



Propuesta de automatización y seguridad en la gestión de proyectos de mantenimiento aeronáutico mediante el uso de firmas electrónicas.

**Sebastián Márquez Atehortúa
Sebastián Villada Bedoya**

Asesor: Jairo Enrique Parra Herrera

Maestría en Gerencia de Proyectos
Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano
Bogotá D.C., Colombia
Octubre, 2024

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	6
ABSTRACT	7
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	8
1.1. Objetivos de la investigación	9
1.1.1 Objetivo Principal	9
1.2 Formulación de Hipótesis	10
1.3. Planteamiento del problema	10
1.3.1 Elementos Del Problema	12
1.3.2 Pregunta de la investigación	13
1.4. Propósito de la investigación	13
1.5. Justificación	14
1.6. Organización del estudio	16
1.7.1 Organigrama	18
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	19
2.1 Marco conceptual	19
2.1.1 Áreas Donde La Firma Electrónica Puede Ser Aplicada Dentro De Las Estaciones Reparadoras.	20
2.1.2 Estrategias Y Soluciones Para Abordar Desafíos Tecnológicos, Operativos Y De Seguridad.	21
2.2 Antecedentes de investigaciones o estudios previos	24
2.3 Propuesta del Marco Teórico	25
CAPÍTULO 3: DISEÑO METODOLÓGICO	28
3.1. Tipo de investigación	28
3.2. Población, muestra y ficha técnica	31
3.3. Identificación y definición de variables	31
3.4. Propuesta Modelo Teórico	32
3.5. Descripción del instrumento de medición.	33
3.6. Validación del instrumento de medición	33
3.7. Técnica de recolección de datos	33
3.8 Aspectos éticos de la investigación	34
3.9 Plan de trabajo o cronograma de la investigación (EDT)	35
3.9.1 Diccionario de la EDS/WBS	35
3.9.2 Control de la calidad de los entregables	43
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PROCESAMIENTO DE DATOS	45
4.1. Descripción de las herramientas utilizadas para el procesamiento de datos	45
4.2. Validación de la confiabilidad de los datos recolectados	45
4.3. Procesamiento y análisis de datos	46
4.3.1 Análisis de la situación actual	47
4.3.2 Proceso con Firma Electrónica	47
4.3.3 Análisis de resultados	48
4.3.4 Análisis Financiero	51
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES, DISCUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE	

INVESTIGACIÓN	54
5.1. Conclusiones de la investigación	54
5.2. Discusiones	55
5.3. Futuras líneas de investigación	56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
Anexo A. Estado Del Arte	62

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Roles, responsabilidades y perfil	19
Tabla 2 Desafíos tecnológicos	23
Tabla 3 Desafíos operativos	23
Tabla 4 Desafíos de seguridad	24
Tabla 5 Propuesta de Marco Teórico	27
Tabla 6 Diccionario de la EDS/WBS	38
Tabla 7 Control de la calidad de los entregables	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Organigrama	20
Figura 2 Plan de trabajo o cronograma de la investigación (EDT)	38

RESUMEN

Este trabajo investigativo propone optimizar la gestión de proyectos de mantenimiento aeronáutico en la estación reparadora de aeronaves en Rionegro, Antioquia, mediante la implementación de automatización y firmas electrónicas. Esta investigación se basa en cuatro objetivos específicos: diagnosticar el estado del arte de la gestión de proyectos en mantenimiento aeronáutico, analizar la viabilidad de la implementación de firmas digitales, estudiar ejemplos de casos relevantes y desarrollar un marco de referencia para la implantación de estas tecnologías.

El artículo analiza las cuestiones de tecnología, operación y seguridad relacionadas con el sector aeronáutico en la transición a sistemas digitales. También hace hincapié en las ventajas que pueden aportar las firmas electrónicas, como una mayor eficiencia en las operaciones, una mayor precisión de los registros, una mayor seguridad y un análisis de datos más sencillo. La metodología mixta combinará análisis cuantitativos y cualitativos de los registros técnicos de mantenimiento y reparación por un lado, y datos recopilados mediante entrevistas y observaciones.

Esta investigación concluye que el uso de firmas digitales y procesos automatizados puede transformar la administración de proyectos de mantenimiento de aviones, logrando mejoras significativas en la eficiencia operativa, la integridad de los registros y la seguridad general en la industria aeronáutica. Este estudio proporciona una base sólida para la implementación de tecnologías digitales en el mantenimiento aeronáutico, ofreciendo soluciones prácticas a los desafíos actuales en la gestión de proyectos en este campo crucial de la aviación.

ABSTRACT

This investigative work proposes to optimize the management of aeronautical maintenance projects at the aircraft repair station in Rionegro, Antioquia, through the implementation of automation and electronic signatures. This research is based on four specific objectives: diagnose the state of the art of project management in aeronautical maintenance, analyze the viability of the implementation of digital signatures, study examples of relevant cases and develop a reference framework for the implementation of these technologies. .

The article analyzes the technology, operation and safety issues related to the aeronautical sector in the transition to digital systems. It also emphasizes the advantages that electronic signatures can bring, such as greater efficiency in operations, greater accuracy of records, greater security and easier data analysis. The mixed methodology will combine quantitative and qualitative analyzes of technical maintenance and repair records on the one hand, and data collected through interviews and observations on the other.

This research concludes that the use of digital signatures and automated processes can transform aircraft maintenance project management, achieving significant improvements in operational efficiency, record integrity, and overall safety in the aviation industry. This study provides a solid foundation for the implementation of digital technologies in aviation maintenance, offering practical solutions to current challenges in project management in this crucial field of aviation.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

La industria aeronáutica es una de las más seguras y reguladas del mundo y se rige por estrictos estándares de seguridad operacional y cumplimiento normativo (Administración Federal de Aviación (FAA), 2016) que deben cumplir a cabalidad los operadores de las aeronaves y las estaciones reparadoras en aras de garantizar la seguridad, la calidad y la confiabilidad de las operaciones. Uno de los requisitos más importantes es el mantenimiento adecuado de los aviones, que involucra procesos rigurosos de documentación física y autenticación que juegan un papel crucial en la preservación del rendimiento óptimo y la seguridad de los aviones.

Este proyecto busca cuestionar de qué manera la implementación de soluciones basadas en la automatización de procesos y el uso de firmas electrónicas en la estación reparadora de aviones en Rionegro, Antioquia puede contribuir a incrementar la eficiencia, la trazabilidad y la seguridad en la gestión de proyectos de mantenimiento aeronáutico. En complemento, el proyecto planteará una propuesta para mejorar la gestión de estos proyectos a través del uso de estas soluciones tecnológicas con el fin de optimizar los tiempos de preparación y diligenciamiento de los documentos, la autenticación del personal, la disminución del impacto ambiental y los costos asociados a la impresión, la digitalización y las horas hombre utilizadas.

Para esto, se detallará una metodología que incluye la identificación de categorías, variables e indicadores relacionados con la gestión de proyectos de mantenimiento aeronáutico, la definición de la población y muestra de registros técnicos, la delimitación del espacio de trabajo y el tiempo de la investigación, el desarrollo de instrumentos cuantitativos y cualitativos, pruebas piloto, procesamiento de información y presentación de resultados. Esta investigación de la línea de metodologías ágiles tiene el potencial de generar conocimiento relevante y aplicable a la industria aeronáutica, proporcionando una guía clara para la mejora de prácticas en el mantenimiento de aviones.

Los antecedentes de los registros técnicos (documentación de los aviones) se remontan a 1925, donde se estableció la creación y desarrollo de los sistemas de registros técnicos para

aeronaves con la promulgación del Air Commerce Act donde “comenzaron a desarrollarse los manuales y los técnicos tomaban notas y documentaban sus reparaciones.” (Jones, n.d).

Antes de esta importante legislación no existían documentos aeronáuticos formales y organizados. Solo después de la formulación de la Ley de Comercio Aéreo comenzaron a desarrollarse manuales tan detallados, en los que se registraban frenéticamente las notas y se documentaban sistemáticamente todas las reparaciones realizadas por los técnicos aeronáuticos.

Esto dio impulso a una evolución muy importante dentro de la industria de la aviación, porque las normas que se establecieron en virtud de esa Ley no solo crearon medidas de referencia de seguridad en la industria, sino que también exigieron prácticas de documentación más intensivas, sentando así las bases para una gestión adecuada y eficiente de los archivos de registros técnicos en el sector de la aviación.

A lo largo de los años, los operadores de aeronaves han conservado en papel los documentos de los aviones y, en los últimos años han alternado esta práctica con registros digitales (escaneados). Sin embargo, en los últimos años, la implementación de la firma electrónica en el ámbito aeronáutico definida por la (Aeronáutica Civil, 2020) como los “Métodos tales como códigos, símbolos, contraseñas, datos biométricos o claves criptográficas privadas, que permiten identificar una persona, en relación con un mensaje, siempre y cuando el mismo sea confiable y apropiado respecto de los fines para los que se utiliza” (p. 2) ha revolucionado la forma en que se gestionan estos registros ya que no solo simplifica los procesos administrativos, al disminuir el tiempo y los costos de la documentación en papel, sino que también brinda una mayor seguridad, autenticación y preservación de los registros.

1.1. Objetivos de la investigación

1.1.1 Objetivo Principal

Mejorar la documentación, la verificación del personal, el registro de cambios y el cumplimiento normativo para lograr operaciones aéreas más seguras, eficientes y confiables.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Analizar las condiciones actuales de la gestión de proyectos en mantenimiento aeronáutico en la estación de reparación de aeronaves de Rionegro y los problemas asociados a la documentación y autenticación del personal.
- Evaluar la idea y el uso práctico de las firmas digitales como medio de autenticación e integridad de la información en el mantenimiento de aeronaves.
- Investigar casos de estudio y buenas prácticas donde se hayan implementado la automatización y la firma electrónica en la gestión de proyectos de mantenimiento aeronáutico.
- Desarrollar en la estación de reparación ubicada en Rionegro un marco de referencia para la implementación de la automatización y el uso de la firma electrónica en el mantenimiento de aviones, teniendo como base la seguridad, cumplimiento normativo y la eficiencia.

1.2 Formulación de Hipótesis

La hipótesis central de esta investigación es que la implementación de soluciones basadas en la automatización de procesos y el uso de firmas electrónicas en la estación reparadora de aeronaves en Rionegro, Antioquia puede contribuir a incrementar la eficiencia, la trazabilidad y la seguridad en la gestión de proyectos de mantenimiento aeronáutico.

1.3. Planteamiento del problema

La industria aeronáutica se rige por estrictos estándares de seguridad operacional y cumplimiento normativo (Administración Federal de Aviación (FAA), 2016) que deben cumplir a cabalidad los operadores de las aeronaves y las estaciones reparadoras de los mismos en aras de garantizar la seguridad, la calidad y la confiabilidad de las operaciones. Esto incluye programas de vigilancia continua, formación recurrente e inspecciones detalladas a los procesos que pretenden evitar problemáticas asociadas a la gestión de proyectos de mantenimiento aeronáutico referentes a los flujos de trabajo, trazabilidad de actividades y calidad de registros (Ribeiro, Schmid, & Foit, 2019).

El centro de mantenimiento, reparación y revisión (MRO) de aeronaves en Rionegro, Antioquia, juega un papel fundamental en el mantenimiento y la seguridad de la flota aérea de la compañía. Esta instalación de mantenimiento, equipada con tecnología de vanguardia, ofrece servicios integrales, desde inspecciones de rutina hasta reparaciones importantes y modificaciones de aviones, destacándose por sus altos estándares de seguridad y calidad.

La ubicación estratégica del MRO en Medellín le brinda ventajas logísticas, lo que le permite prestar servicios a una amplia gama de aeronaves de aerolíneas nacionales e internacionales, convirtiéndolo en un referente en el sector de la aviación en América Latina.

El mantenimiento de aeronaves en este centro implica procesos rigurosos de documentación, registros y autenticación para garantizar la aeronavegabilidad de las flotas. (Agencia de la Unión Europea para la Seguridad Aérea (EASA), 2023).

Estos documentos físicos llamados “records”, “registros técnicos”, “DFP’s (Dirty finger prints)” son documentos detallados que recopilan y documentan en tiempo, personal involucrado y lugar toda la información relevante sobre la historia de una aeronave, incluyendo su diseño, fabricación, mantenimiento y modificaciones.

Son la prueba en papel y la garantía de la realización de un trabajo, chequeo o inspección en la aeronave o en uno de sus componentes y son el mecanismo a través del cual se soportan ante

lessors, inversionistas y autoridades la adhesión a los programas de mantenimiento preventivo, trabajos correctivos y el cumplimiento de directivas de aeronavegabilidad emitidas. Razón por lo que, además de lo anteriormente mencionado, también son considerados documentos de gran valor económico que, de hecho, al presentar anomalías pueden depreciar el valor de una aeronave en el momento de su venta.

La automatización de procesos y uso de firmas digitales en el MRO representan una alternativa para incrementar la eficiencia y seguridad del mantenimiento aeronáutico (Strohmeier, Piazza, Geibel, & Robinson, 2015). Sin embargo, actualmente los operadores aéreos y las estaciones reparadoras de aeronaves del país aún no adoptan mecanismos para migrar hacia la firma electrónica de los registros y dar el gran un gran paso que traerá consigo un gran avance en temas de tecnología y sostenibilidad ambiental. Un aumento en calidad, eficacia y dinamismo en la ejecución del mantenimiento de las aeronaves y, en contraparte, la disminución de los costos asociados a las tareas de impresión y digitalización aumentando la rentabilidad.

La implementación de la firma electrónica y la automatización de la tareas en los software de mantenimiento usados (En el caso de la estación reparadora en cuestión llamado “AMOS” y desarrollado por la empresa Swiss-AS) pueden ayudar a reducir el tiempo necesario para completar las tareas, mejorar la precisión y aumentar la visibilidad del proceso y, en complemento, las firmas electrónicas pueden ayudar a garantizar la autenticidad de los documentos, la integridad de los registros y el cumplimiento normativo.

Este proyecto de investigación pretende analizar el estado actual de la gestión de proyectos en el mantenimiento aeronáutico y los desafíos asociados y evaluar el concepto y la aplicabilidad de las firmas digitales en este contexto. Además, investigará casos donde se haya implementado la automatización y firmas electrónicas en proyectos de mantenimiento de aeronaves para, finalmente, proponer un marco de referencia para la implementación de estas tecnologías, considerando la seguridad, eficiencia y la normatividad en la estación reparadora de aeronaves ubicada en Rionegro, Antioquia.

1.3.1 Elementos Del Problema

- **Documentación ineficiente:** La documentación de mantenimiento aeronáutico realizada de forma manual es un proceso lento y propenso a errores, dificultando el seguimiento de las tareas y registros.
- **Integridad de los registros:** La ausencia de protección para la integridad de los registros de mantenimiento pone en peligro la confiabilidad de la información, lo que lleva a decisiones equivocadas y problemas en la planificación de futuras tareas.
- **Autenticación del personal:** Revisar manualmente si el personal es apto para realizar las tareas de mantenimiento es un proceso transmitido, otorgando acceso a los aviones a personas no autorizadas.
- **Cumplimiento normativo:** La aviación está sujeta a estrictas regulaciones dictadas para garantizar la seguridad y la operatividad. La falta de gestión puede dar lugar a incumplimientos y sanciones.

1.3.2 Pregunta de la investigación

¿De qué manera la implementación de soluciones basadas en la automatización de procesos y el uso de firmas electrónicas en la estación reparadora de aeronaves de Rionegro, Antioquia puede contribuir a incrementar la eficiencia, la trazabilidad y la seguridad en la gestión de proyectos de mantenimiento aeronáutico?

1.4. Propósito de la investigación

Desarrollar una propuesta para optimizar la gestión de proyectos de mantenimiento aeronáutico en la estación reparadora de aviones ubicada en Rionegro, mediante la implementación de automatización y firmas electrónicas, con el fin de mejorar la eficiencia operativa, la integridad

documental y el cumplimiento normativo, incrementando así la seguridad y confiabilidad de las operaciones aéreas.

1.5. Justificación

La industria aeronáutica es una de las más reguladas del mundo. Para garantizar la seguridad de los pasajeros y la aeronavegabilidad de las aeronaves, las aerolíneas y otros operadores de aviones deben cumplir con una serie de requisitos reglamentarios (FAA - Federal Aviation Administration, 2016). Uno de los requisitos más importantes es el mantenimiento adecuado de los aviones, que involucra procesos rigurosos de documentación, registros y autenticación (Agencia de la Unión Europea para la Seguridad Aérea (EASA), 2023). Este juega un papel crucial en la preservación del rendimiento óptimo y la seguridad de los aviones y se lleva a cabo en intervalos programados y también después de cada vuelo distribuidos principalmente en dos categorías: mantenimiento preventivo (en inspecciones regulares, mantenimiento planificado y reemplazo de piezas desgastadas antes de que puedan causar problemas) y el correctivo (aborda cualquier avería o problema que surja durante las operaciones y debe resolverse rápidamente para evitar retrasos y garantizar la seguridad de los pasajeros). La gestión de proyectos de mantenimiento aeronáutico es un proceso complejo que involucra a una variedad de personas y departamentos, el objetivo es asegurar que el mantenimiento se realice de manera oportuna, efectiva y segura (Monteiro, Relvas, & Barbosa-Póvoa, 2019). Sus actividades abarcan desde la planeación de los proyectos, es decir, los chequeos de las aeronaves y pasan por cadenas logísticas para obtención de los materiales, el cálculo de las horas hombre, los lapsos de las aeronaves en tierra, el seguimiento al detalle de la ejecución y el cumplimiento milimétrico de lo planeado y la resolución de lo no planeado.

Sin embargo, esta gestión enfrenta desafíos relacionados con la eficiencia de flujos de trabajo, la trazabilidad de actividades y la calidad de registros (Ribeiro, Schmid, & Foit, 2019). Es por ello que existen áreas de soporte, detallados procedimientos y software netamente dedicado al control del mantenimiento que permiten día tras día estudiar al detalle el estado de los proyectos, la conservación de la seguridad y la consecución de los objetivos. La automatización y el uso de

firmas digitales pueden ser soluciones tecnológicas clave para mejorar la eficiencia, la seguridad y la integridad de los procesos de mantenimiento de aviones (Strohmeier, Piazza, Geibel, & Robinson, 2015).

En cuanto a la automatización, puede disminuir el tiempo para completar las tareas, mejorar la exactitud y añadir visibilidad al proceso, además de usar firmas electrónicas para garantizar la autenticidad de los documentos, la integridad del registro y la conformidad. Los múltiples factores tecnológicos, sociales y económicos que impiden y justifican esta investigación subrayan la necesidad de hacerlo y su relevancia y utilidad:

- **Seguridad Aérea:** La seguridad en la industria aeronáutica es primordial. La automatización y las firmas electrónicas en la gestión de proyectos de mantenimiento aeronáutico reducirán la probabilidad de errores humanos simultáneamente. Cada tarea será realizada correctamente, y cada procedimiento de seguridad será seguido intensivamente. Una autenticación mejorada del personal y la certeza de los registros también mejorarán el mantenimiento y lo harán más seguro.

- **Eficiencia Operativa:** La gestión manual de la documentación y la autenticación del personal es altamente ineficiente y lleva a retrasos y uso ineficiente de los recursos. Permitir a las empresas implicadas usar firmas electrónicas mejorará la eficiencia de la gestión del sistema de mantenimiento. Por tanto, la respuesta será más rápida y se gestiona una mayor parte de los recursos.

- **Cumplimiento Normativo:** La industria de la aviación está sujeta a estrictas regulaciones y normas. El uso de la automatización y las firmas electrónicas ayudará a las compañías a cumplir con estos requisitos de manera más eficaz y confiable. Esto evitará posibles penalizaciones y permitirá a las aerolíneas operar de acuerdo con las mejores prácticas y estándares establecidos.

- **Impacto económico:** Los problemas con el mantenimiento de aviones pueden afectar mucho los gastos de las aerolíneas y empresas que operan aviones. Mejorar la eficiencia y evitar

errores a través de la automatización y firmas digitales puede ayudar a reducir costos, lo que lleva a una mayor ganancia y competitividad en el mercado.

- **Contribución Tecnológica:** La investigación propuesta tiene como objetivo implementar tecnologías modernas, como las firmas electrónicas, en un área específica de la industria aeronáutica donde aún no se han utilizado ampliamente. Al llevar a cabo esta investigación, se contribuirá al progreso tecnológico y a la adopción de soluciones innovadoras en la gestión de proyectos de mantenimiento de aeronaves.

- **Aporte a la Disciplina:** Esta investigación en línea con las metodologías ágiles puede generar conocimiento relevante y aplicable en la industria aeronáutica, proporcionando una guía clara para mejorar las prácticas de mantenimiento de aviones. La propuesta de un marco de referencia para implementar la automatización y el uso de firmas electrónicas es una valiosa contribución a la gestión de proyectos en la industria aeronáutica.

La investigación es relevante porque puede contribuir a mejorar la seguridad de los pasajeros y la aeronavegabilidad de las aviones, ayudar a reducir los costos de impresión y digitalización, aumentando así las ganancias, y mejorar la eficiencia de los procesos. En general, este estudio proporcionará información sobre los beneficios de adoptar estas tecnologías, y además podrá ofrecer recomendaciones para su implementación exitosa en la industria aeronáutica.

1.6. Organización del estudio

El proyecto se llevará a cabo en las instalaciones de la estación reparadora de aeronaves ubicada en el municipio de Rionegro, Antioquia. Esta estación presta servicios de mantenimiento menor y mayor a las aeronaves de diferentes operadores que lo requieran.

Cuenta con hangares en los que son atendidos aviones de forma simultánea, diferentes talleres para la reparación y fabricación de componentes y personal técnico certificado para la ejecución de estas actividades. De cara al proyecto, se ha definido el siguiente equipo de 11 personas que, con su formación y su experiencia, abarcarán todas las actividades contenidas en él.

Tabla 1*Roles, responsabilidades y perfil*

Rol	Nombre	Autoridad	Responsabilidad	Competencias/ Habilidades	Perfil profesional	Experiencia
Director de proyecto	Sebastián Villada	Alta, lidera el proyecto	Éxito del proyecto, cumplimiento de objetivos y presupuesto	Liderazgo, gestión de proyectos, gestión de recursos	Profesional con posgrado en Gerencia de Proyectos	Mínimo 5 años en gerencia de proyectos de tecnología
Analista de Procesos	María Fernanda Gómez	Media, en levantamiento de procesos	Levantamiento y mejora de procesos	Conocimiento de procesos aeronáuticos, modelamiento de procesos	Ingeniería industrial, ingeniería de sistemas	Mínimo 2 años en análisis de procesos aeronáuticos
Analista de Sistemas	Juan Pablo Rodríguez	Media, en requerimientos y diseño	Especificación de requerimientos, diseño técnico	Modelado de requerimientos, UML, bases de datos	Ingeniería de sistemas, Ingeniería de Software	Mínimo 2 años en análisis de sistemas de tecnología
Arquitecto de Software	Adriana García	Media, en arquitectura técnica	Diseño de arquitectura técnica	Arquitectura de software, patrones de diseño	Ingeniería de sistemas, Ingeniería de Software	Mínimo 4 años en arquitectura de software
Programador Junior	Santiago Ramírez	Baja, en desarrollo de código	Codificación de módulos	Java, bases de datos	Ingeniería de sistemas, Ingeniería de Software	Mínimo 1 año de experiencia en desarrollo
Programador Senior	Laura Martínez	Media, líder técnico de desarrollo	Liderar desarrollo de código	Java, bases de datos	Ingeniería de sistemas, Ingeniería de Software	Mínimo 3 años de experiencia en desarrollo de software
Probador Junior	Andrés López	Baja, en ejecución de pruebas	Ejecución de pruebas, reportes	Conocimiento de técnicas de pruebas	Ingeniería de sistemas, Ingeniería de Software	Mínimo 1 año de experiencia en pruebas de software
Probador Senior	Camilo Ríos	Media, en estrategia de pruebas	Planes de prueba, estrategia	Conocimiento de técnicas de pruebas, metodologías	Ingeniería de sistemas, Ingeniería de Software	Mínimo 3 años de experiencia en pruebas de software
Administrador de Sistemas	Andrea Gallego	Baja, en tareas técnicas	Instalación, configuración y parametrización	Administración de sistemas operativos y bases de datos	Ingeniería de sistemas, Ingeniería de Software	Mínimo 2 años en administración de sistemas

Instructor	Sofia Urrego	Baja, dictar capacitaciones	Elaborar y dictar cursos técnicos	Conocimiento técnico y avanzado en el software AMOS, pedagogía	Profesional con estudios de pedagogía o instrucción técnica	Mínimo 2 años en capacitación técnica
Coordinador de Pruebas	Fabian Aristizabal	Media, en pruebas y pilotos	Planeación, ejecución y evaluación de pruebas	Conocimiento de técnicas de pruebas, metodologías	Ingeniería de sistemas, Ingeniería de Software	Mínimo 3 años en pruebas de software

Nota: Los nombres reales han sido modificados para el ejercicio académico debido a políticas de la compañía.
Fuente: Elaboración Propia

1.7.1 Organigrama

Figura 1

Organigrama



Fuente: Elaboración Propia

- Gerente de Proyecto: Como líder del proyecto, se comunica con todos los miembros del equipo técnico para dirección, seguimiento y retroalimentación.
- Analista de Procesos: Se comunica con personal operativo para levantamiento de información y con Analista de Sistemas para definir requerimientos.
- Analista de Sistemas: Coordina con todos los roles técnicos (Arquitecto, Programadores, Probadores) para el diseño e implementación.
- Arquitecto: Trabaja en conjunto con el Analista de Sistemas y los Programadores para el diseño técnico.
- Programadores: Reciben instrucciones del Gerente de Proyecto y coordinan con los Analistas, Arquitectos y Probadores durante el desarrollo.
- Probadores: Interactúan con los Programadores para informar defectos y con Analistas para casos de prueba.
- Administrador de Sistemas: Recibe solicitudes del Gerente de Proyecto y se comunica con programadores para configuraciones.

- Instructor: Se comunica con el Gerente de Proyecto para preparar materiales y capacitar usuarios.
- Coordinador de Pruebas: Se comunica con todos los roles para planificar y ejecutar pruebas piloto.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Marco conceptual

Los registros técnicos de las aeronaves son esenciales para la industria de la aviación, ya que garantizan el cumplimiento de las normas de seguridad y mantenimiento. Estos documentos (principalmente en formato físico en las aerolíneas y talleres de reparación del continente) contienen información detallada sobre el diseño, fabricación, inspecciones y reparaciones de las aeronaves, lo que permite rastrear y hacer un seguimiento de todo su ciclo de vida. Son documentos detallados que recopilan y documentan en tiempo, personal involucrado y lugar toda la información relevante sobre la historia de una aeronave, incluyendo su diseño, mantenimiento y modificaciones.

Estos registros son la prueba en papel y la garantía de la realización de un trabajo en la aeronave o en uno de sus componentes y son el mecanismo a través del cual se soportan ante lessors, inversionistas y autoridades la adhesión a los programas de mantenimiento preventivo, trabajos correctivos y el cumplimiento de directivas de aeronavegabilidad emitidas. Razón por lo que, además de lo anteriormente mencionado, también son considerados documentos de gran valor económico que, de hecho, al presentar anomalías pueden depreciar el valor de una aeronave en el momento de su venta.

En los últimos años, la implementación de la firma electrónica en el ámbito aeronáutico definida por la (Aeronáutica Civil, 2020) como los “Métodos tales como códigos, símbolos, contraseñas, datos biométricos o claves criptográficas privadas, que permiten identificar una persona, en relación con un mensaje, siempre y cuando el mismo sea confiable y apropiado respecto de los fines para los que se utiliza” (p. 2) ha revolucionado la forma en que se gestionan estos registros ya que no solo simplifica los procesos administrativos, al disminuir el tiempo y los costos

de la documentación en papel, sino que también brinda una mayor seguridad y autenticación a los registros.

En el ámbito del presente proyecto, la firma electrónica es un mecanismo digital de identificación que cumple la misma función legal y regulatoria que una firma manuscrita tradicional, pero con características adicionales de seguridad y trazabilidad. Su proceso de aceptación debe cumplir con estrictos estándares regulatorios tanto de los operadores clientes como de las autoridades locales y extranjeras como UAEAC, EASA y FAA.

La firma electrónica trasciende la simple digitalización de una rúbrica, constituyéndose como un componente integral del proceso de mantenimiento aeronáutico. Este componente permite la validación en tiempo real de las cualificaciones del personal antes de iniciar cada tarea, reduce significativamente los errores en la documentación durante el proceso, y se integra directamente con el sistema de gestión de mantenimiento de la estación conocido como AMOS, verificando automáticamente el cumplimiento de requisitos regulatorios durante la ejecución del trabajo.

Su potencial implementación reemplazaría el diligenciamiento físico de extensos documentos que son firmados a lo largo del desarrollo de todas las tareas de mantenimiento con rúbricas y números de licencia, optimizando significativamente el proceso desde sus etapas más tempranas.

Durante la planeación, el sistema permite verificar anticipadamente la disponibilidad de personal certificado, optimizando la asignación de recursos y horas hombre. En la fase de ejecución, facilita la validación inmediata de autorizaciones y minimiza errores documentales, mientras que durante el control de calidad permite un seguimiento preciso y en tiempo real del avance de las tareas. Este cambio impacta directamente las horas hombre estimadas para las visitas de los aviones, que a mayor cantidad se traducen en costos, y el tiempo en tierra del avión que a mayor cantidad, generalmente, se traducen en pérdidas económicas.

Visto desde la práctica, cuando un técnico de mantenimiento aeronáutico utiliza una firma electrónica, está aplicando un sello digital único que incluye:

- Su identificación personal o usuario del software AMOS.
- Su número de licencia técnica otorgada por la autoridad
- La fecha y hora exacta de realización del trabajo
- El alcance de su autorización dada por su entrenamiento
- La validación de sus habilitaciones vigentes
- La ubicación geográfica desde donde se realiza la firma

Lo anterior traduce, entre otras cosas, que las firmas electrónicas son una herramienta de seguridad altamente confiable dado que no puede ser falsificada o copiada, crea un registro inalterable que documenta quién y en qué momento se firmó el documento permitiendo rastrear cualquier modificación posterior al funcionar como el blockchain.

Un pequeño ejemplo podría ser cuando un técnico completa una inspección de un motor, en lugar de imprimir y firmar físicamente varios documentos como se hace actualmente, utilizaría su credencial digital única junto con un código personal o contraseña para aprobar electrónicamente el trabajo. El sistema automáticamente verificaría sus credenciales y registraría la aprobación y retorno a la operación de la aeronave de manera segura y permanente.

Este input al proceso, no solo optimiza la eficiencia operativa, sino que también fortalece la integridad y confiabilidad de los registros técnicos para los operadores y la estaciones reparadoras, contribuyendo así a un entorno más seguro y avanzado en la aviación moderna. Si no que, a lo largo del tiempo generará un repositorio de datos que permitirá analizar profundamente la medición de tiempos de ejecución de todos los tipos de tareas y los patrones de productividad reales derivados del consumo de las horas hombre que servirán de guía para proyectar y re-estimar los recursos y, por ende, generar una mayor eficiencia operativa.

2.1.1 Áreas Donde La Firma Electrónica Puede Ser Aplicada Dentro De Las Estaciones Reparadoras.

Las firmas electrónicas dentro de las estaciones reparadoras de aviones pueden acompañar la certificación de los procesos de los componentes en los diferentes talleres como sillas, ruedas, frenos, aviónica, equipos de emergencias, estructuras, etc., y las diversas tareas de mantenimiento preventivo y correctivo en los diferentes chequeos de los aviones dictados por los respectivos programas de mantenimiento de los operadores cliente.

Ellas pueden incluir la confirmación de la finalización exitosa de una reparación, la validación de la precisión de los informes de inspección, la autorización de la aeronave para volver al servicio y la certificación de cumplimiento con las normativas de aviación.

Sumado a lo anterior, las firmas electrónicas están respaldadas por tecnologías de seguridad avanzadas, no sólo simplifican y agilizan los procesos de documentación, sino que también fortalecen la integridad de los registros técnicos, brindando a las autoridades de aviación y a los operadores una mayor confianza en la calidad y conformidad de los trabajos de mantenimiento realizados en las estaciones reparadoras de aviones.

2.1.2 Estrategias Y Soluciones Para Abordar Desafíos Tecnológicos, Operativos Y De Seguridad.

Las firmas electrónicas en el mundo de la aviación pueden tener varios desafíos gracias a la naturaleza única de la industria. Algunos de estos incluyen:

a. **Desafíos tecnológicos:**

Tabla 2

Desafíos tecnológicos

Obstáculos	Estrategias	Soluciones
Compatibilidad con sistemas	Evaluación de sistemas existentes	Desarrollar interfaces de integración

Integración con sistemas existentes	Evaluación de sistemas existentes	Desarrollar interfaces de integración
Conectividad y acceso	Implementar Wifi de alta densidad y dispositivos móviles	Estaciones de trabajo móviles
Capacitación del personal	Establecer programa de capacitación y apoyo	Capacitación paso a paso

Fuente: Elaboración Propia

b. Desafíos operativos:

Tabla 3

Desafíos operativos

Obstáculos	Estrategias	Soluciones
Aprobaciones regulatorias	Involucrar temprano a reguladores	Coordinación temprana
Coordinación de departamentos	Formar equipo central de implementación	Equipo central de proyecto
Documentación de procesos	Documentar y comunicar nuevos procesos	Políticas y manuales

Fuente: Elaboración Propia

c. Desafíos de seguridad:

Tabla 4*Desafíos de seguridad*

Obstáculos	Estrategias	Soluciones
Integridad de registros	Firmas digitales con encriptación	Tecnología de firma electrónica robusta
Control de acceso	Controles de acceso y monitoreo	Sistemas de autenticación y auditoría
Recuperación ante desastres	Respaldo fuera del sitio y redundancia	Infraestructura de respaldo

Fuente: Elaboración Propia

Beneficios De La Implementación De La Firma Electrónica.

La implementación de la firma electrónica en una estación reparadora de aeronaves conlleva diversos beneficios que mejorarán significativamente la eficiencia y la seguridad de las operaciones y que impactarán positivamente en la confiabilidad de las operaciones. Esto no es solo extensivo al personal de mantenimiento que son quienes, normalmente, legalizan registros de las aeronaves si no que se extiende a varias áreas de las aerolíneas enormemente beneficiadas con el resultado de la implementación de registros digitales como lo son “Mantenimiento, Aseguramiento de la Calidad, Gestión de Flotas, Cadena de Suministro y el Departamento Financiero.” (Backes, Miwa, Okajima, Souza, & Tkacz, 2017) (p. 8).

Algunos de los principales beneficios de implementar firmas electrónicas en una estación reparadora de aeronaves incluyen:

- a. Mayor eficiencia:
 - Reducción de tiempo en procesos administrativos al eliminar flujos en papel
 - Acceso en tiempo real a registros para agilizar procesos de reparación

- Optimización de procesos de revisión y aprobación de trabajos
- b. Mayor precisión:
- Reducción de errores humanos de transcripción de datos
 - Registros e instrucciones más legibles que con escritura manual
 - Referencia inmediata a datos técnicos digitales precisos
- c. Mejora en seguridad:
- Mayor capacidad de auditoría y trazabilidad de eventos
 - Controles de acceso y registro de actividad de usuarios
 - Autenticación inequívoca de firmantes de documentación crítica
- d. Facilidad de análisis de datos:
- Recopilación y análisis digital de métricas de rendimiento
 - Identificación de áreas problemáticas y mejora continua
 - Predictibilidad a través del análisis de tendencias.

2.2 Antecedentes de investigaciones o estudios previos

La creación y desarrollo de registros técnicos para aeronaves se estableció de manera significativa a partir de 1925 con la promulgación del Air Commerce Act donde “comenzaron a desarrollarse los manuales y los técnicos tomaban notas y documentaban sus reparaciones.” (Jones, n.d)

Antes de este hito legislativo, la documentación sobre las aeronaves carecía de una estructura formal y sistemática y fue con la implementación del ACA que finalmente se comenzaron a desarrollar manuales detallados, ya que los técnicos aeronáuticos comenzaron a tomar notas meticulosas y a documentar sus reparaciones de manera más organizada.

Este cambio normativo representó un progreso fundamental en la aviación. No solo estableció normas de seguridad, sino que también promovió la aplicación de procesos documentales

más exhaustivos, sentando los cimientos para una administración eficiente de los registros técnicos en la industria aeroespacial.

Aplicaciones Exitosas De Firma Electrónica En Otras Industrias.

Las firmas electrónicas se han implementado con éxito en varios sectores que comparten características similares con la industria aeronáutica, como regulaciones estrictas, procesos complejos y seguridad. Algunos de estos sectores son:

- **Industria**

de Defensa: Similar a la aeronáutica, la industria de defensa maneja información altamente confidencial y está sujeta a regulaciones estrictas. La firma electrónica se utiliza para agilizar los procesos de aprobación de contratos, acuerdos y documentación relacionada.

Además, “se utilizan para la recepción, aceptación, y certificación de solicitudes de pago tramitadas a través de un sistema de información automatizado.” (Secretary of Defense (Comptroller), 2009)

- **Industria**

de Tecnología de la Información y Comunicaciones: El sector de tecnología de la información y comunicaciones utiliza firmas electrónicas para gestionar contratos, acuerdos de servicio y otros documentos legales. La seguridad y la integridad de la información son aspectos fundamentales en este ámbito. De acuerdo con (Verma, 2024), las firmas electrónicas poseen aplicaciones prácticas en los siguientes temas:

- a. Contratos de venta:
- b. Presentación de solicitudes de patentes
- c. Acuerdos de proveedores
- d. Vinculación de los empleados”

- **Industria**

Automotriz: Al igual que la industria aeronáutica, maneja documentos complejos y está sujeta a regulaciones. La firma electrónica se utiliza en la aprobación de contratos, acuerdos de

suministro y otros procesos relacionados con la cadena de suministro y su principal beneficio “es que ayuda a los concesionarios a mitigar el fraude de identidad y a tener confianza en la integridad de la transacción.” (MacDougall, 2023)

2.3 Propuesta del Marco Teórico

El proyecto propone un marco teórico que se basa en la implementación de firmas electrónicas y la gestión de registros técnicos en los talleres de reparación de aviones. Se analiza cómo se aplican y qué estándares se siguen en la industria aeronáutica. Además, se examinan consideraciones generales sobre el uso de firmas electrónicas en diversos contextos, como en las tecnologías móviles y la blockchain. Además, el texto revisa la aplicación de la metodología de gestión de proyectos ágiles en el contexto de la industria aeroespacial, destacando sus ventajas sobre los métodos tradicionales:

Tabla 5

Propuesta de Marco Teórico

No.	Datos editoriales del libro impresos o digital	Temas y subtemas que le servirá para su investigación	Páginas del libro en donde se encuentra la información
1	(Barbagallo, 2016) Advisory Circular 120-78A.	CHAPTER 2. ELECTRONIC SIGNATURES 2-1. Electronic Signature 2-2. Electronic Signature Process 2-3. Electronic Signature Authorization CHAPTER 3. ELECTRONIC RECORDKEEPING 3-1. Electronic Records 3-2. FAA Standards for Electronic Records 3-3. Electronic Recordkeeping System 3-4. Electronic Recordkeeping Authorization	Página 7 a la 12, Página 15 a la 18
2	(IATA, 2017) Guidance Material for the implementation of Paperless Aircraft Operations in Technical Operations. Iata.org.	3.2.2 eSignature 3.2.3 Mobile Technology 3.2.4 Mobile Technology Innovation 3.3 Civil Aviation Authority Approval 3.3.1 IATA Electronic Signature & Record Keeping Regulatory Checklist 3.4 The Importance of Standards 3.4.1 ISO Standards Impact Map 3.4.2 ATA e-Business Standards 4 Value Propositions – Implementation of PAO:TO 4.1 Safety, Quality and Compliance 4.1.1 Safety, Quality & Compliance Metrics 4.2 Operational Performance 4.2.1 On-Time Performance Metrics 4.3 Financial Considerations 4.3.1 Cost Reduction Metrics 4.3.2 Cost Increases 4.4 Maintenance & Engineering 4.4.1 Production Control Metrics 4.4.2 Productivity 4.4.3 Productivity Metrics 4.4.5 Warranty & Performance Guarantee 4.5.1 Warranty & Performance Guarantee Metrics 4.6 Customers (internal & external) 4.7 Record Storage & Environment 4.7.1 The Paperless Project - Statistics 4.7.2 YouGov UK - Statistics 4.7.3 Aviation Paper Records - Statistics 4.7.4 Record Formats 4.7.5 Digitizing of Legacy/Historical Records 4.7.6 Metrics – Record Storage and Environment 4.8 Lessors and Lessees 4.8.1 Re-Delivery Issues 4.8.2 Legacy Leasing Contracts 4.8.3 Metrics - Lessors 4.8.4 Metrics – Lessees	Página 9 a 40

3	<p>(Mahmud, Repair Station Manual, 2023)Repair Station Manual. Docbox.</p> <p>(Mahmud, Quality Control Manual, 2024)Quality Control Manual. Docbox.</p>	Derechos reservados	<p>Página 50 a 64</p> <p>Página 21 a 27</p>
4	<p>(Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (UAEAC), 2023) Manual del inspector de operaciones: Parte II. Capítulo 22. Procedimiento de aprobación del sistema de registros de explotadores RAC 121 y 135 (Versión 01) [Manual]. Colombia.</p>	<p>Sección 2 – proceso de aceptación o aprobación</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Generalidades 2. Requisitos reglamentarios 3. Guías generales para la aceptación/aprobación de los registros 4. Requisitos legales de la firma electrónica <p>Sección 3 – períodos de vigencia de los registros</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Generalidades 2. Categorías de los registros 3. Períodos de vigencia del sistema de registros <p>Sección 4 – sistema de registros en medios electrónicos</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. Generalidades 5. Requisitos reglamentarios 6. Guías para la aprobación del sistema de registros en medios 7. Otorgamiento de la aprobación 8. Vigilancia del sistema 9. Capacidades adicionales del sistema 	<p>Página 5 a14</p>
5	<p>(Agencia de la Unión Europea para la Seguridad Aérea (EASA), 2023). Directrices sobre el uso de documentos, registros y firmas electrónicas (Versión 1) [Directrices]. Europa.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 3. Electronic signatures: general considerations 4. Scope: situations considered 4.1. Applications sent to the Authority for approval / acceptance / authorisation 4.2. Expositions and other documents made available for use within an organisation 4.3. Certificates electronically signed by individuals acting independently 4.4. Certificates electronically signed on behalf of an approved organization 4.5. Internal flow management tool for approved organisations 4.6. Interoperability of flows 4.7. Use of blockchain for tracking life of serialised parts and aircraft 4.8. Certificates/documents issued by national competent authorities 	<p>Página 7 a 14</p>

6	(Faheem, Moseley, & Lukus, 2020)Effectiveness of agile project management approach in Aero-engine mro market of Saudi Arabia.	<p>CHAPTER 2 - CONCEPTUAL ANALYSIS/ LITERATURE REVIEW</p> <p>2.1 BACKGROUND</p> <p>2.2 AGILE PROJECT MANAGEMENT (APM)</p> <p>2.3 ROLE & THE SIGNIFICANCE - APM</p> <p>2.4 METHODS IMPLEMENTED BY THE FIRM TO DETERMINE THE SUCCESS OF</p> <p>APM FOR PROJECTS</p> <p>2.5 APPLICATION OF AGILE PROJECT MANAGEMENT IN AERO-ENGINE MRO</p> <p>MARKET</p> <p>2.6 ADVANTAGES OF IMPLEMENTING MODERN AGILE PROJECT MANAGEMENT</p> <p>APPROACH OVER TRADITIONAL APPROACHES IN AVIATION</p> <p>INDUSTRY AND AERO-ENGINE MRO MARKET OF SAUDI ARABIA</p> <p>2.7 CONCEPT OUTLINE</p> <p>2.8 OVERALL UNDERSTANDING</p> <p>2.9 RESEARCH GAP</p>	Página 14 a 25

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 3: DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación emplea un enfoque cuantitativo que, según (Ortega, 2017)“consiste en recolectar y analizar datos numéricos. Este método es ideal para identificar tendencias y promedios, realizar predicciones, comprobar relaciones y obtener resultados generales

de poblaciones grandes”. Este enfoque nos permitirá estudiar la realidad de manera objetiva, apoyándonos en la medición numérica y el análisis estadístico de los datos, y equipararla con las líneas del paradigma positivista que sostiene que la realidad es única y observable y exige que el investigador sea neutral respecto al asunto de investigación.

Además, adoptará un diseño descriptivo, definido como el diseño investigativo que, según (Mejia, 2020), se interesa por “describir la población, situación o fenómeno alrededor del cual se centra su estudio. Procura brindar información acerca del qué, cómo, cuándo y dónde, relativo al problema de investigación, sin darle prioridad a responder al “por qué” ocurre dicho problema”. Hecho fundamental en investigaciones donde el objetivo principal es capturar la realidad tal como es, sin adentrarse en explicaciones causales.

Se utilizará un diseño de estudio transversal, lo que significa recopilar datos en un único momento para obtener una imagen de la situación actual. Este diseño es apropiado para la naturaleza del problema de investigación y permitirá analizar la recopilación de datos en un momento específico para evaluar la situación actual en términos de eficiencia documental, integridad de registros, autenticación de personal y cumplimiento normativo. Además, se investigarán las posibles mejoras mediante la implementación y la aplicabilidad e impacto potencial de la automatización y firmas electrónicas.

El propósito de esta investigación será describir la situación actual de generación y firma de documentos en la estación reparadora de aviones en Rionegro, Antioquia, y cuantificar los beneficios potenciales de implementar la firma electrónica para los procesos y para las arcas económicas de la compañía. Como parte del enfoque cuantitativo, el estudio se centrará en la medición de variables y el análisis estadístico para probar hipótesis. Esto permitirá analizar datos numéricos de las bases de datos de la estación reparadora (tiempos, costos, etc.) para describir la situación actual y cuantificar los beneficios de la firma electrónica de manera objetiva y confiable. Se podrán generalizar los resultados y establecer relaciones causales mediante pruebas estadísticas y el análisis de datos numéricos para encontrar relaciones y diferencias significativas extraídos de las

bases de datos internas de la estación reparadora de aviones en Rionegro, específicamente sobre la cantidad y tipo de documentos generados, costos asociados a la firma en papel, tiempos de firma, impresión, legalización, digitalización, tiempos de entrega a clientes, entre otros indicadores.

De esta manera, se podrán describir precisa y objetivamente los procesos actuales de generación y firma de documentos, y cuantificar los beneficios potenciales de implementar la firma electrónica en términos de reducción de costos y tiempos demostrando que este enfoque es el más apropiado dadas las características de los datos disponibles y los objetivos planteados en esta investigación.

La modalidad será de campo, ya que los datos serán recogidos directamente de la realidad donde ocurren los hechos obtenidos directamente de las bases de datos internas de la MRO ubicada en Rionegro, Ant y el tipo de población en la modalidad de campo de esta investigación estará conformado por el conjunto de registros en las bases de datos de la estación reparadora, relacionados con la generación y firma de registros técnicos de mantenimiento y reparación donde se seleccionará una muestra representativa de estos registros mediante muestreo aleatorio. La técnica de recolección de datos será mediante el análisis de bases de datos internas de la estación reparadora, de donde se extraerán registros sobre cantidad y tipo de documentos, costos de firma en papel, tiempos de firma, tiempos de procesamiento y entrega final, etc. Esta técnica no intrusiva permitirá obtener información real sin intervenir en los procesos normales de la estación.

Los datos extraídos serán procesados, limpiados, organizados y analizados estadísticamente para describir la situación actual y cuantificar los beneficios potenciales de implementar la firma electrónica en la estación reparadora de aviones ubicada en Rionegro respaldando así la elección metodológica para alcanzar los objetivos planteados en esta investigación.

La investigación se desarrollará en tres fases principales:

- Fase diagnóstica: Análisis del estado actual de los procesos.
- Fase analítica: Evaluación de tecnologías y mejores prácticas.
- Fase propositiva: Desarrollo de la propuesta de implementación.

3.2. Población, muestra y ficha técnica

La población de este estudio se define como los registros técnicos de mantenimiento y reparación contenidos en la base de datos interna de la estación reparadora de Rionegro. La muestra seleccionada será una representación significativa de estos registros, considerando cada uno como una unidad de observación. Para la selección de la muestra, se aplicarán criterios de inclusión basados en la presencia de los registros técnicos relevantes en la base de datos, sin implementar criterios de exclusión, con el fin de garantizar la representatividad de la muestra.

3.3. Identificación y definición de variables

Las variables clave identificadas para esta investigación incluyen:

- Cantidad y tipo de documentos generados
- Costos asociados a la firma en papel
- Tiempos involucrados en el proceso desde la firma hasta la entrega a los clientes
- Elementos relacionados con la gestión de proyectos de mantenimiento aeronáutico

Estas variables se derivan de los fundamentos y datos presentados en el planteamiento del problema y permitirán un análisis detallado del impacto de la implementación de la firma electrónica.

3.4. Propuesta Modelo Teórico

El modelo teórico propuesto para esta investigación se basa en la idea de que la implementación de soluciones de firma electrónica y automatización de procesos en la estación reparadora puede ayudar a aumentar la eficiencia, la trazabilidad y la seguridad en la gestión de proyectos de mantenimiento aeronáutico. Este modelo se fundamenta en:

- Revisión histórica y normativa

- Análisis de la situación actual: Evaluación de los procesos actuales de

documentación y autenticación en la estación reparadora, incluyendo tiempos, costos y eficiencia.

- Beneficios potenciales: Estudio de las ventajas de la firma electrónica en términos

de:

- Reducción de tiempos de procesamiento
- Disminución de costos operativos
- Mejora en la trazabilidad y seguridad de los registros
- Reducción del impacto ambiental

● Desafíos de implementación: Identificación y análisis de los retos tecnológicos, operativos y de seguridad asociados a la implementación de firmas electrónicas en el mundo aeronáutico.

● Cumplimiento normativo: Evaluación de la forma en cómo la implementación se alinea con los estrictos estándares de seguridad operacional y cumplimiento normativo de la industria aeronáutica.

● Gestión del cambio: Consideración de los aspectos humanos y organizacionales necesarios para una transición exitosa de los procesos tradicionales a los digitales.

● Análisis costo-beneficio: Evaluación cuantitativa de los beneficios económicos y operativos esperados en comparación con los costos de implementación y mantenimiento del nuevo sistema.

● Impacto en la gestión de proyectos: Análisis de cómo la implementación de firmas electrónicas puede mejorar la eficiencia y efectividad en la gestión de proyectos de mantenimiento aeronáutico.

3.5. Descripción del instrumento de medición.

Para la recopilación de datos numéricos, se usarán herramientas estadísticas descriptivas que permitan analizar los indicadores clave identificados, como el número de documentos producidos, los costos relacionados y los tiempos de procesamiento. Además, se llevarán a cabo entrevistas estructuradas para obtener información cualitativa sobre los desafíos y percepciones vinculados a la implementación de la firma digital.

3.6. Validación del instrumento de medición

Se hará un énfasis especial en la validez y la coherencia de las herramientas usadas para garantizar la confianza en los resultados obtenidos. Confirmar la validez ayudará a fortalecer las conclusiones, mientras que la consistencia en la recopilación y el análisis de datos asegurará la integridad de los resultados.

3.7. Técnica de recolección de datos

La recolección de datos se llevará a cabo a través de dos enfoques principales:

- Análisis de los registros técnicos de mantenimiento y reparación presentes en la base de datos de la estación reparadora de aviones.
- Entrevistas estructuradas con personal clave de la estación reparadora para obtener información cualitativa.

3.8 Aspectos éticos de la investigación

- Mantener la confidencialidad y privacidad de los datos sensibles de la empresa y su estación reparadora en Rionegro. Cualquier información que pueda comprometer la seguridad o reputación de la organización debe ser manejada con extrema cautela.

- Obtener

los permisos y autorizaciones necesarias de la empresa para acceder y utilizar los registros y bases de datos internas de la estación reparadora. Esto implica seguir los protocolos y políticas de la empresa en cuanto al manejo de datos confidenciales.

- Asegurar
el anonimato de los participantes en las entrevistas estructuradas que se realizarán. Cualquier información personal o identificable debe ser protegida y utilizada únicamente con fines de investigación.

- Manejar
los datos recolectados con ética profesional, objetividad e integridad. Evitar cualquier tipo de manipulación, alteración o tergiversación de los datos que pueda comprometer la validez y confiabilidad de los resultados.

- Presentar
los resultados de la investigación de manera transparente, sin sesgo ni conflicto de intereses, garantizando la veracidad y precisión de los hallazgos.

- Utilizar
los datos y resultados obtenidos únicamente con fines académicos y de investigación, sin fines comerciales o lucrativos no autorizados.

- Informar
a los participantes y autoridades sobre los objetivos, alcance y potenciales beneficios de la investigación, obteniendo su consentimiento informado cuando sea necesario.

- Mantener
una conducta ética y profesional durante todas las fases de la investigación, respetando los principios y valores de integridad, honestidad y responsabilidad.

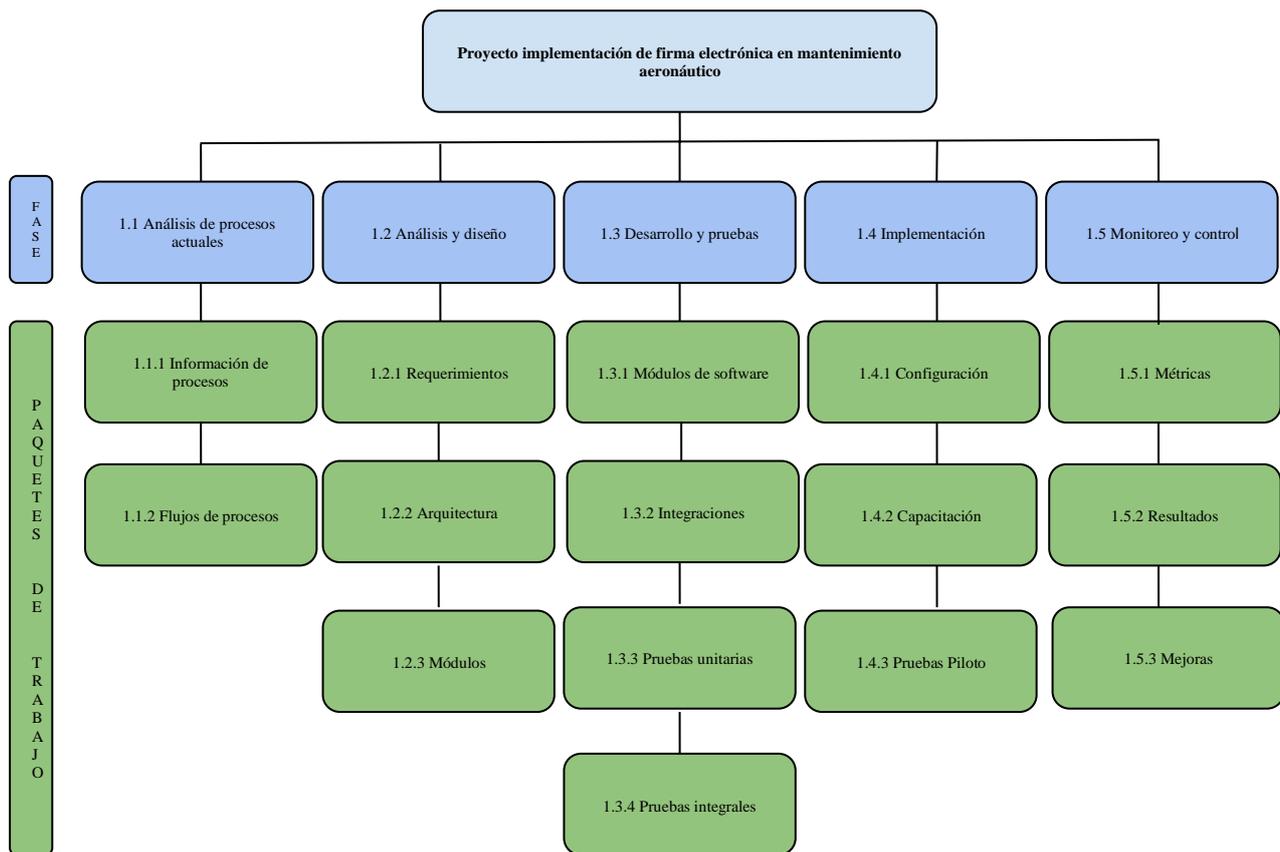
3.9 Plan de trabajo o cronograma de la investigación (EDT)

Utilizando la Estructura Desglosada del Trabajo (EDT), se estimó que el proyecto podría llevarse a cabo en 28 semanas. Las actividades se planificará y realizará empleando la metodología

en cascada, ya que su enfoque secuencial se ajusta mejor a las características del proyecto, garantizando una transición clara entre fases y un control más estricto sobre los productos entregables en cada etapa.

Figura 2

Plan de trabajo o cronograma de la investigación (EDT)



Fuente: Elaboración Propia

3.9.1 Diccionario de la EDS/WBS

Tabla 6

Diccionario de la EDS/WBS

Código del paquete de trabajo:	1.1.1
Nombre del paquete de trabajo:	Información
Descripción del paquete de trabajo:	Recopilación de información sobre los procesos actuales a través de herramientas como Atlas.ti y herramientas del paquete de Office.
Descripción de actividad a realizar:	<p>Entrevistas, observación, revisión de documentos.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Realizar entrevistas con personal técnico ● Observar procesos in situ en hangar de mantenimiento ● Revisar documentación y registros de procesos actuales
Asignación de Responsables	Responsable: Analista de Procesos
	Revisa:
	Aprueba :
Criterios de aceptación:	Documento detallado de procesos actuales.
Duración estimada:	2 semanas
Costo Estimado:	\$ 5.000.000 (4.000.0000 licenciamiento office para los 11 integrantes del equipo y 1.000.000 de licenciamiento de Atlas.ti)

Código del paquete de trabajo:	1.1.2
Nombre del paquete de trabajo:	Flujos de procesos
Descripción del paquete de trabajo:	Diagramación de procesos actuales en BPMN.
Descripción de actividad a realizar:	<p>Documentar flujos de procesos.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Diagramar flujo de proceso de inspección pre-vuelo ● Diagramar flujo de proceso de actividades correctivas ● Diagramar flujo de proceso de mantenimiento no programado
Asignación de Responsables	Responsable: Analista de Procesos
	Revisa:
	Aprueba :
Criterios de aceptación:	Diagramas completos de flujos de procesos.
Duración estimada:	2 Semana
Costo Estimado:	\$ 2.000.000

Código del paquete de trabajo:	1.2.1
Nombre del paquete de trabajo:	Requerimientos
Descripción del paquete de trabajo:	Levantamiento detallado de requerimientos.
Descripción de actividad a realizar:	<p>Entrevistas, benchmarking.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Realizar entrevistas con usuarios sobre requerimientos ● Investigar requerimientos en proyectos similares ● Documentar requerimientos funcionales y no funcionales:
Asignación de Responsables	Responsable: Analista de Sistemas

	Revisa:
	Aprueba :
Criterios de aceptación:	Documento de especificación de requerimientos.
Duración estimada:	2 semanas
Costo Estimado:	\$ 5.000.000

Código del paquete de trabajo:	1.2.2
Nombre del paquete de trabajo:	Arquitectura
Descripción del paquete de trabajo:	Diseño de alto nivel de la arquitectura.
Descripción de actividad a realizar:	Definir componentes de hardware y software. <ul style="list-style-type: none"> ● Definir plataforma tecnológica de hardware: ● Definir software base y sistemas operativos ● Diseñar arquitectura de componentes
Asignación de Responsables	Responsable: Arquitecto de Software
	Revisa:
	Aprueba :
Criterios de aceptación:	Documento de arquitectura detallado.
Duración estimada:	1 semanas
Costo Estimado:	\$ 3.000.000

Código del paquete de trabajo:	1.2.3
Nombre del paquete de trabajo:	Módulos
Descripción del paquete de trabajo:	Diseño detallado de módulos de software.

Descripción de actividad a realizar:	Diagramas de casos de uso y clases. <ul style="list-style-type: none"> ● Desarrollar diagrama de casos de uso: ● Diseñar modelo de datos: ● Diseñar diagramas de clases
Asignación de Responsables	Responsable: Analista de Sistemas
	Revisa:
	Aprueba :
Criterios de aceptación:	Documento de diseño de módulos.
Duración estimada:	2 semanas
Costo Estimado:	\$ 5.000.000

Código del paquete de trabajo:	1.3.1
Nombre del paquete de trabajo:	Módulos de Software
Descripción del paquete de trabajo:	Desarrollo de módulos de software.
Descripción de actividad a realizar:	Codificación, debugging. <ul style="list-style-type: none"> ● Codificar módulo de autenticación de usuarios ● Codificar módulo de firma digital ● Depurar errores y defectos en módulos
Asignación de Responsables	Responsable: Programador Junior , Programador Senior
	Revisa:
	Aprueba :
Criterios de aceptación:	Código fuente de módulos.
Duración estimada:	4 semanas
Costo Estimado:	\$ 10.000.000

Código del paquete de trabajo:	1.3.2
---------------------------------------	-------

Nombre del paquete de trabajo:	Integraciones
Descripción del paquete de trabajo:	Desarrollo de integraciones con otros sistemas.
Descripción de actividad a realizar:	<p>Configuración de APIs y web services.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Configurar API de autenticación con directorio activo ● Configurar web service con sistema de mantenimiento ● Probar integraciones
Asignación de Responsables	Responsable: Programador Senior
	Revisa:
	Aprueba :
Criterios de aceptación:	Integraciones funcionales.
Duración estimada:	2 semanas
Costo Estimado:	\$ 5.000.000

Código del paquete de trabajo:	1.3.3
Nombre del paquete de trabajo:	Pruebas Unitarias
Descripción del paquete de trabajo:	Pruebas de unidad a módulos de software.
Descripción de actividad a realizar:	<p>Ejecución de planes de prueba.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Ejecutar pruebas unitarias de módulo de autenticación ● Ejecutar pruebas unitarias de módulo de firma ● Generar reporte de pruebas unitarias
Asignación de Responsables	Responsable: Probador Junior
	Revisa:

	Aprueba :
Criterios de aceptación:	Reportes de pruebas unitarias.
Duración estimada:	2 semanas
Costo Estimado:	\$ 3.000.000

Código del paquete de trabajo:	1.3.4
Nombre del paquete de trabajo:	Pruebas Integrales
Descripción del paquete de trabajo:	Pruebas integrales del sistema.
Descripción de actividad a realizar:	Pruebas de integración, sistema, usuarios. <ul style="list-style-type: none"> ● Ejecutar pruebas de integración ● Ejecutar pruebas del sistema ● Ejecutar pruebas de aceptación con usuarios
Asignación de Responsables	Responsable: Probador Senior
	Revisa:
	Aprueba :
Criterios de aceptación:	Reportes de pruebas integrales.
Duración estimada:	3 semanas
Costo Estimado:	\$ 7.000.000

Código del paquete de trabajo:	1.4.1
Nombre del paquete de trabajo:	Configuración
Descripción del paquete de trabajo:	Configuración de ambientes de desarrollo, pruebas y producción.
Descripción de actividad a realizar:	Instalación, parametrización.

	<ul style="list-style-type: none"> ● Instalar software de firma digital en ambiente de desarrollo ● Parametrizar roles y perfiles en ambiente de pruebas ● Configurar firmas digitales en ambiente de producción
Asignación de Responsables	Responsable: Administrador de Sistemas
	Revisa:
	Aprueba :
Criterios de aceptación:	Ambientes configurados y funcionando.
Duración estimada:	1 semanas
Costo Estimado:	\$ 2.000.000

Código del paquete de trabajo:	1.4.2
Nombre del paquete de trabajo:	Capacitación
Descripción del paquete de trabajo:	<p>Capacitación a usuarios finales.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Elaborar presentaciones y manuales de capacitación ● Dictar capacitación a usuarios administrativos ● Dictar capacitación a usuarios técnicos
Descripción de actividad a realizar:	Elaborar material, dictar cursos.
Asignación de Responsables	Responsable: Instructor
	Revisa:
	Aprueba :
Criterios de aceptación:	80% personal capacitado.
Duración estimada:	1 semana
Costo Estimado:	\$ 2.000.000

Código del paquete de trabajo:	1.4.3
Nombre del paquete de trabajo:	Piloto
Descripción del paquete de trabajo:	Prueba piloto en ambiente controlado.
Descripción de actividad a realizar:	<p>Simulacros, pruebas de concepto.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Ejecutar prueba piloto con usuarios administrativos ● Ejecutar prueba piloto con usuarios técnicos ● Generar reporte de resultados del piloto
Asignación de Responsables	Responsable: Coordinador de Pruebas
	Revisa:
	Aprueba :
Criterios de aceptación:	Reporte de resultados del piloto.
Duración estimada:	1 semanas
Costo Estimado:	\$2.000.000

Código del paquete de trabajo:	1.5.1
Nombre del paquete de trabajo:	Métricas
Descripción del paquete de trabajo:	<p>Identificación y recolección de métricas.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Definir indicadores de rendimiento y adopción ● Configurar recolección de métricas en ambiente de pruebas ● Configurar tablero de métricas en producción
Descripción de actividad a realizar:	Definir indicadores de desempeño.
Asignación de Responsables	Responsable: Analista de Sistemas
	Revisa:

	Aprueba :
Criterios de aceptación:	Documento de métricas e informes..
Duración estimada:	1 semanas
Costo Estimado:	\$1.000.000

Código del paquete de trabajo:	1.5.2
Nombre del paquete de trabajo:	Resultados
Descripción del paquete de trabajo:	Análisis de resultados del piloto.
Descripción de actividad a realizar:	<p>Evaluar indicadores y cumplimiento de objetivos.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Importar métricas al inicio del piloto ● Evaluar resultados parciales del piloto ● Generar informe final de resultados del piloto
Asignación de Responsables	Responsable: Coordinador de Pruebas
	Revisa:
	Aprueba :
Criterios de aceptación:	Informe de resultado.
Duración estimada:	1 semanas
Costo Estimado:	\$1.000.000

Código del paquete de trabajo:	1.5.3
Nombre del paquete de trabajo:	Mejoras
Descripción del paquete de trabajo:	Implementación de mejoras luego del piloto.
Descripción de actividad a realizar:	<p>Implementación de mejoras luego del piloto.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Priorizar oportunidades de mejora en

	base a resultados <ul style="list-style-type: none"> ● Desarrollar mejoras en ambiente de pruebas ● Implementar mejoras en ambiente de producción
Asignación de Responsables	Responsable: Analista de Sistemas
	Revisa:
	Aprueba :
Criterios de aceptación:	Mejoras implementadas.
Duración estimada:	1 semanas
Costo Estimado:	\$1.000.000

Fuente: Elaboración Propia

3.9.2 Control de la calidad de los entregables

Tabla 7

Control de la calidad de los entregables

#	Paquete de trabajo	Descripción	Criterios de aceptación / / Estándares aplicables	Procedimiento de aceptación
1.1.1	Información	Recopilación de información sobre los procesos actuales.	Criterios: Documento detallado de procesos actuales. Estándares: ISO 9001, RTCA DO-178C	Revisión y firma de aceptación por parte del área de Ingeniería.
1.1.2	Flujos de procesos	Diagramación de procesos actuales en BPMN.	Criterios: Diagramas completos en BPMN Estándares: ISO 9001, RTCA DO-178C	Revisión y firma de aceptación por parte del área de Ingeniería.
1.2.1	Requerimientos	Levantamiento detallado de requerimientos.	Criterios: Priorización y clasificación de requerimientos. Estándares: RTCA DO-178C	Revisión y firma por parte del usuario final.
1.2.2	Arquitectura	Diseño de alto nivel de la arquitectura.	Criterios: Documento de arquitectura detallado. Estándares: RTCA DO-254	Revisión y firma de aceptación por parte del área de Ingeniería.

1.2.3	Módulos	Diseño detallado de módulos de software.	Criterios: Documento de diseño de módulos completado. Estándares: RTCA DO-178C	Revisión y firma de aceptación por parte del área de Ingeniería.
1.3.1	Módulos de Software	Desarrollo de módulos de software.	Criterios: Código fuente documentado. Estándares: RTCA DO-178C	Revisión y firma de aceptación por parte de arquitectura.
1.3.2	Integraciones	Desarrollo de integraciones con otros sistemas.	Criterios: Integraciones funcionales entre módulos y sistemas externos. Estándares: IEEE 12207	Pruebas de integración exitosas por parte del equipo de calidad.
1.3.3	Pruebas Unitarias	Pruebas de unidad a módulos de software.	Criterios: Reportes de pruebas unitarias. Estándares: IEEE 829	Revisión de reportes y firma de aceptación por parte del líder de pruebas.
1.3.4	Pruebas Integrales	Pruebas integrales del sistema.	Criterios: Reportes de pruebas integrales. Estándares: RTCA DO-178C, IEEE 829	Revisión de reportes y firma de aceptación por parte del líder de pruebas.
1.4.1	Configuración	Configuración de ambientes de desarrollo, pruebas y producción.	Criterios: Ambientes configurados y funcionando. Estándares: ITIL, IEEE 12207	Pruebas de configuración exitosas por parte del equipo de implementación.
1.4.2	Capacitación	Elaborar material, dictar cursos.	Criterios: 80% del personal técnico capacitado. Estándares: ISO 9001	Reporte de efectividad de capacitación por parte del instructor líder.
1.4.3	Piloto	Prueba piloto en ambiente controlado.	Criterios: Reporte de resultados de piloto. Estándares: IEEE 15288	Revisión de reporte y firma de aceptación por parte del líder funcional.
1.5.1	Métricas	Definir indicadores de desempeño.	Criterios: Documento de métricas e indicadores. Estándares: ISO 8000	Revisión y firma de aceptación por parte del área de Calidad.
1.5.2	Resultados	Análisis de resultados del piloto.	Criterios: Informe final de evaluación de resultados. Estándares: ISO 9001	Revisión de informe y firma de aceptación por parte del sponsor.
1.5.3	Mejoras	Implementación de mejoras luego del piloto.	Criterios: Mejoras implementadas en producción. Estándares: ISO 9001	Pruebas de mejoras implementadas por parte del equipo de calidad.

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1. Descripción de las herramientas utilizadas para el procesamiento de datos

Para procesar y analizar los datos recopilados en este estudio, se utilizaron varias herramientas tecnológicas que permitieron un manejo eficiente y confiable de la información.:

- **Microsoft Excel:** Se utilizó para generar tablas, gráficos y realizar cálculos estadísticos descriptivos. Fue fundamental para analizar los datos cuantitativos relacionados con tiempos de proceso, costos y ahorros proyectados, calcular el Retorno de Inversión (ROI), el tiempo de recuperación de la inversión, y realizar proyecciones financieras basadas en la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT) del proyecto. Además, a través de ella se aplicaron modelos de conversión estandarizados para cuantificar el impacto ambiental, como la conversión de hojas de papel ahorradas a árboles salvados y litros de agua ahorrados.
- **Herramientas de análisis cualitativo,** como Atlas.ti, se utilizó para codificar y categorizar la información obtenida a través de las entrevistas estructuradas con el personal de la estación reparadora ubicada en Rionegro, Ant. Esto permitirá identificar temas, patrones y percepciones relevantes para complementar los hallazgos cuantitativos.

4.2. Validación de la confiabilidad de los datos recolectados

Antes de analizar los datos, se llevó a cabo un exhaustivo proceso de validación para garantizar la confiabilidad de la información recopilada. Este proceso incluyó la revisión de la integridad y coherencia de los datos, la identificación y corrección de posibles errores o inconsistencias, y la aplicación de técnicas estadísticas para evaluar la fiabilidad de las mediciones.

Específicamente, se realizaron pruebas de consistencia interna, como el cálculo del coeficiente alfa de Cronbach, para evaluar la coherencia de los instrumentos de medición utilizados. Además, se llevaron a cabo análisis de correlación y regresión para verificar la validez de las

relaciones entre las variables clave. Estos procedimientos asegurarán que los datos procesados y analizados sean confiables y reflejen de manera precisa la realidad de la estación reparadora en cuestión.

4.3. Procesamiento y análisis de datos

Una vez confirmada la confiabilidad de los datos, se procedió con el procesamiento y análisis de la información recopilada. Este proceso se llevó a cabo en varias etapas, comenzando con la organización y tabulación de los datos cuantitativos en hojas de cálculo y bases de datos.

Posteriormente, se aplicaron técnicas estadísticas descriptivas, como el cálculo de medidas de tendencia central, dispersión y frecuencias, para generar una comprensión general de los patrones y características de los indicadores clave. Además, se realizaron análisis inferenciales, como pruebas de hipótesis y modelos de regresión, para establecer relaciones y determinar la significancia estadística de los hallazgos. Paralelamente, se procedió con el análisis cualitativo de la información obtenida a través de las entrevistas. Mediante la codificación y categorización de los datos, se identificaron temas, percepciones y desafíos relevantes que complementen y enriquezcan la interpretación de los resultados cuantitativos. La combinación de ambos enfoques permite obtener una visión integral y sólida de los efectos de la implementación de la firma electrónica en la estación reparadora de aviones en Rionegro.

4.3.1 Análisis de la situación actual

Se analizó el proceso actual para un Servicio A de Avión:

Actividad	Tiempo (minutos)
Impresión y organización	60
Escaneo	30

Actividad	Tiempo (minutos)
Carga en servidor y generación de enlaces en el sistema	30
Total	120

- Cantidad de documentos servicio Tipo A: 850 páginas en 34 documentos
- Tiempo de diligenciamiento por documento: 15 minutos
- Tiempo total de diligenciamiento: 34 documentos * 15 minutos = 510 minutos

Tiempo total del proceso actual: $120 + 510 = 630$ minutos (10.5 horas)

Costos Actuales

- Salario mínimo mensual en Colombia: 1,300,000 COP
- Costo por hora de trabajo: $(1,300,000 / 30 \text{ días}) / 8 \text{ horas} = 5,416.67 \text{ COP/hora}$
- Costo de mano de obra por servicio: $10.5 \text{ horas} * 5,416.67 \text{ COP/hora} = 56,875 \text{ COP}$
- Costo de una resma de papel (500 hojas): 16,000 COP
- Costo por hoja: $16,000 / 500 = 32 \text{ COP/hoja}$
- Páginas generadas al mes: 240,000
- Costo mensual en papel: $240,000 * 32 = 7,680,000 \text{ COP}$

4.3.2 Proceso con Firma Electrónica

- Tiempo de diligenciamiento por documento con firma electrónica: 5 minutos
- Tiempo total de diligenciamiento: 34 documentos * 5 minutos = 170 minutos

Tiempo total del proceso con firma electrónica: 170 minutos (2.83 horas)

4.3.2 . Comparación y Ahorro

Ahorro de Tiempo

- Tiempo ahorrado por servicio: $630 - 170 = 460$ minutos (7.67 horas)
- Porcentaje de reducción de tiempo: $(460 / 630) * 100 = 73.02\%$

Ahorro de Costos

- Ahorro en mano de obra por servicio: $7.67 \text{ horas} * 5,416.67 \text{ COP/hora} = 41,545.86 \text{ COP}$
Ahorro mensual en papel: 7,680,000 COP

4.3.3 Análisis de resultados

Este estudio combina datos numéricos y descriptivos para proporcionar una visión integral de los posibles efectos de esta innovación tecnológica. Mediante un proceso exhaustivo de recopilación, validación y análisis de datos, se busca ofrecer un entendimiento profundo de los beneficios operativos, económicos y medioambientales relacionados con el cambio a un sistema de documentación digital.

Comparación de Procesos

La adopción de la firma electrónica representa un cambio importante en las operaciones de la estación reparadora. Para entender este impacto, se realizó un análisis comparativo detallado entre el proceso actual y el nuevo proceso propuesto. Este análisis se basó en datos recopilados a través de observaciones directas, registros históricos y entrevistas con personal clave.

Aspecto	Proceso Actual	Proceso con Firma Electrónica	Ahorro/Diferencia
Tiempo total por servicio (minutos)	630	170	460
Tiempo total por servicio (horas)	10.5	2.83	7.67
Costo de mano de obra por servicio (COP)	56,875	15,329.14	41,545.86
Uso de papel por servicio (páginas)	850	0	850

Estos datos revelan una reducción sustancial en tiempo, costos y uso de recursos materiales, indicando una mejora significativa en la eficiencia operativa.

Ahorro Mensual

El análisis del ahorro mensual se ha realizado mediante la aplicación de técnicas estadísticas descriptivas e inferenciales. Se han calculado medidas de tendencia central y dispersión para establecer estimaciones confiables de los ahorros proyectados. Este enfoque permite una comprensión más profunda de los beneficios económicos a largo plazo.

Ahorro en Papel

La eliminación del uso de papel representa uno de los cambios más visibles y cuantificables:

Concepto	Cantidad
Páginas ahorradas al mes	240,000
Costo por hoja (COP)	32
Ahorro mensual en papel (COP)	7,680,000

Ahorro en Mano de Obra

Para calcular el ahorro mensual en mano de obra, se ha utilizado un modelo de estimación basado en la frecuencia de servicios:

- Páginas por servicio A: 850
- Páginas mensuales: 240,000
- Servicios estimados al mes: $240,000 / 850 \approx 282$ servicios

Concepto	Cálculo	Resultado (COP)
Ahorro por servicio	-	41,545.86
Servicios estimados al mes	-	282
Ahorro mensual en mano de obra	$41,545.86 * 282$	11,715,932.52

Ahorro Total Mensual

La integración de los ahorros en papel y mano de obra proporciona una visión completa del impacto económico:

Concepto	Monto (COP)
Ahorro en papel	7,680,000
Ahorro en mano de obra	11,715,932.52
Total ahorro mensual	19,395,932.52

Impacto Ambiental

El análisis del impacto ambiental se basa en modelos estandarizados y datos de eficiencia energética. Este enfoque ayuda a medir los beneficios medioambientales de implementar la firma electrónica, lo cual aporta una perspectiva importante sobre la sostenibilidad del proyecto.

Ahorro de Papel

Aspecto	Cantidad
Hojas de papel ahorradas al mes	240,000
Árboles salvados al mes (1 árbol \approx 8,333 hojas)	28.8
Agua ahorrada al mes (1 hoja \approx 10 litros)	2,400,000 litros

Ahorro de Energía

Se ha estimado el ahorro energético basado en el consumo promedio de equipos de impresión y escaneo:

Aspecto	Cantidad
Energía ahorrada en impresión (kWh/mes)	720 kWh
Energía ahorrada en escaneo (kWh/mes)	360 kWh

Aspecto	Cantidad
Total energía ahorrada (kWh/mes)	1,080 kWh
Reducción de emisiones de CO2 (kg/mes) (0.5 kg CO2/kWh)	540 kg

Resumen de Beneficios

La integración de los análisis cuantitativos y cualitativos permite presentar un resumen comprehensivo de los beneficios de la implementación de la firma electrónica:

- **Eficiencia Operativa:**

- Reducción del 73.02% en tiempo de procesamiento por servicio.
- Ahorro de 7.67 horas por servicio.

- **Beneficio Económico:**

- Ahorro mensual total: 19,395,932.52 COP
- Proyección de ahorro anual: 232,751,190.24 COP

- **Impacto Ambiental Positivo:**

- 28.8 árboles salvados mensualmente
- 2,400,000 litros de agua ahorrados al mes
- Reducción de 540 kg de emisiones de CO2 mensuales

- **Beneficios Adicionales:**

- Mejora en la gestión y accesibilidad de documentos
- Reducción de espacio de almacenamiento físico
- Aumento en la seguridad y trazabilidad de la documentación

4.3.4 Análisis Financiero

Costos de Implementación basados en la EDT

Código EDT	Paquete de Trabajo	Costo (COP)
1.1.1	Información	5,000,000

Código EDT	Paquete de Trabajo	Costo (COP)
1.1.2	Flujos de procesos	2,000,000
1.2.1	Requerimientos	5,000,000
1.2.2	Arquitectura	3,000,000
1.2.3	Módulos	5,000,000
1.3.1	Módulos de Software	10,000,000
1.3.2	Integraciones	5,000,000
1.3.3	Pruebas Unitarias	3,000,000
1.3.4	Pruebas Integrales	7,000,000
1.4.1	Configuración	2,000,000
1.4.2	Capacitación	2,000,000
1.4.3	Piloto	2,000,000
1.5.1	Métricas	1,000,000
1.5.2	Resultados	1,000,000
1.5.3	Mejoras	1,000,000
-	Subtotal	54,000,000
-	Contingencias (15%)	8,100,000
-	Total	62,100,000

Análisis de Retorno de Inversión (ROI)

Para calcular el ROI, utilizaremos el ahorro anual proyectado que se mencionó anteriormente en el informe.

Concepto	Valor (COP)
Inversión inicial	62,100,000
Ahorro anual proyectado	232,751,190.24
Tiempo de recuperación	0.27 años (\approx 3.2 meses)
ROI a 1 año	274.80%
ROI a 5 años	1774.01%

El análisis financiero actualizado, basado en la información proporcionada, muestra que la implementación de la firma electrónica es aún más viable:

- **Inversión inicial reducida:** La inversión inicial requerida se ha reducido significativamente a 62,100,000 COP.
- **Tiempo de recuperación rápido:** El tiempo de recuperación de la inversión se ha acortado a aproximadamente 3.2 meses.
- **ROI excepcional:** El retorno sobre la inversión (ROI) a un año es excepcional, llegando al 274.80%, lo que significa que en el primer año después de la implementación, el proyecto habrá generado más del doble de la inversión inicial. A cinco años, el ROI alcanza un impresionante 1774.01%.
- **Desglose detallado de costos:** La información proporcionada detalla claramente dónde se asignan los recursos, con los mayores costos concentrados en el desarrollo de módulos de software, pruebas integrales y actividades de análisis inicial.

- **Contingencias:** Se ha incluido un 15% adicional para contingencias, lo que proporciona un margen de seguridad en caso de imprevistos durante la implementación.

Este análisis financiero refuerza aún más la viabilidad y atractivo del proyecto de implementación de firma electrónica. La combinación de una inversión inicial relativamente baja con altos ahorros proyectados resulta en un proyecto con un retorno financiero excepcionalmente favorable.

Recomendaciones basadas en el análisis financiero:

- **Proceder con la implementación:** Dados los indicadores financieros extremadamente positivos, se recomienda proceder con la implementación lo antes posible para comenzar a capturar los beneficios proyectados.

- **Monitoreo cercano:** A pesar del ROI favorable, es crucial monitorear de cerca los costos reales durante la implementación para asegurar que se mantengan dentro de lo presupuestado.

- **Reinversión de ahorros:** Considerar reinvertir una porción de los ahorros generados en mejoras continuas del sistema o en otros proyectos de digitalización para mantener y aumentar la eficiencia operativa a largo plazo.

- **Evaluación post-implementación:** Realizar una revisión financiera detallada 6 meses después de la implementación completa para verificar si los ahorros reales coinciden con las proyecciones y realizar ajustes si es necesario.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES, DISCUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

5.1. Conclusiones de la investigación

Este estudio, utilizando una combinación sólida de métodos cuantitativos y cualitativos, ha proporcionado evidencia contundente sobre el significativo potencial que tiene la implementación

de soluciones de firma electrónica en la estación reparadora en Rionegro, Antioquia. Este enfoque metodológico integral ha permitido una evaluación multidimensional de los impactos esperados. Aunque la implementación aún no se ha llevado a cabo, el análisis detallado de la información recolectada revela beneficios sustanciales que esta transición podría generar.

En primer lugar, se ha identificado que la automatización de los procesos de firma y la eliminación de los registros en papel conducirían a una reducción drástica en los tiempos de procesamiento de documentos. Según las proyecciones realizadas, se estima que la implementación de la firma electrónica podría disminuir en un 73.02% el tiempo promedio de procesamiento por servicio, pasando de 10.5 horas a solo 2.83 horas. Esta mejora significativa en la eficiencia operativa tendría un impacto directo en la agilidad y capacidad de respuesta de la estación reparadora.

Además, los análisis sugieren que la transición hacia la firma electrónica generaría ahorros sustanciales en los costos operativos, con un ahorro mensual total proyectado de 19,395,932.

El uso de la firma electrónica generaría un ahorro anual proyectado de 232,751,190.24 COP en costos de mano de obra, lo que permitiría redirigir esos recursos a otras áreas prioritarias y mejorar significativamente la rentabilidad y sostenibilidad de las operaciones de mantenimiento. Además, la implementación de la firma electrónica tendría importantes beneficios ecológicos, como un ahorro mensual de 240,000 hojas de papel (equivalente a 28.8 árboles salvados y 2,400,000 litros de agua ahorrados), así como una reducción de 540 kg en emisiones de CO₂ mensuales, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental de las operaciones.

5.2. Discusiones

La investigación ha demostrado el gran potencial que tiene la implementación de soluciones de firma electrónica en la estación reparadora. Los resultados indican que esta transición generaría

beneficios sustanciales en términos de eficiencia operativa, ahorro de costos, trazabilidad y sostenibilidad ambiental en la gestión de proyectos de mantenimiento aeronáutico.

El análisis financiero revela que la implementación es una buena inversión, con una inversión inicial de 62,100,000 COP y un tiempo de recuperación estimado de solo 3.2 meses. El retorno sobre la inversión proyectado es excepcionalmente favorable, con un 274.80% en el primer año y un 1774.01% a cinco años. Estos indicadores muestran que la transición a un sistema de documentación digital es una inversión estratégica con el potencial de transformar significativamente los procesos operativos.

Sin embargo, es fundamental reconocer que la implementación de la firma electrónica en la industria aeronáutica conlleva desafíos que deben abordarse de manera integral, como la integración con sistemas existentes, la capacitación del personal y el cumplimiento regulatorio, para garantizar una transición exitosa.. En este sentido, se recomienda:

- Reducir la oposición al cambio.
- Considerar una implementación por etapas para minimizar interrupciones y permitir ajustes basados en la retroalimentación inicial.
- Desarrollar una estrategia proactiva de gestión de riesgos, especialmente en relación con la resistencia al cambio y la integración técnica.
- Mantener un enfoque de mejora continua y adaptación a los cambios tecnológicos y normativos.
- Realizar un seguimiento cercano de los indicadores clave durante y después de la implementación para validar los resultados esperados y realizar ajustes según sea necesario.

En resumen, la implementación de la firma electrónica representa una oportunidad importante para mejorar la eficiencia operativa, reducir costos y alinear las operaciones con

prácticas sostenibles. La combinación de beneficios económicos, operativos y ambientales convierte a este proyecto en una inversión estratégica que no solo mejorará las operaciones actuales, sino que también posicionará a la organización para futuras innovaciones tecnológicas en la industria aeronáutica. Según el análisis presentado, se recomienda proceder con la implementación, prestando especial atención a los puntos mencionados anteriormente para asegurar una transición exitosa y maximizar los beneficios previstos.

5.3. Futuras líneas de investigación

Este estudio identifica varias oportunidades para futuras investigaciones en el campo de la firma electrónica y la automatización de procesos en la industria aeronáutica. Algunas de estas líneas de investigación incluyen:

- Explorar el impacto de la firma electrónica en la cadena de suministro y la integración con proveedores y clientes del sector de mantenimiento de aeronaves.
- Analizar los efectos de la firma electrónica en la gestión de la calidad y el cumplimiento normativo en el mantenimiento de aviones.
- Investigar el potencial de la firma electrónica para facilitar la toma de decisiones basada en datos y la implementación de análisis predictivos en las operaciones de mantenimiento.
- Evaluar la viabilidad de implementar soluciones de firma electrónica en otras áreas de la industria aeronáutica, como la gestión de vuelos, la seguridad aeroportuaria y la logística de carga.

Estas futuras líneas de investigación permitirán profundizar en los beneficios y desafíos de la firma electrónica, contribuyendo a la mejora continua de la eficiencia, la seguridad y la competitividad de la industria aeronáutica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Administración Federal de Aviación (FAA). (2016). *Firmas electrónicas, registros electrónicos y manuales electrónicos (AC 120-78A)*. From https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_120-78A.pdf
- Aeronáutica Civil. (2020). *MENSAJES DE DATOS, FIRMAS ELECTRÓNICAS Y FIRMAS DIGITALES EN DOCUMENTOS TÉCNICOS Y ADMINISTRATIVOS DE LA DIRECCIÓN DE ESTÁNDARES DE VUELO*. From Aerocivil.gov.Co. : <https://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/biblioteca-tecnica/Circulares%20Informativas/CI%205100-082-022%20V2.pdf>
- Agencia de la Unión Europea para la Seguridad Aérea (EASA). (2023). *Directrices sobre el uso de documentos, registros y firmas electrónicas*. From <https://www.easa.europa.eu/en/downloads/137906/en>
- Backes, M., Miwa, F., Okajima, C., Souza, A. J., & Tkacz, D. (2017). *From Paper to Digital Maintenance With Electronic Signature*. From Erau.edu: <https://commons.erau.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1015&context=brazil-graduate-works>
- Barbagallo, J. (2016). *Advisory Circular 120-78A*. From Faa.gov: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_120-78A.pdf
- FAA - Federal Aviation Administration. (2016). *Advisory Circular 120-78A*. From https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_120-78A.pdf
- Faheem, A., Moseley, K., & Lukus, A. (2020). *Effectiveness of agile project management approach in Aero-engine mro market of Saudi Arabia*. From Cloudfront.net: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/62335168/7MG001-IBAP-Dissertation-Abdul_Faheem_20200311-49947-1n2gj87-libre.pdf?1584014602=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEFFECTIVENESS_OF_AGILE_PROJECT_MANAGEMENTEMEN.pdf&Expires=1693176741&Signature=P

- IATA. (2017). *Guidance Material for the implementation of Paperless Aircraft Operations in Technical Operations*. From Iata.org:
<https://www.iata.org/contentassets/fafa409c883d41198aeb87628c848851/paperless20aircraft20operations20in20technical20operations20-20guidance20material20for20implementation.pdf>
- Jones, S. (n.d). *The evolution of aviation maintenance*. From North Central Institute:
<https://nci.edu/2020/12/09/the-evolution-of-aviation-maintenance/>
- MacDougall, A. (2023). *The impact of verified eSignatures on the automotive industry*. From Proof.com: <https://www.proof.com/blog/the-impact-of-verified-esignatures-on-the-automotive-industry>
- Mahmud, S. (2023). *Repair Station Manual*. From Gestor Documental Docbox: Uso interno
- Mahmud, S. (2024). *Quality Control Manual*. From Gestor Documental Docbox: Uso interno.
- Mejia, T. (2020). *Investigación descriptiva: características, técnicas, ejemplos*. From Lifeder:
<https://www.lifeder.com/investigacion-descriptiva/>
- Monteiro, E., Relvas, S., & Barbosa-Póvoa, A. (2019). *The Life Cycle Cost of an Aircraft: Modeling and Application*. *Journal of Air Transport Management*. From
<https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2019.101707>
- Ortega, C. (2017). *Investigación cuantitativa. Qué es y cómo realizarla*. From QuestionPro:
<https://www.questionpro.com/blog/es/que-es-la-investigacion-cuantitativa/>
- Ribeiro, J., Schmid, A., & Foit, D. (2019). *The maintenance, repair and overhaul (MRO) sector in Brazil: The challenges to grow*. *Journal of Air Transport Management*. From
<https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2018.12.003>
- Secretary of Defense (Comptroller). (2009). *ELECTRONIC SUBMISSIONS AND PROCESSING*. From Comptroller.defense.gov/. :
https://comptroller.defense.gov/Portals/45/documents/fmr/archive/10arch/10_17_Sep09.pdf

Strohmeier, S., Piazza, F., Geibel, R., & Robinson, M. (2015). Technologies for Safety-Critical Systems: Challenges and Solutions. Proceedings of the Twenty-Third Safety-critical Systems Symposium, Brighton, UK, 5-7 February 2015. Brighton, UK,: SCSC.

Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (UAEAC). (2023). *Manual del inspector de operaciones: Parte II. Capítulo 22. Procedimiento de aprobación del sistema de registros de explotadores RAC 121 y 135 (Versión 01) [Manual]*. From <https://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/vigilancia/MANUAL%20DEL%20INSPECTOR%20DE%20OPERACIONES%20MIO/PARTE%20II%20CAPITULO%2022%20PROCEDIMIENTO%20DE%20APROBACION%20SIST%20REGIS%20EXPLORADOR.pdf>

Verma, R. (2024). *How the high-tech industry is using electronic signatures*. From WeSignature: <https://wesignature.com/blog/how-the-high-tech-industry-is-using-electronic-signatures/>

Anexo A. Estado Del Arte

Tabla 2

TABLA DE REVISIÓN ACADÉMICA ESPECIALIZADA

TABLA DE REVISIÓN ACADÉMICA ESPECIALIZADA								
CONS ECUTI VO	TIPO DE PUBLICACIÓN (LIBRO, ARTICULO, PONENCIA, MATERIAL DIGITAL, GRABACIÓN)	AUTORES DE LA PUBLICACIÓN	AÑO DE PUBLICACIÓN	TÍTULO DE LA PUBLICACIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA PUBLICACIÓN	SITIO DE BÚSQUEDA	OBSERVACIONES	PALABRAS CLAVE
1	ARTICULO	Marion J.W., Richardson T.M., Anantatmula V.	2022	Managing Quality in Aviation Projects	El artículo busca comprender cómo se gestiona y asegura la calidad en proyectos de aviación, cuestionando si el marco actual de gestión de calidad es adecuado para la industria de la aviación. Los resultados sugieren que la gestión de proyectos de aviación podría beneficiarse al adoptar un enfoque diferente para gestionar la calidad, en lugar de adoptar superficialmente herramientas diseñadas para la producción en masa.	Marion, J. W., Richardson, T. M., & Anantatmula, V. (2022). Managing Quality in Aviation Projects. EMJ - Engineering Management Journal, 34(1), 144–156. https://doi.org/10.1080/10429247.2020.1858642	<p>*La investigación sugiere que la gestión de calidad en proyectos de aviación se enfoca principalmente en cumplir con los requisitos del cliente, de la industria y regulatorios.</p> <p>*La gestión de calidad es crítica en la industria de la aviación, pero no está claramente definida en el contexto de la gestión de proyectos por lo que se hace estrictamente necesario la inclusión de la misma.</p> <p>*Las herramientas de gestión de calidad más usadas son hojas de verificación, diagramas de flujo, diagramas causa-efecto y diagramas de espina de pescado.</p> <p>*El proceso que se busca controlar es el ciclo de vida del proyecto, no tanto procesos estadísticos como en manufactura.</p> <p>*Los gerentes de proyectos de aviación ven la gestión de calidad en proyectos de manera similar a operaciones, pero existen diferencias en cómo aplican las herramientas en la práctica.</p>	Aviation Projects; Aviation Quality Management; Program and Project Management; Project Management Quality Management; Project Quality Management; System Requirements

2	ARTICULO	Gaete J., Villarroel R., Figueroa I., Cornide-Reyes H., Muñoz R.	2021	Agile application approach with Scrum, Lean and Kanban [Enfoque de aplicación ágil con Scrum, Lean y Kanban]	El artículo presenta una revisión de tres enfoques ágiles: Scrum, Lean Software Development y Kanban, para proponer un nuevo enfoque en el desarrollo ágil. Se describen y comparan los enfoques, luego se integran para formar una nueva propuesta con métricas y un caso de estudio. Los resultados del estudio fueron positivos, lo que indica un inicio prometedor para seguir trabajando en este enfoque integrado.	Gaete, J., Villarroel, R., Figueroa, I., Cornide-Reyes, H., & Muñoz, R. (2021). Agile application approach with Scrum, Lean and Kanban [Enfoque de aplicación ágil con Scrum, Lean y Kanban]. <i>Ingeniare</i> , 29(1), 141–157. https://doi.org/10.4067/S0718-33052021000100141	<p>Los métodos ágiles como Scrum, Lean y Kanban son populares debido a su eficiencia en entornos cambiantes, destacando la adaptabilidad, la colaboración de equipos y la entrega continua de valor al cliente.</p> <p>Se realiza una comparativa entre Scrum, Lean y Kanban, resaltando sus ventajas y desventajas. Scrum es específico pero puede ser rígido, Lean ofrece flexibilidad pero puede afectar la calidad, y Kanban se enfoca en la visualización del flujo de trabajo pero puede generar cuellos de botella.</p> <p>Propuesta de integración: conocida como "Scrum mejorado", una combinación de Scrum, Lean y Kanban con estrategia de manejo dinámico de recursos para resolver cuellos de botella en Kanban y métricas para medir la efectividad.</p> <p>Nuevo enfoque ágil creado a través de estudio con alumnos de Ingeniería Civil Informática. Implementado en sus proyectos con JIRA y encuestas de Google Form. Beneficios en planificación, organización y resolución, pero dificultades por falta de experiencia.</p>	Agile approach; Agile project management; Kanban; Lean software development; Scrum
---	----------	--	------	--	--	--	---	--

3	ARTICULO	Junqueira V.S.V., Nagano M.S., Miyata H.H.	2020	Procedure structuring for programming aircraft maintenance activities	<p>El artículo tiene como propósito ejemplificar el uso de herramientas de gestión de proyectos en la programación de actividades de mantenimiento de aeronaves. Este proceso se conoce como mantenimiento, reparación y revisión (MRO) y ha ganado importancia en el sector aeronáutico debido a su esperado crecimiento en los próximos años. Sin embargo, también enfrenta una creciente competitividad en su mercado. Este hecho genera la necesidad de actuar en la gestión del mantenimiento y buscar menores costos mientras se mantiene la calidad del servicio prestado.</p> <p>El objetivo del artículo es proponer la estructuración de un procedimiento que ayude a reducir el tiempo total de mantenimiento (tiempo fuera de servicio) y garantizar la entrega de la aeronave a tiempo. A través de un estudio de caso en un centro de mantenimiento de aeronaves brasileño, se utilizaron el método de la ruta crítica (CPM) y la gestión de proyectos por cadena crítica (CCPM), este último derivado de la teoría de restricciones, con el propósito de analizar sistemáticamente los recursos y sincronizar las actividades en la red de precedencias.</p> <p>Como resultado, se muestra que el tiempo fuera de servicio puede reducirse de 11 a 5 días y se proponen mejoras para lograr una mayor competitividad en el mercado. El artículo demuestra la ventaja competitiva que resultó de la aplicación de herramientas de gestión de proyectos en la planificación y ejecución del mantenimiento de aeronaves.</p>	<p>Junqueira, V. S. V., Nagano, M. S., & Miyata, H. H. (2020). Procedure structuring for programming aircraft maintenance activities. <i>Revista de Gestao</i>, 27(1), 2–20. https://doi.org/10.1108/REG-02-2018-0026</p>	<p>*El artículo propone la aplicación de herramientas de gestión de proyectos como Critical Path Method (CPM) y Critical Chain Project Management (CCPM) para programar y optimizar las actividades de mantenimiento de aeronaves.</p> <p>*Indica que la reducción del tiempo total de mantenimiento es un factor clave para la competitividad de los centros de mantenimiento aeronáutico.</p> <p>*Explica cómo la aplicación sistemática de CPM y CCPM permite reducir la duración del mantenimiento al sincronizar actividades, reducir holguras y proteger la ruta crítica.</p> <p>*Presenta un estudio de caso donde la aplicación de CPM y CCPM redujo el tiempo de mantenimiento de 11 a 5 días laborables.</p> <p>*Señala beneficios como aumento de disponibilidad de aeronaves, satisfacción del cliente, mejora en la programación y mayor involucramiento del personal.</p>	<p>Aircraft maintenance; Critical chain project management; Critical path method; MRO; Project management; TOC</p>
---	----------	--	------	---	--	--	---	--

4	ARTICULO	Alomar I., Jackiva I.Y.	2023	DIGITALIZATION IN AIRCRAFT MAINTENANCE PROCESSES	El artículo presenta una visión general de las tecnologías digitales aplicables a la mejora de procesos en el mantenimiento de aeronaves, resaltando beneficios potenciales como la optimización a través de la automatización, mejor trazabilidad con registros electrónicos y firma digital, que resultan muy relevantes para un proyecto enfocado en estas soluciones para la gestión de proyectos de mantenimiento.	Alomar, I., & Yatskiv (Jackiva), I. (2023). Digitalization in aircraft maintenance processes. <i>Aviation</i> , 27(2), 86–94. https://doi.org/10.3846/aviation.2023.18923	<p>*El artículo analiza el potencial de digitalización en los procesos de mantenimiento de aeronaves, incluyendo el uso de tecnologías como big data, analytics, inteligencia artificial, robótica, realidad aumentada, blockchain e impresión 3D.</p> <p>*Señala los beneficios de la digitalización en términos de optimización de procesos, reducción de errores humanos, mejora en trazabilidad y documentación.</p> <p>*Indica que el uso de tecnologías digitales como firma electrónica, registro electrónico de trabajo, y sistemas de seguimiento basados en códigos QR pueden mejorar los procesos de mantenimiento de aeronaves.</p> <p>*Menciona los retos que existen para implementar soluciones digitales en la industria aeronáutica como la criticidad de las operaciones, regulaciones estrictas, y resistencia al cambio.</p>	Accident prevention; Aircraft engines; Civil aviation; Engines; Personnel training; Repair; Training aircraft; Aircraft maintenance; Digitalization; Framework; Level of safeties; Maintenance cost; Maintenance performance; Maintenance process; Maintenance tasks; Regulatory authorities; Safety and securities; Operating costs
5	ARTICULO	Rincon-Guio C., Hernández-Ramírez J., Olguin C.M., Pibaque-Ponce M.S., Baque-Cantos M.A., Santistevan-Villacreses K.L., Cañarte-Quimis L.T., Hernández-Lugo P., Medina L.	2023	A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW ON ADVANCES, TRENDS AND CHALLENGES IN PROJECT MANAGEMENT AND INDUSTRY 4.0	El texto explora cómo la digitalización y la Industria 4.0 están cambiando la forma en que se gestionan los proyectos y cómo las empresas pueden adaptarse a estos cambios para tener éxito en el futuro. Se discuten los desafíos que enfrentan las empresas al implementar la digitalización y la Industria 4.0, como la necesidad de nuevas habilidades y competencias, la integración de tecnologías y la gestión del cambio, y se presentan recomendaciones para mejorar la gestión de proyectos en este contexto. Además, se mencionan algunos de los temas principales que se discuten en la literatura revisada, como los efectos de la adopción de tecnologías digitales en la sostenibilidad de los proyectos en el futuro.	Rincon-Guio, C., Hernández-Ramírez, J., Olguin, C. M., Pibaque-Ponce, M. S., Baque-Cantos, M. A., Santistevan-Villacreses, K. L., Cañarte-Quimis, L. T., Hernández-Lugo, P., & Medina, L. (2023). A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW ON ADVANCES, TRENDS AND CHALLENGES IN PROJECT MANAGEMENT AND INDUSTRY 4.0. <i>Logforum</i> , 19(2), 225–244. https://doi.org/10.17270/J.LOG.2023.884	<p>*El texto explora cómo la digitalización y la Industria 4.0 están cambiando la forma en que se gestionan los proyectos y cómo las empresas pueden adaptarse a estos cambios para tener éxito en el futuro.</p> <p>*Se discuten los desafíos que enfrentan las empresas al implementar la Industria 4.0, como la necesidad de nuevas habilidades y competencias, la integración de tecnologías y la gestión del cambio, y se presentan recomendaciones para mejorar la gestión de proyectos en el contexto de la digitalización y la Industria 4.0.</p> <p>*Presenta recomendaciones para mejorar la gestión de proyectos en el contexto de la Industria 4.0, como la necesidad de una planificación estratégica sólida, la colaboración y el trabajo en equipo, y la implementación de tecnologías adecuadas.</p> <p>*Explorar las tendencias en la gestión de proyectos en el contexto de la Industria 4.0, como la adopción de metodologías ágiles y la gestión de proyectos basada en datos.</p>	Digital Technology; Industry 4.0; Project Management; Systematic Literature Review

6	Conference Paper	Dzhangarov A.I., Suleymanova M.A.	2020	Electronic digital signature	<p>El artículo presenta la firma digital electrónica, que es un software criptográfico que permite identificar al autor de un documento electrónico y verificar la integridad de la información. Explica que la firma digital se genera al aplicar algoritmos criptográficos de cifrado a los detalles del documento original. Los tipos de algoritmos que se pueden usar son simétricos (una sola clave secreta), asimétricos (pareja de claves pública-privada) y combinados.</p> <p>Posteriormente, describe una implementación de software desarrollada por los autores para firmar documentos electrónicos usando el algoritmo RSA y el método El-Gamal. Se generan las claves pública y privada, se cifra un resumen del documento con la clave privada para crear la firma digital y se verifica descifrándola con la clave pública. La firma digital ya se utiliza en sistemas bancarios, contratación pública, registros de propiedad, procesos legales, entre otros. Esto demuestra su importancia y que se espera un mayor crecimiento en su adopción. En resumen, el artículo proporciona detalles valiosos sobre la implementación de firmas digitales a nivel de software, siendo muy relevante para un proyecto de investigación en esta temática.</p>	<p>Dzhangarov, A. I., & Suleymanova, M. A. (2020). Electronic digital signature. In V. A. A. Kovalev I.V. (Ed.), IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 862, Issue 5). Institute of Physics Publishing. https://doi.org/10.1088/1757-899X/862/5/052054</p>	<p>*El artículo presenta la firma digital electrónica, que permite identificar al autor de un documento electrónico.</p> <p>*Explica que la firma digital se genera aplicando algoritmos criptográficos que permiten verificar la integridad del documento.</p> <p>*Describe algoritmos simétricos, asimétricos y combinados para la generación de firmas digitales.</p> <p>*Presenta una implementación de software de firma digital basada en el algoritmo RSA y el método El-Gamal.</p> <p>*Indica que la firma digital ya se usa en sistemas bancarios, contratación pública, registros y procesos legales.</p>	<p>Materials Science, Engineering, Technologies, Reliability, Data Protection, Automation Systems</p>
---	------------------	-----------------------------------	------	------------------------------	---	---	---	---

7	Conference Paper	Ahmetovic E., Lenz T., Kollmann C.	2020	Signatures to go: A framework for qualified pdf signing on mobile devices	<p>El texto presenta un enfoque para la firma electrónica cualificada de archivos PDF en dispositivos móviles, resaltando la importancia de la integridad y autenticidad de los documentos en los flujos de trabajo empresariales. Se abordan los desafíos de asegurar autenticación multifactorial en el proceso de firma sin requerir hardware adicional. Se desarrolla un marco de trabajo que preserva la privacidad del usuario y cumple con las expectativas funcionales de las aplicaciones de firma PDF. Además, se implementa y se demuestra la aplicabilidad práctica finalizando con una evaluación de rendimiento exhaustiva.</p>	<p>Ahmetovic, E., Lenz, T., & Kollmann, C. (2020). Signatures to go: A framework for qualified pdf signing on mobile devices. In S. P. B. S. de L. A. S. S. K. A. L. P. O. M. O. M. O. M. Callegari C. Ng S.X. (Ed.), ICETE 2020 - Proceedings of the 17th International Joint Conference on e-Business and Telecommunications (Vol. 3, pp. 330–339). SciTePress. https://doi.org/10.5220/0009821303300339</p>	<p>*El artículo propone un marco de trabajo para obtener firmas PDF calificadas en dispositivos móviles de una manera amigable para el usuario y preservando la privacidad.</p> <p>*Plantea los desafíos existentes para implementar firmas electrónicas calificadas en dispositivos móviles, como la autenticación segura en un solo dispositivo.</p> <p>*Describe una arquitectura con una aplicación móvil para procesar los PDF, un proveedor de servicios de confianza (TSP) y una aplicación TSP para la autenticación.</p> <p>*Explica el flujo de comunicación entre los componentes: la app procesa el PDF, solicita la firma al TSP, se autentica al usuario por medio de la app TSP y se finaliza la firma.</p> <p>*Implementa los componentes y los integra con el sistema de identidad electrónica nacional de Austria.</p> <p>*Evalúa el rendimiento de procesamiento de PDF en la app móvil y verifica su funcionalidad comparándola con aplicaciones de escritorio y web.</p>	<p>Authentication; Mobile devices; PDF signature app; Qualified electronic signatures; Qualified PDF signing</p>
8	Conference Paper	von Solms S.	2020	Signing your name away: An overview on the risks of electronic signatures	<p>El texto destaca la tendencia de empresas hacia un entorno sin papel y el uso creciente de documentos digitales, contratos y formularios electrónicos. Menciona los beneficios de las firmas electrónicas en términos de eficiencia y costos, pero advierte sobre las amenazas de ciberseguridad en torno a la firma digital de documentos. Se señala que muchas compañías aún están en fases tempranas de adopción de firmas electrónicas, lo que puede llevar a oportunidades de manipulación. El artículo explora tipos de firmas electrónicas, su explotación y recomienda medidas de seguridad para un uso más seguro de las firmas electrónicas.</p>	<p>von Solms, S. (2020). Signing your name away: An overview on the risks of electronic signatures. In O. C. Eze T. Speakman L. (Ed.), European Conference on Information Warfare and Security, ECCWS (Vols. 2020-June, pp. 390–397). Curran Associates Inc. https://doi.org/10.34190/EWS.20.009</p>	<p>*Las firmas electrónicas pueden traer muchas ventajas, como ahorrar costos y tiempo, pero también conllevan amenazas cibernéticas como la manipulación de documentos.</p> <p>*Existen 3 categorías de firmas electrónicas: simples, digitales y avanzadas. Las simples son las menos seguras mientras que las avanzadas son las más seguras y vinculantes legalmente.</p> <p>*Las firmas electrónicas simples son muy utilizadas pero no proveen protección contra manipulación de contenido y fraude. Se deben tomar precauciones al usarlas.</p> <p>*Las firmas digitales utilizan criptografía para vincular la identidad del firmante con la firma y asegurar la integridad del documento. Sin embargo, dependen de la protección de contraseñas.</p> <p>*Aunque existen buenas tecnologías de seguridad para firmas digitales, se necesita concientización y capacitación de los empleados para proteger contra fraudes de firma.</p>	<p>Advanced electronic signatures; Cybersecurity; Digital signatures; Electronic signatures; Security</p>

9	ARTICULO	Ignác P.	2019	Use of digital tools in logistic and production facility management for effective information flow	El artículo aborda el uso de formularios digitales en entornos de fabricación para reducir la impresión de papel y optimizar el flujo de información en procesos de producción y logística. Destaca la posibilidad de emplear soluciones simples y comunes para recopilar datos necesarios, aunque se menciona la necesidad de habilidades informáticas más sólidas por parte de los usuarios. Esto puede aplicarse tanto en logística como en producción. Se cuantifica el ahorro en papel y costos en una empresa mediana y se enfoca en herramientas de software disponibles para empresas en la industria manufacturera y otros sectores.	Ignác P. (2019). USE OF DIGITAL TOOLS IN LOGISTIC AND PRODUCTION FACILITY MANAGEMENT FOR EFFECTIVE INFORMATION FLOW. In Acta logistica (Vol. 6, Issue 4, pp. 141–146). 4S go, s.r.o. https://doi.org/10.22306/al.v6i4.141	<p>*El artículo trata sobre el uso de formularios digitales en entornos de manufactura para reducir el uso de papel impreso y agilizar el flujo de información en procesos de producción y logística.</p> <p>*Indica que la digitalización de datos representa un gran potencial para eliminar el papel de los procesos y mejorar el flujo de información.</p> <p>*Se enfoca en herramientas de software disponibles para recolectar datos necesarios para la gestión de producción o logística usando formularios electrónicos.</p> <p>*Presenta ejemplos de uso de formularios digitales para inspecciones en instalaciones de producción, trazabilidad de limpieza, reemplazo de sellos, etc.</p> <p>*Menciona beneficios como reducción de costos por uso de papel, mejor trazabilidad y disponibilidad de los datos recolectados digitalmente.</p>	data; Data collection; Digital forms; Information flow; Paperless
---	----------	----------	------	--	---	--	---	---

10	Conference Paper	Obukhova A., Merzlyakova E., Ershova I., Karakulina K.	2020	Introduction of digital technologies in the enterprise	<p>El artículo trata sobre la digitalización de empresas como un medio para aumentar la eficiencia y sostenibilidad de su funcionamiento. Explica que la digitalización involucra cambios en la gestión de procesos tecnológicos y de toma de decisiones.</p> <p>Presenta definiciones de digitalización como la introducción de tecnologías digitales en procesos productivos y de gestión, transformación digital como cambio cualitativo en estrategia y procesos por efecto de la digitalización, y organización digital como resultado de la transformación.</p> <p>Describe las bases teóricas de la transformación digital como las innovaciones de Schumpeter, la dinámica tecnológica, el enfoque evolutivo y la teoría institucional. A nivel práctico se basa en revolución industrial 3.0 y 4.0.</p> <p>Expone tendencias tecnológicas como internet de las cosas, inteligencia artificial, big data, robótica, computación en la nube, tecnologías sin papel, modelado matemático, manufactura aditiva, entre otras. Las clasifica en básicas, críticas y disruptivas según su impacto en la transformación digital.</p> <p>Explica modelos de transformación digital como el de procesos, industria, tecnología y matriz. El de procesos digitaliza elementos de la cadena de valor, el de industria considera vínculos intersectoriales, el tecnológico introduce un conjunto específico de tecnologías, y el matricial relaciona objetivos y medios.</p> <p>Analiza el nivel de preparación de empresas rusas para la transformación digital, encontrando un rezago frente a tendencias</p>	<p>Obukhova, A., Merzlyakova, E., Ershova, I., & Karakulina, K. (2020). Introduction of digital technologies in the enterprise. In D. de S. R. B. A. M. A. Ziyadin S. Shaikh A. (Ed.), E3S Web of Conferences (Vol. 159). EDP Sciences. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015904004</p>	<p>*El artículo trata sobre la introducción de tecnologías digitales en las empresas para aumentar la eficiencia y sostenibilidad de su funcionamiento.</p> <p>*Indica que la digitalización de una empresa es necesaria para lograr cambios en la calidad de la gestión de procesos tecnológicos y de toma de decisiones.</p> <p>*Presenta una clasificación de tecnologías digitales en: básicas (imprescindibles), críticas (habilitan la transformación digital) y disruptivas (permiten la transición de análogo a digital).</p> <p>*Describe modelos de transformación digital de procesos, industrias, tecnologías y matriz.</p> <p>*Evalúa el nivel de preparación de empresas rusas para la transformación digital, indicando un rezago frente a tendencias globales.</p>	<p>Artificial intelligence; Decision making; Engineering education; Information use; Metadata; Sustainable development; Breakthrough technology; Critical technologies; Decision making process; Digital technologies; Digital transformation; Paperless technology; Technological process; Wireless technologies; Environmental technology</p>
----	------------------	--	------	--	---	--	--	--

					globales en áreas como infraestructura de tecnologías digitales, desarrollo de capital humano y ciberseguridad.			
--	--	--	--	--	---	--	--	--

11	Conference Paper	Kurniawan B.	2019	Use of Smartapps for administrative service based paperless system	<p>El artículo presenta el uso de Smartapps, un sistema de información integrado, para reducir el uso de papel en procesos administrativos de correspondencia, registro de asistencia y generación de reportes. Inicialmente explica los flujos de procesos manuales en estos procedimientos administrativos, los cuales involucran múltiples pasos como envío físico de documentos, espera de respuestas, impresión de reportes, etc. Luego describe la arquitectura y funcionamiento de Smartapps para automatizar estas tareas, donde los usuarios acceden al sistema vía web para hacer correspondencia digital, verificar asistencia y obtener reportes sin usar papel.</p> <p>Se comparan los procedimientos manuales versus el uso de Smartapps, encontrando una reducción de 50% en los pasos requeridos al implementar el sistema informático. Por ejemplo, el proceso manual de correspondencia tomaría 6 pasos versus solo 3 pasos usando Smartapps. De igual manera, generar reportes de asistencia manualmente requiere 10 pasos comparado a 5 mediante Smartapps.</p> <p>El artículo concluye que el sistema Smartapps permite simplificar y agilizar los procesos administrativos relacionados a correspondencia, asistencia y reportes, reduciendo significativamente el uso de papel e incrementando la efectividad de estos servicios. Los beneficios mencionados incluyen ahorro de recursos, mayor velocidad, confiabilidad y productividad. En resumen, el artículo presenta una solución tecnológica para automatizar procedimientos manuales que puede ser de utilidad para un proyecto de transformación digital.</p>	<p>Kurniawan, B. (2019). Use of Smartapps for administrative service based paperless system. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 662(2). https://doi.org/10.1088/1757-899X/662/2/022059</p>	<p>*El artículo propone el uso de un sistema de información integrado (Smartapps) para reducir el uso de papel en procesos administrativos.</p> <p>*Indica que el sistema Smartapps facilita los servicios de correspondencia administrativa, registro de asistencia y generación de reportes sin necesidad de papel.</p> <p>*Explica el flujo de procesos administrativos manuales relacionados a correspondencia y asistencia, y cómo Smartapps los automatiza.</p> <p>*Compara la efectividad de procesos manuales vs Smartapps, encontrando una reducción del 50% en pasos usando el sistema.</p> <p>*Menciona beneficios como la reducción en el uso de papel, mayor velocidad, confiabilidad y efectividad en los servicios.</p>	<p>Digital storage; Information services; Information systems; Paper; Administrative services; Attendance reports; Integrated information system; Paper media; Paperless; Information use</p>
----	------------------	--------------	------	--	---	--	--	---

12	Conference Paper	Zakoldaev D.A., Gurjanov A.V., Shukalov A.V., Zharinov I.O.	2019	The life cycle of technical documentation in the smart factory of Industry 4.0	<p>El artículo analiza el ciclo de vida de la documentación técnica en la industria 4.0, caracterizada por la ausencia de papeles. Inicialmente explica cómo en la industria 3.0 la documentación técnica consiste en representaciones electrónicas de los documentos tradicionales de construcción, programación y tecnología. Estos documentos electrónicos se crean con sistemas de diseño asistido por computadora.</p> <p>Luego plantea que en la industria 4.0 la documentación técnica evoluciona hacia representaciones matemáticas del producto como réplica digital, sombra digital y gemelo digital. Las réplicas digitales son similares a los documentos electrónicos de la industria 3.0. Las sombras y gemelos digitales incorporan ecuaciones matemáticas para describir propiedades físicas y químicas. Estas nuevas representaciones requieren medios informáticos avanzados en las estaciones de trabajo para las actividades de diseño y pruebas. De esta manera, el artículo presenta la evolución de la documentación técnica en la industria 4.0, desde documentos electrónicos tradicionales hacia representaciones matemáticas más avanzadas del producto.</p>	Zakoldaev, D. A., Gurjanov, A. V., Shukalov, A. V., & Zharinov, I. O. (2019). The life cycle of technical documentation in the smart factory of Industry 4.0. In S. A.A. (Ed.), IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 665, Issue 1). Institute of Physics Publishing. https://doi.org/10.1088/1757-899X/665/1/012016	<p>*El artículo analiza el ciclo de vida de la documentación técnica en la industria 4.0 sin papeles.</p> <p>*Explica que en la industria la documentación técnica evoluciona de documentos electrónicos a representaciones matemáticas del producto.</p> <p>*Describe la documentación técnica tradicional de construcción, programación y tecnología en la industria 3.0.</p> <p>*Propone nuevas formas de documentación para la industria 4.0 como réplica digital, sombra digital y gemelo digital.</p> <p>*Indica que estas nuevas representaciones requieren medios informáticos avanzados para las actividades de diseño.</p>	Industry 4.0; Program documentation; Designing components; Different stages; Digital replicas; Electronic document; Paperless; Production companies; Project activities; Technical documentations; Life cycle
----	------------------	---	------	--	---	--	--	---