ESCUELA TÉCNICA DE LA FUERZA AÉREA

Departamento de Seguridad y Defensa

Carrera Tecnológica Superior en Ciencias Militares Aeronáuticas

Autores: Molina Toapanta, Héctor Jair & Martínez Quispe, Alexis Jonathan
Director: Mayo. Esp. Avc Franco Bernal, Fausto Patricio

Diseño e implementación del núcleo de datos y un motor de consulta técnica basado en inteligencia artificial para la gestión y automatización de órdenes de trabajo de mantenimiento aeronáutico en la Fuerza Aérea Ecuatoriana (FAE)



CAPÍTULO I

Introducción y estado del arte

Contexto operativo

El Ala de Investigación y Desarrollo gestiona el mantenimiento de la flota DA-20 Katana con registros en papel y hojas sueltas.

Problema detectado

La información técnica se dispersa: búsquedas manuales de 15 minutos y órdenes de trabajo con datos incompletos.

Estado del arte

La industria migra a MRO digitales con IA generativa; la FAE aún carece de un núcleo de datos propio y consultable.



CAPÍTULO I

Gestión de órdenes de trabajo

- La gestión documental del mantenimiento se organiza en niveles según su enfoque, lo que permite administrar los recursos técnicos con eficiencia

Registro manual

- Formularios impresos por aeronave
- Archivo físico en carpetas
- Riesgo de pérdida y duplicidad

Registro digitalizado

- Hojas de cálculo compartidas
- Sin validación de campos
- Consulta lenta y dispersa

Núcleo de datos con IA

- Base relacional única en la nube
- Consulta en lenguaje natural
- Trazabilidad e indicadores

La propuesta se ubica en el tercer nivel: centralizar el dato técnico y habilitar su consulta inteligente.

CAPÍTULO II

Núcleo de datos aeronáutico

ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Órdenes de trabajo

- Documento legal del mantenimiento
- Registra falla, acción y firma
- Base del historial de la aeronave

Base de datos relacional

- Tablas normalizadas y claves
- Integridad referencial
- Escalable en la nube

Inteligencia artificial

- Modelos de lenguaje aplicados
- Interpretación de consultas técnicas
- Respuesta contextual verificable

Dato estructurado → consulta en lenguaje natural → decisión técnica oportuna

El marco teórico articula la normativa de aeronavegabilidad con la ingeniería de datos y los modelos de lenguaje, de modo que cada respuesta del sistema quede respaldada por un registro real de la flota DA-20 Katana.

CAPÍTULO II

Componentes principales

Capa de datos

- Supabase (PostgreSQL) como núcleo
- Firebase para sincronía móvil
- Tablas: aeronaves, OT, fallas, repuestos

Capa de inteligencia

- Gemini sobre Vertex AI
- Contexto acotado al historial técnico
- Respuestas con cita de la OT origen

Capa de presentación

- AppSheet para registro en hangar
- Formularios validados por campo
- Acceso remoto vía Radmin VPN



Cada componente opera sin licencias comerciales adicionales, empleando planes gratuitos institucionales.

El entorno de desarrollo AntiGravity permitó iterar la interfaz y las reglas de validación del formulario.

CAPÍTULO II

Arquitectura del sistema

ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

1. Captura

Técnico registra la OT en AppSheet desde tableta o teléfono en el hangar.

2. Almacenamiento

El dato viaja cifrado al núcleo Supabase y se replica en Firebase.

3. Procesamiento

El motor consulta el historial y construye el contexto para el modelo.

4. Respuesta

Gemini devuelve la recomendación técnica citando la OT y el manual aplicable.

Seguridad: acceso por rol, bitácora de cambios y respaldo automático diario del núcleo de datos.

Disponibilidad: operación sin conexión con sincronización diferida al recuperar la red del taller.

La arquitectura desacopla captura, dato y razonamiento, de manera que el núcleo pueda crecer a otras flotas sin rehacer la aplicación.

CAPÍTULO II

Tipos de consulta técnica

Las consultas se clasifican por alcance, urgencia y tipo de evidencia solicitada.

El motor responde en 3 a 5 segundos y siempre indica la orden de trabajo o el manual del que proviene el dato, para que el técnico pueda verificarlo antes de actuar.

Histórica	¿Qué fallas registró esta aeronave en los últimos seis meses?
Procedimental	¿Cuál es el paso siguiente según el manual para esta novedad?
Estadística	¿Cuál es el sistema con mayor recurrencia de fallas en la flota?
Logística	¿Qué repuestos consumió el último ciclo de inspección?

CAPÍTULO III

Metodología

Enfoque	Alcance	Diseño	Población
Mixto: cualitativo para el levantamiento de procesos y cuantitativo para medir tiempos.	Descriptivo y aplicado, con desarrollo tecnológico verificado en operación real.	No experimental de campo, con medición antes y después de implementar el sistema.	Personal técnico de mantenimiento y órdenes de trabajo de la flota DA-20 Katana.

Diagnóstico → **Modelado del dato** → **Desarrollo** → **Validación**

El proceso se ejecutó en cuatro fases secuenciales sobre el ciclo real de mantenimiento del escuadrón.

Cada fase cerró con evidencia documental: matriz de procesos, diccionario de datos, prototipo funcional y registro de pruebas.

CAPÍTULO III

Recolección de datos

Técnica	Fuente	Resultado
Entrevistas	Técnicos e inspectores del escuadrón de mantenimiento	Necesidades de información
Observación directa	Registro del llenado de OT en el hangar	Tiempos y puntos de error
Análisis documental	OT históricas, manuales y directivas técnicas	Campos y reglas del dato
Pruebas de uso	Sesiones guiadas con la aplicación y el motor de consulta	Precisión y aceptación

El levantamiento identificó que la búsqueda manual de un antecedente técnico tomaba alrededor de 15 minutos por consulta.

CAPÍTULO IV

Propuesta

Núcleo de datos y motor de consulta

La disponibilidad de la flota depende de decidir con información confiable. El sistema centraliza las órdenes de trabajo y responde consultas técnicas en lenguaje natural sobre ese historial.

Responsables de la operación del sistema

El registro digital estructurado reduce el trabajo administrativo y mejora la trazabilidad exigida por aeronavegabilidad.



Alcance de la propuesta

Formulario digital de OT con campos obligatorios validados.

Base relacional única para aeronaves, fallas y repuestos.

Motor de consulta técnica asistido por IA con cita de origen.

Tablero de indicadores de recurrencia por sistema.

CAPÍTULO IV

Objetivos

Objetivo general: diseñar e implementar un núcleo de datos y un motor de consulta técnica basado en IA para las órdenes de trabajo de mantenimiento aeronáutico.

- **Diagnosticar el proceso actual de registro de órdenes de trabajo**
- **Modelar la base de datos relacional del historial técnico**
- **Desarrollar la aplicación de registro y el motor de consulta con IA**
- **Validar precisión, tiempos de respuesta y aceptación**



CAPÍTULO IV

Tabla del modelo	Contenido registrado
Orden de trabajo	Número, fecha, tipo de mantenimiento y estado
Falla reportada	Sistema afectado, descripción y criticidad
Acción correctiva	Procedimiento aplicado y referencia del manual
Repuestos	Parte, número de serie y trazabilidad del lote
Responsables	Técnico ejecutor, inspector y firma de cierre

Seis tablas relacionadas permiten reconstruir la historia completa de cada aeronave sin consultar archivos físicos.

Implementación

Registro móvil de la orden de trabajo



El formulario en AppSheet obliga a completar sistema afectado, descripción de la falla, acción ejecutada y firma. El técnico registra la OT en 4 minutos 20 segundos frente a los 25 minutos del proceso en papel.

Consulta técnica asistida por IA



El motor interpreta la pregunta, recupera las OT pertinentes del núcleo y entrega la respuesta en 3 a 5 segundos, indicando siempre el registro de origen.

Procedimiento de operación

La operación diaria del sistema sigue el ciclo de mantenimiento del escuadrón: apertura de la orden de trabajo, ejecución de la tarea, consulta del antecedente técnico cuando la novedad es recurrente y cierre con validación del inspector, que queda registrado en el núcleo de datos.



El procedimiento se apoya en tres principios:
trazabilidad del dato, validación del campo y verificación de la respuesta antes de aplicarla.

Apertura de OT → **Ejecución** → **Consulta IA** → **Cierre validado**

CAPÍTULO IV

Resultados

Desempeño del motor de consulta técnica

- **90% de acierto en las respuestas técnicas evaluadas**
- **3 a 5 segundos por consulta frente a 15 minutos**
- **4 min 20 s para registrar una OT frente a 25 min**

El personal técnico aceptó la herramienta por su rapidez y porque cada respuesta se puede verificar contra la orden de trabajo original.

Recurrencia de fallas por sistema

- **Combustible 34%**
- **Eléctrico 22%**
- **Tren de aterrizaje 18%**

La concentración de fallas en el sistema de combustible permite priorizar inspecciones y anticipar la compra de repuestos críticos.

CAPÍTULO IV

Análisis de la validación

La validación comparó el proceso manual con el sistema implementado en condiciones reales de taller.

Mejoras verificadas tras la implementación

Situación previa

- Pérdida de registros físicos y datos incompletos
- Búsqueda manual dependiente de la memoria del técnico
- Sin indicadores de recurrencia de fallas
- Reportes elaborados al final de cada mes

Situación con el sistema

- Registro único, validado y disponible en línea
- Consulta en lenguaje natural con cita de la OT origen
- Estadística automática de fallas por sistema
- Reportes disponibles en cualquier momento
- Trazabilidad completa para auditorías técnicas

El análisis confirma que el cuello de botella no era la ejecución del mantenimiento, sino el acceso a la información técnica.

CAPÍTULO IV

Manual de uso y referencias

ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Guía del técnico

- Ingreso y credenciales por rol
- Llenado del formulario de OT
- Adjuntar evidencia fotográfica

Guía de consulta

- Formular la pregunta técnica
- Revisar la OT citada por el motor
- Registrar la decisión adoptada

Administración

- Gestión de usuarios y permisos
- Respaldo diario del núcleo
- Acceso remoto por Radmin VPN

Referencias técnicas

- Manual del fabricante DA-20 Katana
- Directivas de la Fuerza Aérea Ecuatoriana
- Buenas prácticas de registro digital

El manual entregado al escuadrón documenta cada pantalla, el diccionario de datos y el procedimiento de respaldo.

También define el límite de uso: la respuesta de la IA es apoyo a la decisión y no sustituye el manual del fabricante ni la firma del inspector responsable.

CAPÍTULO V

Conclusiones

- El diagnóstico demostró que el registro en papel dispersaba la información técnica de la flota DA-20 Katana y obligaba a búsquedas manuales de alrededor de 15 minutos.
- El núcleo de datos relacional implementado en la nube centralizó aeronaves, órdenes de trabajo, fallas, repuestos y responsables en un modelo único y trazable.
- El motor de consulta basado en inteligencia artificial alcanzó 90% de acierto y respondió entre 3 y 5 segundos, citando siempre la orden de trabajo de origen.
- El registro digital redujo el llenado de una orden de trabajo de 25 minutos a 4 minutos 20 segundos, sin perder campos obligatorios.
- La estadística generada evidenció que las fallas se concentran en combustible (34%), eléctrico (22%) y tren de aterrizaje (18%), información útil para priorizar inspecciones.

CAPÍTULO V

Recomendaciones

- Institucionalizar el núcleo de datos como registro oficial de las órdenes de trabajo del escuadrón.
- Capacitar de forma continua al personal técnico en el uso del formulario digital y del motor de consulta.
- Extender el modelo a las demás flotas de la Fuerza Aérea Ecuatoriana reutilizando el mismo esquema de datos.
- Mantener la verificación humana de cada respuesta de la IA contra el manual del fabricante.
- Incorporar análisis predictivo de fallas cuando el historial acumule suficientes registros.
- Formalizar la política de respaldos, control de accesos y auditoría del sistema.



GRACIAS POR SU ATENCIÓN