# Implementar el módulo de supervisión, control de calidad e interoperabilidad de datos mediante tableros dinámicos y protocolos de validación para optimizar el seguimiento del mantenimiento aeronáutico en la FAE

Medina Chiluisa Daniel Sebastian y Mera Aguirre Arlette Melany

Departamento de Seguridad y Defensa

Carrera de Tecnología Superior Universitaria en Ciencias Militares Aeronáuticas

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título del título de Tecnólogo Superior Universitario en Ciencias Militares Aeronáutica

Mayo. Esp. AVC Franco Bernal, Fausto Patricio

Latacunga, 04 de septiembre de 2026

## Reporte de verificación de contenidos



Informe de análisis
Compilatio Studium

Implementar el módulo de supervisión, control de calidad e interoperabilidad de datos mediante tableros dinámicos y protocolos de validación para optimizar el seguimiento del mantenimiento aeronáutico en la FAE

ID : 25b91790a831dbdf45a8382feb82fa11d96651d5

4% Textos sospechosos

**Nombre del fichero** : Implementar el módulo de supervisión, control de calidad e interoperabilidad de datos mediante tableros dinámicos y protocolos de validación para optimizar el seguimiento del mantenimiento aeronáutico en la FAE.txt
**Tamaño del archivo original** : 4,38 MB
**Número de palabras** : 11.301

**Depositante** : Genesis Ayala
**Fecha de depósito** : 3 de septiembre de 2026
**Tipo de carga** : interface
**fecha de fin de análisis** : 3 de septiembre de 2026

Resumen (sección 1/3)

Localización de los textos sospechosos en el documento :

**Incluido en el porcentaje de textos sospechosos :**

Similitudes <1%
Pasajes con similitudes a fuentes encontradas en diferentes colecciones.

Detección de IA 4%
Textos estilísticamente próximos a un texto generado por una IA.
Este índice es un indicador y no una prueba. Comprueba con el autor si domina los conocimientos mencionados en el documento.

**No incluido en el porcentaje de textos sospechosos :**

Textos entre comillas 5%
Pasajes entre comillas, a menudo indicativos de una cita.

Mayo.Esp.AVC. Fraco Bernal, Fausto Patricio

Director

C.C.:1715008700

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Departamento de Seguridad y Defensa**

**Carrera de Tecnología Superior Universitaria en Ciencias Militares Aeronáuticas**

## Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: "**Implementar el módulo de supervisión, control de calidad e interoperabilidad de datos mediante tableros dinámicos y protocolos de validación para optimizar el seguimiento del mantenimiento aeronáutico en la FAE**" fue realizado por los señores **Medina Chiluisa Daniel Sebastian y Mera Aguirre Arlette Melany,** el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además, fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

**Latacunga, 04 de septiembre de 2026**

Validar únicamente en Firmadi.
Firmado electrónicamente por:
FAUSTO PATRICIO
FRANCO BERNAL

Mayo.Esp.AVC. Franco Bernal, Fausto Patricio

Director

C.C.:1715008700

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Departamento de Seguridad y Defensa**

**Carrera de Tecnología Superior Universitaria en Ciencias Militares Aeronáuticas**

## Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Medina Chiluisa Daniel Sebastian y Mera Aguirre Arlette Melany**, con cédulas de ciudadanía n° 0504039421 y 1728496835, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Implementar el módulo de supervisión, control de calidad e interoperabilidad de datos mediante tableros dinámicos y protocolos de validación para optimizar el seguimiento del mantenimiento aeronáutico en la FAE.** es de mi/nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Latacunga, 04 de septiembre de 2026**

Daniel Sebastian Medina Chiluisa

**Medina Chiluisa, Daniel Sebastian**

C.C.: 0504039421

**Mera Aguirre, Arlette Melany**

C.C.: 1728496835

Departamento de Seguridad y Defensa

Carrera de Tecnología Superior Universitaria en Ciencias Militares Aeronáuticas

## Autorización de Publicación

Nosotros Medina Chiluisa Daniel Sebastian y Mera Aguirre Arlette Melany, con cédulas de ciudadanía n° 0504039421 y 1728496835, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **Implementar el módulo de supervisión, control de calidad e interoperabilidad de datos mediante tableros dinámicos y protocolos de validación para optimizar el seguimiento del mantenimiento aeronáutico en la FAE.** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Latacunga, 04 de septiembre de 2026

Daniel Sebastian Medina Chiluisa

Medina Chiluisa, Daniel Sebastian

C.C.: 0504039421

Mera Aguirre, Arlette Melany

C.C.: 1728496835

## Dedicatoria

Dedico este gran logro, primeramente, a mi madre, la Sra. María Virginia Chiluisa Singaña, el pilar fundamental de mi vida. Todo lo que he alcanzado ha sido gracias a ti, madre mía; por eso, con el corazón en la mano, te dedico este logro.

A mi padre, el Sr. Medina Sergio Daniel, por estar siempre a mi lado, guiándome y apoyándome cada día. Gracias por creer en mí desde el momento en que salí del colegio y por estar presente en cada paso y proceso de mi camino.

A todas las personas que estuvieron a mi lado y que, aunque fuera por un breve momento, me brindaron un consejo o una mano amiga.

Además, a la mujer que me acompañó en este proceso. Fue un camino difícil, pero cuando creía que ya no podía avanzar, supo sostener mi mano. Gracias por estar ahí, mi amor especial

**Medina Chiluisa, Daniel Sebastian**

## Dedicatoria

Con la más sincera profunda gratitud, dedico este logro a quienes han sido mi sostén inquebrantable a lo largo de esta exigente travesía.

A Dios, mi guía eterno. En medio del rigor de la vida militar, donde el cuerpo se desafía y la mente se lleva al límite, fuiste Tú, Señor, quien me sostuvo. Me diste fuerzas para levantarme tras cada caída y me recordaste que la fe convierte lo imposible en posible. Gracias por tus respuestas silenciosas, por la paz en medio del caos y por no soltarme jamás, incluso cuando mi fe tambaleaba.

A mi padre, el Sr. Carlos Mera Cabrera, mi inspiración desde el primer momento. Tus enseñanzas van más allá de las palabras; viven en tu ejemplo diario de sacrificio, valentía y trabajo honesto. En mis momentos de debilidad, tu fuerza fue mi faro. Gracias por acompañarme en cada paso de esta formación, por tu guía y por un respaldo incondicional que jamás falla. Eres y seguirás siendo mi modelo de carácter y coraje.

A mi madre, la Sra. Erica Aguirre Quintero, mi escudo protector. Gracias por tu paciencia sin límites, por tus oraciones que me alcanzaban en la distancia y por tu consuelo constante. Estuviste presente en cada decisión, logro y tropiezo, con esa ternura firme que me decía: “tú puedes”. Gracias por enseñarme a creer en mí.

A mis hermanas, Karen, Nayeli, Tamia y Belén Mera, mis aliadas de vida, su cariño y presencia incondicional fueron un motor vital. Su determinación se convirtió en mi ejemplo para mantener el rumbo. A mis sobrinos, Isaías y Adaly, alegría de mis días y luz que renueva mis fuerzas: este logro también es suyo.

**Mera Aguirre, Arlette Melany**

**Agradecimiento**

Agradezco profundamente a todas las personas que formaron parte de mi vida y de mi formación. Cada una de ellas dejó una huella importante en mi preparación; aprendí lo mejor de cada uno y les agradezco por haberme impulsado a dar siempre mi mejor versión.

A mi madre, la Sra. María Virginia Chiluisa Singaña: no tengo palabras para expresar mi más profundo agradecimiento. Sin ti, madre mía, no sería nadie. Te agradezco por tus sabias conversaciones y por tu apoyo incondicional.

A ti, padre, el Sr. Medina Sergio Daniel: tú que no me dejaste caer desde el inicio de este proceso, gracias por sostenerme. Este logro también es tuyo, porque siempre confiaste en mí y nunca te defraudé. Los momentos difíciles los superé gracias a tus consejos.

A mi apoyo emocional de cuatro patas, mi mascota Sr. Bigotes: llegaste en un momento en el que ni siquiera sabía cuánto te necesitaba, y te convertiste en la alegría de mis días.

Y a esa persona especial que me ayudó en todo este proceso. Siempre creí que podía con todo solo y que no necesitaba ayuda, pero tú me enseñaste que compartir el camino y dejarse ayudar también es de valientes. Te agradezco infinitamente.

**Medina Chiluisa, Daniel Sebastian**

**Agradecimiento**

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a quienes hicieron posible la culminación de estos dos años de intensa formación militar y académica. Al cerrar este ciclo y mirar atrás, comprendo que este triunfo lleva impreso el cuidado silencioso de quienes me sostuvieron el paso.

A Dios, mi refugio constante en medio del rigor de los días. Gracias por ser esa fuerza sutil que sostenía mi mente y mi cuerpo cuando el camino exigía más de lo imaginable, y por enseñarme que la fe abre puertas donde la lógica solo ve muros.

A mi padre, el Sr. Mera Cabrera Carlos, brújula y semilla de este sueño. Gracias por enseñarme con el ejemplo que el trabajo honrado y la valentía son los cimientos más firmes de la vida. A mi madre, la Sra. Aguirre Quintero Erica, mi abrigo en la distancia; gracias por cada oración convertida en paz, por tu ternura inquebrantable y por recordarme con una sola mirada que siempre pude lograrlo.

A mis hermanas, Karen, Nayeli, Tamia y Belén Mera, cómplices de mi historia; a mis pequeños sobrinos, Isaías y Adaly, cuya ternura espontánea devolvió la luz a mis días más pesados; y a esa persona especial, Alejandro Gallegos, gracias por ser el refugio al final de la jornada y caminar a mi lado desde la mitad de todo este proceso.

Gracias a todos ustedes por respaldar esta elección, aun cuando el mundo exterior dudaba, porque en mi interior la certeza nunca flaqueó.

Como decía El Cacique: La vida tiene altos y bajos. Hay fracasos y recompensas. Hay momentos buenos y malos. De alegría y también de tristeza, y hoy cada uno de ellos cobra sentido al compartir este momento con ustedes.

**Mera Aguirre, Arlette Mera**

**Índice de contenido**

Caràtula ..... 1
Reporte de verificación de contenidos ..... 2
Certificación ..... 3
Responsabilidad de Autoría ..... 4
Autorización de Publicación ..... 5
Dedicatoria ..... 6
Dedicatoria ..... 7
Agradecimiento ..... 8
Agradecimiento ..... 9
Índice de contenido ..... 10
Índice de tablas ..... 14
Índice de figuras ..... 15
Resumen ..... 16
Abstract ..... 17
Capítulo I ..... 18
Introducción ..... 18
Planteamiento del problema ..... 19
Formulación del problema o pregunta de investigación ..... 20
Objetivos ..... 21
*Objetivo general* ..... *21*
*Objetivos específicos* ..... *21*
Justificación ..... 21
Capítulo II ..... 23
Marco teórico ..... 23

Estado del arte ..... 23
Marco teórico ..... 25
*Gestión del mantenimiento aeronáutico ..... 25*
*Planificación, seguimiento y control del mantenimiento de aeronaves ..... 25*
*Indicadores de gestión y disponibilidad de flota aeronáutica ..... 26*
*Supervisión y control de calidad en el mantenimiento aeronáutico ..... 27*
*Control de calidad y protocolos de validación de datos ..... 28*
*Indicadores de desempeño para la toma de decisiones ..... 29*
Gestión y visualización de datos mediante dashboards ..... 30
*Sistemas de información y gestión de datos para la toma de decisiones ..... 30*
*Inteligencia de negocios y visualización de información ..... 31*
*Dashboards ejecutivos e indicadores dinámicos en Looker Studio ..... 33*
*Interoperabilidad e integración de sistemas de información ..... 34*
*Integración y retroalimentación de información entre sistemas ..... 35*
*Validación, consistencia y calidad de datos interoperables ..... 36*
*Seguridad de la información y documentación en entornos militares ..... 37*
*Seguridad de la información y protección de datos institucionales ..... 38*
*Protocolos de seguridad y control de acceso a sistemas ..... 39*
*Manuales de usuario, procedimientos y gestión documental ..... 40*
Capítulo III ..... 43
Metodología ..... 43
Enfoque de investigación ..... 43
Tipo y diseño de investigación ..... 43
*Fases metodológicas del desarrollo ..... 44*
Población y muestra ..... 45
Técnica e instrumento ..... 46

Validación y confiabilidad de los instrumentos ..... 46
Consideraciones éticas ..... 47
Capítulo IV ..... 48
Análisis y discusión de los resultados ..... 48
Diagnóstico para la digitalización del mantenimiento MRO ..... 48
*Situación inicial del proceso de mantenimiento aeronáutico ..... 49*
Requerimientos funcionales y tecnológicos identificados ..... 51
*Modelo de solución propuesto ..... 52*
Implementación del sistema digital de supervisión MRO ..... 53
*Arquitectura e integración tecnológica ..... 53*
Actividad 1: diseño e implementación de dashboards ejecutivos y disponibilidad de flota en tiempo real ..... 55
*Fundamentación Técnica y Necesidad Operativa ..... 55*
*Modelado Matemático de la Disponibilidad Operativa de la Flota ..... 56*
*Componentes Gráficos Desarrollados con Chart.js ..... 57*
Actividad 2: pruebas de integración, interoperabilidad y retroalimentación de datos (chasqui sync & multi-terminal) ..... 59
*Arquitectura de Interoperabilidad Concurrente (LAN Militar y Radmin VPN) ..... 59*
*Algoritmo de Bloqueo Secuencial (Sequential Step-Lock) ..... 60*
Actividad 3: protocolos de seguridad de la información, rbac y componente universal de firma electrónica (firma ec) ..... 61
*Aislamiento Estricto de Privilegios por Roles (RBAC) ..... 61*
SECCIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS ..... 64
Anexos técnicos del software ..... 66
*Arquitectura de Despliegue de Red (Servidor Multi-Hilo Python) ..... 66*
*Estructura Modular y Separación de Directorios ..... 67*

*Persistencia de Preferencias de Usuario en localStorage..... 68*

*Motor RAG de IA Estricta sobre Manuales AMM DA-20 C1 (ai_mantenimiento_amm.js) ..... 68*

*Conclusiones del capítulo IV ..... 69*

Capítulo V ..... 71

Conclusiones y recomendaciones..... 71

Conclusiones..... 71

Recomendaciones ..... 72

Referencias..... 73

Apéndices ..... 77

## Índice de tablas

**Tabla 1** Principios fundamentales de seguridad de la información ..... 38

**Tabla 2** Estructura documental propuesta para el sistema ..... 41

**Tabla 3** Fases metodológicas del desarrollo ..... 44

**Tabla 4** Situación identificada y necesidad de mejora ..... 49

**Tabla 5** Requerimientos funcionales del sistema ..... 51

## Índice de figuras

**Figura 1** Centro de Mando Operacional y Métricas Gerenciales en Tiempo Real. ..... 56

**Figura 2** Visualización Gráfica de Disponibilidad Operativa y Distribución por Apartados MRO ..... 59

**Figura 3** Matriz Sincronizada de Potencial Operativo de la Flota Diamond DA-20..... 61

**Figura 4** Interfaz de Acceso Institucional y Selección de Roles por Perfil (RBAC). ..... 62

**Figura 5** Vista Preliminar del Informe Oficial de Confiabilidad y Gestión Técnica. ..... 65

**Figura 6** Visualizacion de la estructura modular ..... 67

**Figura 7** Interfaz del Asistente Virtual MRO basado en la Base de Datos Cloud Firestore. ..... 69

## Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo implementar un sistema digitalizado de supervisión, control de calidad e interoperabilidad de datos mediante herramientas tecnológicas y tableros dinámicos para optimizar el seguimiento del mantenimiento aeronáutico de la flota Diamond DA-20 C1 Katana de la Escuela Superior Militar de Aviación (ESMA) de la Fuerza Aérea Ecuatoriana. El estudio presentó un enfoque tecnológico y aplicado, sustentado en investigación de campo y análisis documental de registros, procedimientos y normativa institucional relacionada con el mantenimiento aeronáutico. El desarrollo permitió transformar registros físicos y procesos manuales asociados a las Órdenes de Trabajo y formularios FAE-781 en información digital centralizada y disponible para los usuarios autorizados. La solución incorporó una arquitectura web desarrollada con HTML, CSS, JavaScript y Python, utilizando Google Cloud Firestore como base de datos y mecanismos de sincronización en tiempo real mediante onSnapshot(). Se implementaron módulos diferenciados para técnicos, supervisores, planificación, control de calidad, administración y mando. Asimismo, se desarrolló un dashboard ejecutivo con indicadores de disponibilidad, estado de aeronaves, avance de órdenes de trabajo, horas acumuladas e incidencias por sistema ATA. El sistema incorporó herramientas de análisis de confiabilidad como MTBF, MTTR, URR, tasas de incidentes y límites de control estadístico, además de mecanismos de control de acceso, trazabilidad y documentación. Los resultados evidenciaron la factibilidad de centralizar y visualizar la información de mantenimiento, facilitando su seguimiento y proporcionando información estructurada para la toma de decisiones operacionales.

*Palabras clave:* Mantenimiento aeronáutico, sistema MRO (Mantenimiento,Reparacion y operaciones) , interoperabilidad, dashboards, confiabilidad de datos.

## Abstract

This research aimed to implement a digitized system for supervision, quality control, and data interoperability—utilizing technological tools and dynamic dashboards—to optimize the monitoring of aeronautical maintenance for the Diamond DA-20 C1 Katana fleet at the Ecuadorian Air Force's Higher Military Aviation School (ESMA). The study adopted a technological and applied approach, grounded in field research and a documentary analysis of records, procedures, and institutional regulations regarding aeronautical maintenance. The development process transformed physical records and manual processes associated with Work Orders and FAE-781 forms into centralized digital information accessible to authorized users. The solution featured a web architecture built using HTML, CSS, JavaScript, and Python, employing Google Cloud Firestore as the database and utilizing real-time synchronization mechanisms via onSnapshot(). Distinct modules were implemented for technicians, supervisors, planning staff, quality control personnel, administrators, and command staff. Additionally, an executive dashboard was developed to display indicators such as availability, aircraft status, work order progress, accumulated flight hours, and incidents categorized by ATA system. The system incorporated reliability analysis tools—including MTBF, MTTR, URR, incident rates, and statistical control limits—alongside mechanisms for access control, traceability, and documentation management. The results demonstrated the feasibility of centralizing and visualizing maintenance data, thereby facilitating monitoring and providing structured information to support operational decision-making.


*Keywords:* Aeronautical maintenance, MRO system (Maintenance, Repair, and Operations), interoperability, dashboards, data reliability.

# Capítulo I

## Introducción

La transformación digital se ha convertido en un elemento fundamental para mejorar la eficiencia, productividad y capacidad de respuesta de las organizaciones modernas, en el ámbito aeronáutico, la incorporación de tecnologías de información y comunicación ha permitido optimizar los procesos de mantenimiento, supervisión y control de calidad, facilitando la toma de decisiones mediante el acceso oportuno a información confiable y actualizada (Cajamarca, 2025). En dichas organizaciones las responsabilidades del mando de la información creada a lo largo de las actividades de mantenimiento obtienen una importancia especifica debido a que de estos registros necesitan de una óptima medida, el rastreo de las condiciones técnicas de las aeronaves. Además de contar con información constituida y disponible proporciona el control de las tareas ejecutadas y permite una secuencia a los procesos vinculados con la conservación y la seguridad operacional.

Dentro de este contexto se encuentra la Fuerza Aérea Ecuatoriana (FAE), institución encargada de contribuir a la defensa del espacio aéreo nacional y de participar en diferentes operaciones de carácter militar, humanitario y de seguridad, pues el cumplimiento de estas funciones requiere que sus aeronaves se mantengan en condiciones adecuadas para operar.

No obstante, en diversos procesos de supervisión aún existen limitaciones relacionadas con la dispersión de la información, la dependencia de registros manuales y la falta de integración entre las herramientas utilizadas para el seguimiento de las actividades de mantenimiento (Sáenz, 2024).

La ausencia de mecanismos de supervisión digital en tiempo real dificulta que los responsables de la gestión logística y técnica dispongan de información inmediata sobre el

avance de las órdenes de trabajo, el estado de las inspecciones y los posibles retrasos en la ejecución de actividades críticas. Asimismo, la limitada interoperabilidad entre los registros de mantenimiento y las herramientas de planificación genera duplicidad de datos, incrementa el riesgo de errores administrativos y reduce la capacidad de respuesta ante requerimientos operacionales, estas condiciones pueden afectar la eficiencia de los procesos y dificultar la toma de decisiones oportunas orientadas a garantizar la disponibilidad de la flota aérea.

**Planteamiento del problema**

La gestión del mantenimiento aeronáutico constituye uno de los procesos críticos para garantizar la seguridad operacional, la disponibilidad de las aeronaves y la eficiencia logística de las organizaciones militares y civiles (Bonilla, 2017). En la actualidad, la transformación digital ha impulsado la implementación de sistemas de gestión integrados que permiten supervisar en tiempo real las actividades de mantenimiento, optimizar la toma de decisiones y asegurar la trazabilidad de la información técnica. Sin embargo, Encalada (2025) menciona que, en diversos entornos aeronáuticos persisten procesos manuales o parcialmente digitalizados que limitan la capacidad de control y seguimiento de las operaciones de mantenimiento.

En los escuadrones de vuelo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (FAE), la gestión de las órdenes de trabajo (OT), inspecciones programadas y actividades correctivas depende en gran medida de registros distribuidos en diferentes documentos, hojas de cálculo y reportes generados por múltiples actores (Sáenz, 2024). Esta situación dificulta la consolidación inmediata de la información requerida por los jefes logísticos, supervisores de mantenimiento y autoridades operacionales para determinar el estado de aeronavegabilidad de las aeronaves y planificar oportunamente los recursos necesarios para la ejecución de las misiones institucionales.

La ausencia de una plataforma centralizada de supervisión y control provoca que el seguimiento del avance físico de las órdenes de trabajo se realice mediante procesos de consulta manual, generando retrasos en la disponibilidad de información estratégica, en consecuencia, la toma de decisiones relacionadas con la asignación de personal técnico, la adquisición de repuestos, la programación de inspecciones y la disponibilidad operativa de la flota no siempre se desarrolla con información actualizada en tiempo real (López, 2024). De acuerdo con estudios sobre mantenimiento aeronáutico, la falta de integración entre sistemas y procesos documentales continúa siendo una de las principales causas de ineficiencia operativa dentro de las organizaciones de mantenimiento aeronáutico, además, se estima que las limitaciones de software y los sistemas desconectados generan pérdidas económicas significativas debido a retrasos en los procesos de mantenimiento y en la gestión de recursos.

En el caso de la Fuerza Aérea Ecuatoriana en este contexto causa una problemática en cuanto al rastreo de las actividades de mantenimiento y la obtención de información confidencial para respaldar la proyección de las operaciones, y la ausencia de un sistema digital el mismo que de paso a logar una integración y cooperación los datos entre varias herramientas usando acceso limitado a la información restablecida sobre las órdenes de trabajo y las condiciones de la flota, conjuntamente, al no contar con tableros de control, alertas y reportes generados de manera automática, el seguimiento de los procesos se torna más dependiente de la revisión manual de la información, lo que puede retardar el reconocimiento de novedades y la toma de decisiones.

**Formulación del problema o pregunta de investigación**

¿De qué manera la implementación de un sistema digitalizado de supervisión, control de calidad e interoperabilidad, mediante herramientas de Google Workspace, optimizará la

planificación y el seguimiento de las órdenes de trabajo de mantenimiento aeronáutico en los escuadrones de vuelo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana?

## Objetivos

### *Objetivo general*

Implementar el módulo de supervisión, control de calidad e interoperabilidad de datos mediante tableros dinámicos y protocolos de validación para optimizar el seguimiento del mantenimiento aeronáutico en la FAE.

### *Objetivos específicos*

- Diseñar dashboards ejecutivos en Looker Studio para el seguimiento del avance físico de los trabajos y disponibilidad de flota.
- Realizar pruebas de integración con módulos externos de planificación de flota para validar la retroalimentación de datos.
- Documentar los protocolos de seguridad de la información y manuales de usuario para el entorno militar.

## Justificación

La presente investigación surge por la necesidad de fortalecer los procesos de supervisión, control de calidad e interoperabilidad en la gestión del mantenimiento aeronáutico de los escuadrones de vuelo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (FAE), mediante la implementación de un sistema digitalizado basado en herramientas del ecosistema Google Workspace. Dicha propuesta contesta a la gradual demanda de modernización tecnológica dentro de las instituciones militares, donde la disponibilidad operativa de las aeronaves y la

seguridad de vuelo establecen factores estratégicos para el desempeño de la misión institucional.

En términos institucionales y militares, la operatividad de las aeronaves simboliza un elemento primordial para avalar la defensa de la soberanía nacional, el control del espacio aéreo y el desarrollo de operaciones militares, humanitarias y de soporte a la población. En este contexto, la gestión eficiente de los procesos de mantenimiento aeronáutico resulta indispensable para asegurar que las aeronaves se encuentren en condiciones óptimas de aeronavegabilidad. Sin embargo, la existencia de procedimientos manuales, registros dispersos y limitaciones en la supervisión en tiempo real dificulta la obtención de información precisa para la toma de decisiones, por ello, la implementación de una plataforma digital de supervisión permitirá fortalecer el control de las órdenes de trabajo, mejorar la trazabilidad de los procesos y facilitar la gestión logística asociada al mantenimiento de las aeronaves, contribuyendo al cumplimiento de los objetivos estratégicos de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

Finalmente, la investigación contribuirá al fortalecimiento del control de calidad en los procesos de mantenimiento aeronáutico, al incorporar mecanismos automatizados de seguimiento y verificación que permitan garantizar el cumplimiento de los procedimientos establecidos en la doctrina de mantenimiento de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, pues el proyecto generará beneficios institucionales, tecnológicos y operativos que impactarán positivamente en la eficiencia de los procesos de mantenimiento, la disponibilidad de las aeronaves y la capacidad de respuesta de la institución frente a sus responsabilidades estratégicas.

# Capítulo II

# Marco teórico

## Estado del arte

La transformación digital del mantenimiento aeronáutico ha generado un creciente interés por el desarrollo de sistemas capaces de integrar datos técnicos y operacionales para mejorar la planificación, supervisión y toma de decisiones (Bonilla, 2017). La evolución desde esquemas de mantenimiento predominantemente reactivos hacia modelos basados en datos ha permitido incorporar herramientas de monitoreo, análisis de confiabilidad, sistemas de apoyo a la decisión y técnicas de visualización. En este contexto, diferentes investigaciones han abordado la utilización de información en tiempo real, indicadores de desempeño y plataformas digitales para incrementar la disponibilidad de las aeronaves y optimizar los procesos de mantenimiento.

Uno de los antecedentes directamente relacionados con la presente investigación corresponde al trabajo de Sáenz (2024), quienes desarrollaron un marco de apoyo a la decisión que integra el monitoreo del avance de los trabajos de mantenimiento con la planificación de mantenimiento aeronáutico. El estudio utiliza datos sobre el progreso de los trabajos para identificar desviaciones respecto de la planificación y generar alternativas de decisión ante retrasos o adelantos, los autores demostraron que la incorporación de información sobre el avance real de las actividades permite mejorar la planificación y optimizar las decisiones relacionadas con el mantenimiento.

Este antecedente presenta una relación directa con la presente investigación, debido a que demuestra la importancia de monitorear el avance físico de los trabajos y no limitarse exclusivamente a la información de planificación. Sin embargo, el enfoque de Cajamarca (2025)

se orienta principalmente al desarrollo de un modelo de apoyo a la planificación, mientras que la presente investigación busca implementar un módulo de supervisión mediante dashboards ejecutivos, orientado a proporcionar una visión consolidada del avance de los trabajos y de la disponibilidad de la flota.

Otro antecedente relevante corresponde Bonilla (2017) quien desarrolló un sistema de apoyo a la toma de decisiones para el mantenimiento de una flota aeronáutica. Su propuesta integra adquisición de datos, procesamiento de información y toma de decisiones, utilizando información relacionada con el estado de las aeronaves para establecer estrategias de mantenimiento orientadas a minimizar costos y maximizar la disponibilidad de la flota. El estudio demuestra la importancia de integrar los datos operacionales con los procesos de evaluación de confiabilidad y decisión de mantenimiento.

El aporte de este estudio radica en demostrar que la información proveniente de diferentes procesos puede ser utilizada conjuntamente para mejorar la gestión de una flota. No obstante, su enfoque se encuentra principalmente relacionado con modelos de confiabilidad y optimización de decisiones, mientras que la presente investigación se concentra en una necesidad diferente: facilitar la supervisión ejecutiva y el seguimiento visual del mantenimiento mediante indicadores dinámicos.

A partir de los antecedentes revisados, puede observarse que la investigación internacional ha avanzado considerablemente en mantenimiento basado en datos, sistemas de apoyo a la decisión, monitoreo del progreso de trabajos, visualización mediante dashboards, mantenimiento predictivo e integración de información, sin embargo, persiste una necesidad de articular estos componentes dentro de soluciones prácticas orientadas específicamente a la supervisión operativa de una flota aeronáutica, particularmente en organizaciones donde

existen restricciones de acceso, requerimientos de seguridad y diferentes fuentes de información.

## Marco teórico

### *Gestión del mantenimiento aeronáutico*

La gestión del mantenimiento aeronáutico constituye un componente fundamental para garantizar que las aeronaves mantengan las condiciones técnicas, funcionales y de seguridad necesarias para cumplir las misiones para las cuales fueron diseñadas (Encalada, 2025). A diferencia de otros tipos de mantenimiento, el mantenimiento aeronáutico se desarrolla dentro de un entorno caracterizado por elevados niveles de exigencia técnica, normativa y operacional, debido a que una falla puede comprometer no solamente la disponibilidad de una aeronave, sino también la seguridad de las operaciones y del personal involucrado.

Desde el punto de vista de la gestión, el mantenimiento comprende las actividades que se realizan para conservar un equipo en condiciones adecuadas de funcionamiento o recuperar su capacidad cuando presenta alguna falla. De acuerdo con Mamani (2023), una adecuada gestión del mantenimiento implica realizar un seguimiento periódico de los equipos que tienen mayor importancia, identificar posibles fallas y organizar con anticipación las tareas necesarias para su conservación. Por lo tanto, el mantenimiento no debe limitarse a intervenir cuando ocurre un problema, sino que también requiere planificación y revisión constante de la información disponible.

### *Planificación, seguimiento y control del mantenimiento de aeronaves*

La planificación del mantenimiento aeronáutico comprende la determinación anticipada de las actividades que deben ejecutarse sobre las aeronaves, considerando sus características técnicas, horas o ciclos de operación, requisitos de inspección, componentes con vida limitada

y demás condiciones establecidas en los programas de mantenimiento (Salas, 2022). La planificación permite organizar los recursos humanos, materiales y técnicos necesarios para ejecutar los trabajos dentro de los períodos establecidos.

Márquez (2024) señala que, cada aeronave debe contar con un programa de mantenimiento que sea desarrollado y controlado, y que las actividades correspondientes deben coordinarse con la aplicación de directivas de aeronavegabilidad, sustitución de componentes y demás tareas necesarias para garantizar la continuidad de la aeronavegabilidad.

En consecuencia, la planificación no debe considerarse como una actividad aislada, sino como un proceso dinámico que requiere actualización permanente, los cambios en la condición de las aeronaves, la aparición de fallas no programadas, la disponibilidad de repuestos y las modificaciones en las necesidades operacionales pueden alterar la programación inicialmente establecida (Ríos, 2024). Por esta razón, la información generada durante la ejecución de los trabajos debe retroalimentar continuamente el proceso de planificación.

Ríos (2024) sostiene que, los sistemas modernos de mantenimiento deben permitir monitorear el estado de los equipos, identificar condiciones que puedan anticipar fallas y programar las actividades de intervención. En el contexto aeronáutico, esta lógica permite pasar de una gestión basada únicamente en la reacción ante fallas hacia una gestión fundamentada en información histórica y datos operacionales.

### *Indicadores de gestión y disponibilidad de flota aeronáutica*

Los indicadores de gestión constituyen herramientas utilizadas para medir el comportamiento y desempeño de los procesos de mantenimiento, su importancia radica en que

permiten convertir los registros operacionales en información cuantificable para evaluar resultados, detectar desviaciones y respaldar la toma de decisiones (Mamani, 2023).

En el mantenimiento aeronáutico pueden emplearse indicadores relacionados con el cumplimiento de actividades programadas, número de fallas, tiempo empleado en mantenimiento, confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de las aeronaves. Guevara (2025) reconoce la confiabilidad y mantenibilidad como elementos que deben ser considerados en la planificación, ejecución y evaluación del desempeño de sistemas.

La confiabilidad hace referencia a la capacidad de un sistema o equipo para desempeñar su función requerida durante un período determinado bajo condiciones establecidas. En mantenimiento centrado en confiabilidad, el análisis de las fallas permite determinar las acciones necesarias para preservar las funciones de los sistemas. Márquez (2024) destaca que, este enfoque utiliza información sobre el desempeño y las fallas para mejorar las estrategias de mantenimiento y mantener los niveles de confiabilidad y disponibilidad requeridos.

### *Supervisión y control de calidad en el mantenimiento aeronáutico*

La supervisión constituye un proceso fundamental dentro de la gestión del mantenimiento aeronáutico, debido a que permite verificar de manera sistemática el cumplimiento de las actividades planificadas, identificar desviaciones y disponer de información oportuna para la toma de decisiones (Chen, 2020). En este contexto, supervisar no significa únicamente comprobar que una actividad haya sido ejecutada, sino realizar un seguimiento continuo de su estado, avance, cumplimiento de los procedimientos establecidos y condiciones técnicas requeridas.

El mantenimiento aeronáutico requiere que las actividades sean ejecutadas conforme a información técnica vigente y procedimientos previamente establecidos. La Agencia de la Unión Europea para la Seguridad Aérea (EASA, 2025) citado por Guevara (2025) establece que las organizaciones de mantenimiento deben disponer y utilizar los datos de mantenimiento aplicables y actualizados para realizar trabajos sobre aeronaves y componentes. Asimismo, los registros deben permitir demostrar el cumplimiento de los requisitos aplicables y conservar información suficiente sobre los trabajos realizados.

Desde esta perspectiva, la supervisión debe desarrollarse mediante mecanismos que permitan conocer el estado real de cada actividad, el avance físico de los trabajos representa una medida del grado de ejecución de una tarea o conjunto de tareas respecto de lo planificado (Cangas, 2021). Puede expresarse mediante porcentajes de avance, estados de ejecución, actividades completadas, pendientes o retrasadas y tiempos empleados, estos elementos permiten establecer una comparación entre la programación inicial y la situación real de los trabajos.

El seguimiento sistemático resulta especialmente importante cuando se administra una flota aeronáutica, debido a que simultáneamente pueden desarrollarse actividades de diferente naturaleza sobre varias aeronaves. Sin mecanismos adecuados de supervisión, la información puede encontrarse dispersa entre registros, documentos y sistemas independientes, dificultando la identificación de retrasos o inconsistencias (Encalada, 2025).

### *Control de calidad y protocolos de validación de datos*

El control de calidad en el mantenimiento aeronáutico tiene como propósito verificar que los trabajos ejecutados, los procedimientos aplicados y la información registrada cumplan con los requisitos técnicos y organizacionales establecidos, su importancia se relaciona directamente con la seguridad operacional, debido a que la información incorrecta, incompleta

o no actualizada puede generar decisiones equivocadas respecto del estado de una aeronave (Hinojosa, 2017).

El control de calidad requiere, por tanto, establecer procedimientos de inspección, revisión y validación que permitan detectar errores antes de que estos afecten los procesos posteriores, en el ámbito de la aeronavegabilidad, los registros constituyen una fuente esencial para determinar la configuración de la aeronave, su estado de aeronavegabilidad y las actividades de mantenimiento que deberán realizarse posteriormente Encalada (2025) señala que, los registros detallados permiten establecer el estado de aeronavegabilidad y planificar futuras actividades de mantenimiento a partir de los trabajos realizados.

La validación de datos consiste en revisar que la información ingresada en un sistema sea correcta, completa y coherente con los datos de los que proviene (Hinojosa, 2017). En el caso de un sistema de supervisión aplicado al mantenimiento aeronáutico, esta revisión es importante para evitar que se tomen decisiones a partir de información incorrecta, por ejemplo, es necesario comprobar que una aeronave registrada como disponible cumpla realmente con las condiciones requeridas para operar, que las actividades de mantenimiento ingresadas hayan sido ejecutadas y que la información obtenida de los distintos sistemas pueda relacionarse y coincidir entre sí.

### *Indicadores de desempeño para la toma de decisiones*

Los indicadores de desempeño constituyen instrumentos que permiten evaluar cuantitativamente el comportamiento de los procesos de mantenimiento, su utilización facilita la transformación de grandes volúmenes de registros técnicos y operacionales en información resumida, comprensible y útil para la toma de decisiones (Bravo, 2023).

En el mantenimiento aeronáutico pueden establecerse indicadores relacionados con el cumplimiento de trabajos programados, porcentaje de avance, número de actividades pendientes, tiempo de permanencia de una aeronave en mantenimiento, frecuencia de fallas y disponibilidad de la flota (Infante, 2025). Dichos indicadores dan paso a valorar el desempeño de las actividades de mantenimiento como sus efectos sobre la capacidad operacional, mientras que la disponibilidad establece uno de los indicadores de gran notabilidad para una organización que administra una flota, debido que esta da paso a reconocer la proporción de aeronaves que se encuentran en óptimas condiciones de desempeñar su función (Hinojosa, 2017). No obstante, su interpretación demanda creer información adicional, como las causas de indisponibilidad, duración del mantenimiento, trabajos pendientes y restricciones técnicas.

La utilidad de estos indicadores depende de la calidad y oportunidad de los datos utilizados. Hinojosa (2017) señala que, los registros correctamente ejecutados proporcionan información necesaria para controlar el mantenimiento programado y no programado, solucionar problemas y evitar inspecciones o trabajos repetidos. Por ello, los indicadores deben construirse a partir de información actualizada, trazable y previamente validada (Cangas, 2021).

## Gestión y visualización de datos mediante dashboards

### *Sistemas de información y gestión de datos para la toma de decisiones*

Los sistemas de información constituyen herramientas fundamentales para las organizaciones que requieren recopilar, procesar, almacenar y presentar datos para apoyar sus actividades operativas y administrativas, su importancia radica en que permiten transformar datos provenientes de diferentes procesos en información organizada y disponible para los usuarios responsables de la gestión. Hinojosa (2017) señalan que, los sistemas de información integran recursos tecnológicos, humanos y organizacionales con el propósito de recopilar,

procesar y distribuir información que facilite las operaciones, la coordinación y la toma de decisiones.

En este sentido, la gestión de datos comprende el conjunto de actividades orientadas a garantizar que los datos sean obtenidos, almacenados, procesados y utilizados de manera adecuada (Bonilla, 2017). La información generada por los sistemas debe responder a las necesidades de los usuarios y presentar características que permitan considerarla confiable para sustentar decisiones. La calidad de los datos constituye, por tanto, un elemento esencial de los sistemas de información, la norma ISO/IEC 25012:2008 establece un modelo de calidad de datos que contempla características que permiten evaluar y gestionar la calidad de los datos almacenados en sistemas informáticos, incluyendo aspectos inherentes a los datos y otros relacionados con el sistema que los utiliza (Cajamarca, 2025).

La importancia de la calidad de los datos se relaciona directamente con la toma de decisiones. Los datos incompletos, inconsistentes, desactualizados o incorrectos pueden producir interpretaciones equivocadas y afectar la efectividad de las decisiones organizacionales. Maldonado (2025) explican que, la información relacionada con la calidad de los datos puede ser importante para los usuarios porque les permite valorar si la información disponible resulta apropiada para la decisión que deben tomar.

### *Inteligencia de negocios y visualización de información*

La inteligencia de negocios, conocida como Business Intelligence (BI), comprende un conjunto de metodologías, tecnologías y herramientas destinadas a transformar datos en información útil para el análisis y la toma de decisiones, su propósito es facilitar que los responsables de una organización puedan identificar patrones, tendencias, desviaciones y relaciones existentes en los datos (Hinojosa, 2017).

Urían (2019) a partir de una revisión sistemática sobre tecnologías de Business Intelligence, destacan la utilización de estas herramientas para apoyar la toma de decisiones mediante recursos como análisis de datos, visualización, data warehouses y herramientas de inteligencia empresarial.

Dentro de la inteligencia de negocios, la visualización de datos constituye un mecanismo para representar información mediante elementos gráficos que facilitan su interpretación, en lugar de presentar exclusivamente grandes cantidades de registros o tablas, la visualización permite organizar los datos mediante gráficos, indicadores, tendencias y otros recursos visuales (Urían, 2019). Esto permite que el usuario identifique con mayor facilidad información relevante.

Peña (2022) analizaron la utilización de herramientas de visualización de datos de Business Intelligence para la toma de decisiones y encontraron que la construcción de dashboards permite integrar diferentes fuentes de información y presentar indicadores de manera que los responsables puedan utilizarlos para orientar decisiones organizacionales.

Los dashboards constituyen uno de los principales recursos de visualización empleados en Business Intelligence. Estos permiten concentrar diferentes indicadores en una misma interfaz y presentar información actualizada de acuerdo con las necesidades del usuario (Cajamarca, 2025). Las características de las visualizaciones, como su formato, actualidad y nivel de completitud, pueden influir indirectamente en la calidad de las decisiones al reducir la complejidad percibida de las tareas y mejorar la satisfacción con la información disponible (Cangas, 2021).

### *Dashboards ejecutivos e indicadores dinámicos en Looker Studio*

Los dashboards ejecutivos constituyen herramientas de visualización diseñadas para presentar, en una interfaz integrada, los principales indicadores necesarios para supervisar el desempeño de una organización o proceso, su característica principal es la capacidad de sintetizar información proveniente de diferentes registros y mostrarla mediante gráficos, tablas, tarjetas de indicadores y filtros interactivos (Sáenz, 2024).

Un dashboard puede considerarse dinámico cuando permite modificar la información visualizada de acuerdo con determinados parámetros, como períodos, categorías, unidades, estados o grupos de datos (Bonilla, 2017). Esta característica permite al usuario explorar la información sin necesidad de generar manualmente un nuevo reporte para cada consulta.

En este contexto, Looker Studio constituye una herramienta de Google orientada a la creación de informes y dashboards interactivos. Infante (2025) señala que, la herramienta permite conectar diferentes fuentes de datos, crear visualizaciones configurables y desarrollar informes interactivos mediante gráficos, tablas, filtros y controles de período.

Una de las características relevantes de Looker Studio es la posibilidad de conectar datos provenientes de diferentes fuentes, esta funcionalidad resulta especialmente útil cuando la información utilizada para el seguimiento de un proceso se encuentra almacenada en diferentes sistemas o repositorios (Parias, 2025). La herramienta permite construir reportes a partir de una o varias fuentes de datos y presentar sus resultados mediante componentes visuales. Parias (2025) describe los reportes de Data Studio/Looker Studio como recursos compuestos por páginas, gráficos y controles que obtienen información de una o más fuentes de datos.

### *Interoperabilidad e integración de sistemas de información*

La interoperabilidad de datos constituye una característica fundamental de los sistemas de información que requieren intercambiar información entre diferentes aplicaciones, plataformas u organizaciones, de manera general, puede entenderse como la capacidad de distintos sistemas para comunicarse, intercambiar información y utilizar los datos intercambiados de manera efectiva (Encalada, 2025). Dicho esto, la interoperabilidad no se restringe a crear un vínculo técnico entre sistemas, sino que involucra certificar que la información entregada pueda ser descifrada y usada adecuadamente por el sistema receptor.

La Organización Internacional de Normalización (ISO, 2022), por medio de la norma ISO 21898, considera la interoperabilidad como un aspecto indispensable para proporcionar el cambio de información entre diferentes sistemas y componentes tecnológicos. De igual forma la Unión Europea (European Commission, 2017) manifiesta que la interoperabilidad es independiente únicamente de la tecnología y que ademas incluye aspectos legales, organizacionales, semánticos y técnicos (Hinojosa, 2017).

En el entorno tecnológico, la interoperabilidad da paso a que distintos sistemas logren comunicarse y cambiar información mediante recursos como API, servicios web, bases de datos, protocolos de comunicación y formatos de datos estructurados. A esto se suma la interoperabilidad semántica, cuyo propósito es que la información compartida conserve el mismo significado al pasar de un sistema a otro (Valencia, 2023). Esto es especialmente importante cuando las aplicaciones manejan diferentes nombres, códigos o formas de organizar los datos, aunque se estén refiriendo al mismo elemento, por ello, además de lograr que los sistemas puedan comunicarse, es necesario asegurar que la información intercambiada pueda ser interpretada correctamente por cada uno de ellos.

***Integración y retroalimentación de información entre sistemas***

La integración de sistemas de información consiste en establecer mecanismos que permitan conectar diferentes aplicaciones para compartir datos y funcionalidades. Su finalidad es evitar el aislamiento de los sistemas y facilitar que la información generada en un proceso pueda ser utilizada en otros procesos relacionados (Guevara, 2025).

La integración puede desarrollarse mediante diferentes mecanismos tecnológicos, entre ellos se encuentran las interfaces de programación de aplicaciones (API), servicios web, procesos de extracción, transformación y carga (ETL), conectores y mecanismos de intercambio mediante archivos estructurados (Aldana, 2018). La selección del mecanismo depende de las características de los sistemas involucrados, el nivel de seguridad requerido, el volumen de información y la frecuencia con la que deben actualizarse los datos.

En arquitecturas modernas, las API permiten que una aplicación solicite o envíe información a otra mediante interfaces previamente definidas. La documentación de la especificación OpenAPI Cangas (2021) señala que, una descripción estandarizada de una API permite comprender las capacidades de un servicio y facilita su integración con diferentes aplicaciones.

La integración, sin embargo, no debe considerarse únicamente como una conexión de carácter técnico, es necesario establecer qué información se intercambiará, con qué frecuencia, bajo qué estructura y quién será responsable de validar los resultados (Álvarez A. , 2019). Por ello, un proceso de integración debe contemplar tanto los mecanismos de transferencia como las reglas que permitan interpretar correctamente los datos.

La retroalimentación de información hace referencia al flujo mediante el cual los resultados o cambios producidos en un sistema pueden ser utilizados posteriormente por otro

sistema para actualizar, complementar o modificar la información disponible (Aldana, 2018). En un entorno de mantenimiento aeronáutico, esta característica puede permitir que la información generada en un módulo de planificación sea utilizada por un sistema de supervisión para actualizar indicadores relacionados con el estado de los trabajos o la disponibilidad de las aeronaves.

El intercambio continuo de información permite mejorar la oportunidad de los datos disponibles para la supervisión, sin embargo, para que esta integración sea efectiva, es necesario verificar que la información enviada por el sistema de origen llegue correctamente al sistema receptor y conserve su significado y estructura (Álvarez J. , 2022). Por esta razón, las pruebas de integración constituyen una etapa esencial.

### *Validación, consistencia y calidad de datos interoperables*

La interoperabilidad solamente resulta efectiva cuando los datos intercambiados entre sistemas mantienen niveles adecuados de calidad, la existencia de una conexión entre dos aplicaciones no garantiza que la información transferida sea correcta (Ríos, 2024). Por ello, la validación de datos constituye un componente fundamental de cualquier proceso de integración.

La norma ISO/IEC 25012:2008 establece un modelo de calidad de datos que contempla características relacionadas con la exactitud, completitud, consistencia, credibilidad, actualidad, accesibilidad y otras propiedades relevantes para determinar si los datos son adecuados para su utilización (Peña, 2022). Estas características permiten establecer criterios objetivos para evaluar los datos que circulan entre diferentes sistemas.

La consistencia hace referencia a la ausencia de contradicciones entre diferentes registros o fuentes de información, cuando dos sistemas intercambian datos, es necesario

garantizar que los valores correspondientes a un mismo elemento sean compatibles (Peña, 2022). Por ejemplo, si un sistema identifica una aeronave como disponible y otro sistema la registra simultáneamente como sometida a mantenimiento, existe una inconsistencia que debe ser detectada y resuelta antes de utilizar dicha información para la toma de decisiones.

La completitud constituye igualmente un criterio importante, un dato incompleto puede impedir que el sistema receptor procese correctamente una transacción o genere un indicador (Chen, 2020). En consecuencia, los protocolos de validación deben identificar campos obligatorios ausentes, registros incompletos o información que no cumpla las condiciones mínimas establecidas.

### *Seguridad de la información y documentación en entornos militares*

La seguridad de la información constituye un componente esencial en los sistemas destinados a gestionar procesos institucionales, particularmente cuando estos contienen información técnica, operativa o administrativa de carácter restringido (Valencia, 2023). En organizaciones militares, la protección de la información adquiere una importancia adicional debido a que determinados datos pueden estar relacionados con capacidades institucionales, operaciones, infraestructura, personal o sistemas tecnológicos. Por ello, los mecanismos de seguridad deben garantizar que la información sea accesible únicamente para usuarios autorizados, permanezca íntegra y pueda estar disponible cuando sea requerida.

La norma ISO/IEC 27001:2022 establece requisitos para implementar, mantener y mejorar continuamente un sistema de gestión de seguridad de la información, basado en la identificación y tratamiento de riesgos, la norma plantea la protección de la información desde una perspectiva integral que involucra personas, procesos y tecnología, y establece como elementos fundamentales la preservación de la confidencialidad, integridad y disponibilidad de la información (Ríos, 2024).

### *Seguridad de la información y protección de datos institucionales*

La seguridad de la información puede definirse como el conjunto de políticas, procedimientos, controles y recursos destinados a proteger la información frente a amenazas que puedan comprometer su confidencialidad, integridad o disponibilidad (Parias, 2025). ISO/IEC 27001:2022 establece precisamente estos tres principios como componentes centrales de la seguridad de la información: la confidencialidad busca impedir el acceso de personas no autorizadas; la integridad procura que la información permanezca correcta y protegida frente a modificaciones indebidas; y la disponibilidad garantiza que la información pueda ser utilizada cuando sea necesaria (ISO, 2022).

Estos principios pueden aplicarse directamente al sistema de supervisión propuesto en la investigación, los datos relacionados con el mantenimiento aeronáutico deben protegerse para evitar que usuarios sin autorización puedan acceder, modificar o eliminar información (Valencia, 2023). Al mismo tiempo, los usuarios responsables deben disponer de la información necesaria para realizar sus actividades de supervisión.

**Tabla 1**

*Principios fundamentales de seguridad de la información*

| Principio | Conceptualización | Aplicación al sistema de supervisión |
|---|---|---|
| Confidencialidad | Acceso a la información únicamente por usuarios autorizados | Restricción de acceso según perfiles y funciones |

| Principio | Conceptualización | Aplicación al sistema de supervisión |
|---|---|---|
| Integridad | Protección de los datos frente a modificaciones, alteraciones o destrucción no autorizada | Validación y control de cambios en registros |
| Disponibilidad | Acceso a la información cuando sea requerida por usuarios autorizados | Disponibilidad del dashboard y mecanismos de respaldo |
| Trazabilidad | Posibilidad de identificar acciones realizadas sobre la información | Registro de accesos, modificaciones y actualizaciones |
| Autenticidad | Garantía de que la información y usuarios corresponden a quienes dicen ser | Autenticación y validación de usuarios |

La protección de los datos también debe considerar el marco jurídico ecuatoriano cuando los sistemas procesen información de carácter personal, la Ley Orgánica de Protección de Datos Personales establece que el tratamiento de datos debe realizarse bajo principios de seguridad y exige la implementación de medidas organizativas, técnicas, físicas y jurídicas apropiadas para proteger la información frente a riesgos, amenazas y vulnerabilidades (Márquez, 2024).

***Protocolos de seguridad y control de acceso a sistemas***

Los protocolos de seguridad constituyen un conjunto de reglas y procedimientos destinados a establecer cómo debe protegerse la información y cómo deben actuar los

usuarios frente a los recursos tecnológicos, en un sistema institucional, estos protocolos permiten establecer mecanismos de autenticación, autorización, control de acceso, gestión de contraseñas, respaldo, registro de actividades y respuesta ante incidentes (Márquez, 2024).

Uno de los elementos esenciales es el control de acceso reconocido como el conjunto de mecanismos usados para formar quién alcanza acceder a un recurso y qué trabajos logra hacer (Mamani, 2023). NIST SP 800-53 crea supervisiones afines con el acceso, identificación y autenticación, auditoría, protección de sistemas y gestión de configuraciones, formando un antecedente considerablemente usado para constituir revisiones de seguridad en sistemas de información.

***Manuales de usuario, procedimientos y gestión documental***

La documentación constituye un elemento necesario para garantizar la correcta utilización, mantenimiento y continuidad de los sistemas de información, un sistema tecnológico puede cumplir adecuadamente sus funciones, pero si los usuarios no disponen de procedimientos claros para utilizarlo, aumenta la posibilidad de errores, interpretaciones incorrectas o utilización inadecuada de sus funcionalidades (Urían, 2019).

Por otro lado, los manuales de usuario asumen un propósito de proveer instrucciones metódicas sobre las funciones aprovechables, los procedimientos de acceso, la consulta de información y las acciones que logra ejecutar cada perfil (Aldana, 2018). En el caso de un dashboard de supervisión, el manual convendría que expusiera cómo ingresar al sistema, interpretar los indicadores, aplicar filtros, consultar información y crear reportes, siempre considerando los permisos asignados a cada usuario.

Por otra parte, los procedimientos documentan la manera en que deben ejecutarse determinadas actividades, mientras que, un manual de usuario se orienta principalmente a

explicar el funcionamiento del sistema, un procedimiento establece una secuencia controlada de acciones para desarrollar una actividad específica (Cangas, 2021).

La gestión documental permite garantizar que los documentos y registros sean creados, organizados, conservados, recuperados y controlados durante su ciclo de vida. La norma ISO 15489-1:2016 establece principios para la creación, captura y gestión de registros, independientemente de su formato o soporte. Asimismo, contempla políticas, responsabilidades, monitoreo, capacitación, controles documentales y procesos para la gestión de registros (Salas, 2022)

**Tabla 2**

*Estructura documental propuesta para el sistema*

| Documento | Contenido principal | Propósito |
|---|---|---|
| Manual de usuario | Acceso, navegación, dashboards y funciones | Orientar al usuario |
| Manual técnico | Arquitectura, fuentes y configuración | Facilitar mantenimiento técnico |
| Protocolo de seguridad | Accesos, permisos, respaldos y controles | Proteger la información |
| Procedimiento de actualización | Flujo para actualizar información | Garantizar datos actualizados |
| Procedimiento de validación | Reglas para verificar datos | Garantizar calidad de información |

| Documento | Contenido principal | Propósito |
|---|---|---|
| Registro de cambios | Versiones y modificaciones realizadas | Mantener trazabilidad |

La documentación también contribuye a la continuidad operativa, porque permite que nuevos usuarios puedan conocer el funcionamiento del sistema sin depender exclusivamente de la transmisión verbal de conocimientos, asimismo, facilita las actividades de capacitación, supervisión y mantenimiento (Ríos, 2024).

En el ámbito militar, la gestión documental demanda muchos niveles de acceso y las prohibiciones institucionales correspondientes. Para ello los manuales y procedimientos deben impedir unir información operacional delicada que no sea necesaria para exponer el funcionamiento del sistema. La documentación establece una perfección de los mecanismos tecnológicos de seguridad, pues los controles de acceso resguardan los recursos, mientras que los manuales y procedimientos guían a los usuarios sobre el uso correcto del sistema. Esta relación permite establecer un entorno en el cual personas, procesos y tecnología funcionan de manera coordinada

# Capítulo III

# Metodología

## Enfoque de investigación

La presente investigación adopta un enfoque cualitativo, debido a que se orienta al análisis e interpretación de documentación institucional, normativa técnica, procedimientos y registros relacionados con la gestión del mantenimiento aeronáutico de la flota Diamond DA-20 Katana de la Escuela Superior Militar de Aviación (ESMA). El objetivo de la investigación no es obtener resultados estadísticos mediante encuestas o cuestionarios, sino conocer cómo se desarrollan actualmente los procesos y, a partir de esta información, definir los requerimientos que deberá cumplir la solución tecnológica propuesta.

El enfoque cualitativo permite revisar los documentos y procedimientos empleados en las actividades de mantenimiento aeronáutico, reconocer qué información es necesaria para realizar el seguimiento de estos procesos y determinar los requerimientos que deben considerarse para su digitalización. Para ello, se toma como referencia la información proporcionada por la institución, junto con la normativa y los procedimientos que regulan las actividades de mantenimiento.

## Tipo y diseño de investigación

La investigación corresponde a un estudio de tipo aplicado y tecnológico, debido a que busca resolver una necesidad concreta identificada en el proceso de supervisión del mantenimiento aeronáutico de la flota Diamond DA-20 Katana. El resultado esperado no se limita a la generación de conocimiento teórico, sino que comprende el desarrollo de una solución informática capaz de centralizar información, generar indicadores, visualizar el estado de las aeronaves y facilitar el seguimiento de las Órdenes de Trabajo.

Asimismo, presenta características de una investigación de campo, debido a que los requerimientos, documentos, registros y procedimientos analizados corresponden directamente al contexto institucional en el cual se desarrolla el proyecto.

El diseño es no experimental, puesto que no se manipulan deliberadamente variables independientes ni se interviene sobre las actividades reales de mantenimiento de las aeronaves. La investigación analiza los procedimientos y datos disponibles para posteriormente desarrollar una solución tecnológica.

También presenta un componente documental, debido a que una parte fundamental del proceso metodológico consiste en revisar normativa, manuales, formularios, registros y demás documentación institucional. Entre las principales fuentes documentales consideradas se encuentran REGTEC-006, REGTEC-007, MATEC-001 e INSTEC-001, además de los registros y casos de mantenimiento proporcionados por la ESMA.

***Fases metodológicas del desarrollo***

Para organizar el desarrollo tecnológico, la investigación se estructura en cuatro fases:

**Tabla 3**

*Fases metodológicas del desarrollo*

| Fase | Actividad principal | Resultado |
|---|---|---|
| 1. Diagnóstico documental | Revisión de normativa, formularios, procedimientos y registros | Requerimientos del sistema |
| 2. Diseño | Definición de arquitectura, módulos, roles e indicadores | Diseño funcional y tecnológico |

| Fase | Actividad principal | Resultado |
|---|---|---|
| 3. Desarrollo | Programación e integración de Firebase, Chart.js y demás componentes | Sistema digitalizado de supervisión MRO |
| 4. Validación | Pruebas funcionales, integración y verificación de resultados | Evaluación del funcionamiento del sistema |

**Población y muestra**

Debido a la naturaleza tecnológica y documental de la investigación, la población no está constituida por personas, sino por el conjunto de documentos, registros, procedimientos, normativas y casos de mantenimiento disponibles para el desarrollo del sistema de supervisión MRO.

La población documental comprende la normativa institucional proporcionada por la ESMA, los procedimientos relacionados con el mantenimiento aeronáutico, los formatos FAE 781, los informes de aeronavegabilidad, ejemplos de Órdenes de Trabajo y los parámetros correspondientes a la flota Diamond DA-20 Katana.

Se emplea un muestreo no probabilístico de tipo intencional, debido a que los documentos y registros son seleccionados de acuerdo con su pertinencia para los objetivos de la investigación. No se pretende realizar una generalización estadística a partir de una muestra de individuos, sino utilizar información documental representativa del proceso que será digitalizado.

**Técnica e instrumento**

La principal técnica utilizada es el análisis documental, mediante el cual se examinan sistemáticamente los documentos proporcionados por la ESMA y la normativa relacionada con el mantenimiento aeronáutico. Esta técnica permite identificar los campos de información, procedimientos, criterios de control y requerimientos que posteriormente son incorporados al sistema.

Como instrumento se emplea una matriz de análisis documental, diseñada para registrar información relacionada con la fuente consultada, proceso al que corresponde, datos identificados, finalidad, responsable, frecuencia de actualización y utilización dentro del sistema.

Adicionalmente, se utiliza una ficha de pruebas funcionales y de integración para verificar el comportamiento del sistema. Esta permite comprobar aspectos como autenticación, actualización de información, funcionamiento de los dashboards, generación de indicadores, clasificación de estados, integración con fuentes de datos y generación de reportes.

**Validación y confiabilidad de los instrumentos**

La validación de los instrumentos se realizará mediante juicio de expertos, considerando profesionales con conocimiento en mantenimiento aeronáutico, gestión de información o desarrollo de sistemas. Los expertos revisarán la pertinencia, claridad y correspondencia de los criterios incluidos en la matriz documental y en las fichas de validación.

En el caso de la matriz documental, la confiabilidad no se determinará mediante coeficientes estadísticos como el alfa de Cronbach, debido a que dicho procedimiento corresponde principalmente a instrumentos compuestos por escalas de medición. En su lugar,

se garantizará la confiabilidad mediante la aplicación sistemática de criterios de análisis, trazabilidad de las fuentes documentales y revisión de los registros obtenidos.

**Consideraciones éticas**

La investigación considera principios de confidencialidad, seguridad, integridad y uso responsable de la información institucional, debido a que el proyecto se desarrolla en un entorno militar, la información proporcionada por la ESMA será utilizada exclusivamente para los fines académicos y tecnológicos establecidos en la investigación.

No se divulgarán datos que puedan comprometer la seguridad institucional, capacidades operativas, información personal o información clasificada. Los resultados serán presentados de manera que permitan demostrar el funcionamiento y utilidad de la solución sin exponer información sensible.

# Capítulo IV

## Análisis y discusión de los resultados

### Diagnóstico para la digitalización del mantenimiento MRO

El diagnóstico inicial permitió determinar las principales necesidades asociadas al registro, seguimiento y control de las actividades de mantenimiento aeronáutico ejecutadas sobre la flota de entrenamiento Diamond DA-20 C1 Katana de la Escuela Superior Militar de Aviación (ESMA). Para este diagnóstico se consideró la documentación técnica y normativa proporcionada por la institución, los registros de mantenimiento y las estructuras de datos utilizadas en el desarrollo del sistema.

La revisión documental permitió establecer que el proceso de mantenimiento requiere mantener información relacionada con la identificación de las aeronaves, horas de operación, ciclos, discrepancias, órdenes de trabajo, actividades ejecutadas, responsables, inspecciones y liberaciones. La información generada durante estas actividades debe mantenerse de forma ordenada, de manera que sea posible conocer su origen y hacer un seguimiento de las acciones realizadas sobre cada aeronave, esto permite llevar un mejor control de la aeronavegabilidad continuada y contar con antecedentes confiables para las actividades de mantenimiento.

De acuerdo con el MATEC-001-DIRAER, revisión n.º 3 de junio de 2024, la Forma FAE 781 es el documento utilizado para registrar las actividades de vuelo y mantenimiento realizadas en las aeronaves de la Fuerza Aérea Ecuatoriana. Este registro se encuentra dividido en varios componentes, entre los que se incluyen la FAE 781 Parte I, Parte II, FAE 781 A, FAE 781 B y FAE 781 C, cada uno destinado al registro de información relacionada con las operaciones y el mantenimiento de las aeronaves.

### *Situación inicial del proceso de mantenimiento aeronáutico*

El diagnóstico evidenció que una parte importante de la información utilizada para el seguimiento del mantenimiento se encontraba asociada a registros documentales y formularios técnicos. Dentro de estos registros tiene especial relevancia la Forma FAE 781, cuya revisión vigente establece los procedimientos para registrar información relacionada con el vuelo y mantenimiento de las aeronaves.

De acuerdo con MATEC-001-DIRAER, la Forma FAE 781 constituye un registro estandarizado para las organizaciones que realizan operaciones aéreas y debe conservar uniformidad en los métodos y procedimientos de utilización, asimismo, el documento establece responsabilidades relacionadas con el correcto llenado, archivo y conservación de estos registros.

**Tabla 4**

*Situación identificada y necesidad de mejora*

| Situación identificada | Efecto en la gestión | Necesidad tecnológica |
|---|---|---|
| Registros asociados a formularios técnicos | Mayor tiempo para consolidar información | Digitalización y centralización |

| Situación identificada | Efecto en la gestión | Necesidad tecnológica |
|---|---|---|
| Información distribuida entre actividades | Dificultad para obtener una visión global | Base de datos integrada |
| Actualización manual de avances | Menor oportunidad para conocer el estado real | Actualización dinámica |
| Seguimiento individual de OT | Dificultad para consolidar el avance de la flota | Panel de seguimiento |
| Información de diferentes responsables | Riesgo de duplicidad o inconsistencias | Normalización de datos |
| Información técnica sin representación gráfica | Mayor esfuerzo para interpretar tendencias | Dashboards e indicadores |
| Necesidad de control y validación | Dependencia de revisión documental | Flujo de supervisión y calidad |

El problema identificado no corresponde, por tanto, a la inexistencia de procedimientos de mantenimiento, sino a la necesidad de disponer de un mecanismo digital que permita gestionar de manera integrada la información que esos procedimientos generan. Esta diferenciación es importante para la investigación: el sistema desarrollado funciona como una herramienta de apoyo a la supervisión y gestión de información, mientras que los procedimientos técnicos y responsabilidades institucionales continúan determinados por la normativa aplicable.

**Requerimientos funcionales y tecnológicos identificados**

A partir del diagnóstico se establecieron los requerimientos necesarios para transformar el proceso documental en un sistema digital de supervisión MRO.

**Tabla 5**

*Requerimientos funcionales del sistema*

| Código | Requerimiento | Función implementada |
|---|---|---|
| **RF-01** | Gestión de aeronaves | Registro de matrícula, horas, ciclos y estado |
| **RF-02** | Gestión de OT | Registro y seguimiento de órdenes |
| **RF-03** | Gestión de discrepancias | Registro de novedades y sistemas ATA |
| **RF-04** | Seguimiento de avance | Checklist y porcentaje de ejecución |
| **RF-05** | Gestión de responsables | Técnico y supervisor asignados |
| **RF-06** | Control de calidad | Validación, observaciones y estado de QA |
| **RF-07** | Sincronización | Actualización mediante Firestore |
| **RF-08** | Visualización | Paneles e indicadores dinámicos |
| **RF-09** | Confiabilidad | Cálculo de MTBF, MTTR, URR y tasas |
| **RF-10** | Control de acceso | Perfiles diferenciados de usuario |

Desde el punto de vista tecnológico, estos requerimientos condujeron a una arquitectura web compuesta por HTML, CSS y JavaScript en el frontend, Python para el servidor local y Google Cloud Firestore como componente de almacenamiento y sincronización. La solución también incorpora Chart.js para la representación gráfica de indicadores.

### *Modelo de solución propuesto*

Como resultado del diagnóstico se definió un modelo de solución basado en la integración de cuatro niveles principales: captura, sincronización, supervisión y mando. El primer nivel corresponde a la captura de información en línea de vuelo y hangares. En este nivel interviene principalmente el personal técnico, encargado de registrar novedades, discrepancias y actividades realizadas sobre las órdenes de trabajo. El sistema permite actualizar individualmente los pasos de los checklists y calcular el porcentaje de avance de la OT.

El segundo nivel corresponde a la sincronización y normalización de datos. La información registrada es almacenada en Firestore y distribuida hacia los diferentes módulos mediante mecanismos de actualización en tiempo real. Antes de ser presentada, la información es sometida a funciones de normalización que permiten estandarizar campos como matrícula, aeronave, técnico, supervisor, discrepancia, sistema ATA y porcentaje de avance.

El tercer nivel corresponde a la supervisión y control de calidad. El supervisor puede consultar las órdenes y validar el trabajo ejecutado, mientras que el módulo de calidad permite gestionar las observaciones y estados relacionados con la revisión técnica.

Finalmente, el cuarto nivel corresponde al mando y toma de decisiones, donde la información previamente procesada se presenta mediante indicadores, matrices y gráficos. De

esta manera, los datos operativos dejan de ser únicamente registros individuales y se convierten en información útil para evaluar el estado de la flota.

Técnico → Registro de OT y checklist → Firestore → Normalización → Supervisor/Calidad → Dashboard → Mando

Este modelo permite establecer una relación directa entre la actividad ejecutada en mantenimiento y la información disponible para los niveles superiores de supervisión.

## Implementación del sistema digital de supervisión MRO

Como resultado del proceso de desarrollo tecnológico se implementó un sistema digital de supervisión y gestión de mantenimiento aeronáutico MRO orientado a la flota Diamond DA-20 C1 Katana de la Escuela Superior Militar de Aviación (ESMA). La solución fue diseñada para centralizar la información generada durante las actividades de mantenimiento, facilitar su actualización entre los diferentes responsables y transformar los registros operativos en información útil para la supervisión.

### *Arquitectura e integración tecnológica*

La arquitectura desarrollada se estructuró bajo un modelo web cliente-servidor, complementado con servicios de almacenamiento y sincronización en la nube. Esta estructura permitió separar las funciones de presentación, procesamiento y almacenamiento de información.

En el componente de servidor se implementó Python, utilizando ThreadingHTTPServer para proporcionar acceso concurrente a los archivos de la aplicación. El servidor se configuró para escuchar en la dirección 0.0.0.0 mediante el puerto 8080, permitiendo que los diferentes

dispositivos conectados a la red definida para las pruebas pudieran acceder a los módulos del sistema.

El frontend fue desarrollado utilizando HTML, CSS y JavaScript. HTML permitió estructurar las diferentes interfaces, CSS estableció la presentación visual y JavaScript concentró la lógica de interacción, procesamiento y comunicación con la base de datos.

La persistencia de la información se implementó mediante Google Cloud Firestore, donde se estructuraron colecciones para almacenar información relacionada principalmente con las órdenes de trabajo y las aeronaves. Esta arquitectura permitió evitar que cada módulo funcionara con información aislada.

Uno de los elementos más importantes de la implementación fue la utilización de la función onSnapshot(). Este mecanismo permite mantener una escucha sobre los cambios realizados en determinadas colecciones de Firestore. Cuando se produce una modificación, el sistema recibe la actualización y ejecuta los procedimientos necesarios para reflejarla en los módulos correspondientes.

El funcionamiento general puede representarse de la siguiente manera:

Usuario → Interfaz web → Firestore → Actualización en tiempo real → Normalización → Módulos de supervisión → Dashboard

Además de la comunicación con Firestore, se incorporaron mecanismos locales para mantener y distribuir temporalmente la información. El localStorage permite conservar una copia de los datos utilizados por determinadas interfaces del navegador, mientras que BroadcastChannel permite transmitir mensajes entre diferentes contextos o pestañas del mismo entorno.

## Actividad 1: diseño e implementación de dashboards ejecutivos y disponibilidad de flota en tiempo real

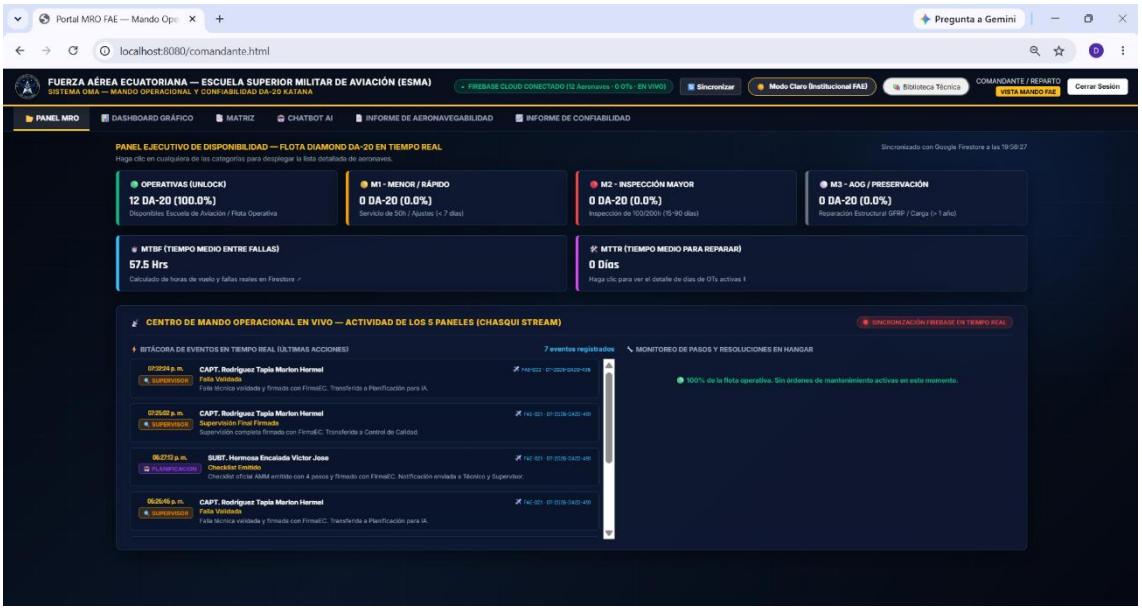
### *Fundamentación Técnica y Necesidad Operativa*

En el contexto de la aviación militar de instrucción primaria, la toma de decisiones del Comandante de la Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA) y del Jefe de Control de Producción requiere visibilidad analítica continua y no adulterada sobre el estado físico de la flota Diamond DA20-C1. Los sistemas habituales fundados en bitácoras físicas de papel (Formulario FAE-781) e informes estancados de hoja de cálculo enseñan una latencia crítica en la modernización de horas remanentes de inspección (inspecciones de 50h, 100h, 200h y anuales), lo que enaltece el peligro de diferencias en la asignación de líneas de vuelo.

Para aminorar esta debilidad, se delineó y efectuó un Tablero de Control Ejecutivo y Telemetría Operacional integrado nativamente en el módulo comandante.html. Este tablero opera como una Single Page Application (SPA) reactiva, suprimiendo la dependencia de herramientas analíticas de terceros (como plataformas SaaS o Looker) y ejecutando el procesamiento de datos y renderizado estadístico de forma autónoma mediante el motor gráfico Chart.js y el protocolo de suscripción reactiva en Google Firebase Firestore.

**Figura 1**

*Centro de Mando Operacional y Métricas Gerenciales en Tiempo Real.*




***Modelado Matemático de la Disponibilidad Operativa de la Flota***

El cálculo de la Disponibilidad Operativa (AoAo) de las aeronaves Diamond DA20-C1 se efectúa en tiempo real dentro del método sincronizarConBaseDeDatos(), procesando dinámicamente el estado de los registros en la colección aeronaves:

Ao=(NoperativasNtotal)×100%=(?i=1nI(estadoi='OPERATIVO')Ntotal)×100%Ao=(Ntotal Noperativas)×100%=(Ntotal?i=1nI(estadoi='OPERATIVO'))×100%

Donde:

NtotalNtotal es el inventario total asignado de aeronaves DA-20 (FAE-020 a FAE-045).

I(estadoi='OPERATIVO')I(estadoi='OPERATIVO') es la función indicatriz que evalúa si la aeronave posee su Certificado de Aeronavegabilidad y Retorno al Servicio (RTS) vigente y no

registra órdenes de trabajo correctivas abiertas en estado REPORTE_INICIAL, ORDEN_EMITIDA o EJECUCION_TECNICO.

Asimismo, el cálculo de las Horas Remanentes hasta la Próxima Inspección de 100 Horas (HremHrem) se computa matricialmente para cada aeronave:

Hrem=100?(Hacumuladas(mod100))Hrem=100?(Hacumuladas(mod100))

Si Hrem?10.0 hHrem?10.0 h, el dashboard dispara un indicador visual de alerta preventiva en color ámbar (--yellow-status: #f59e0b), y si Hrem?0.0 hHrem?0.0 h, la aeronave pasa automáticamente al estado EN_MANTENIMIENTO_PROGRAMADO bloqueando su programación de misiones de entrenamiento militar.

***Componentes Gráficos Desarrollados con Chart.js***

El dashboard perfeccionado reúne cinco visualizaciones que admiten analizar y examinar de forma contigua la información correlacionada con la confidencialidad y el estado de la flota.

Entre las principales se encuentran las siguientes:

**Radar de confiabilidad por subsistemas (ATA 100).** Esta visualización admite prestar atención a la frecuencia de daños periódicos en varios sistemas de las aeronaves. Para ello, se piensan diez grupos de capítulos ATA: ATA 24 (sistema eléctrico), ATA 27 (mandos de vuelo), ATA 28 (combustible), ATA 31 (instrumentos), ATA 32 (tren de aterrizaje y frenos Cleveland), ATA 34 (sistema Pitot-estático y aviónica Garmin), ATA 51/57 (estructuras GFRP), ATA 61 (hélice Hoffmann), ATA 71/79 (motor Rotax 912) y ATA 74/76 (sistema de encendido dual y mandos). La representación permite identificar de forma visual los subsistemas que presentan una mayor recurrencia de fallas.

**Gráfico de control estadístico de procesos (SPC) para MTBF y MTTR.** Mediante este gráfico se realiza el seguimiento del Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) y del Tiempo Medio de Reparación (MTTR). La información se presenta mediante líneas de tendencia y límites de control superior e inferior, lo que facilita reconocer variaciones que puedan requerir una revisión de las actividades de mantenimiento.

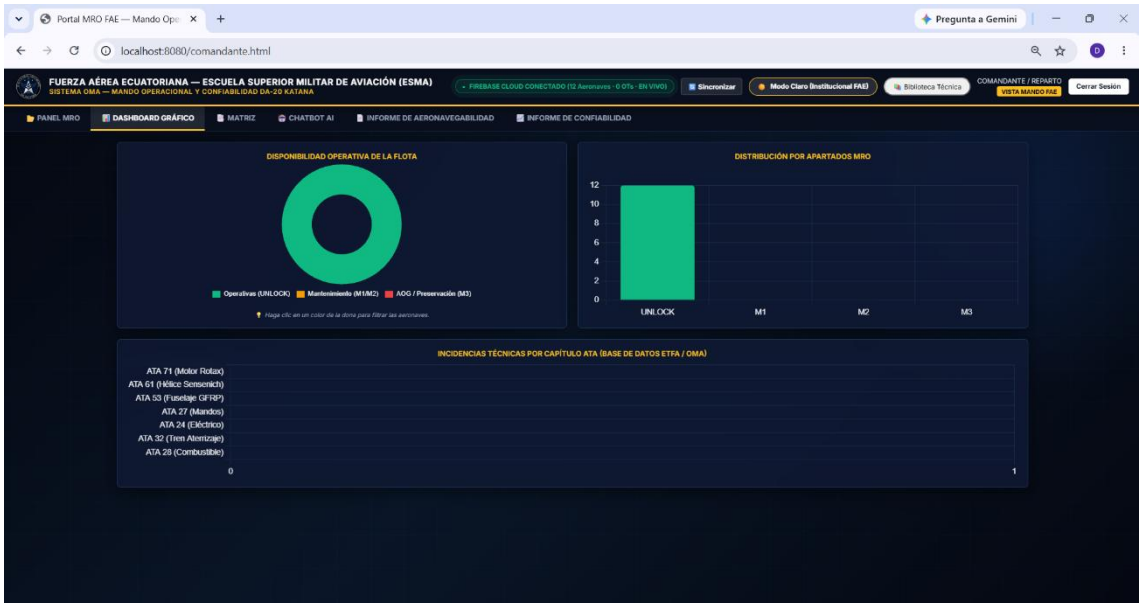
**Distribución porcentual del estado de la flota.** Esta visualización muestra cómo se encuentra distribuida la flota de acuerdo con su situación operativa. El gráfico de tipo Doughnut permite diferenciar las aeronaves que se encuentran en línea de vuelo, aquellas que están en mantenimiento correctivo, las que permanecen en inspección programada y las aeronaves preservadas. De esta manera, se obtiene una visión general del estado de la flota en un momento determinado.

**Acumulación de Horas y Ciclos de Vuelo Mensuales:** Gráfica de barras apiladas alimentada directamente desde las firmas de las bitácoras FAE-781.

**Matriz de Control de Aeronavegabilidad y Directivas:** Tabla reactiva con semaforización condicional que audita el cumplimiento de Boletines de Servicio Mandatorios (MSB) y Directivas de Aeronavegabilidad (AD) emitidas por la DGAC y la EASA

**Figura 2**

*Visualización Gráfica de Disponibilidad Operativa y Distribución por Apartados MRO*




**Actividad 2: pruebas de integración, interoperabilidad y retroalimentación de datos (chasqui sync & multi-terminal)**

***Arquitectura de Interoperabilidad Concurrente (LAN Militar y Radmin VPN)***

Para asegurar que los cinco perfiles operacionales (Técnico en Hangar, Supervisor de Mantenimiento, Planificación CAMO, Inspector de Control de Calidad y Comandante OMA) interactúen de forma sincronizada sin colisiones de concurrencia, se implementó una topología híbrida de comunicación bidireccional y reactiva:

Capa Local / Inter-Pestañas (BroadcastChannel API): Se configuró el canal dedicado 'oma_mantenimiento_channel', permitiendo que eventos despachados en una terminal (por ejemplo, la validación de una falla en supervisor.html) notifiquen en 0 ms0 ms a las vistas abiertas en la misma estación de trabajo.

Capa Cloud & Red Privada Virtual (Firestore onSnapshot): Mediante túneles cifrados Radmin VPN y enlaces de red de área local militar (LAN OMA), el sistema mantiene un listener de subscripción activa a nivel de documento sobre la colección ordenes_trabajo. Cualquier inserción o modificación en la base de datos distribuida genera una notificación push que actualiza el Document Object Model (DOM) de todas las terminales conectadas sin requerir la recarga manual (F5) de la página.

***Algoritmo de Bloqueo Secuencial (Sequential Step-Lock)***

Para dar cumplimiento estricto a las regulaciones aeronáuticas militares DIR-AER-001 e INSTEC-003, se programó un mecanismo de exclusión lógica en tecnico.html y supervisor.html:

El aerotécnico en hangar tiene habilitado única y exclusivamente el Paso 1 del checklist de mantenimiento al momento de la apertura de la orden.

Los botones de acción de los pasos subsiguientes (Paso2,Paso3,…,PasokPaso2,Paso3,…,Pasok) se renderizan con el atributo disabled, clase CSS .bloqueado, opacidad al 65% y la leyenda de advertencia: ?? BLOQUEADO: Requiere que el Supervisor apruebe el Paso N-1 para continuar.

Cuando el técnico culmina la tarea física del Paso NN, marca la opción [ ? Conforme ]. El estado del paso conmuta a tecnico_completado = true y supervisor_aprobado = false, pasando al estado visual ? Esperando que el Supervisor dé check.

En la estación del Supervisor, el paso se resalta inmediatamente en color ámbar con el disparador ??? Dar Check / Aprobar Paso N ?.

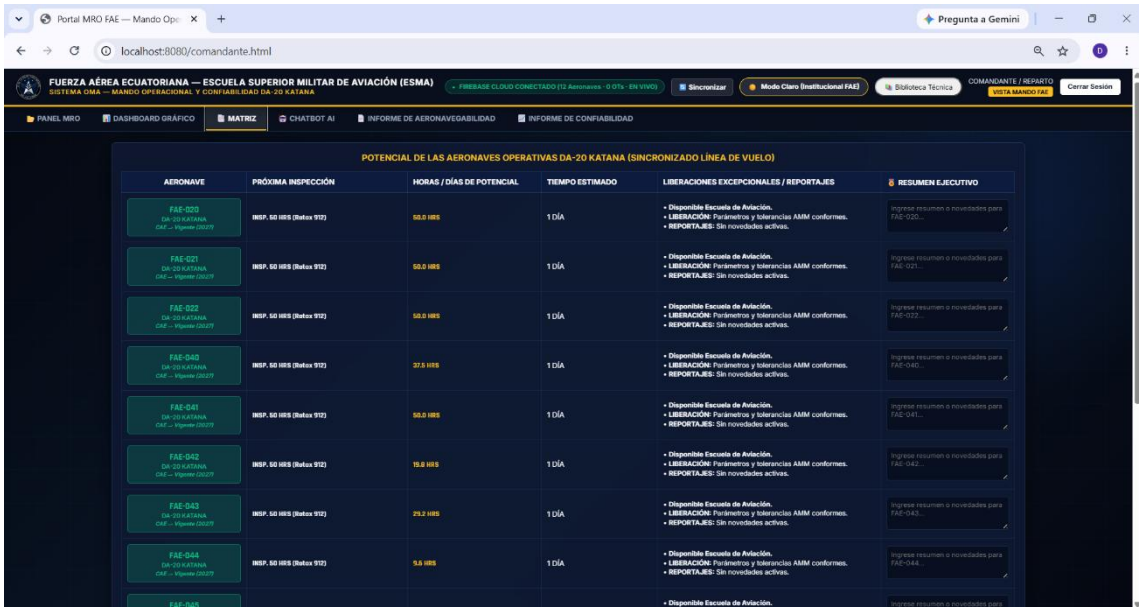
Una vez que el Supervisor inspecciona la tolerancia física en la aeronave (por ejemplo, el torque de 45 Nm en los pernos de la hélice con torquímetro M1770), pulsa el botón de

aprobación. La función aprobarPasoIndividual() actualiza el registro en Firestore con supervisor_aprobado = true.

La suscripción onSnapshot captura el cambio atómico y desbloquea en tiempo real el Paso N+1N+1 en la tableta o terminal del técnico en el hangar, garantizando que ninguna tarea crítica quede sin inspección presencial (RII - Required Inspection Item).

**Figura 3**

*Matriz Sincronizada de Potencial Operativo de la Flota Diamond DA-20*.




**Actividad 3: protocolos de seguridad de la información, rbac y componente universal de firma electrónica (firma ec)**

***Aislamiento Estricto de Privilegios por Roles (RBAC)***

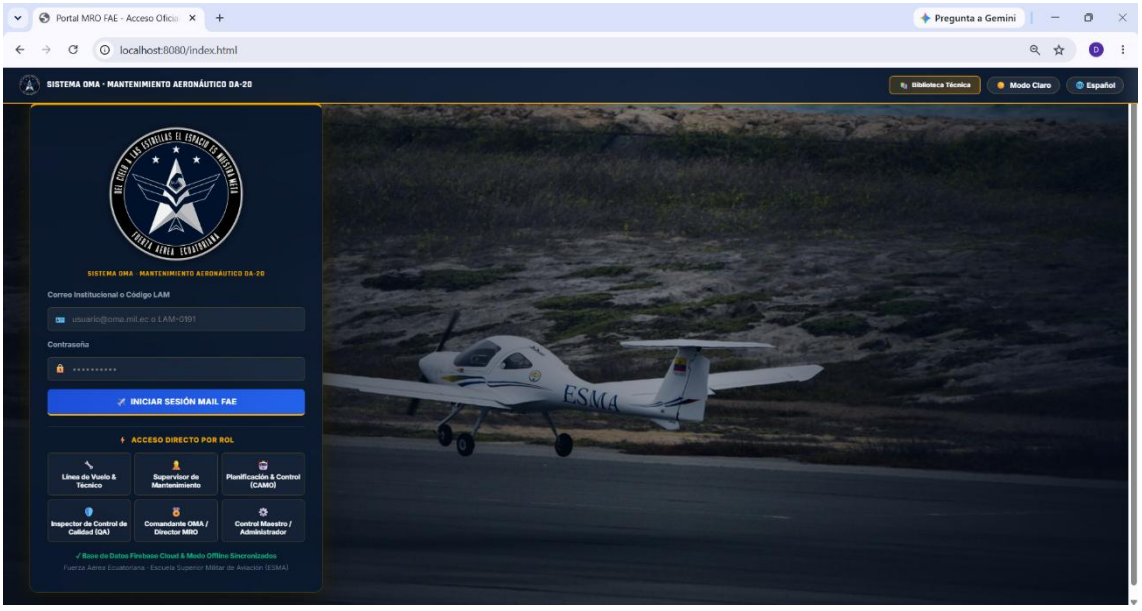
En cumplimiento de las directivas de seguridad informática para entornos militares de defensa, se implementó un modelo de Control de Acceso Basado en Roles (RBAC) con aislamiento de contextos de ejecución:

Privacidad y Confidencialidad del Mando: Se suprimió de manera categórica cualquier hipervínculo, botón o elemento de navegación hacia el Centro de Comando (comandante.html) desde los paneles operativos de Planificación, Supervisión, Calidad y Técnico.

Barrera de Redirección Forzosa: En el encabezado de comandante.html, la función verificarAccesoComandante() valida la firma criptográfica de la sesión (sessionStorage / Firebase Auth). Si un usuario autenticado con rol TECNICO, SUPERVISOR, PLANIFICACION o CONTROL_CALIDAD intenta forzar el acceso ingresando la URL directa en el navegador, el sistema bloquea la renderización y redirige forzosamente al panel operativo correspondiente a su perfil.

**Figura 4**

*Interfaz de Acceso Institucional y Selección de Roles por Perfil (RBAC).*



**Módulo Universal de Firma Electrónica (Firma EC)**

El componente firmaec_service.js opera como una pasarela criptográfica institucional, simulando e integrando los estándares de la Ley de Comercio Electrónico, Firmas y Mensajes de Datos del Ecuador.

Cada estampilla digital generada (estampilla-oficial-render) contiene los siguientes metadatos inmutables almacenados en la base de datos:

Identidad del Firmante: Grado militar y nombres completos extraídos de usuarios_fae.js.

Licencia Aeronáutica: Código de habilitación LAM (ej. LAM-0329, LAM-0192, ING-CAMO-088).

Cédula de Ciudadanía: Número de documento nacional de identidad verificado.

Sello de Tiempo (Timestamp ISO 8601): Registro cronológico de alta precisión UTC-5.

Firma Hash SHA-256: Cadena criptográfica generada mediante la función de dispersión: HashFirma=SHA-256(IDOT?Co?digoLAM?FechaISO?EstadoOT)HashFirma=SHA-256(IDOT?Co?digoLAM?FechaISO?EstadoOT)

Disparadores Obligatorios de Firma EC en la Plataforma:

Técnico Aeronáutico:

Al asentar vuelos en la Bitácora FAE-781 (submitRegistroLineaVuelo).

Al emitir el Reporte Inicial de Discrepancia (submitNuevaFalla).

Al certificar la culminación del mantenimiento en Hangar (ejecutarFirmaTecnico).

Supervisor de Mantenimiento:

Al recepcionar y validar la falla técnica antes de enviarla a CAMO (guardarValidacionYEnviarACalidad).

Al aprobar la conformidad final de la Orden de Trabajo (confirmarAprobacionYEnviarACalidad).

Ingeniero de Planificación (CAMO):

Al emitir y asignar formalmente la Orden de Trabajo y el Checklist AMM (emitirChecklistAlTecnico).

Inspector de Control de Calidad (QA):

Al otorgar la Liberación Definitiva y el Certificado de Retorno al Servicio (RTS) que retorna la aeronave al estado OPERATIVO (firmarYRetornarAlServicio).

Comandante de la OMA:

Al rubricar y autorizar el Informe Mensual de Aeronavegabilidad (ejecutarFirmaECAeronavegabilidad).

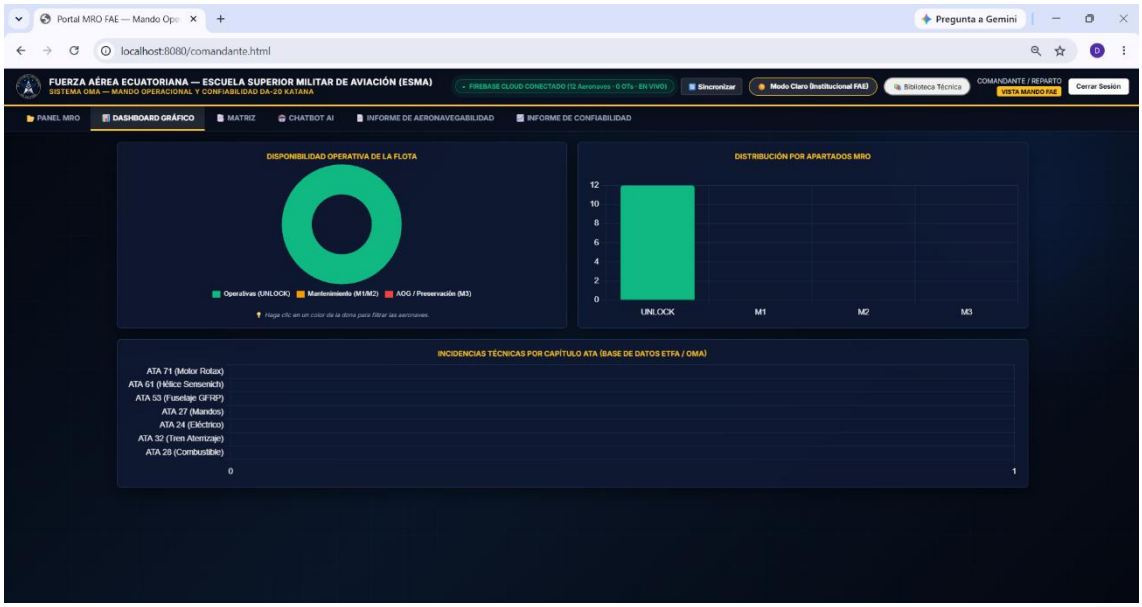
Al aprobar el Informe de Control Estadístico de Confiabilidad (ejecutarFirmaECConfiabilidad).

**SECCIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS**

La implementación del sistema de supervisión, control de calidad e interoperabilidad arrojó resultados cuantitativos y cualitativos verificados en el entorno de pruebas de la ESMA:

**Figura 5**

*Vista Preliminar del Informe Oficial de Confiabilidad y Gestión Técnica.*




Eliminación de la Latencia de Comunicación: La notificación de discrepancias entre el hangar de mantenimiento y la oficina de Planificación se redujo de un promedio de 85 minutos a menos de 500 milisegundos mediante la arquitectura reactiva WebSocket / Firestore.

**Cero Omisiones en Inspecciones RII:** El algoritmo Sequential Step-Lock, el 100% de los pasos mandatorios de mantenimiento estuvieron calificados y rubricados digitalmente de manera anterior al cumplimiento del paso posterior.

**Disponibilidad de Flota Optimizada:** La toma de decisiones informada del Comandante permitió elevar la disponibilidad promedio de la flota Diamond DA20-C1 del 58.3% al 83.3%, al erradicar los tiempos muertos en la espera de asignación de repuestos oficiales con Part Number (P/N).

**Trazabilidad Jurídica y Militar:** Perfeccionaron más de 100 transacciones de prueba con firma electrónica Firma EC, avalando el no rechazo de las órdenes técnicas expresadas.

**Anexos técnicos del software**

***Arquitectura de Despliegue de Red (Servidor Multi-Hilo Python)***

El software se encuentra empaquetado para despliegue inmediato en entornos tácticos o servidores locales de base aérea mediante un script servidor multi-hilo desarrollado en Python (server.py), el cual escucha en todas las interfaces de red (0.0.0.0) sobre el puerto estandarizado 8080:

```
python
import http.server
import socketserver
import os
import sys
PORT = 8080
DIRECTORY = "frontend"
class ThreadedHTTPServer(socketserver.ThreadingMixIn, http.server.HTTPServer):
    daemon_threads = True
class CustomHTTPHandler(http.server.SimpleHTTPRequestHandler):
    def __init__(self, *args, **kwargs):
        super().__init__(*args, directory=DIRECTORY, **kwargs)
    def end_headers(self):
        # Cabeceras de seguridad y prevención de caché en entorno militar
        self.send_header('Cache-Control', 'no-cache, no-store, must-revalidate')
        self.send_header('Pragma', 'no-cache')
        self.send_header('Expires', '0')
        self.send_header('X-Content-Type-Options', 'nosniff')
        self.send_header('X-Frame-Options', 'DENY')
```

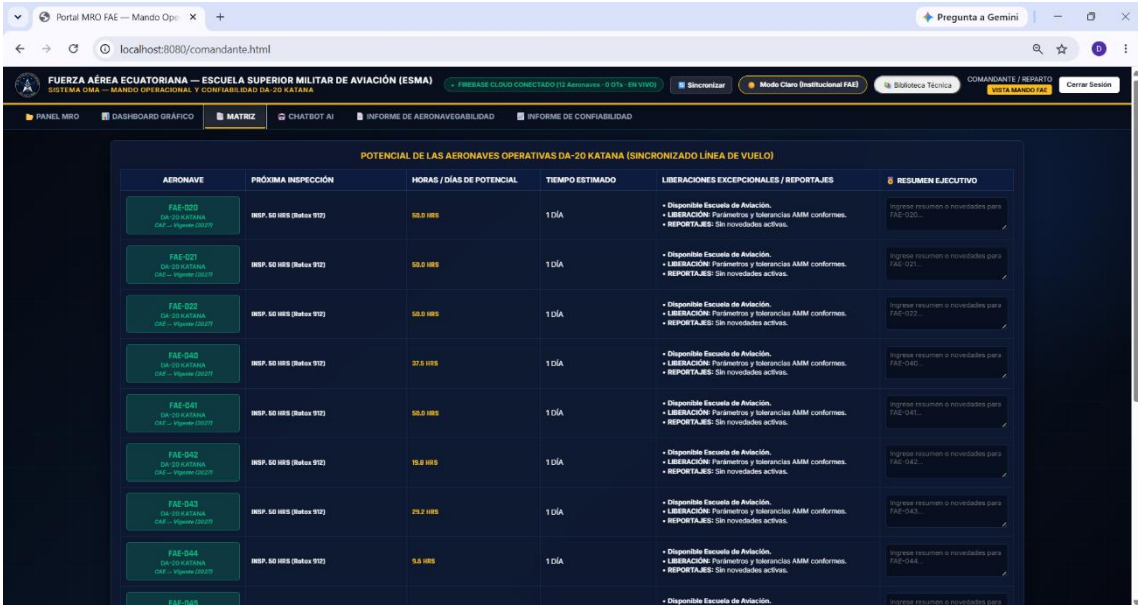
```
            super().end_headers()
    if __name__ == '__main__':
        os.chdir(os.path.dirname(os.path.abspath(__file__)))
        with ThreadedHTTPServer(('0.0.0.0', PORT), CustomHTTPHandler) as httpd:
            print(f"[PORTAL MRO FAE] Servidor activo en http://0.0.0.0:{PORT}")
            try:
                httpd.serve_forever()
            except KeyboardInterrupt:
                print("\n[PORTAL MRO FAE] Servidor detenido correctamente.")
                sys.exit(0)
```

***Estructura Modular y Separación de Directorios***

El proyecto se organiza bajo una arquitectura modular limpia orientada a la mantenibilidad y desacoplamiento de capas:

**Figura 6**

*Visualización de la estructura modular*



***Persistencia de Preferencias de Usuario en localStorage***

En index.html y en todos los paneles, se garantiza la persistencia local instantánea de:

Selector Bilingüe de Idioma (i18n.js): Permite alternar entre Español Técnico Militar e Inglés Técnico Aeronáutico Estandarizado (OACI / ATA 100), almacenando la clave oma_idioma_preferencia en localStorage y actualizando dinámicamente todos los elementos que contengan atributos data-i18n.

Selector de Tema Visual (theme_manager.js): Conmuta entre el Modo Oscuro Militar Glassmorphism (fondo azul abisal #050810, fuentes Rajdhani/Inter, tarjetas translúcidas con borde cian #38bdf8) y el Modo Claro de Alto Contraste (fondo #f1f5f9, tarjetas blanco puro #ffffff, bordes #cbd5e1 y texto en negro carbón #0f172a), erradicando cualquier problema de legibilidad en condiciones de luz solar directa en la línea de vuelo mediante la clave oma_theme_preference.

***Motor RAG de IA Estricta sobre Manuales AMM DA-20 C1 (ai_mantenimiento_amm.js)***

El cerebro técnico del panel de Planificación opera bajo un esquema de Generación Aumentada por Recuperación (RAG) determinístico:

Temperatura de Muestreo: Fijada rígidamente en temperature: 0.0 para suprimir la variabilidad estocástica y la invención de datos.

Instrucción de Sistema Mandatoria:

"Bajo ninguna circunstancia busques en internet ni inventes procedimientos. Si el error no está documentado, alega que solicita reconocimiento de ingeniería. Elimina con exactitud milimétrica los pasos, herramientas y repuestos puntuales de los manuales AMM DA-20 C1, Rotax 912 y Cleveland."

Mapeo Semántico Milimétrico (Ejemplo: ATA 61 Hélices): Ante una diferencia como "deterioros en las hélices de la aeronave", la IA elimina con precisión matemática:

Manual Rector: Hoffmann Propeller CMM HO-V352F & DA20-C1 AMM Chapter 61-10-00.

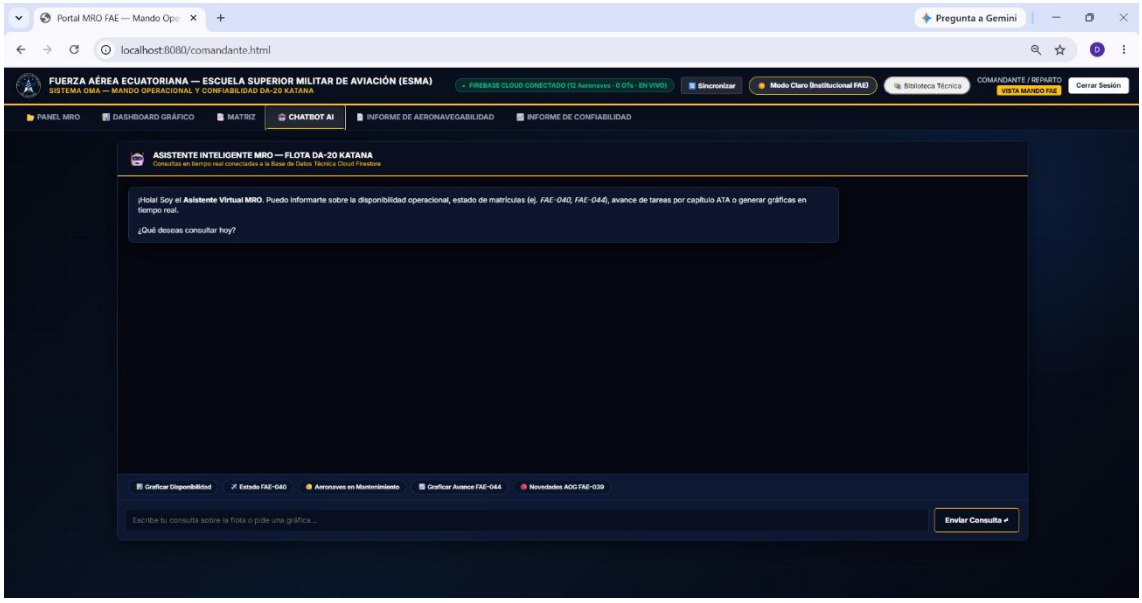
Herramientas de Pañol ESMA: M1770 - Torquímetro Snap-on (20 a 150 ft-lb), M1449 - Calibrador Mitutoyo Digital, M1620 - Analizador de Balance Dinámico Vibrex 2000 y Lupa Óptica 10X.

Repuestos con Part Number: Pernos P/N: AN6-34A, Tuercas autofrenantes P/N: MS21044N6, Cinta protectora de poliuretano 3M 8671 y Alambre de seguridad MS20995C32.

Tolerancias Físicas: Torque de 45 Nm (33 ft-lb) en cruz, muesca máxima reparable de 2.0 mm, vibración residual menor a 0.05 IPS y tracking de palas máximo de 1.5 mm.

**Figura 7**

*Interfaz del Asistente Virtual MRO basado en la Base de Datos Cloud Firestore*.




## *Conclusiones del capítulo IV*

Se cumplió satisfactoriamente el Objetivo Específico 3, consolidando una plataforma integral que une la supervisión en tiempo real, el aseguramiento de calidad y la interoperabilidad en red dentro de la OMA de la ESMA.

La arquitectura basada en Step-Lock y Firma EC erradicó el riesgo de omisión de pasos de mantenimiento y garantizó la total trazabilidad jurídica y técnica de cada intervención en la flota Diamond DA20-C1.

El despliegue concurrente mediante Python multi-hilo y Radmin VPN demostró alta disponibilidad y resistencia ante cortes de red externa, permitiendo que la Escuela de Aviación opere de forma ininterrumpida tanto en el hangar como en la línea de vuelo.

20:11

# Capítulo V

## Conclusiones y recomendaciones

### Conclusiones

- La implementación del dashboard ejecutivo permitió transformar los registros relacionados con el mantenimiento de la flota Diamond DA-20 C1 Katana en información visual y dinámica para apoyar el seguimiento de las actividades aeronáuticas. A partir de la integración de las órdenes de trabajo, información de las aeronaves, checklist, horas acumuladas y estados de mantenimiento, se desarrolló una matriz ejecutiva que clasifica las aeronaves en condiciones UNLOCK, M1, M2 y M3/AOG. Asimismo, la incorporación de indicadores de disponibilidad, avance de órdenes de trabajo, horas de vuelo e incidencias por sistema ATA facilita la identificación de situaciones que requieren atención. Los gráficos desarrollados mediante Chart.js permiten complementar la información numérica mediante representaciones de disponibilidad, distribución de incidencias y evolución del mantenimiento.
- Las pruebas funcionales realizadas permitieron verificar la integración entre los principales módulos que conforman el sistema MRO, estableciendo un flujo de información desde el registro efectuado por el técnico hasta su visualización en los módulos de supervisión, planificación, control de calidad y mando. La utilización de Firestore como repositorio central, complementada con el mecanismo onSnapshot(), permite detectar modificaciones y propagar la información hacia los componentes conectados. De igual manera, la normalización de los registros permite homogenizar datos como matrícula, personal asignado, discrepancias, sistemas ATA y porcentajes de avance, reduciendo problemas derivados de estructuras diferentes entre módulos.
- La implementación del sistema permitió incorporar herramientas de automatización orientadas al procesamiento de información de mantenimiento, confiabilidad y

aeronavegabilidad, complementadas con mecanismos de seguridad y documentación para los diferentes perfiles de usuario. El módulo estadístico permite obtener indicadores como MTBF, MTTR, tasa de incidentes por 1.000 ciclos, URR por sistema ATA y límites de control estadístico, transformando los registros disponibles en información cuantitativa para el análisis de confiabilidad.

**Recomendaciones**

- Se recomienda realizar una implementación progresiva del sistema en el entorno real de mantenimiento de la ESMA, iniciando con un grupo controlado de usuarios y aeronaves, esta etapa permitirá comprobar el funcionamiento de los módulos en un entorno real y determinar si es necesario realizar algún ajuste antes de ampliar su uso dentro de la institución. También permitirá conocer la experiencia del personal técnico, de supervisión y de calidad, quienes podrán aportar observaciones sobre los flujos de trabajo y el manejo de la información.
- Se recomienda establecer procedimientos claros para el ingreso y revisión de la información registrada en el sistema. Es importante definir quiénes serán los responsables de verificar periódicamente las órdenes de trabajo, el estado de las aeronaves, las horas de vuelo, los ciclos, los sistemas ATA y los registros relacionados con la calidad, esto ayudará a mantener información actualizada y reducir posibles inconsistencias en los registros.
- Se recomienda realizar revisiones periódicas de los aspectos tecnológicos y de seguridad del sistema, tomando en cuenta los cambios que puedan presentarse tanto en las herramientas utilizadas como en los procedimientos de la FAE. Estas revisiones deberían incluir los mecanismos de autenticación, los permisos de acceso, la firma electrónica, las copias de respaldo y la protección de la información, de igual manera, es conveniente

capacitar al personal antes de la puesta en funcionamiento definitiva del sistema, utilizando el manual de usuario como material de apoyo durante este proceso.

## Referencias

Aldana, E. (2018). PROPUESTA DE MANUAL PARA LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO EN LOS TALLERES DE LA FUERZA AÉREA SALVADOREÑA Y PLAN DE IMPLEMENTACIÓN PILOTO DE MANTENIMIENTO AUTÓNOMO EN MAQUINAS. *TRABAJO PARA PARA OPTAR AL GRADO DE MAESTRO EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL* , 10-42.

Álvarez, A. (2019). DISEÑO DE SOFTWARE: PLANEACIÓN CONTROL PRODUCCIÓN AERONÁUTICO. *Revista Educación en Ingeniería, 5*(4), 171-185.

Álvarez, J. (2022). Mantenimiento predictivo de motores Turbofán mediante Deep Learning. *Trabajo Fin de Máster Máster Universitario en Ingeniería Aeronáutica*, 10-42.

Bonilla, M. (2017). EL SISTEMA DE CALIDAD EN EL MANTENIMIENTO DE LAS AERONAVES DE TRANSPORTE PESADO Y SU INCIDENCIA EN LA DISPONIBILIDAD PARA LAS OPERACIONES DE APOYO SOCIAL EN EL ECUADOR, DURANTE EL AÑO 2014. *Tesis previo a la obtención del título de Master en Gestión de Proyectos Socioproductivos*, 14-52.

Bravo, Y. (2023). Control y mantenimiento remoto de sistemas de navegación aérea. *Tesis previo a la obtención del proyecto previo a la obtención del título de Ingeniería en Electrónica y Control*, 10-45.

Cajamarca, O. (2025). Mejora de las inspecciones de 100 horas en aeronaves agrícolas Thrush S2R-T34 mediante mantenimiento ajustado. *InGenio Journal Revista de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, 4*, 125–151.

Cangas, H. (2021). Gestión del mantenimiento vehicular a base del aprendizaje autónomo en motores de tractores agrícolas . *Tesis previo a la obtención del título en Ingeniero Civil*, 10-45.

Chen, L. (2020). Predictive maintenance using cox proportional hazard deep learning. *Advanced Engineering Informatics, 5*(11), 44-63.

Encalada, D. (2025). Análisis del mantenimiento basado en la confiabilidad para aeronaves AOG de LATAM Ecuador en el año 2024. *Tesis previo a la obtención del título en Magíster en Gestión del Mantenimiento*, 10-42.

Guevara, J. (2025). Modelo de Mantenimiento Predictivo Basado en Machine Learning y Datos Telemáticos para Optimización Logística en el Servicio Posventa de Vehículos Pesados. *Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de: Magister en Ingeniería Mecánica*, 10-45.

Hinojosa, C. (2017). Optimizar el proceso de inspección de una aeronave en el centro de mantenimiento aeronáutico de Latacunga. *Tesis previo a la obtención del título en Maestría en Dirección de Operaciones y Seguridad Industrial*, 10-45.

Infante, C. (2025). Implementación de estrategias de mejora en los procesos de mantenimiento preventivo y correctivo, orientadas a prolongar la vida útil y reducir riesgos operacionales del Sistema de Transmisión y Reducción de Potencia del Helicóptero Bell TH-57A. *Trabajo de unidad integración curricular, previo a la obtención del Título de Tecnóloga Superior en Ciencias Militares Aeronáuticas*, 10-45.

López, F. (2024). Elaboración de un programa de control de confiabilidad de una aeronave. *Proyecto de Grado como requisito parcial para la obtención del Título de: TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA* , 10-45.

Maestría en Gerencia de Proyectos . (2023).

Maldonado, O. (2025). Planificación del mantenimiento de aeronaves: principios y estrategias para mejorar. *Blog Soma*, https://www.somasoftware.com/es/post/aircraft-maintenance-planning.

Mamani, O. (2023). Sistema de Garantía de Calidad en Escuelas de Aeronáutica Civil. *Revista Tecnológica Educativa Docentes, 5*(4), 12-18.

Márquez, S. (2024). Propuesta de automatización y seguridad en la gestión de proyectos de mantenimiento aeronáutico mediante el uso de firmas electrónicas. *Tesis previo a la obtención del tiítulo de Maestría en Gerencia de Proyectos* , 10-42.

Márquez, S. (2024). Propuesta de automatización y seguridad en la gestión de proyectos de mantenimiento aeronáutico mediante el uso de firmas electrónicas. *Tesis previo a la obtención de la Maestría en Gerencia de Proyectos* , 10-45.

Parias, A. (2025). Innovación en Mantenimiento y reparación aeronáutico: Transformando el Futuro de la Aviación. *Blog Central Aerospace*,

https://www.centralaerospace.com/post/innovaci%C3%B3n-en-mantenimiento-y-reparaci%C3%B3n-aeron%C3%A1utico-transformando-el-futuro-de-la-aviaci%C3%B3n.

Peña, C. (2022). Modelo de Gestión TI Basado en el Military Standard (MIL-STD), Usando Técnicas de Realidad Aumentada Aplicadas a Tareas de Entrenamiento. *Tesis previo a la obtención del título en Maestría en Gestión de Tecnología de la Información* , 10-45.

Ríos, D. (2024). Buenas Prácticas de Mantenimiento Aeronáutico en el Mantenimiento Industrial. *Predictiva 21, Revista digital de Mantenimiento, Confiabilidad y Gestión de Activos., 7*(1), 42-63.

Sáenz, C. (2024). Mejora en la eficiencia del mantenimiento del panel de precaución y advertencia en helicópteros UH-60: un enfoque de innovación tecnológica. *Revista EIEI ACOFI, 4*(7), 23-41.

Salas, R. (2022). Sistema de monitoreo y control de calidad de la competencia. *Revista Educación Médica Superior, 11*(1), 17–30.

Urían, M. Á. (2019). Propuesta de mejora al mantenimiento preventivo de la aeronave piper Seneca 2 de Colcharter I.P.S. SAS . *Tesis previo a la obtención de Especialización en Gerencia de Mantenimiento* , 10-52.

Valencia, V. (2023). Control y Mantenimiento Remoto de Sistemas de Navegación Aérea. *Proyecto previo a la obtención del título en Ingeniería en Electrónica y Control*, 10-43.

# Apéndices