



PROPUESTA DE SISTEMA INTELIGENTE PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ACCESO A INFORMACIÓN TÉCNICA EN PROCESOS DE MANTENIMIENTO AERONÁUTICO

026

Trabajo fin de estudio presentado por:	Diana Polanco Parada Orlando Platero Alba
Tipo de trabajo:	TFM-Inteligencia Artificial
Director/a:	Deidy Gutiérrez Niño
Fecha:	26 marzo de 2026

- Propuesta de sistema inteligente para la optimización del acceso a información técnica en procesos de mantenimiento aeronáutico

Índice

1	Resumen	3
2	Abstract	3
3	Introducción	5
3.1	Objetivo General	5
3.2	Objetivos Específicos	6
3.3	Metodología	6
3.3.1	Identificación y Análisis del Problema	6
3.3.2	Planificación de la Solución	7
4	Identificación y descripción del problema al interior de la organización	8
4.1	Descripción de la empresa a intervenir	9
4.1.1	Misión	9
4.1.2	Visión	9
4.1.3	Mapa de procesos	9
4.1.4	Descripción del proceso a intervenir	10
4.1.5	Descripción del problema que presenta el proceso	10
5	Establecimiento de planes de acción para la solución del problema	12
5.1	Establecimiento de objetivos	12
5.2	Descripción de la solución	13
5.3	Secuencia de actividades para ejecución de la solución	14
5.4	Descripción de recursos necesarios para la ejecución de la solución	16
6	Definición del alcance de la solución, partes interesadas, cronograma y presupuestos.	19
6.1	Alcance final de la solución	19
6.2	Identificación de responsables de las actividades para ejecución	20
6.3	Cronograma de ejecución	23
6.4	Presupuesto	24
7	Referencias bibliográficas	28

- Propuesta de sistema inteligente para la optimización del acceso a información técnica en procesos de mantenimiento aeronáutico

1 Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo proponer un sistema inteligente para la optimización del acceso a información técnica en procesos de mantenimiento aeronáutico, buscando reducir los tiempos de consulta y contribuir a la disminución del tiempo medio de reparación (MTTR) y a la mejora de la disponibilidad operativa.

La metodología empleada corresponde a un enfoque de investigación-acción, desarrollado en ciclos que incluyen el diagnóstico del problema, la planificación de la intervención, la construcción de la solución y su evaluación mediante pruebas funcionales y un piloto controlado con indicadores de desempeño.

El problema identificado radica en la dificultad para acceder de manera oportuna y eficiente a la información contenida en manuales técnicos dispersos en muchos archivos digitales robustos, generando retrasos en los procesos de mantenimiento y afecta la eficiencia operativa.

La propuesta consiste en el diseño de un sistema basado en inteligencia artificial, que mediante técnicas de procesamiento de lenguaje natural y recuperación de información permite organizar la documentación técnica en una estructura consultable, habilitando consultas en lenguaje natural y proporcionando respuestas verificables con trazabilidad a la fuente y control de versión.

Los resultados esperados incluyen mejoras medibles en los tiempos de búsqueda de información, en la utilidad de las respuestas proporcionadas y en la confiabilidad del contenido consultado.

Se concluye que la incorporación de un sistema basado en inteligencia artificial en la gestión del conocimiento técnico representa una alternativa viable para optimizar los procesos de mantenimiento aeronáutico, fortaleciendo la eficiencia operativa y facilitando el acceso a la información adecuada en el momento requerido, por supuesto es importante indicar que dicho sistema no reemplaza en ningún momento el criterio del personal técnico.

Palabras clave: Arquitectura de datos, inteligencia artificial, procesamiento de lenguaje natural, transformación digital, visualización de datos

2 Abstract

This research aims to propose an intelligent system for optimizing access to technical information in aircraft maintenance processes, seeking to reduce consultation times and contribute to a decrease in mean time to repair (MTTR) and an improvement in operational availability.

- **Propuesta de sistema inteligente para la optimización del acceso a información técnica en procesos de mantenimiento aeronáutico**

The methodology employed corresponds to an action research approach, developed in cycles that include problem diagnosis, intervention planning, solution development, and its evaluation through functional tests and a controlled pilot with performance indicators.

The identified problem lies in the difficulty of accessing, in a timely and efficient manner, the information contained in technical manuals scattered across numerous robust digital files, generating delays in maintenance processes and affecting operational efficiency.

The proposal involves the design of an artificial intelligence-based system that, through natural language processing and information retrieval techniques, organizes technical documentation into a searchable structure, enabling natural language queries and providing verifiable responses with traceability to the source and version control.

The expected results include measurable improvements in information retrieval times, the usefulness of the responses provided, and the reliability of the content accessed.

It is concluded that the incorporation of an artificial intelligence-based system into technical knowledge management represents a viable alternative for optimizing aircraft maintenance processes, strengthening operational efficiency, and facilitating access to the appropriate information when needed. Of course, it is important to note that such a system does not at any time replace the judgment of technical personnel.

Keywords: Data architecture, artificial intelligence, natural language processing, digital transformation, data visualization.

- Propuesta de sistema inteligente para la optimización del acceso a información técnica en procesos de mantenimiento aeronáutico

3 Introducción

Este proyecto de aplicación en investigación-acción se centró en la identificación y resolución de "un problema de agilidad operativa en mantenimiento, reflejado en tiempos de reparación extendidos que afectan la disponibilidad de la flota de aviones y elevan los costos y el riesgo operativo de la compañía. "de una de las empresas de aviación más grandes de Latinoamérica", permitiendo integrar teoría y práctica en un entorno real. Mediante un enfoque de investigación-acción, se desarrollaron habilidades de diagnóstico, análisis y planificación orientadas a mejorar la eficiencia y efectividad de un proceso crítico en la organización. La estructura del proyecto incluyó una revisión exhaustiva del contexto organizacional y la implementación de una solución factible que responde a las necesidades de la organización y optimiza su desempeño.

En investigaciones recientes, varios autores han mostrado que la IA puede aportar valor en el área de mantenimiento aeronáutico cuando se usa para encontrar y explicar mejor la información técnica. Por ejemplo, Martín Kála (2022) quien Abordan un dolor típico de mantenimiento: los hallazgos se registran como texto no estructurado, difícil de explotar. Su propuesta usa NLP para convertir esas descripciones en información analizable (por ejemplo, componentes y fallas más frecuentes), lo que ayuda a planificación de mantenimiento y a anticipar reparaciones no programadas. Esto respalda la idea de que "ordenar el texto técnico" reduce tiempo perdido y mejora decisiones. Ahora bien, Xiangzhen Meng (2024) propone construir un grafo de conocimiento de fallas a partir de manuales y casos típicos, para que la información técnica quede conectada (falla-síntoma-causa-acción) y pueda consultarse via módulos de preguntas y respuestas. El foco es reducir la dependencia de la experiencia "en la cabeza del técnico" y mejorar la rapidez/robustez del troubleshooting con una base estructurada y auditable.

Finalmente, Michael J. Scott (2024) presenta un marco para aplicar NLP + ML sobre reportes técnicos (mantenimiento y reportes de piloto) con el fin de detectar defectos recurrentes, dar señales tempranas y apoyar decisiones (por ejemplo, repuestos y recursos), reduciendo tiempo fuera de servicio. Es útil como sustento de negocio: explotar texto técnico operativo permite pasar de lo reactivo a lo más proactivo.

3.1 Objetivo General

El objetivo principal del proyecto fue desarrollar una solución operativa al problema "de pérdida de agilidad en el mantenimiento de los aviones porque la información técnica clave no se encuentra rápido ni de forma unificada; esto alarga las reparaciones, reduce la disponibilidad de la flota y aumenta costos y riesgo operativo de una de las empresas de aviación más grandes de Latinoamérica", utilizando la observación participativa y el análisis cualitativo en procesos de mantenimiento de aviones. La intervención se orientó no sólo a corregir el problema identificado, sino también a proporcionar una propuesta sostenible que pudiera integrarse a la estructura de la organización, elevando los niveles de eficiencia y alcanzando los estándares de desempeño requeridos en el proceso intervenido.

- **Propuesta de sistema inteligente para la optimización del acceso a información técnica en procesos de mantenimiento aeronáutico**

3.2 Objetivos Específicos

Para cumplir con el objetivo general, se establecieron tres objetivos específicos:

1. Realizar una identificación detallada del problema en su contexto organizacional, determinando causas raíz y evaluando su impacto en el desempeño general del proceso.
2. Diseñar un plan de acción estructurado con objetivos claros, actividades específicas y recursos definidos para la ejecución de la solución.
3. Establecer el alcance de la intervención, definiendo responsables, cronograma y presupuesto, para asegurar que la implementación sea organizada y efectiva.

3.3 Metodología

El proyecto se desarrolló mediante la metodología de investigación-acción, la cual facilitó la colaboración continua entre el equipo de estudiantes y docente asesor. Esta metodología permitió un enfoque sistemático para identificar problemas, formular hipótesis y aplicar soluciones en un contexto real, ajustando las estrategias conforme se avanzaba en el proyecto. La investigación-acción proporcionó un marco flexible y participativo para ejecutar el proyecto de manera estructurada, generando una intervención bien fundamentada y con alto potencial de impacto.

El desarrollo del proyecto se estructuró en tres etapas secuenciales, cada una de las cuales abordó un aspecto específico de la intervención. En la primera etapa, se identificó y analizó el problema organizacional, incluyendo una descripción detallada de la organización, su misión, visión y el proceso específico afectado. La segunda etapa se centró en la planificación de la solución, estableciendo objetivos y actividades concretas para abordar el problema. En la tercera fase, se definieron aspectos operativos como el cronograma, el presupuesto y la asignación de roles.

3.3.1 Identificación y Análisis del Problema

En la primera etapa, se realizó un análisis exhaustivo de la organización y del contexto en el cual se desarrolla el proceso afectado. Se documentó el problema identificando sus causas raíz, efectos y puntos críticos que afectaban el desempeño del proceso. Este diagnóstico inicial fue esencial para estructurar la solución y asegurar que la intervención respondiera de manera precisa a las necesidades de la organización.

La identificación de esta problemática surgió de manera emergente durante reuniones estratégicas sostenidas con actores del sector, en las cuales se abordaban inicialmente otras necesidades; no obstante, durante estas sesiones se evidenció de forma recurrente comentarios relacionados con demoras en la disponibilidad de la flota de aviones luego de los procesos de mantenimiento ya que la información para que los técnicos puedan hacer su trabajo no está unificada y, la consulta de manuales técnicos y la complejidad en la gestión

- **Propuesta de sistema inteligente para la optimización del acceso a información técnica en procesos de mantenimiento aeronáutico**

de información especializada hace más demorada la puesta en funcionamiento de los aviones.

A partir de estos hallazgos, y mediante observación participativa y análisis cualitativo inductivo pudimos recopilar las inquietudes manifestadas y reconocer un patrón común asociado a ineficiencias en la recuperación de información técnica que agilice los procesos y reduzca tiempos para la disponibilidad de la flota. Este diagnóstico exploratorio permitió delimitar el problema como una oportunidad de intervención tecnológica aplicable de manera transversal a organizaciones del sector aeronáutico.

3.3.2 Planificación de la Solución

En la segunda etapa, se desarrolló un plan de acción detallado que incluyó la definición de objetivos específicos y una secuencia de actividades que permitiría mitigar o resolver el problema identificado. Esta fase incluyó el diseño de una estrategia de ejecución organizada y estructurada que facilitará el logro de los objetivos propuestos y maximizará la eficiencia del proceso intervenido. La planificación detallada de actividades y recursos fue clave para asegurar una implementación precisa y efectiva.

3.3.2.1 Definición de Alcance y Recursos

La tercera etapa se enfocó en delimitar el alcance de la intervención y los recursos necesarios. Se establecieron responsables para cada actividad, y se elaboró un cronograma de ejecución para controlar el avance de la implementación. Asimismo, se desarrolló un presupuesto que detalló los costos asociados a cada fase, permitiendo optimizar la asignación de recursos. Esta fase aseguró que todas las variables críticas estuvieran alineadas para una ejecución sin interrupciones.

- Propuesta de sistema inteligente para la optimización del acceso a información técnica en procesos de mantenimiento aeronáutico

4 Identificación y descripción del problema al interior de la organización

Contexto:

Una de las empresas de aviación más grandes de Latinoamérica es una aerolínea con una operación donde la disponibilidad de la flota depende directamente de que el mantenimiento se ejecute rápido y sin errores. La problemática se observa con el Grupo de Planning, que es el área que interviene cuando el avión cumple horas y ciclos de vuelo y entra a servicio programado, específicamente es el equipo de técnicos de mantenimiento que ejecutan tareas y reparaciones bajo procedimientos estandarizados. En el día a día, el técnico debe consultar manuales técnicos estructurados a través de la norma o codificación de capítulos de mantenimiento para validar procedimientos, herramientas, materiales y pasos antes y durante la intervención.

Problemática:

El momento justo donde se evidencia el problema es cuando el técnico recibe una tarea, identifica una falla o se encuentra ejecutando un procedimiento y necesita confirmar pasos y ejecuciones exactos. Es en este punto en que se cuenta con la dificultad para recuperar la información correcta en el momento oportuno.

Los técnicos tardan de 5 a 10 minutos por consulta dentro de manuales extensos, 500 manuales aproximadamente y con múltiples formatos (HTM/XML) y esto genera un cuello de botella repetitivo en una actividad "simple" y pequeña pero muy frecuente que termina afectando el tiempo total de la intervención. Es de anotar que la aerolínea cuenta con alrededor de 120 técnicos que dependen de esta información, lo que significa un mayor volumen de consultas diarias.

Causas raíz:

Aunque ya anotamos algunas en la descripción de la problemática podemos listar otras bastante importantes como:

- La búsqueda poco eficiente y de manera manual sin un mecanismo inteligente que sirva de guía al técnico al punto exacto.
- La estructura normativa del manejo de manuales es compleja por su jerarquía que, aunque es robusta no es necesariamente rápida para encontrar los detalles puntuales bajo presión.
- El crecimiento volumétrico en la flota de aviones, manuales y revisiones.

Efectos del problema:

■ Propuesta de sistema inteligente para la optimización del acceso a información técnica en procesos de mantenimiento aeronáutico

Se alargan los tiempos de reparación y por ende baja la disponibilidad de la flota aumentando los costos operativos y a su vez suben los riesgos operativos porque bajo presión se puede interpretar mal un procedimiento o utilizar versiones no vigentes.

Impacto en desempeño y objetivos organizacionales:

El proceso pierde su eficiencia y afecta objetivos de negocio como puntualidad, seguridad y cumplimiento y la continuidad operativa.

En términos organizacionales cada minuto adicional de mantenimiento compite con la meta de tener la disponibilidad completa de la flota y operando en los estándares correctos.

4.1 Descripción de la empresa a intervenir

4.1.1 Misión

Conectar de manera eficiente y directa a Latinoamérica con el resto del mundo, ofreciendo un servicio puntual, confiable, seguro, ágil y de alta calidad para ganar la lealtad de los clientes.

4.1.2 Visión

Ser la aerolínea latinoamericana preferida en el mundo, reconocida por su excelencia operativa, tecnología avanzada y por contar con el mejor talento humano, brindando una experiencia de viaje excepcional, convirtiéndose en el mejor lugar para trabajar y la mejor opción para los clientes.

4.1.3 Mapa de procesos

En la ilustración 1. se muestra cómo se ejecuta hoy una tarea de mantenimiento en "una de las aerolíneas más grandes de Latinoamérica" y en qué punto se genera el mayor desgaste operativo: la búsqueda y la validación de información técnica en manuales. El objetivo es evidenciar el flujo "de punta a punta", desde la asignación de la orden hasta el cierre y liberación de la aeronave, resaltando el cuello de botella que impacta el MTTR (Mean Time To Repair o Tiempo Medio de Reparación) y la disponibilidad de la flota. Sobre esa base se justifica la intervención propuesta, orientada a agilizar el acceso al conocimiento y asegurar trazabilidad y versión vigente de los procedimientos.

- Propuesta de sistema inteligente para la optimización del acceso a información técnica en procesos de mantenimiento aeronáutico

Ilustración 1. Mapa de procesos



Fuente: Creación propia

4.1.4 Descripción del proceso a intervenir

El proceso a intervenir corresponde a la etapa del mantenimiento aeronáutico en la que el técnico consulta, valida y aplica la información de los manuales para ejecutar luego una tarea o reparación, es decir desde que recibe la orden de trabajo, ubica el capítulo exacto, confirma procedimientos, herramientas adecuadas y pasos antes de intervenir y cerrar la actividad. Esta consulta se apoya en la estructura estándar de cada manual, que además organiza los sistemas y procedimientos de mantenimiento para uso consistente en la industria de la aviación. En la práctica, cuando el acceso a esa información no es ágil (por dispersión, formato o versiones), se genera un cuello de botella que eleva el tiempo de reparación (MTTR) y afecta la disponibilidad operativa; por eso el foco de la intervención está en hacer esa consulta rápida, confiable y medible, manteniendo las buenas prácticas que dictan los manuales y control de calidad en entornos de mantenimiento preventivo y correctivo de aviones.

4.1.5 Descripción del problema que presenta el proceso

El proceso de mantenimiento en el sector aeronáutico requiere que los técnicos consulten de manera constante manuales técnicos, boletines de servicio y documentación especializada para ejecutar procedimientos de diagnóstico y reparación conforme a los estándares y regulaciones del sector.

Actualmente, esta consulta se realiza de forma manual, mediante la revisión de documentos extensos y distribuidos en múltiples fuentes digitales o físicas. La búsqueda de información

■ **Propuesta de sistema inteligente para la optimización del acceso a información técnica en procesos de mantenimiento aeronáutico**

específica implica la revisión de cientos o miles de páginas técnicas, lo que demanda tiempo considerable y depende en gran medida de la experiencia individual del técnico a cargo.

Esta dinámica genera demoras en la identificación de procedimientos adecuados, especialmente en escenarios críticos como situaciones donde un avión de repente presenta alguna falla en tierra generando demoras en vuelos ya programados, donde la rapidez en el diagnóstico es determinante para restablecer la operación de la aeronave.

Como consecuencia, el proceso presenta ineficiencias asociadas a tiempos prolongados de diagnóstico, posibles retrasos en la ejecución de mantenimientos correctivos y un incremento indirecto en los costos operativos derivados del tiempo en tierra y la posible reprogramación de vuelos.

Tabla 1. Matriz DOFA

Fortalezas	Oportunidades
· Documentación técnica estandarizada y regulada. · Alto nivel de especialización de los técnicos de mantenimiento. · Existencia de manuales detallados que garantizan cumplimiento de los estándares y regulaciones del sector	· Avances en inteligencia artificial aplicada al procesamiento de lenguaje natural. · Tendencia global hacia la digitalización del sector aeronáutico. · Integración de tecnologías asociadas a la Industria 4.0 en procesos operativos.
Debilidades	Amenazas
· Consulta manual de información extensa y dispersa. · Dependencia de la experiencia individual para localizar procedimientos. · Tiempos más prolongados de búsqueda en situaciones críticas que requieren solución ágil.	· Alta presión competitiva por eficiencia operativa. · Incremento de costos operativos por demoras en mantenimiento. · Riesgo reputacional asociado a retrasos en la operación.

Fuente: Creación Propia

- Propuesta de sistema inteligente para la optimización del acceso a información técnica en procesos de mantenimiento aeronáutico

5 Establecimiento de planes de acción para la solución del problema

5.1 Establecimiento de objetivos

En este capítulo se establecen los objetivos que guían el plan de acción para intervenir el proceso de mantenimiento aeronáutico en el punto donde hoy se genera el mayor impacto operativo: la consulta, validación y uso de información técnica en manuales. La intención es orientar la solución hacia resultados medibles que reduzcan tiempos de reparación, mejoren la disponibilidad de la flota y disminuyan el riesgo operativo, apoyándonos en una propuesta de asistente inteligente que entregue respuestas rápidas, trazables y basadas en la versión vigente de los procedimientos.

Objetivo General:

Diseñar una solución de asistencia inteligente basada en Inteligencia Artificial aplicada que agilice la consulta y validación de manuales técnicos durante el mantenimiento, reduciendo el tiempo de búsqueda de información y contribuyendo a disminuir el MTTR, mejorar la disponibilidad de la flota y controlar costos y riesgo operativo.

Objetivos Específicos:

- Diagnosticar y documentar el punto crítico del proceso de mantenimiento donde se concentra la mayor pérdida de tiempo (búsqueda y verificación de procedimientos), sustentándolo con evidencia operativa del contexto (por ejemplo, tiempos promedio de consulta de 5–10 minutos y uso intensivo por parte del equipo técnico).
- Estructurar y organizar el conocimiento técnico de los manuales bajo una jerarquía (Manual, tarea, sección, paso), garantizando trazabilidad y control de versiones para reducir el riesgo de usar información desactualizada.
- Construir y validar un mecanismo de recuperación de información que combine relaciones del conocimiento y recuperación semántica, de forma que entregue respuestas precisas y contextualizadas para tareas reales de mantenimiento.
- Definir e implementar un flujo de actualización continua (pipeline) que permita incorporar revisiones de manuales de manera controlada, manteniendo la base de conocimiento sincronizada y disponible para los técnicos.
- Evaluar el impacto de la intervención mediante indicadores claros (tiempo promedio de búsqueda, tiempo total por consulta, exactitud percibida/validada, y efectos operativos asociados al MTTR), comparando el desempeño antes y después de la implementación.

■ Propuesta de sistema inteligente para la optimización del acceso a información técnica en procesos de mantenimiento aeronáutico

- Establecer lineamientos de adopción (capacitación básica, buenas prácticas de uso y retroalimentación del usuario) que permitan que la mejora sea sostenible y se integre de forma natural al trabajo diario del equipo de mantenimiento.

5.2 Descripción de la solución

La solución propuesta consiste en implementar un asistente inteligente para los técnicos de mantenimiento que permita consultar, en segundos y en lenguaje natural, la información contenida en los manuales técnicos.

En los procesos de mantenimiento aeronáutico, los técnicos deben consultar múltiples manuales técnicos, procedimientos y documentos operativos para diagnosticar fallas y ejecutar las acciones correctivas correspondientes. Aunque esta información se encuentra disponible en formatos digitales como HTM o XML, su localización y análisis puede resultar un proceso lento, especialmente en situaciones operativas críticas donde el tiempo de respuesta es determinante.

El sistema funcionará a partir de una base de conocimiento construida mediante el procesamiento y estructuración de los manuales técnicos existentes en formatos HTM y XML, los mismos se transforman mediante un "pipeline" a una base de conocimiento organizada, donde se modela la jerarquía real del contenido (manual, tarea, sección, paso) y se preserva la trazabilidad a la fuente y el control de versiones. Sobre esa base se aplica un enfoque con generación aumentada por recuperación basada en grafos o GRAG, por sus siglas en inglés, que combina un grafo de relaciones (para navegar la estructura y ubicar el contexto correcto) con recuperación semántica (para encontrar el fragmento más relevante) y generación de respuesta (para entregar instrucciones claras, con herramientas, materiales y referencias).

Así, la intervención ataca directamente las causas raíz del problema: reduce la búsqueda manual, evita el uso de procedimientos desactualizados y unifica el conocimiento disperso, impactando de forma medible el tiempo de consulta, el MTTR y la disponibilidad operativa, sin cambiar el estándar técnico, sino facilitando su uso en el momento en que más se necesita.

Es importante destacar que la solución propuesta no pretende reemplazar el criterio técnico del personal de mantenimiento, sino actuar como una herramienta de apoyo que optimice la recuperación de información técnica y contribuya a mejorar la eficiencia operativa en los procesos de mantenimiento aeronáutico.

- Propuesta de sistema inteligente para la optimización del acceso a información técnica en procesos de mantenimiento aeronáutico

5.3 Secuencia de actividades para ejecución de la solución

Para ejecutar la solución propuesta de forma ordenada y medible, se define una secuencia de actividades que va desde el alistamiento del entorno y la preparación de la información técnica, hasta la construcción del asistente tipo GRAG, su validación con casos reales y la puesta en marcha con seguimiento. La lógica es sencilla: primero aseguramos que el conocimiento (manuales) esté bien estructurado y controlado por versión; luego habilitamos los componentes de recuperación y generación; y finalmente validamos con técnicos para comprobar impacto en tiempos de consulta y calidad de respuesta, con los ajustes antes de pasar a operación.

Ilustración 2. Flujo de Actividades



Fuente: Creación Propia

Actividad 1. Levantamiento y alineación de requisitos operativos: realizar sesiones cortas con el área de mantenimiento para definir casos de uso prioritarios (por ejemplo, búsqueda de procedimientos, herramientas, pasos y referencias), criterios de aceptación, alcance inicial de manuales a procesar y métricas base. Aquí también se identifican los puntos del

- Propuesta de sistema inteligente para la optimización del acceso a información técnica en procesos de mantenimiento aeronáutico

proceso donde más se repite la búsqueda y se documenta evidencia (tiempos típicos de 5–10 minutos por consulta).

Actividad 2. Inventario, selección y preparación de manuales técnicos: recopilar los manuales disponibles en los formatos definidos (HTM/XML), validar su estructura, revisar calidad del contenido y confirmar reglas de versionamiento. El objetivo es asegurar que el insumo sea consistente y que se tenga claridad sobre qué documentación será “fuente oficial” para la solución.

Actividad 3. Diseño del modelo de conocimiento (grafo) y esquema: definir cómo quedará representada la información en el grafo, siguiendo la jerarquía manual, tarea, sección, paso, e incorporando entidades clave como herramientas, materiales, zonas y referencias. Esta actividad deja listo el “mapa” de datos que usará el asistente para navegar el contenido de forma trazable.

Actividad 4. Construcción del pipeline de ingestión y transformación (HTM/XML, grafo): desarrollar el proceso automatizado que convierte los manuales a estructuras tabulares y estructuradas y luego se cargan al grafo, manteniendo enlaces a la fuente y registrando versión y fecha. El foco es que el sistema pueda actualizarse cuando cambien los manuales sin tener que rehacer todo manualmente.

Actividad 5. Generación de las representaciones vectoriales densas de palabras o frases en un espacio continuo de baja dimensión o embeddings y capa de búsqueda semántica: calcular representaciones semánticas para los nodos relevantes del grafo (por ejemplo, pasos y secciones) y habilitar una búsqueda que encuentre rápidamente el contenido más relacionado con la consulta del técnico, incluso si no usa exactamente las mismas palabras del manual.

Actividad 6. Implementación del asistente tipo GRAG (recuperación, generación, trazabilidad): integrar la lógica que ante una pregunta, primero recupera el contexto correcto navegando el grafo y luego construye una respuesta clara en lenguaje natural, incluyendo referencias a la fuente (sección y paso) para que sea verificable y confiable.

Actividad 7. Validación funcional con casos reales y ajustes: probar el asistente con un conjunto de consultas reales de mantenimiento, validando exactitud, claridad, trazabilidad y tiempo de respuesta. En esta fase se ajustan prompts, reglas de recuperación, priorización de contexto y manejo de ambigüedades para mejorar desempeño.

Actividad 8. Piloto controlado y medición de impacto (antes y después): ejecutar un piloto con un grupo de técnicos, midiendo indicadores como tiempo promedio de consulta, porcentaje de respuestas útiles y aceptadas con percepción de confianza. El objetivo es demostrar reducción del tiempo de búsqueda y aporte directo a la eficiencia operativa.

Actividad 9. Puesta en operación y plan de mejora continua: desplegar la solución en el entorno definido, dejar monitoreo y registro de uso, y establecer un ciclo de retroalimentación para incorporar mejoras (nuevos casos, ajustes por cambios de manuales, y refinamiento del modelo de recuperación) manteniendo control de versiones y trazabilidad.

- Propuesta de sistema inteligente para la optimización del acceso a información técnica en procesos de mantenimiento aeronáutico

5.4 Descripción de recursos necesarios para la ejecución de la solución

La implementación de la solución propuesta requiere la articulación de diversos recursos tecnológicos, humanos, de información, organizacionales y financieros que permitan desarrollar, entrenar e integrar el asistente dentro del entorno operativo del mantenimiento aeronáutico y la organización.

Recursos tecnológicos

En primer lugar, se requiere una infraestructura tecnológica que permita el procesamiento, almacenamiento y análisis de la documentación técnica utilizada en los procesos de mantenimiento. Esto incluye servidores o plataformas en la nube que soporten el procesamiento de datos, la ejecución de modelos de inteligencia artificial y el almacenamiento de la base de conocimiento generada a partir de los manuales técnicos existentes en formatos HTM y XML.

Adicionalmente, será necesario contar con herramientas de procesamiento de documentos que permitan transformar los manuales existentes en formatos HTM y XML en información estructurada que pueda ser interpretada por el sistema. Para ello se utilizarán herramientas de procesamiento de texto, bases de datos especializadas para almacenamiento semántico y, tecnologías de indexación y organización de la información que permitan estructurar los manuales técnicos y facilitar la recuperación rápida de procedimientos específicos dentro de la documentación.

También se requerirá el uso de modelos de inteligencia artificial orientados al procesamiento de lenguaje natural, capaces de interpretar las consultas realizadas por los técnicos y relacionarlas con los procedimientos técnicos contenidos en la base de conocimiento. Estos modelos se integrarán dentro de una arquitectura que permita la implementación del enfoque de generación aumentada por recuperación basada en grafos (Graph Retrieval-Augmented Generation – GRAG).

Finalmente, se necesitará una interfaz de usuario que permita la interacción entre los técnicos de mantenimiento y el sistema, facilitando la consulta en lenguaje natural y la visualización de las respuestas generadas por el asistente inteligente.

Recursos humanos

La ejecución del proyecto requiere la participación de un equipo multidisciplinario que combine conocimientos en mantenimiento aeronáutico, análisis de datos y desarrollo tecnológico.

En primer lugar, es fundamental contar con especialistas en mantenimiento aeronáutico que aporten conocimiento del dominio y permitan validar la correcta interpretación de los procedimientos técnicos por parte del sistema. Su participación es clave durante las pruebas

- **Propuesta de sistema inteligente para la optimización del acceso a información técnica en procesos de mantenimiento aeronáutico**

del sistema para asegurar que la información presentada por la herramienta sea coherente con las prácticas operativas y los estándares del sector.

Adicionalmente, se requiere la participación de profesionales en ciencia de datos e inteligencia artificial encargados del diseño del modelo de procesamiento de lenguaje natural, el desarrollo del sistema de recuperación de información y la implementación de los algoritmos necesarios para el funcionamiento del asistente; también será necesaria la participación de desarrolladores de software responsables de la construcción de la arquitectura del sistema, la integración de los diferentes componentes tecnológicos y el desarrollo de la interfaz de usuario que permitirá la interacción con los técnicos de mantenimiento.

Finalmente, dentro de los recursos humanos se requieren actividades de formación orientadas a familiarizar a los técnicos con el uso del asistente inteligente, la formulación adecuada de consultas en lenguaje natural y la interpretación de las respuestas generadas por el sistema.

Asimismo, será necesario capacitar al personal encargado de la administración del sistema en aspectos relacionados con la actualización de la base de conocimiento, la gestión de nuevas versiones de manuales técnicos y el monitoreo del desempeño del sistema.

Recursos de información

El recurso principal para el desarrollo del sistema corresponde a la documentación técnica utilizada en los procesos de mantenimiento aeronáutico. Esta documentación incluye manuales de mantenimiento, procedimientos técnicos, guías operativas y cualquier otro documento que contenga información relevante para el diagnóstico y la reparación de fallas en las aeronaves.

Estos documentos constituyen la base de conocimiento que será procesada y estructurada para alimentar el sistema de inteligencia artificial, garantizando que las respuestas generadas por el asistente estén fundamentadas en la documentación oficial utilizada por el personal técnico.

Recursos organizacionales

La implementación de la solución requiere el apoyo organizacional necesario para facilitar el acceso a la documentación técnica, así como la coordinación con las áreas responsables del mantenimiento aeronáutico y de la gestión de tecnologías de información.

Este apoyo permitirá realizar las pruebas piloto del sistema, validar su funcionamiento en escenarios operativos reales y evaluar el impacto de la herramienta en términos de reducción de tiempos de consulta y mejora en la eficiencia de los procesos de mantenimiento.

- Propuesta de sistema inteligente para la optimización del acceso a información técnica en procesos de mantenimiento aeronáutico

Recursos financieros

La implementación de la solución requiere la asignación de recursos financieros destinados al desarrollo tecnológico, la infraestructura informática y las actividades de capacitación necesarias para la adopción del sistema.

Entre los principales componentes de inversión se encuentran los costos asociados a:

- El desarrollo del sistema
- Adquisición o contratación de infraestructura tecnológica
- Licencias de software
- Equipo humano responsable del diseño, desarrollo e implementación de la solución.

Adicionalmente, deben considerarse recursos para actividades de prueba piloto, validación del sistema y capacitación del personal técnico que interactúa con la herramienta.

- Propuesta de sistema inteligente para la optimización del acceso a información técnica en procesos de mantenimiento aeronáutico

6 Definición del alcance de la solución, partes interesadas, cronograma y presupuestos.

En este capítulo se convierte la propuesta en un plan de implementación concreto y medible. El punto de partida es claro: en el proceso de mantenimiento aeronáutico existe un cuello de botella cuando el técnico necesita consultar y validar información técnica (procedimientos, herramientas y pasos) dentro de manuales estructurados; esa búsqueda, cuando no es ágil ni confiable, termina prolongando los tiempos de reparación, afectando la disponibilidad operativa y elevando costos y riesgo.

Con base en ese contexto, esta unidad define cuatro elementos esenciales para ejecutar la intervención de manera ordenada. Primero, se delimita el alcance de la solución, indicando qué se incluye, qué se excluye y cuáles resultados se esperan lograr. Segundo, se identifican las partes interesadas y los responsables por actividad, asegurando una coordinación efectiva entre mantenimiento, TI y el equipo técnico que desarrolla la solución. Tercero, se plantea un cronograma que organiza la secuencia de actividades y establece hitos para evaluar el progreso. Finalmente, se presenta un presupuesto que desglosa los recursos financieros por fase, justificando cada componente para garantizar viabilidad y sostenibilidad.

La intención es que la aerolínea tenga una visión completa, clara y realista de cómo se implementa la solución y cómo se evaluará su impacto en el proceso intervenido.

6.1 Alcance final de la solución

El alcance de esta intervención se centra en mejorar el desempeño de un proceso específico dentro del mantenimiento aeronáutico: la consulta y validación de información técnica requerida para ejecutar tareas, con énfasis en reducir tiempos de búsqueda y asegurar trazabilidad y vigencia del contenido utilizado. La solución propuesta consiste en implementar un asistente inteligente basado en inteligencia artificial aplicada, capaz de interpretar consultas en lenguaje natural y responder utilizando únicamente información proveniente de documentación técnica oficial, organizada bajo una estructura consultable y verificable.

En términos de implementación, el alcance **incluye**:

- (1) Preparación e ingestión de manuales en los formatos definidos por la organización,
- (2) construcción del modelo de conocimiento y su almacenamiento,
- (3) configuración de mecanismos de búsqueda semántica y recuperación contextual,
- (4) desarrollo del asistente conversacional para consultas por texto,
- (5) pruebas funcionales con casos reales de mantenimiento y ajuste iterativo, y
- (6) un piloto controlado con medición de resultados.

Como resultado esperado, se busca reducir el tiempo de consulta, mejorar la consistencia de la información utilizada en las tareas y aportar a la disminución del tiempo total de reparación (MTTR), contribuyendo a una mejor disponibilidad operativa.

- Propuesta de sistema inteligente para la optimización del acceso a información técnica en procesos de mantenimiento aeronáutico

Entregables:

- (a) documento de requerimientos y casos de uso priorizados;
- (b) base de conocimiento estructurada y documentada (con trazabilidad y versión);
- (c) asistente conversacional operativo para consultas por texto;
- (d) protocolo de pruebas y resultados de validación;
- (e) reporte comparativo de indicadores del piloto (antes y después);
- (f) guía de uso para usuarios finales y guía operativa para actualización y monitoreo.

Límites del proyecto: La intervención se plantea como piloto y validación práctica en alcance controlado, con énfasis en eficiencia de consulta, confiabilidad del contenido y medición de impacto. La solución se limita a responder sobre la documentación incluida y aprobada, y su evolución a gran escala dependerá de resultados y decisiones organizacionales

Queda **excluido**, para esta fase, cualquier funcionalidad que implique:

- (a) Integración directa con sistemas transaccionales de mantenimiento (por ejemplo, ERP/MRO),
- (b) modificación o creación de contenido técnico (la solución consulta, no "reescribe" manuales),
- (c) una interfaz de voz en producción (si se considera, sería una evolución posterior), y
- (d) analítica avanzada tipo BI más allá de métricas básicas de uso y desempeño del asistente.

Finalmente, el alcance considera como condición de éxito que el asistente pueda operar con respuestas rápidas, precisas y trazables, y que su adopción sea viable mediante capacitación breve y un esquema de actualización controlada cuando existan revisiones de manuales.

6.2 Identificación de responsables de las actividades para ejecución

Para asegurar una ejecución coordinada y medible, la asignación de responsables se define por roles (no por nombres), considerando que esta intervención combina operación de mantenimiento, gestión de información técnica y desarrollo de IA aplicada la lógica es la siguiente: **Mantenimiento valida el contenido y la utilidad, TI habilita el entorno y la seguridad**, y el **equipo técnico de datos/IA** construye e integra la solución. A continuación se presentan los responsables por actividad, alineados con las actividades planteadas en el proyecto:

Actividad 1. Levantamiento y alineación de requisitos operativos

Responsable principal: Líder de Mantenimiento / Jefe de Línea o Taller (dueño del proceso).

Co-responsables: Técnicos de mantenimiento (usuarios clave), Analista de Procesos/Calidad, Líder de TI (para viabilidad).

Líder del proyecto (Empresa Consultora IA): facilitar sesiones, documentar requerimientos y definir métricas base.

- Propuesta de sistema inteligente para la optimización del acceso a información técnica en procesos de mantenimiento aeronáutico

Actividad 2. Inventario, selección y preparación de manuales técnicos

Responsable principal: Área de Documentación Técnica - Ingeniería de Mantenimiento (custodios del manual).

Co-responsables: Calidad - Compliance (control documental), TI (accesos y repositorios).

Apoyo: equipo de datos para clasificación y preparación.

Actividad 3. Diseño del modelo de conocimiento (grafo) y esquema

Responsable principal: Especialista de Datos o Arquitecto de IA (diseño del modelo).

Co-responsables: Técnico Senior de mantenimiento (valida estructura y relaciones), Documentación técnica (validación de jerarquía).

Líder del proyecto (Empresa Consultora IA): asegurar alineación con el problema, objetivos y trazabilidad requerida.

Actividad 4. Construcción del pipeline de ingestión y transformación (HTM/XML a base de conocimiento)

Responsable principal: Ingeniero de Datos - Desarrollador de Integración.

Co-responsables: TI (entornos, almacenamiento, seguridad), documentación técnica (pruebas de consistencia).

Apoyo: QA (Quality Assurance) para pruebas de calidad de datos.

Actividad 5. Generación de embeddings y capa de búsqueda semántica

Responsable principal: Científico de Datos e Ingeniero de ML.

Co-responsables: TI (recursos de cómputo), técnico senior de mantenimiento (validación de resultados de recuperación).

Líder del proyecto (Empresa Consultora IA): definir criterios de evaluación (Precisión útil, pertinencia, tiempo de respuesta).

Actividad 6. Implementación del asistente tipo GRAG (recuperación + generación + trazabilidad)

Responsable principal: Arquitecto de Solución IA - Desarrollador Backend (orquestración e integración).

Co-responsables: UX/UI (interfaz), Seguridad TI (controles de acceso), líder senior mantenimiento (validación funcional).

Actividad 7. Validación funcional con casos reales y ajustes

Responsable principal: QA Lead - Líder de pruebas.

Co-responsables: Técnicos de mantenimiento, Científico de Datos (ajustes), Documentación técnica (control de versión).

Líder del proyecto (Empresa Consultora IA): consolidar hallazgos y priorizar mejoras según objetivos.

Actividad 8. Piloto controlado y medición de impacto (antes - después)

- Propuesta de sistema inteligente para la optimización del acceso a información técnica en procesos de mantenimiento aeronáutico

Responsable principal: Líder de Operación de Mantenimiento (dueño del piloto).

Co-responsables: Analista de Procesos - Calidad (medición), Equipo IA (monitoreo), TI (estabilidad).

Líder del proyecto (Empresa Consultora IA): análisis comparativo y reporte de resultados.

Actividad 9. Puesta en operación y mejora continua

Responsable principal: TI Operaciones (operación del sistema) - Documentación Técnica (actualización de contenidos).

Co-responsables: Mantenimiento (adopción y retroalimentación), Equipo IA (soporte y mejoras planificadas).

Entregable clave: procedimiento de actualización controlada, monitoreo y plan de capacitación.

Con esta asignación se garantiza que cada actividad tenga un "dueño" claro y que la solución mantenga equilibrio entre lo técnico y lo operativo.

Ahora bien, luego de identificar los responsables de cada actividad, la matriz RACI permite visualizar de manera estructurada la asignación de responsabilidades dentro del proyecto, asegurando que cada actividad cuente con un responsable claro (Accountable) y un equipo definido para su ejecución, consulta y seguimiento.

R (Responsible): ejecuta la actividad

A (Accountable): responsable final (dueño del resultado)

C (Consulted): aporta conocimiento / validación

I (Informed): informado del avance

Tabla 2. Matriz RACI

Actividad	Mantenimiento (Operación)	Documentación Técnica	TI	Equipo IA / Datos	Calidad / QA	Líder Proyecto
1. Levantamiento de requisitos	A/R	I	C	C	C	R
2. Inventario de manuales	C	A/R	C	R	C	I
3. Diseño modelo de conocimiento	C	C	I	A/R	I	R
4. Pipeline de ingestión	I	C	C	A/R	R	I
5. Embeddings y búsqueda semántica	C	I	C	A/R	I	R

Actividad	Mantenimiento (Operación)	Documentación Técnica	TI	Equipo IA / Datos	Calidad / QA	Líder Proyecto
6. Implementación asistente GRAG	C	I	C	A/R	I	C
7. Validación funcional	R	C	I	C	A/R	R
8. Piloto y medición de impacto	A/R	I	C	C	R	R
9. Puesta en operación	R	A/R	A/R	C	I	I

Fuente: Creación Propia

6.3 Cronograma de ejecución

La implementación de la solución se plantea en un horizonte estimado de nueve meses, periodo en el cual se desarrollarán las actividades relacionadas con el análisis de requisitos, estructuración de la base de conocimiento, desarrollo del modelo de inteligencia artificial, validación funcional y ejecución de un piloto controlado. Este cronograma permite avanzar progresivamente desde la preparación de la información hasta la puesta en operación del asistente inteligente.

Tabla 3. Cronograma de actividades

[illegible]

- Propuesta de sistema inteligente para la optimización del acceso a información técnica en procesos de mantenimiento aeronáutico

Actividad	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9
4. Construcción del pipeline de ingestión y transformación (HTM/XML, grafo)									
5. Generación de las representaciones vectoriales densas de palabras o frases en un espacio continuo de baja dimensión o embeddings y capa de búsqueda semántica									
6. Implementación del asistente tipo GRAG (recuperación, generación, trazabilidad)									
7. Validación funcional con casos reales y ajustes									
8. Piloto controlado y medición de impacto (antes y después)									
9. Puesta en operación y plan de mejora continua									

Fuente: Creación Propia

El cronograma presentado corresponde a una planificación estimada para la ejecución del proyecto. No obstante, este puede ajustarse en función de factores como la disponibilidad de información técnica, la complejidad del procesamiento de los manuales, los resultados obtenidos durante las fases de validación del sistema o el caso que se tengan que adicionar actividades identificadas en el desarrollo del proyecto.

6.4 Presupuesto

El presupuesto presentado a continuación se estima en **pesos colombianos (COP)**, considerando un escenario realista de implementación tipo piloto para una solución de IA

- Propuesta de sistema inteligente para la optimización del acceso a información técnica en procesos de mantenimiento aeronáutico

aplicada que soporte el proceso de mantenimiento (consulta y validación de manuales técnicos). Los valores son aproximados y se estructuran por rubros para facilitar la justificación y el control de la siguiente manera:

Recursos humanos (equipo multidisciplinario), recursos tecnológicos (herramientas y licenciamiento), infraestructura (cómputo/almacenamiento y capacidad para modelos) y capacitación (adopción y operación).

Esta estimación busca dar una visión clara de la inversión necesaria y su distribución, manteniendo un enfoque de viabilidad y eficiencia en el uso de recursos.

Tabla 4. Presupuesto

Rubro	Valor
Humanos	\$164'400.000
Tecnológicos	\$21'000.000
Infraestructura	\$66'000.000
Capacitación	\$10'000.000
Total	\$261'400.000

Fuente: Creación Propia

Tabla 5. Detalle del presupuesto

Rubro	Concepto - Detalle	Cantidad	U	Valor unitario (COP)	Valor total (COP)
Humanos	Gerencia de proyecto (PM): planificación, control y reportes	80	Horas	\$220,000	\$17,600,000
Humanos	Arquitecto IA/ML: diseño GRAG, prompts y criterios de evaluación	120	Horas	\$300,000	\$36,000,000
Humanos	Ingeniería de datos: pipeline HTM/XML, versionado y carga	140	Horas	\$260,000	\$36,400,000
Humanos	Desarrollo backend: APIs, orquestación y trazabilidad	120	Horas	\$240,000	\$28,800,000
Humanos	DevOps/Plataforma: despliegue, seguridad, monitoreo	80	Horas	\$240,000	\$19,200,000
Humanos	QA/Pruebas: casos, UAT y documentación de resultados	80	Horas	\$180,000	\$14,400,000
Humanos	Mantenimiento (técnico senior): validación funcional	60	Horas	\$200,000	\$12,000,000

- Propuesta de sistema inteligente para la optimización del acceso a información técnica en procesos de mantenimiento aeronáutico

Rubro	Concepto - Detalle	Cantidad	U	Valor unitario (COP)	Valor total (COP)
Tecnológicos	Herramientas de desarrollo y colaboración (repositorios, gestión)	2	Mes	\$1,500,000	\$3,000,000
Tecnológicos	Base vectorial - búsqueda semántica (licencia o servicio)	2	Mes	\$4,000,000	\$8,000,000
Tecnológicos	Observabilidad y seguridad (logging - monitoring mínimo)	2	Mes	\$2,500,000	\$5,000,000
Tecnológicos	Licencias - SDKs adicionales (parsers, conectores)	1	Paquete	\$5,000,000	\$5,000,000
Infraestructura	Cómputo para procesamiento - ETL y servicios (CPU/RAM)	2	Mes	\$6,000,000	\$12,000,000
Infraestructura	GPU para embeddings - LLM en piloto (alquiler o capacidad)	2	Mes	\$18,000,000	\$36,000,000
Infraestructura	Almacenamiento y backups (manuales y base conocimiento)	2	Mes	\$3,000,000	\$6,000,000
Infraestructura	Red - seguridad - ambientes (staging y prod) - aprox.	1	Paquete	\$12,000,000	\$12,000,000
Capacitación	Capacitación usuarios finales (técnicos) y guía de uso	2	Sesión	\$2,000,000	\$4,000,000
Capacitación	Capacitación administradores (actualización, monitoreo)	1	Sesión	\$3,000,000	\$3,000,000
Capacitación	Materiales y acompañamiento durante piloto	1	Paquete	\$3,000,000	\$3,000,000
Humanos	SUBTOTAL				\$164,400,000
Tecnológicos	SUBTOTAL				\$21,000,000
Infraestructura	SUBTOTAL				\$66,000,000
Capacitación	SUBTOTAL				\$10,000,000
Total	TOTAL PROYECTO				\$261,400,000

Fuente: Creación Propia

- **Propuesta de sistema inteligente para la optimización del acceso a información técnica en procesos de mantenimiento aeronáutico**

El presupuesto total estimado para la implementación de la solución es de \$261.400.000 COP, considerando el desarrollo e integración del asistente inteligente, la infraestructura necesaria para su operación en ambiente controlado, y las actividades de validación y capacitación para asegurar adopción en el equipo de mantenimiento. El tiempo de ejecución proyectado para completar las fases de alistamiento, construcción, pruebas y piloto es de 36 semanas (sujeto a cambios), de acuerdo con la disponibilidad de manuales, accesos y participación de los expertos del proceso. En términos de viabilidad, la propuesta es técnica y operativamente factible porque se apoya en documentación existente, define un alcance controlado y prioriza resultados medibles (reducción del tiempo de consulta, trazabilidad y mejora del MTTR), permitiendo implementar por etapas y ajustar en función de evidencia durante el piloto antes de escalar a una operación más amplia.

- Propuesta de sistema inteligente para la optimización del acceso a información técnica en procesos de mantenimiento aeronáutico

7 Referencias bibliográficas

- Kála, M., Lališ, A., & Vojtěch, T. (2022). Analyzing aircraft maintenance findings with natural language processing. *Transportation Research Procedia*, 65, 238–245. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.11.028>
- Meng, X., Jing, B., Wang, S., Pan, J., Huang, Y., & Jiao, X. (2024). Fault knowledge graph construction and platform development for aircraft PHM. *Sensors*, 24(1), 231. <https://doi.org/10.3390/s24010231>
- Scott, M. J., Kirkpatrick, O., Verhagen, W., Kekoc, V., Teunisse, B., Zhang, J., Fayek, H. M., & Marzocca, P. (2024). Application of natural language processing for aircraft defect tracking in maintenance operations. In *Proceedings of the 34th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences (ICAS)*, Florence, Italy. https://www.icas.org/icas_archive/icas2024/data/papers/icas2024_0083_paper.pdf
- Segovia-García, N. y Said-Hung, E.M. (2021). Factores de satisfacción de los alumnos en e-learning en Colombia. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 26(89), 595-621. <https://cutt.ly/LbUPghi>