea]. Disponible en: https://velog.velcdn.com/images/cloud_oort/post/ef78f17f-bbf1-4604-b018-eef32c70190b/image.png. [Consultado: 15-jul-2026].

- [17] Microsoft Azure, "¿Qué es PostgreSQL?". [En línea]. Disponible: <https://azure.microsoft.com/es-es/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-postgresql>
- [18] Databricks, "¿Qué es una base de datos PostgreSQL?", Databricks Blog, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.databricks.com/es/blog/what-is-postgresql-database>. [Consultado: 15-jul-2026].
- [19] Descope, "What is JSON Web Token (JWT)?" Descope Learn, 2026. [En línea]. Disponible en: <https://www.descope.com/learn/post/jwt>. [Accedido: 15-jul-2026].
- [20] International Organization for Standardization, ISO 9241-11:2018 Ergonomics of human-system interaction — Part 11: Usability: Definitions and concepts, 2ª ed., Ginebra, Suiza: ISO, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/63500.html>. [Consultado: 15-jul-2026].
- [21] Y. Alatríste-Martínez, M. A. Pérez-Sanagustín y J. L. Hernández-Ocaña, "Conceptos, elementos y usos del diseño UX," ResearchGate, 2021. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/350190051_Conceptos_elementos_y_usos_del_diseno_UX. [Accedido: 15-jul-2026].
- [22] E. G. Maida y J. Pacienza, "Metodologías de desarrollo de software", Tesis de Licenciatura en Sistemas y Computación, Facultad de Química e Ingeniería "Fray Rogelio Bacon", Universidad Católica Argentina, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/522>.
- [23] M. R. Martínez Martínez, "Enfoques y procesos ágiles en los proyectos de desarrollo de software en estudios de casos múltiples en empresas en México", Tesis de Doctorado en Ciencias de la Administración, Universidad Nacional Autónoma de México, 2025. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000868774>. [Consultado: 08-jul-2026].
- [24] KnowledgeHut, "Extreme Programming vs Scrum: What are the Differences?", KnowledgeHut Blog, jul-2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.knowledgehut.com/blog/agile/extreme-programming-vs-scrum>. [Consultado: 08-jul-2026].
- [25] Scrum.org, "What is Scrum?", Scrum.org, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.scrum.org/resources/what-is-scrum>. [Consultado: 08-jul-2026].

- [26] React, "Documentación oficial de React". [En línea]. Disponible: <https://es.react.dev/>
- [27] Moveapps, "Ventajas de NestJS que están revolucionando el desarrollo web", 2023. [En línea]. Disponible: <https://www.moveapps.cl/blog/ventajas-de-nestjs-2023/>
- [28] NestJS, "Prisma | NestJS - A progressive Node.js framework", Documentación oficial. [En línea]. Disponible: <https://docs.nestjs.com/recipes/prisma>
- [29] S. Shinde, "Modern Frontend Tooling with Vite," International Journal of Computer Science and Engineering, vol. 9, no. 5, pp. 12-16, 2022. [En línea]. Disponible: <https://www.ijcseonline.org>. [Accedido: 15-jul-2026].
- [30] G. J. Sosa Vera, "Impacto de la digitalización del proceso de medición de tolerancias de maquinarias en la fabricación de llantas en Continental," Trabajo de titulación, Fac. de Ingeniería, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, p. 20. [En línea]. Disponible: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstreams/2712d034-888c-4038-9258-671f7789e08c/download>
- [31] Fazt.dev, "React Flow Tutorial: Diagramas interactivos en React," 2024. [En línea]. Disponible en: <https://fazit.dev/contenido/react-flow-tutorial-diagramas-interactivos-react>. [Consultado: 15-jul-2026].
- [32] Y. R. Sánchez, "Visualización de información y conocimiento para comunicar resultados de investigación de las ciencias sociales", Rev. MENDIVE, vol. 20, núm. 3, pp. 772-789, 2022.
- [33] Universidad Politécnica Salesiana, "Gestión de mantenimiento preventivo y correctivo en una institución de producción y servicios," Trabajo de titulación, Carrera de Ingeniería Industrial, Guayaquil, Ecuador, 2024, p. 5. [En línea]. Disponible: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/27626/1/UPS-GT005070.pdf>
- [34] Universidad Politécnica Salesiana, "Elaboración de un plan de mantenimiento en el área de talleres de la Industria Molinera C.A.," Trabajo de titulación, Carrera de Ingeniería Industrial, Sede Quito, Ecuador, 2025, p. 1. [En línea]. Disponible: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/28974/1/UPS-GT005683.pdf>

- [35] Universidad Politécnica Salesiana, "Diseño de un plan de mantenimiento mecatrónico para la maquinaria de producción," Trabajo de titulación, Sede Cuenca, Ecuador, 2022, p. 11. [En línea]. Disponible: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21671/1/UPS-CT009519.pdf>
- [36] F. R. Gómez Plasencia, "Procedimiento para la selección del tipo de mantenimiento en los equipos de la Empresa Pesquera Industrial de Caibarién", Trabajo de Diploma, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Cuba, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.uclv.edu.cu/server/api/core/bitstreams/c5ba931f-f28e-4b0d-9d62-fe773d66af13/content>
- [37] E. A. Salazar Apestequía y R. D. Uceda Pisfil, "Gestión de mantenimiento preventivo de los equipos electromecánicos en las empresas: una revisión de la literatura", Universidad Privada del Norte, 2021.
- [38] H. M. Rodas Purizaga, L. A. Gil Ramírez, H. O. Amari Larreategui, M. A. Rojas Delgado, y J. E. Torres Chilson, "Tipos de mantenimiento en cuatro aserraderos en el proceso de transformación primaria de madera aserrada", Manglar (Tumbes), vol. 20, núm. 2, pp. 139–148, 2023.
- [39] J. A. Aranda Ortiz y H. Y. De La Cruz Díaz, "Propuesta de mejora del planeamiento para el mantenimiento de equipos electromecánicos", Trabajo de suficiencia profesional, Facultad de Ingeniería, Universidad Privada del Norte, Lima, Perú, 2024. [En línea]. Disponible: <https://repositorio.upn.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/01bf998a-9410-4f1a-903e-6992989eb220/content>
- [40] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado y P. Baptista Lucio, Metodología de la investigación, 6a ed. México D.F., México: McGraw-Hill, 2014. [En línea]. Disponible en: https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/metodologia-de-la-investigaci%C3%83%C2%B3n_sampieri.pdf
- [41] Editorial Etecé, "Investigación de campo", Concepto, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://concepto.de/investigacion-de-campo/>. [Accedido: 02-ago-2026].
- [42] Editorial Etecé, "Investigación descriptiva: qué es, características, ejemplos," Concepto, 2026. [En línea]. Disponible en: <https://concepto.de/investigacion-descriptiva/>. [Accedido: 02-ago-2026].

- [43] L. Stewart, "¿Qué es la investigación descriptiva y cómo se utiliza?," ATLAS.ti Research Hub, 2025. [En línea]. Disponible en: <https://atlasti.com/es/investigacion-descriptiva>. [Accedido: 02-ago-2026].
- [44] C. Sabino, El proceso de investigación. Caracas, Venezuela: Panapo, 2021.
- [45] M. Tamayo, El proceso de investigación científica. Bogotá, Colombia: Editorial Limusa, 2021.
- [46] F. Arias, El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica, 8ª ed. Caracas, Venezuela: Episteme, 2022.
- [47] A. Mugira, "Escala de Likert: Qué es y cómo utilizarla en tus encuestas," QuestionPro Blog, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.questionpro.com/blog/es/que-es-la-escala-de-likert-y-como-utilizarla/>
- [48] K. Suil, "¿Preguntemos a los usuarios! 5 cuestionarios para pruebas de usabilidad," Medium, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://kathsuil.medium.com/preguntemos-a-los-usuarios-5-cuestionarios-para-pruebas-de-usabilidad-db5e88920247>
- [49] L. R. Aiken, "Three coefficients for analyzing the reliability and validity of ratings," Educational and Psychological Measurement, vol. 45, no. 1, pp. 131–142, 1985. Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0013164485451012>
- [50] Atlassian, "Historias de usuario: definición y ejemplos", Atlassian Agile Coach, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.atlassian.com/es/agile/project-management/user-stories>. [Consultado: 08-jul-2026].
- [51] Asana, "Extreme Programming (XP): valores y principios", Asana Resources, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://asana.com/es/resources/extreme-programming-xp>. [Consultado: 08-jul-2026].
- [52] Tutoriales Programación Ya, "Ciclo de desarrollo en Extreme Programming (XP)", ProgramaciónYa, 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.tutorialesprogramacionya.com/metodologiasdedesarrollo/extremeprogramming/tema4.html>. [Consultado: 08-jul-2026].

- [53] B. W. Boehm, Software Engineering Economics. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall, 1981. [En línea]. Disponible en: <https://staff.emu.edu.tr/alexanderchefranov/Documents/CMPE412/Boehm1981%20COCOMO.pdf>
- [54] J. Brooke, "SUS - A 'quick and dirty' usability scale," Usability Evaluation in Industry, 1996. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/319394819_SUS_-_a_quick_and_dirty_usability_scale
- [55] A. Bangor, P. T. Kortum, y J. T. Miller, "An empirical evaluation of the System Usability Scale," International Journal of Human-Computer Interaction, 2008. Disponible en: <https://dl.acm.org/doi/10.5555/2835587.2835589>

9. ANEXOS

Anexo A. INSTRUMENTO DE ENTREVISTA SEMIESTRUCTURADA

Guía de entrevista

Proyecto:

Desarrollo de un módulo web para la gestión del mantenimiento industrial, con fichas técnicas de equipos y visualización de procesos mediante diagramas interactivos.

Entrevistado: CONRADO VIZUETE

Cargo: RESPONSABLE DEL PROYECTO

¿Cómo registran actualmente el mantenimiento?

DE FORMA MANUAL EN BITÁCORAS

¿Cómo controlan las órdenes de trabajo?

VERBALMENTE EN BASE A LA BITÁCORAS

¿Qué información contiene una ficha técnica?

CÓDIGO, TIPO DE EQUIPO, POTENCIA, VOLTAGE, CORRIENTE, MARCA, SERIE, MODELO

¿Qué dificultades existen para consultar el historial?

SE DEBE REVISAR MANUALMENTE Y PUNTO POR PUNTO EN LA BITÁCORAS

¿Cómo identifican un equipo?

POR EL CÓDIGO

¿Qué problemas presentan los planos actuales?

ESTÁN DESACTUALIZADOS

¿Qué funcionalidades consideran necesarias?

Que se Enlacen los Equipos, Verificar Historial
De Mantenimientos, Fichas Técnicas.....

¿Cómo realizan la planificación del mantenimiento?

Revisamos la Bitácora.....

 Ing. Gonzalo Yzue DOCENTE Entrevistado Firma	 Investigador Firma
--	---

Anexo B. INSTRUMENTO DE OBSERVACIÓN DIRECTA**Ficha de observación****INPLASTICO NARANJO HERNANDEZ Y
COMPAÑÍA****PRENSA HIDRÁULICA**

Equipo	Marca	Modelo	Serie	Voltaje	Potencia	Amperaje
Motor AC	WEG	W22	MA240207	460 V	10 HP	14.2 A
Bomba Hidráulica	Parker	PGP620	BH240051	460 V	10 HP	14. 2 A
Filtro de Aceite	HYDAC	DFON330	FA240014	0 V	0 HP	0 A
Válvula Direccional	Bosch Rexroth	4WE6	VD240083	24 VDC	0 HP	0.8 A
Cilindro Hidráulico	SEW-Eurodrive	HMI Series	CH240025	0 V	0 HP	0 A

NEUMÁTICO DE ACCIONAMIENTO

Equipo	Marca	Modelo	Serie	Voltaje	Potencia	Amperaje
Compresor de Aire	Atlas Copco	GA11	CA240101	460 V	15 HP	21 A
Tanque Pulmón	Sullair	ST500	TP240018	0 V	0 HP	0 A
Unidad FRL	SMC	AC40	FR240054	0 V	0 HP	0 A
Válvula Neumática	Festo	VUVG	VN240076	24 VDC	0 HP	0.4 A

Equipo	Marca	Modelo	Serie	Voltaje	Potencia	Amperaje
Cilindro Neumático	Festo	DSBC	CN240097	0 V	0 HP	0 A

VENTILACIÓN INDUSTRIAL

Equipo	Marca	Modelo	Serie	Voltaje	Potencia	Amperaje
Tablero Eléctrico	ABB	MNS	TE240082	460 V	0 H	100 A
Contactor	Schneider Electric	LC1D32	CT240039	220 VAC	0 HP	32 A
Motor AC	Siemens	SIMOTICS GP	MA240306	460 V	5 HP	7.8 A
Acople	Lovejoy	L-150	AC240063	0 V	0 HP	0 A
Ventilador Industrial	Soler & Palau	HCFB	VI240011	460 V	5 HP	7.8 A

BOMBEO HIDRÁULICO

Equipo	Marca	Modelo	Serie	Voltaje	Potencia	Amperaje
Transformador	ABB	TTR Series	TR240028	13.8 kV / 460 V	75 kVA	
Motor AC	WEG	W22 IE3	MA240411	460 V	20 HP	27 A
Bomba Hidráulica	Parker	PAVC100	BH240072	460 V	20 HP	27 A
Manómetro	WIKA	232.50	MN240045	0 V	0 HP	0 A
Válvula de Control	Bosch Rexroth	2FRM	VC240026	24 VDC	0 HP	0.6 A

Equipo	Marca	Modelo	Serie	Voltaje	Potencia	Amperaje
Motor Hidráulico	Eaton	Char-Lynn	MH240019	0 V	20 HP	0 A

AUTOMATIZADO DE TRANSPORTE

Equipo	Marca	Modelo	Serie	Voltaje	Potencia	Amperaje
PLC	Siemens	S7-1200	PLC240091	24 VDC	0 HP	2 A
Sensor	Omron	E2E-X5ME1	SN240132	24 VDC	0 HP	0.2 A
Variador	Schneider Electric	Altivar ATV340	VF240084	460 V	15 HP	21 A
Motor AC	ABB	M3BP	MA240512	460 V	15 HP	21 A
Reductor	SEW-Eurodrive	KA77	RD240041		15 HP	0 A
Cadena	Renold	ANSI 80	CD240037		0 HP	0 A
Transportador	Dorner	3200 series	TR240056	460 V	3 HP	4.8 A

Anexo C. PROTOTIPOS DEL SISTEMA

Este anexo reúne los prototipos de interfaz desarrollados durante la fase de diseño UI/UX para la plataforma GPM Industrial. Las pantallas ilustran la arquitectura visual y el flujo de navegación planteado para el módulo web, priorizando la usabilidad en el registro de fichas técnicas, el seguimiento del historial de mantenimiento y la interacción con diagramas de procesos electromecánicos.

En la **figura 13** se muestra el prototipo de la interfaz de acceso general que organiza los proyectos creados y permite la navegación al canvas de los equipos electromecánicos.

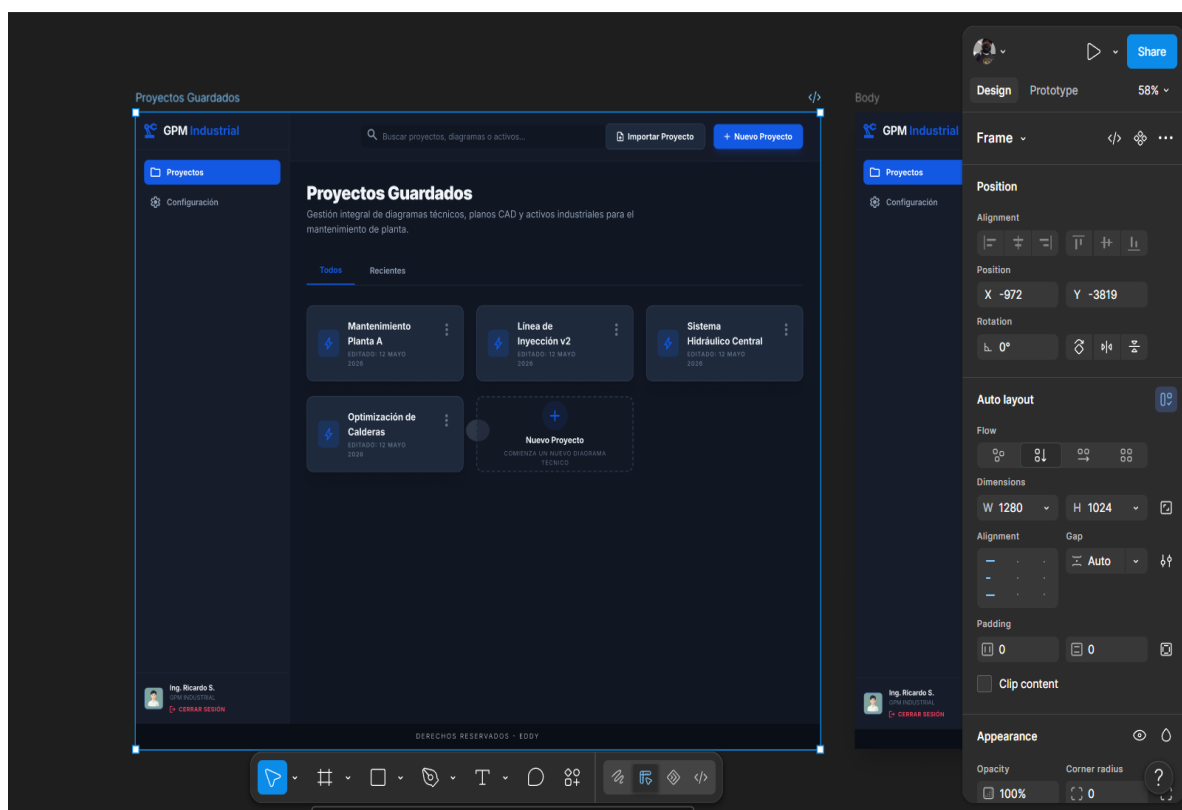


Figura 13 Pantalla principal y gestión de proyectos.

En la **figura 14** se muestra el prototipo de la interfaz de configuración o edición del perfil del usuario dentro del sistema.

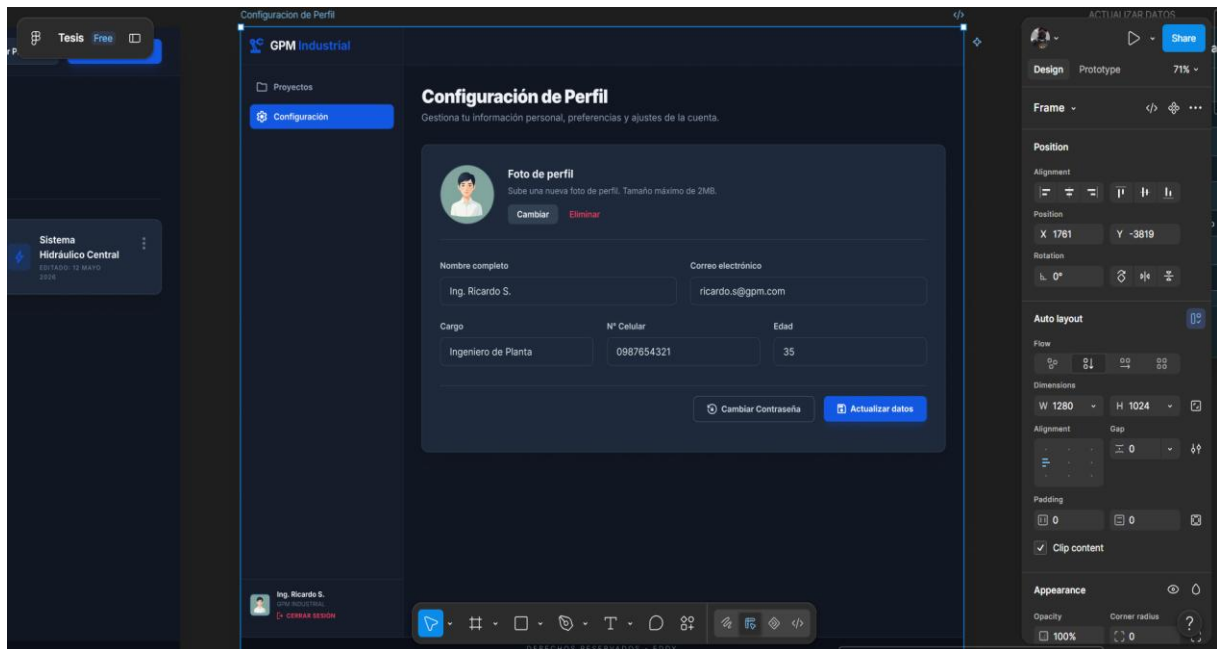


Figura 14 Prototipo de editar perfil.

En la **figura 15** tenemos el prototipo de la interfaz del canvas donde podemos arrastrar unos de los equipos electrogénicos del menú lateral izquierdo de la biblioteca de equipos.

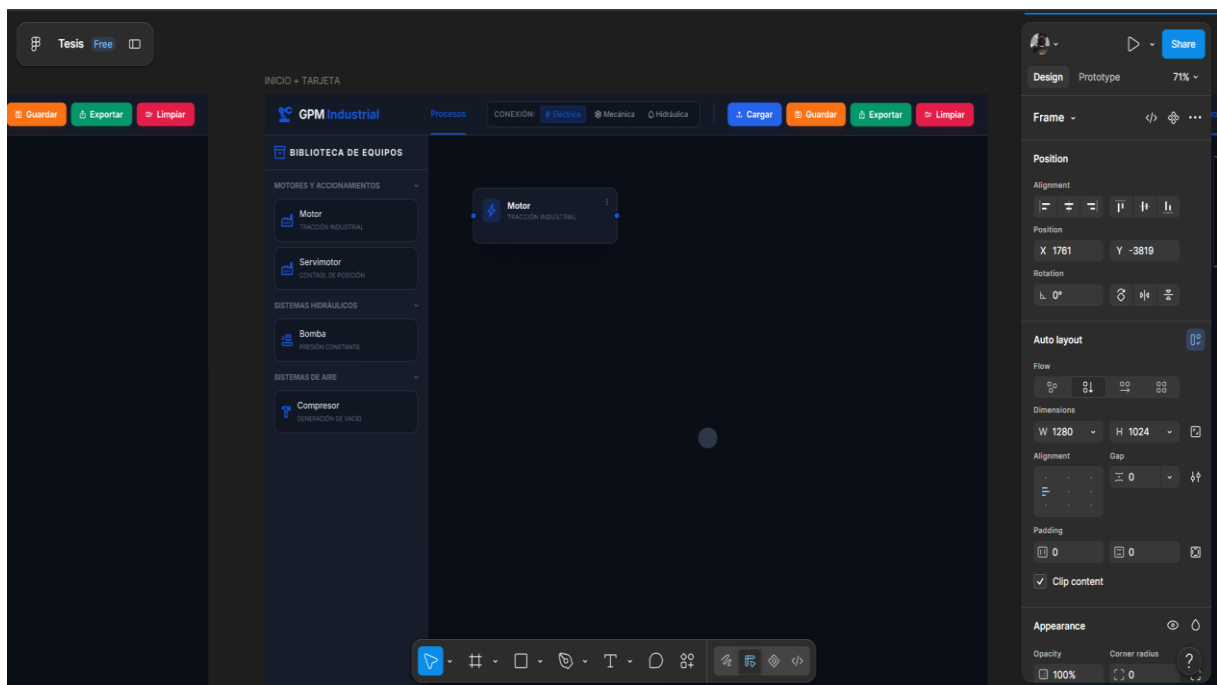


Figura 15 Prototipo del canvas y equipos electromecánicos.

En la **Figura 16**, se visualiza el prototipo del tipo y modo de conexión que se planearon hacer dentro del sistema.

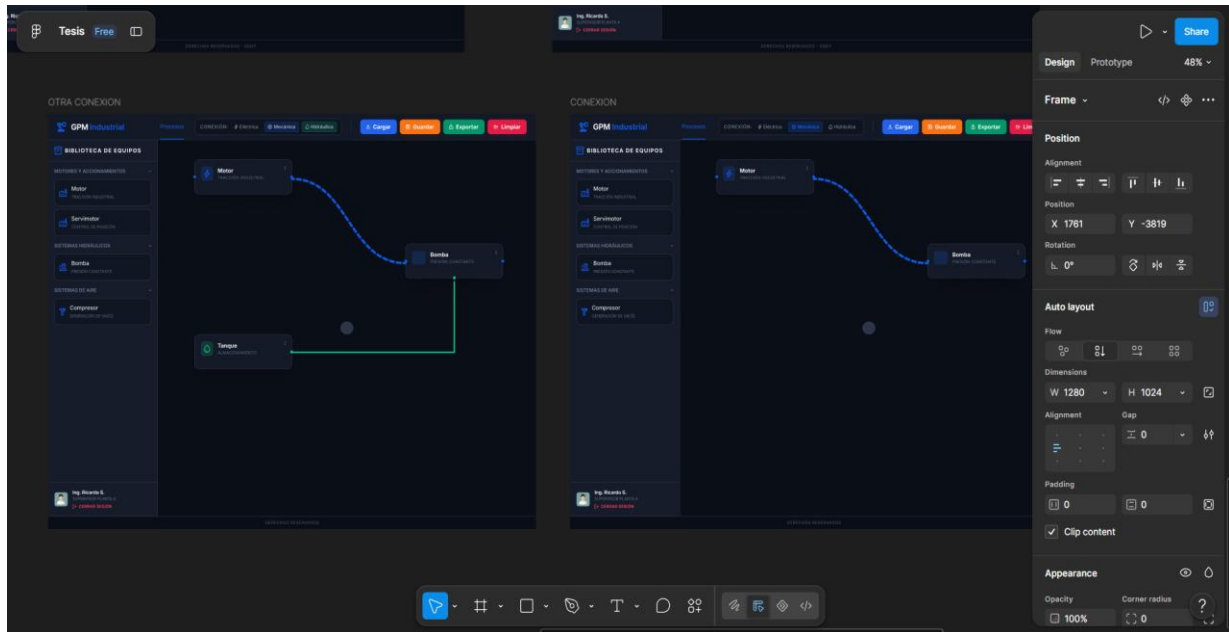


Figura 16 Conexión entre equipos.

En la **Figura 17** tenemos todos los formularios de registro y visualización, tanto como de la ficha técnica, mantenimientos.

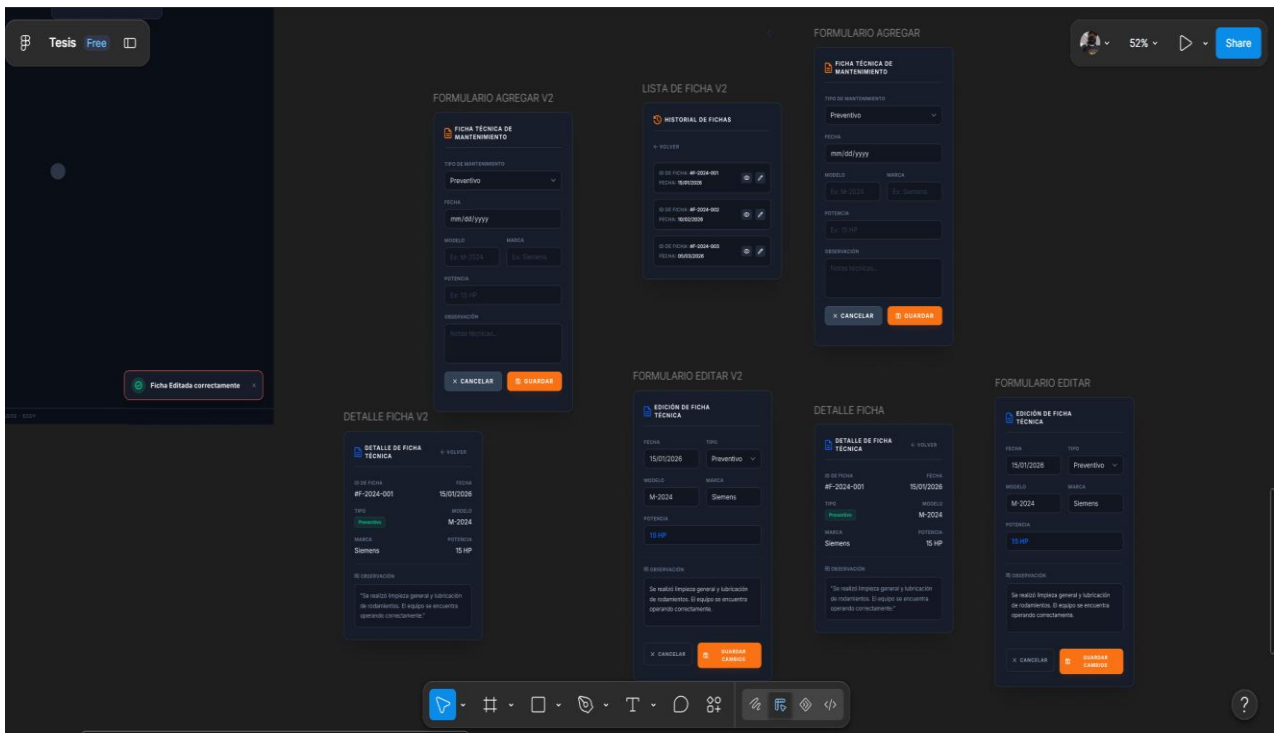


Figura 17 Prototipos de los formularios de registro.

Anexo D. CODIFICACION DEL SOFTWARE

La **Figura 18** presenta la interfaz del sistema correspondiente a los módulos de fichas técnicas y registros de mantenimiento, donde se consolidan los formularios de captura de datos y las vistas detalladas para el seguimiento operativo de los equipos.

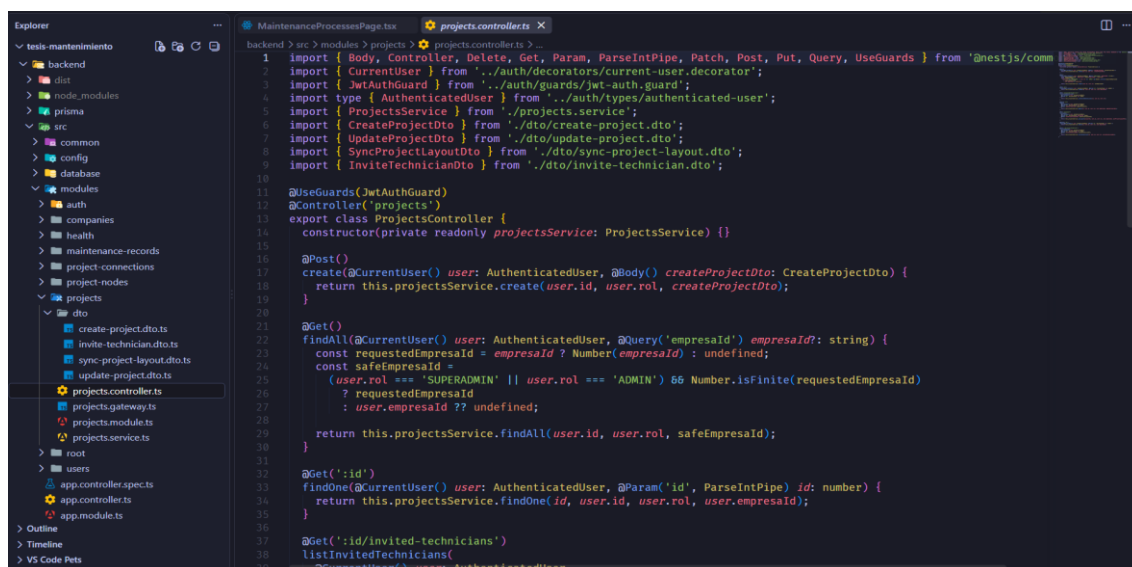


Figura 18 Controlador de proyectos

La **Figura 19** muestra la lógica de canvases, responsable del ruteo ortogonal de conexiones y el posicionamiento interactivo de equipos mediante eventos de *drag & drop*.

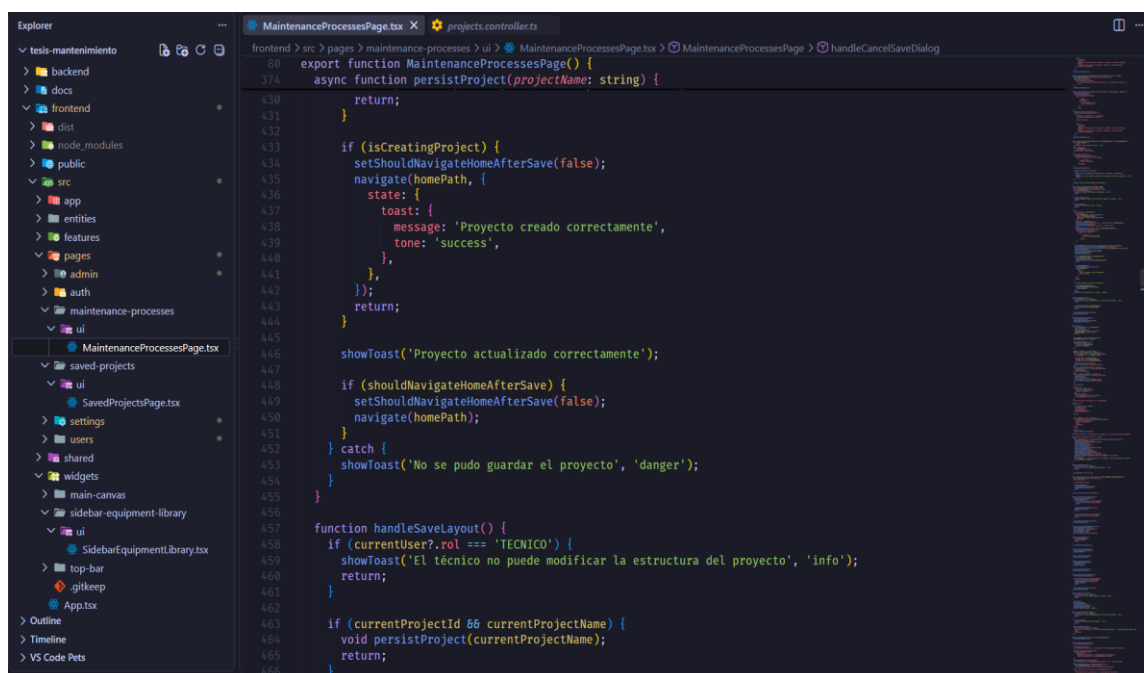


Figura 19 Lógica del lienzo (canvas)

Anexo E. HISTORIAS DE USUARIO RESTANTES**Tabla E.1** Historia de usuario HU0013

Historia de Usuario		HU013 – Recuperación de contraseña	
Puntos de Historia	8	Usuario	Usuario del sistema
Prioridad	Alta	Iteración asignada	4
Descripción	Como usuario registrado quiero recuperar mi contraseña cuando la olvide para poder volver a ingresar al sistema sin tener que crear una cuenta nueva.		
Criterios de aceptación	• El sistema debe solicitar el correo electrónico del usuario. • El sistema debe verificar que el correo se encuentre registrado. • El sistema debe enviar un enlace para restablecer la contraseña. • El usuario debe poder registrar una nueva contraseña. • La nueva contraseña debe permitir el acceso al sistema.		
Definición de hecho	• El usuario puede solicitar la recuperación de su contraseña. • El sistema envía correctamente el enlace de recuperación al correo registrado. • La contraseña se actualiza correctamente. • El usuario puede iniciar sesión con la nueva contraseña. • La funcionalidad fue implementada, integrada y probada satisfactoriamente.		
Programador responsable	Sr. Eddy Lucero		

Tabla E.2 Historia de usuario HU0014

Historia de Usuario	HU014 – Cambio de contraseña		
Puntos de Historia	2	Usuario	Usuario del sistema
Prioridad	Media	Iteración asignada	4
Descripción	Como usuario quiero cambiar mi contraseña para mantener la seguridad de mi cuenta y proteger el acceso al sistema.		
Criterios de aceptación	• El usuario debe ingresar su contraseña actual. • El sistema debe verificar que la contraseña actual sea correcta. • El usuario debe ingresar y confirmar la nueva contraseña. • La nueva contraseña debe cumplir con los requisitos mínimos de seguridad. • El sistema debe actualizar la contraseña correctamente.		
Definición de hecho	• El usuario puede cambiar su contraseña desde su perfil. • El sistema valida la contraseña actual antes de realizar el cambio. • La nueva contraseña queda almacenada correctamente. • El usuario puede iniciar sesión utilizando la nueva contraseña. • La funcionalidad fue implementada, integrada y probada satisfactoriamente.		
Programador responsable	Sr. Eddy Lucero		

Tabla E.3 Historia de usuario HU0015

Historia de Usuario		HU015 – Visualización del perfil	
Puntos de Historia	2	Usuario	Usuario del sistema
Prioridad	Media	Iteración asignada	4
Descripción	Como usuario quiero visualizar la información de mi perfil para consultar mis datos personales y el rol que tengo asignado dentro del sistema.		
Criterios de aceptación	• El sistema debe mostrar la información del perfil del usuario autenticado. • Deben visualizarse los datos personales y el rol asignado. • La información presentada debe corresponder a la cuenta que inició sesión. • Solo el usuario autenticado podrá consultar su perfil. • La información debe mostrarse de forma clara y organizada.		
Definición de hecho	• El usuario puede visualizar correctamente la información de su perfil. • Los datos mostrados corresponden a la cuenta autenticada. • El rol asignado se visualiza correctamente. • El acceso al perfil está restringido al usuario autenticado. • La funcionalidad fue implementada, integrada y probada satisfactoriamente.		
Programador responsable	Sr. Eddy Lucero		

Tabla E.4 Historia de usuario HU0016

Historia de Usuario		HU016 – Actualización del perfil de usuario	
Puntos de Historia	2	Usuario	Usuario registrado
Prioridad	Media	Iteración asignada	4
Descripción	Como usuario registrado quiero actualizar mi información personal para mantener mis datos registrados correctamente dentro del sistema.		
Criterios de aceptación	• El sistema debe mostrar la información actual del usuario. • El usuario debe poder modificar los datos permitidos. • El sistema debe validar que la información ingresada sea correcta. • Al guardar los cambios, el sistema debe actualizar la información del usuario. • El sistema debe mostrar un mensaje indicando que la actualización se realizó correctamente.		
Definición de hecho	• El usuario puede visualizar su información personal. • Los cambios realizados se almacenan correctamente. • La información actualizada se refleja en el perfil del usuario. • La funcionalidad fue implementada, integrada y probada satisfactoriamente.		
Programador responsable	Sr. Eddy Lucero		

Tabla E.5 Historia de usuario HU0017

Historia de Usuario		HU017 – Exportación de proyectos	
Puntos de Historia	3	Usuario	Supervisor
Prioridad	Media	Iteración asignada	4
Descripción	Como supervisor quiero exportar la información de un proyecto para conservar un respaldo o compartirla cuando sea necesario.		
Criterios de aceptación	● El sistema debe permitir seleccionar el proyecto que se desea exportar. ● El sistema debe generar un archivo con la información del proyecto. ● El archivo exportado debe contener la información registrada del proyecto. ● El sistema debe permitir descargar el archivo generado. ● El sistema debe informar cuando la exportación se haya realizado correctamente.		
Definición de hecho	● El proyecto se exporta correctamente. ● La información exportada corresponde al proyecto seleccionado. ● El archivo generado puede descargarse sin errores. ● El contenido del archivo es legible y conserva la información registrada. ● La funcionalidad fue implementada, integrada y probada satisfactoriamente.		
Programador responsable	Sr. Eddy Lucero		

Tabla E.6 Historia de usuario HU0018

Historia de Usuario		HU018 – Importación de proyectos	
Puntos de Historia	3	Usuario	Supervisor
Prioridad	Media	Iteración asignada	4
Descripción	Como supervisor quiero importar un proyecto para recuperar información previamente respaldada y continuar con su administración dentro del sistema.		
Criterios de aceptación	● El sistema debe permitir seleccionar un archivo de proyecto válido. ● El sistema debe validar el formato del archivo antes de realizar la importación. ● El sistema debe registrar correctamente la información contenida en el archivo. ● El proyecto importado debe quedar disponible para su consulta y administración. ● El sistema debe mostrar un mensaje indicando que la importación se realizó correctamente.		
Definición de hecho	● El proyecto se importa correctamente al sistema. ● La información importada conserva la estructura y los datos del proyecto original. ● El proyecto puede ser consultado y administrado después de la importación. ● El sistema valida archivos no permitidos y muestra el mensaje correspondiente. ● La funcionalidad fue implementada, integrada y probada satisfactoriamente.		
Programador responsable	Sr. Eddy Lucero		

Tabla E.7 Historia de usuario HU0019

Historia de Usuario		HU019 – Eliminación de cuenta	
Puntos de Historia	5	Usuario	Usuario del sistema
Prioridad	Media	Iteración asignada	4
Descripción	Como usuario quiero eliminar mi cuenta cuando ya no necesite utilizar el sistema para poder retirar mi información personal de la plataforma de forma segura.		
Criterios de aceptación	• El sistema debe permitir al usuario solicitar la eliminación de su cuenta desde la sección de configuración. • El sistema debe solicitar la contraseña actual del usuario antes de continuar con el proceso. • El sistema debe validar que la contraseña ingresada sea correcta. • El sistema debe enviar un correo electrónico de confirmación para completar la eliminación de la cuenta. • El usuario debe confirmar la eliminación mediante el enlace enviado al correo registrado. • Una vez confirmada la eliminación, el sistema debe eliminar la cuenta del usuario. • El sistema debe mostrar un mensaje indicando que el proceso fue realizado correctamente.		
Definición de hecho	• El usuario puede solicitar la eliminación de su cuenta desde la configuración. • El sistema valida correctamente la contraseña antes de iniciar el proceso. • El correo de confirmación es enviado correctamente al usuario. • La cuenta se elimina únicamente después de la confirmación realizada desde el correo. • El usuario ya no puede ingresar al sistema después de completar la eliminación. • La funcionalidad fue implementada, integrada y probada satisfactoriamente.		
Programador responsable	Sr. David Chasi		

Anexo F. PRUEBAS MANUALES RESTANTES

Tabla F.1 Prueba manual CPF007

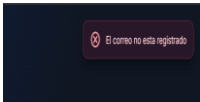
N° Caso de Prueba	CPF007	N° de Historia de Usuario	HU013	N.º de iteración	4
Usuario	Usuario del sistema (Administrador, Supervisor o Técnico)				
Objetivo de la prueba	Validar que el usuario pueda recuperar el acceso a su cuenta mediante el proceso de recuperación de contraseña.				
Descripción	Se verifica el funcionamiento del módulo de recuperación de contraseña comprobando el envío del enlace de recuperación, la actualización de la contraseña y el acceso posterior al sistema.				
Condiciones de entrada	● El usuario debe encontrarse registrado en el sistema. ● La cuenta debe estar activa. ● El correo electrónico debe existir en la base de datos. ● El servicio de correo electrónico debe encontrarse disponible.				
Entrada	Resultado esperado	Resultado obtenido	Estado	Evidencia	
Ingresar un correo electrónico registrado.	El sistema envía un enlace para recuperar la contraseña.	El enlace fue enviado correctamente al correo registrado.	Aprobado		
Ingresar un correo que no existe.	El sistema informa que el correo no se encuentra registrado.	Se mostró el mensaje correspondiente y no se envió ningún enlace.	Aprobado		
Registrar una nueva contraseña mediante el enlace recibido.	El sistema actualiza la contraseña y permite iniciar sesión nuevamente.	La contraseña fue actualizada correctamente y el usuario pudo acceder al sistema.	Aprobado		

Tabla F.2 Prueba manual CPF008

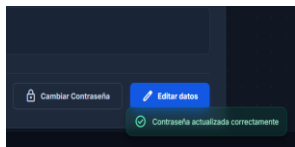
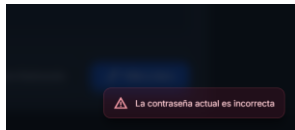
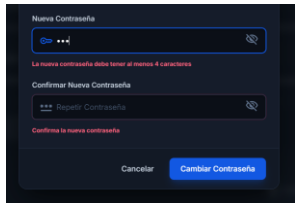
N° Caso de Prueba	CPF008	N° de Historia de Usuario	HU014	N.º de iteración	4
Usuario	Usuario del sistema (Administrador, Supervisor o Técnico)				
Objetivo de la prueba	Validar que el usuario pueda cambiar correctamente su contraseña desde su perfil, verificando la autenticidad de la contraseña actual y la actualización de las nuevas credenciales.				
Descripción	Se verifica el funcionamiento del módulo de cambio de contraseña comprobando la validación de la contraseña actual, la actualización de la nueva contraseña y el posterior acceso al sistema con las credenciales modificadas.				
Condiciones de entrada	• El usuario debe haber iniciado sesión. • La cuenta debe encontrarse activa. • El usuario debe conocer su contraseña actual. • El sistema debe tener conexión con la base de datos.				
Entrada	Resultado esperado	Resultado obtenido	Estado	Evidencia	
Ingresar correctamente la contraseña actual y una nueva contraseña válida.	El sistema actualiza la contraseña y muestra un mensaje de confirmación	La contraseña fue actualizada correctamente y se mostró el mensaje de confirmación.	Aprobado		
Ingresar una contraseña actual incorrecta.	El sistema impide el cambio de contraseña e informa que la contraseña actual no es válida.	El sistema mostró el mensaje correspondiente y no realizó la actualización.	Aprobado		
Ingresar una nueva contraseña que no cumple con las validaciones establecidas.	El sistema impide guardar la nueva contraseña y muestra el mensaje de validación correspondiente.	El sistema validó la información ingresada y no permitió actualizar la contraseña.	Aprobado		

Tabla F.3 Prueba manual CPF009

N° Caso de Prueba	CPF009	N° de Historia de Usuario	HU015	N.º de iteración	4
Usuario	Usuario del sistema (Administrador, Supervisor o Técnico)				
Objetivo de la prueba	Validar que el usuario pueda consultar correctamente la información de su perfil dentro del sistema.				
Descripción	Se verifica el funcionamiento del módulo de perfil comprobando la visualización de la información personal del usuario autenticado y el rol asignado dentro de la plataforma.				
Condiciones de entrada	- El usuario debe haber iniciado sesión. - La cuenta debe encontrarse activa. - El usuario debe tener permisos para acceder a su perfil.				
Entrada	Resultado esperado	Resultado obtenido	Estado	Evidencia	
Acceder al módulo de perfil desde el menú principal.	El sistema muestra la información del perfil del usuario autenticado.	La información del perfil se visualizó correctamente.	Aprobado		
Verificar los datos personales y el rol asignado.	El sistema presenta los datos registrados y el rol correspondiente al usuario.	Los datos y el rol coincidieron con la información almacenada en el sistema.	Aprobado		

Tabla F.4 Prueba manual CPF010

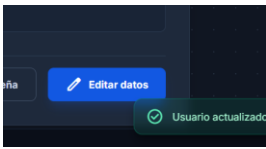
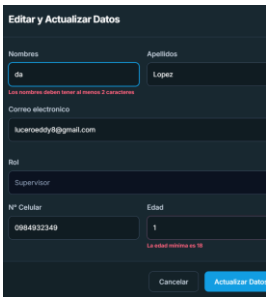
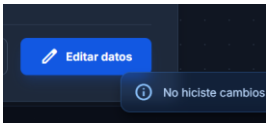
N° Caso de Prueba	CPF010	N° de Historia de Usuario	HU016	N.º de iteración	4
Usuario	Usuario del sistema (Administrador, Supervisor o Técnico)				
Objetivo de la prueba	Validar que el usuario pueda actualizar correctamente su información personal desde el perfil, verificando que los cambios realizados se almacenen correctamente dentro del sistema.				
Descripción	Se verifica el funcionamiento del módulo de actualización de perfil, comprobando la modificación de datos permitidos, la validación de la información ingresada y la correcta actualización de los datos del usuario.				
Condiciones de entrada	• El usuario debe haber iniciado sesión. • La cuenta debe encontrarse activa. • El usuario debe tener permisos para modificar su información personal. • El sistema debe tener conexión con la base de datos.				
Entrada	Resultado esperado	Resultado obtenido	Estado	Evidencia	
Modificar información personal y guardar cambios.	Los datos del usuario se actualizan correctamente.	Los datos fueron actualizados correctamente.	Aprobado		
Ingresar información no válida en los campos permitidos.	El sistema muestra errores de validación y no guarda los cambios.	El sistema mostró las validaciones y no guardó la información incorrecta.	Aprobado		
Guardar el perfil sin modificar información.	El sistema mantiene los datos actuales del usuario.	La información se mantuvo sin cambios.	Aprobado		

Tabla F.5 Prueba manual CPF011

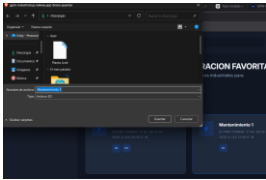
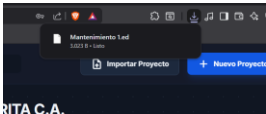
N° Caso de Prueba	CPF011	N° de Historia de Usuario	HU017	N.º de iteración	4
Usuario	Supervisor				
Objetivo de la prueba	Validar que el supervisor pueda exportar correctamente la información de un proyecto para generar un respaldo de los datos registrados dentro del sistema.				
Descripción	Se verifica el funcionamiento del módulo de exportación de proyectos, comprobando la generación del archivo, la descarga de la información y la conservación de los datos registrados del proyecto seleccionado.				
Condiciones de entrada	● El supervisor debe haber iniciado sesión. ● Debe existir al menos un proyecto registrado. ● El supervisor debe tener permisos para administrar proyectos. ● El sistema debe tener conexión con la base de datos.				
Entrada	Resultado esperado	Resultado obtenido	Estado	Evidencia	
Seleccionar un proyecto y realizar la exportación.	El sistema genera el archivo con la información del proyecto seleccionado.	El archivo del proyecto fue generado correctamente.	Aprobado		
Descargar el archivo exportado.	El sistema permite descargar el archivo sin errores.	El archivo fue descargado correctamente.	Aprobado		
Exportar un proyecto sin información adicional registrada.	El sistema genera el archivo conservando la estructura del proyecto.	El archivo fue generado correctamente con la información disponible.	Aprobado		

Tabla F.6 Prueba manual CPF012

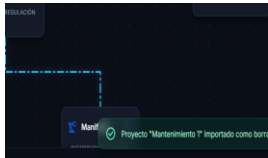
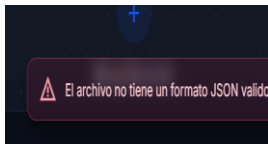
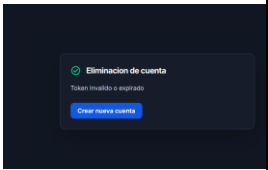
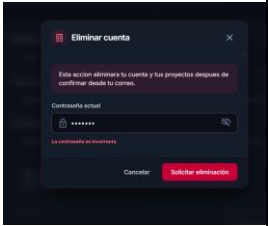
N° Caso de Prueba	CPF012	N° de Historia de Usuario	HU018	N.º de iteración	4
Usuario	Supervisor				
Objetivo de la prueba	Validar que el supervisor pueda importar correctamente un proyecto previamente exportado, recuperando la información registrada dentro del sistema.				
Descripción	Se verifica el funcionamiento del módulo de importación de proyectos, comprobando la carga de archivos válidos, la validación del formato y el registro correcto de la información importada.				
Condiciones de entrada	• El supervisor debe haber iniciado sesión. • El supervisor debe tener permisos para administrar proyectos. • Debe existir un archivo de proyecto previamente exportado. • El sistema debe tener conexión con la base de datos.				
Entrada	Resultado esperado	Resultado obtenido	Estado	Evidencia	
Seleccionar un archivo de proyecto válido e importar la información.	El sistema registra el proyecto correctamente y lo muestra disponible para su administración.	El proyecto fue importado correctamente y se visualizó en el listado.	Aprobado		
Intentar importar un archivo con formato no válido.	El sistema rechaza el archivo y muestra un mensaje de validación.	El sistema detectó el formato incorrecto y no permitió la importación.	Aprobado		

Tabla F.7 Prueba manual CPF013

N° Caso de Prueba	CPF013	N° de Historia de Usuario	HU019	N.º de iteración	4
Usuario	Usuario del sistema (Administrador, Supervisor o Técnico)				
Objetivo de la prueba	Validar que el usuario pueda solicitar y completar la eliminación de su cuenta de forma segura mediante la verificación de contraseña y confirmación por correo electrónico.				
Descripción	Se verifica el funcionamiento del proceso de eliminación de cuenta, comprobando la validación de la contraseña del usuario, el envío del correo de confirmación y la eliminación definitiva de la cuenta después de la autorización correspondiente.				
Condiciones de entrada	• El usuario debe haber iniciado sesión. • La cuenta debe encontrarse activa. • El usuario debe tener acceso al correo registrado. • El sistema debe tener conexión con la base de datos y servicio de correo.				
Entrada	Resultado esperado	Resultado obtenido	Estado	Evidencia	
Solicitar la eliminación de cuenta, ingresar la contraseña correcta y confirmar desde el correo recibido.	El sistema elimina la cuenta del usuario y bloquea su acceso al sistema.	La cuenta fue eliminada correctamente y el usuario no pudo ingresar nuevamente.	Aprobado		
Ingresar una contraseña incorrecta al solicitar la eliminación de cuenta.	El sistema rechaza la solicitud y no permite continuar con el proceso.	El sistema mostró el mensaje de error y mantuvo la cuenta activa.	Aprobado		

Anexo G. TARJETAS CRC (CLASE, RESPONSABILIDAD Y COLABORACIÓN)

En el presente anexo se detallan las Tarjetas CRC (Class-Responsibility-Collaborator) correspondientes al diseño orientado a objetos del sistema, derivadas de la fase de análisis de las Historias de Usuario (HU001 a HU012) bajo la metodología Extreme Programming (XP).

Tabla G.1 Tarjeta CRC 001

Usuario	
Responsabilidad	Colaboración
Validar las credenciales (correo y contraseña) para iniciar sesión.	Empresa
Autenticar y verificar los permisos / rol del usuario.	Rol
Registrar nuevos usuarios (supervisor o técnico) con clave cifrada.	Empresa
Verificar que el correo electrónico no esté duplicado.	Autónomo

Tabla G.2 Tarjeta CRC 002

Administrador	
Responsabilidad	Colaboración
Listar las solicitudes de registro pendientes de supervisores	Usuario (Supervisor)
Validar la existencia previa y validez del RUC	Empresa
Aprobar o rechazar la cuenta del supervisor y activar la empresa	Empresa

Tabla G.3 Tarjeta CRC 003

Supervisor	
Responsabilidad	Colaboración
Gestionar y aprobar solicitudes de registro de técnicos	Usuario (Técnico)
Crear, actualizar, consultar y eliminar proyectos del taller	Proyecto
Asignar e invitar técnicos a proyectos de la empresa	Proyecto, Usuario

Tabla G.4 Tarjeta CRC 004

Proyecto	
Responsabilidad	Colaboración
Almacenar la información general del proyecto	Empresa
Mantener el registro de técnicos asignados al proyecto	Usuario (Técnico)
Contener el área de diseño gráfico y la distribución de equipos	Proyecto
Guardar las coordenadas (x, y) de los equipos en el plano	Área de trabajo (canvas)

Tabla G.5 Tarjeta CRC 005

Área de trabajo (canvas)	
Responsabilidad	Colaboración
Cargar la biblioteca de símbolos/equipos disponibles	Equipo
Controlar los eventos de arrastrar y soltar (drag & drop)	Equipo
Trazar y modificar las líneas de conexión entre nodos	Proyecto

Área de trabajo (canvas)	
Responsabilidad	Colaboración
Guardar las coordenadas (x, y) de los equipos en el plano	Proyecto

Tabla G.6 Tarjeta CRC 006

Equipo	
Responsabilidad	Colaboración
Registrar datos de identificación (marca, modelo, serie)	Proyecto
Almacenar parámetros nominales mecánicos y eléctricos	Historial Mantenimiento
Vincular el activo físico con el nodo dentro del lienzo	Área de trabajo

Tabla G.7 Tarjeta CRC 007

Historial Mantenimiento	
Responsabilidad	Colaboración
Registrar intervenciones de mantenimiento realizadas	Equipo
Vincular el mantenimiento con el responsable de ejecución	Usuario (Técnico, Supervisor)
Consultar y ordenar cronológicamente el historial por equipo	Equipo

Anexo H. MATRIZ DE PRUEBAS UNITARIAS APLICANDO TDD**Tabla H.1** Pruebas TDD

ID Test	HU	Servicio / Módulo	Método	Escenario / Entrada	Fase Red (Comportamiento Esperado)	Fase Green (Resultado de la Implementación)	Estado	Herramienta	Fecha	Responsable
UT-001	HU001	AuthService	login()	LoginDto con email registrado, estado ACTIVO y contraseña correcta	Debe retornar un objeto { accessToken, user } con el JWT firmado	createLoginResponse() firma el token con jwtService.signAsync() y arma la respuesta.	Pasa	Jest 30 + @nestjs/testing	30/04/2026	Sr. Eddy Lucero
UT-002	HU001	AuthService	login()	Usuario existente con estado = PENDIENTE	Debe lanzar UnauthorizedException con mensaje 'Tu cuenta está pendiente de aprobación'	Validación de estado previa a la emisión del token.	Pasa	Jest 30 + ts-jest	04/05/2026	Sr. Eddy Lucero

ID Test	HU	Servicio / Módulo	Método	Escenario / Entrada	Fase Red (Comportamiento Esperado)	Fase Green (Resultado de la Implementación)	Estado	Herramienta	Fecha	Responsable
UT-003	HU 001	AuthService	login()	Email válido con contraseña incorrecta (bcrypt.compare → false)	Debe lanzar UnauthorizedException 'Contraseña incorrecta' y no emitir token	compare() corta el flujo antes de createLoginResponse.	Pasa	Jest 30 + ts-jest	07/05 /2026	Sr. Eddy Lucero
UT-004	HU 002	AuthService	register()	RegisterDto con rol = SUPERVISOR y RUC/Nombre vacíos	Debe lanzar BadRequestException 'El RUC y el nombre de la empresa son obligatorios'	Guarda de rol propietario de empresa antes de prisma.empresa.create().	Pasa	Jest 30 + ts-jest	11/05 /2026	Sr. Eddy Lucero
UT-005	HU 002	AuthService	register()	RegisterDto válido con rol = SUPERVISOR, RUC y nombre de empresa	Debe crear la Empresa, persistir el usuario en PENDIENTE y	Crea empresa, fija estado = PENDIENTE y despacha email vía	Pasa	Jest 30 + @nestjs/testing	14/05 /2026	Sr. Eddy Lucero

ID Test	HU	Servicio / Módulo	Método	Escenario / Entrada	Fase Red (Comportamiento Esperado)	Fase Green (Resultado de la Implementación)	Estado	Herramienta	Fecha	Responsable
					notificar a SUPERADMIN	Promise.allSettled.				
UT-006	HU 003	AuthService	register()	RegisterDto con rol = TECNICO sin empresaId	Debe lanzar BadRequestException 'Selecciona una empresa'	Rama else de asignación de empresa para roles no propietarios.	Pas a	Jest 30 + ts-jest	18/05 /2026	Sr. Eddy Lucero
UT-007	HU 003	UserService	createTechnician()	currentUser.rol = TECNICO intentando registrar otro técnico	Debe lanzar ForbiddenException 'No puedes crear tecnicos' antes de consultar BD	Guarda canManageTechnicians admite únicamente roles autorizados.	Pas a	Jest 30 + @nestjs/testing	21/05 /2026	Sr. Eddy Lucero

ID Test	HU	Servicio / Módulo	Método	Escenario / Entrada	Fase Red (Comportamiento Esperado)	Fase Green (Resultado de la Implementación)	Estado	Herramienta	Fecha	Responsable
UT-008	HU 004	UsersService	approveUser()	Aprobador SUPERVISOR sobre un solicitante SUPERVISOR	Debe lanzar BadRequestException 'Solo un superadmin puede aprobar supervisores'	Rama de autorización exclusiva para SUPERADMIN en solicitudes de supervisor.	Pasada	Jest 30 + ts-jest	25/05/2026	Sr. David Chasi
UT-009	HU 004	UsersService	rejectUser()	SUPERADMIN rechaza a un SUPERVISOR en estado PENDIENTE	Debe eliminar proyectos, usuarios y empresa asociada, marcando usuario en INACTIVO	prisma.\$transaction encadena la eliminación en cascada de la empresa.	Pasada	Jest 30 + ts-jest	28/05/2026	Sr. David Chasi
UT-010	HU 005	UsersService	approveUser()	SUPERVISOR de empresa 1 aprueba a un	Debe lanzar BadRequestException 'No puedes	Comparación requestedUser.empresaId !==	Pasada	Jest 30 + ts-jest	01/06/2026	Sr. David Chasi

ID Test	HU	Servicio / Módulo	Método	Escenario / Entrada	Fase Red (Comportamiento Esperado)	Fase Green (Resultado de la Implementación)	Estado	Herramienta	Fecha	Responsable
				TECNICO de empresa 2	aprobar usuarios de otra empresa'	approver.empresaId.				
UT-011	HU 005	UsersService	approveUser()	SUPERVISOR aprueba a un TECNICO de su empresa ya en estado ACTIVO	Debe lanzar BadRequestException 'El usuario ya fue aprobado' sin invocar update	Validación de idempotencia previa a la actualización de estado.	Pasa	Jest 30 + ts-jest	04/06 /2026	Sr. David Chasi
UT-012	HU 006	ProjectsService	findAll()	Usuario con rol = SUPERVISOR y empresaId = 1	Debe retornar proyectos activos de la empresa 1 ordenados por updatedAt desc	Deriva a findProjectsBy EmpresaId() con filtro deletedAt: null.	Pasa	Jest 30 + ts-jest	08/06 /2026	Sr. Eddy Lucero / Sr. David Chasi

ID Test	HU	Servicio / Módulo	Método	Escenario / Entrada	Fase Red (Comportamiento Esperado)	Fase Green (Resultado de la Implementación)	Estado	Herramienta	Fecha	Responsable
UT-013	HU 006	ProjectsService	remove()	Propietario elimina un proyecto activo	Debe realizar borrado lógico asignando deletedAt con fecha actual	prisma.projecto.update({ data: { deletedAt: new Date() } }) en papelera de reciclaje.	Pasada	Jest 30 + ts-jest	11/06/2026	Sr. Eddy Lucero / Sr. David Chasi
UT-014	HU 006	ProjectsService	restore()	Restauración sobre proyecto que no está en papelera (deletedAt = null)	Debe lanzar BadRequestException 'El proyecto no está en la papelera'	Validación de project.deletedAt posterior a ensureProjectOwner().	Pasada	Jest 30 + ts-jest	15/06/2026	Sr. Eddy Lucero / Sr. David Chasi
UT-015	HU 007	ProjectsService	inviteTechnician()	InviteTechnicianDto donde technicianId tiene rol = SUPERVISOR	Debe lanzar BadRequestException 'Solo puedes invitar tecnicos' sin insertar acceso	Validación de rol del invitado previa a la inserción en proyectos_acceso.	Pasada	Jest 30 + ts-jest	18/06/2026	Sr. David Chasi

ID Test	HU	Servicio / Módulo	Método	Escenario / Entrada	Fase Red (Comportamiento Esperado)	Fase Green (Resultado de la Implementación)	Estado	Herramienta	Fecha	Responsable
UT-016	HU007	ProjectsService	inviteTechnician()	Técnico ACTIVO con empresaId diferente a la del proyecto	Debe lanzar BadRequestException 'Solo puedes invitar tecnicos de tu empresa'	Comparación technician.empr esaId != projectEmpresa Id.	Pas a	Jest 30 + ts-jest	22/06 /2026	Sr. David Chasi
UT-017	HU008	ProjectsService	syncLayout()	Nodos en BD [1, 2, 3]; el SyncProjectLayoutDto entrante sólo trae [1, 2]	Debe eliminar nodo 3, purgar sus conexiones y reinsertar dentro de transacción	Cálculo de diferencia de conjuntos + nodoProyecto.deleteMany y conexionNodo.deleteMany.	Pas a	Jest 30 + ts-jest	25/06 /2026	Sr. Eddy Lucero / Sr. David Chasi
UT-018	HU008	ProjectsGateway	handleJoin()	Socket sin propiedad, ni pertenencia a empresa, ni fila en	Debe emitir 'project:error' ('No tiene acceso al proyecto') sin socket.join()	hasProjectAccess() valida permisos antes de unir la	Pas a	Jest 30 + Socket.io Mock	29/06 /2026	Sr. Eddy Lucero / Sr.

ID Test	HU	Servicio / Módulo	Método	Escenario / Entrada	Fase Red (Comportamiento Esperado)	Fase Green (Resultado de la Implementación)	Estado	Herramienta	Fecha	Responsable
				proyectos_acceso		conexión a la sala.				David Chasi
UT-019	HU 008	ProjectNodesService	updatePosition()	nodeId existente perteneciente a un projectId distinto	Debe lanzar NotFoundException 'Nodo {nodeId} no encontrado en proyecto'	Búsqueda compuesta findFirst({ where: { id: nodeId, projectId } }).	Pasa	Jest 30 + ts-jest	02/07 /2026	Sr. Eddy Lucero / Sr. David Chasi
UT-020	HU 009	ProjectConnectionsService	create()	CreateProjectConnectionDto con nodoOrigenId === nodoDestinoId	Debe lanzar BadRequestException 'No se puede conectar un nodo consigo mismo'	Comparación directa de identificadores tras ensureProjectOwner().	Pasa	Jest 30 + ts-jest	06/07 /2026	Sr. Eddy Lucero

ID Test	HU	Servicio / Módulo	Método	Escenario / Entrada	Fase Red (Comportamiento Esperado)	Fase Green (Resultado de la Implementación)	Estado	Herramienta	Fecha	Responsable
UT-021	HU009	ProjectConnectionsService	create()	Dos nodos con tipoEquipo idéntico (ej. 'Motor' y 'motor')	Debe lanzar BadRequestException 'No se puede conectar directamente dos equipos del mismo tipo'	Normalización con trim().toLowerCase() sobre ambos equipos.	Pasada	Jest 30 + ts-jest	09/07/2026	Sr. Eddy Lucero
UT-022	HU009	ProjectConnectionsService	create()	Par de nodos que ya registra 2 conexiones activas	Debe lanzar BadRequestException 'Entre dos equipos solo se permiten hasta dos conexiones'	conexionNodo.count() bidireccional con guarda de control >= 2.	Pasada	Jest 30 + ts-jest	13/07/2026	Sr. Eddy Lucero
UT-023	HU010	ProjectNodesService	upsertSheet()	Nodo sin ficha previa; UpsertNodeSheetDto con	Debe insertar en fichas_equipo fijando fecha actual y	Asignación today.setHours(0,0,0,0) y reemplazo	Pasada	Jest 30 + ts-jest	16/07/2026	Sr. Eddy Lucero

ID Test	HU	Servicio / Módulo	Método	Escenario / Entrada	Fase Red (Comportamiento Esperado)	Fase Green (Resultado de la Implementación)	Estado	Herramienta	Fecha	Responsable
				observacion vacía	observación 'N/A'	observacion?.trim() 'N/A'.				
UT-024	HU010	ProjectNodesService	upsertSheet()	Nodo con ficha registrada; se edita modelo y marca	Debe actualizar campos vía ON CONFLICT DO UPDATE conservando la fecha inicial	Cláusula de actualización resguardando la columna fecha original.	Pasa	Jest 30 + ts-jest	20/07/2026	Sr. Eddy Lucero
UT-025	HU011	MaintenanceRecordsService	validateReading()	Lectura de entrada '10,50 km'	Debe normalizar la coma decimal y retornar '10.5 km'	Validación por Regex <code>^(0 [1-9]\d*)([.,]\d{1,2})?\s(km h)\$</code> + <code>replace(',', '.')</code> .	Pasa	Jest 30 + ts-jest	22/07/2026	Sr. David Chasi

ID Test	HU	Servicio / Módulo	Método	Escenario / Entrada	Fase Red (Comportamiento Esperado)	Fase Green (Resultado de la Implementación)	Estado	Herramienta	Fecha	Responsable
UT-026	HU011	MaintenanceRecordsService	validateReading()	Lecturas '10km' (sin espacio) o '2000001 km' (fuera de rango)	Debe lanzar BadRequestException por formato inválido o fuera de rango	Fallo de regex y tope máximo según unidad (2.000.000 km / 200.000 h).	Pasa	Jest 30 + ts-jest	24/07/2026	Sr. David Chasi
UT-027	HU011	MaintenanceRecordsService	create()	Mantenimiento sobre nodo cuyo proyecto tiene deletedAt !== null	Debe lanzar BadRequestException 'El proyecto esta en la papelera; restauralo para editarlo'	ensureNodeAccess() valida que node.proyecto.deletedAt sea nulo.	Pasa	Jest 30 + ts-jest	27/07/2026	Sr. David Chasi
UT-028	HU012	MaintenanceRecordsService	findByNode()	Nodo con múltiples mantenimientos registrados	Debe consultar fichaMantenimiento.findMany ordenando por createdAt desc, id desc	Aplicación de ordenamiento descendente explícito.	Pasa	Jest 30 + ts-jest	29/07/2026	Sr. Eddy Lucero

ID Test	HU	Servicio / Módulo	Método	Escenario / Entrada	Fase Red (Comportamiento Esperado)	Fase Green (Resultado de la Implementación)	Estado	Herramienta	Fecha	Responsable
UT-029	HU 012	MaintenanceRecordsService	ensureNodeAccess()	TECNICO sin registro en proyectos_acceso consulta un nodo ajeno	Debe lanzar NotFoundException 'Nodo {nodeId} no encontrado' para no revelar el recurso	Consulta queryRaw sin resultados dispara la excepción de no encontrado.	Pasa	Jest 30 + ts-jest	30/07/2026	Sr. Eddy Lucero
UT-030	HU 012	DeletedEquipmentService	registerDeletion()	Eliminación de equipo con motivo = REEMPLAZO que posee historial	Debe crear un nodo sustituto, reasignar conexiones, archivar snapshot y borrar el original	Transacción atómica que crea sustituto, ejecuta updateMany, archiva y elimina.	Pasa	Jest 30 + ts-jest	31/07/2026	Sr. Eddy Lucero

Anexo I. PERFIL DE EXPERTOS Y MOTIVO DE SELECCIÓN**Tabla I.1** Perfil del experto

Experto	Perfil profesional	Criterio de selección
Raúl Reinoso	Docente de la Universidad Técnica de Cotopaxi	Experiencia en el ámbito académico y conocimiento relacionado con tecnologías y ámbito industrial.
Gonzalo Vizuite	Ingeniero Mecánico	Conocimiento del ámbito industrial y de los equipos electromecánicos considerados en el proyecto.
Luis Tipán	Ingeniero Electromecánico	Experiencia relacionada con equipos electromecánicos y actividades de mantenimiento.
Paul Vega	Ingeniero Industrial	Conocimiento de procesos industriales y gestión de actividades dentro del entorno productivo.

Anexo J. CAPACIDAD DE USUARIOS

Para la ejecución de las pruebas de la primera fase, se utilizó el plan Hobby de la plataforma Railway, el cual incluye un crédito de uso de \$5 USD mensuales, hasta **8 vCPU y 8 GB de RAM** por réplica (hasta un límite de **48 vCPU/RAM** por servicio), un almacenamiento máximo de **5 GB** y un nivel de disponibilidad del **99.9%**.

Bajo esta configuración de entorno de desarrollo, el sistema demostró la capacidad de soportar un servicio fluido con hasta **25** usuarios simultáneos y un nivel de operación utilizable hasta **75** usuarios simultáneos, a partir del cual se evidencia la saturación del sistema descrita en la **Tabla J.1**.

Tabla J.1 Tabla de rendimiento

Usuarios simultáneos	Solicitudes/segundo	Comportamiento	Capacidad
1 – 25	3,7 → 89,2	El rendimiento aumenta proporcionalmente y las respuestas se mantienen por debajo de 2 segundos.	Servicio fluido
50 – 75	49,1 → 45,8	Se evidencia saturación y disminución del rendimiento. El sistema permanece utilizable hasta 75 usuarios.	Servicio usable
> 75	< 45,8	El sistema presenta degradación significativa y deja de responder adecuadamente.	Límite de operación superado

Para el despliegue final en producción, considerando la integración de la totalidad de las funcionalidades proyectadas para el sistema y una concurrencia estimada de 30 a 50 usuarios, se sugiere adquirir un servidor VPS dedicado junto con un dominio propio (.com o .edu.ec), bajo las siguientes especificaciones técnicas:

Tabla J.2. Especificaciones recomendadas para producción

Recurso	Capacidad Recomendada
RAM	8 GB RAM
CPU	8 vCPU
Almacenamiento	40 GB a 80 GB SSD/NVMe