

DESARROLLO DE UNA PLATAFORMA TECNOLÓGICA PARA LA GESTIÓN DE
OBSERVACIONES LOSA-M EN MANTENIMIENTO AERONÁUTICO

LUIS ALFONSO TOVAR GUIO

TUTOR:

DIANA CAROLINA BELTRAN PEÑA

UNIVERSIDAD EAN

FACULTAD DE INGENIERIA

BOGOTÁ D.C.

24-MAY-2025

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo desarrollar una plataforma digital para la gestión de observaciones LOSA-M (Line Operations Safety Audit - Maintenance) en la empresa STC. Este sistema permitirá registrar, analizar y gestionar observaciones de seguridad en mantenimiento aeronáutico de manera eficiente, mejorando la toma de decisiones y optimizando los procesos de auditoría.

A través de esta plataforma, los auditores podrán capturar datos en tiempo real, generar reportes automáticos y visualizar tendencias a través de herramientas analíticas. La solución se enfocará en ser segura, accesible y fácil de usar, asegurando que la información recopilada sea confiable y útil.

INTRODUCCIÓN

En la industria aeronáutica, la seguridad operacional es un factor crítico. LOSA-M es una metodología utilizada para evaluar los procedimientos y detectar riesgos en las operaciones de mantenimiento. Sin embargo, en muchas empresas estos registros aún se gestionan manualmente o con herramientas poco especializadas, lo que dificulta el análisis y seguimiento de las observaciones.

Este proyecto busca desarrollar una plataforma digital que facilite el registro, almacenamiento y análisis de observaciones LOSA-M, permitiendo una gestión más eficiente de la seguridad operacional. La implementación de esta solución reducirá los errores humanos en la documentación, mejorará la trazabilidad de los datos y proporcionará informes en tiempo real que ayuden a mejorar la toma de decisiones.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una plataforma digital funcional para la gestión de observaciones LOSA-M en la empresa STC, permitiendo el registro estructurado y la generación de reportes para optimizar la seguridad en el mantenimiento.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diseñar y desarrollar un prototipo funcional de una plataforma web para el registro digital de observaciones LOSA-M con una interfaz intuitiva.
2. Implementar una base de datos básica para almacenar y organizar la información de las auditorías de manera estructurada.
3. Crear un módulo de generación de reportes basado en los datos recopilados.

5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En la industria aeronáutica, la seguridad operacional es fundamental para garantizar operaciones eficientes y seguras. El Line Operations Safety Audit - Maintenance (LOSA-M) es una metodología que se utiliza para evaluar y gestionar los riesgos asociados a las operaciones de mantenimiento (FAA,2023). Actualmente, muchas empresas aún dependen de métodos manuales, como formatos en papel u hojas de cálculo, para gestionar las observaciones derivadas de estas auditorías, es el caso de la empresa auditora STC que realiza estas observaciones por medios manuales. Estos métodos manuales presentan varias limitaciones que pueden comprometer la seguridad y eficiencia de las operaciones: (SOMA,2024)

Falta de Trazabilidad: La gestión manual dificulta el seguimiento de las observaciones desde su identificación hasta su corrección, lo que puede generar la repetición de errores y a la implementación ineficaz de medidas correctivas.

Errores en la Documentación: El registro manual de datos es susceptible a errores humanos, lo que puede resultar en información inexacta o incompleta, afectando la calidad de los análisis posteriores.

Dificultad en el Análisis de Datos: Las herramientas no especializadas limitan la capacidad de analizar grandes volúmenes de datos, dificultando la identificación de tendencias y patrones críticos para la mejora continua.

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo puede una plataforma digital mejorar la eficiencia y precisión en la recolección y análisis de observaciones LOSA-M en la empresa STC?

6. JUSTIFICACIÓN

El uso de M-LOSA ha demostrado ser efectivo en la identificación y mitigación de amenazas antes de que estas se conviertan en incidentes o accidentes. Este modelo proactivo permite una evaluación continua de la seguridad, fomentando una cultura de prevención y mejorando la toma de decisiones dentro del entorno de mantenimiento (Ma, 2012). Igualmente permiten garantizar que las compañías aéreas cumplan con los estándares de seguridad operacional establecidos por las autoridades de aviación civil (ICAO, 2002).

La gestión digital de las observaciones permite una identificación y seguimiento más efectivos de posibles riesgos, lo que contribuye a prevenir fallos técnicos y reducir riesgos en las tareas de mantenimiento (FAA, 2006). Además, la transición a la documentación digital revoluciona la gestión del mantenimiento de las aeronaves. Los sistemas digitales simplifican la forma en que se captura, almacena y accede a la información, mejorando la precisión y la accesibilidad, lo que beneficia a todas las partes interesadas involucradas. La digitalización de los procesos de mantenimiento minimiza la posibilidad de errores humanos en la documentación y seguimiento de las observaciones, asegurando que solo se utilicen las aeronaves más seguras para garantizar la seguridad de los pasajeros y la tripulación (SOMA,2024).

La implementación de una plataforma digital permite una gestión más eficiente de los recursos humanos y materiales, reduciendo el tiempo dedicado a tareas administrativas y permitiendo un enfoque más proactivo en la resolución de problemas (SOMA Software, 2024). En resumen, este proyecto no solo aborda una necesidad crítica en la industria aeronáutica, sino que también ofrece una solución que mejora la seguridad, eficiencia y cumplimiento normativo en las operaciones de mantenimiento.

7. ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS

1. Intención del producto

Desarrollar una plataforma digital para la gestión eficiente de observaciones LOSA-M (Line Operations Safety Audit - Maintenance) en la empresa STC, optimizando la seguridad y el control de auditorías en mantenimiento aeronáutico. Se espera que el producto permita:

- Digitalización del proceso de recolección y análisis de observaciones.
- Reducción de errores humanos en el registro de datos.
- Generación automática de reportes y análisis de tendencias.
- Mejora en la trazabilidad de observaciones desde su registro hasta su resolución.
- Accesibilidad y disponibilidad de datos en tiempo real.

2. Verificación de parámetros de diseño

2.1. Criterios de Diseño

- **Seguridad:** Implementación de autenticación y cifrado de datos.
- **Usabilidad:** Interfaz intuitiva y de fácil navegación para usuarios no técnicos.
- **Accesibilidad:** Compatible con navegadores web y dispositivos móviles.
- **Escalabilidad:** Capacidad de almacenar y gestionar grandes volúmenes de datos sin pérdida de rendimiento.
- **Integrabilidad:** Posibilidad de interconexión con otros sistemas utilizados en la empresa.

- **Tiempo de Desarrollo:** Se ajustará a un período de 2 meses, priorizando una versión funcional del prototipo.

2.2. Casos de uso

Actores

- Auditor: Registra observaciones y genera reportes.
- Supervisor: Revisa y gestiona las observaciones.
- Administrador del Sistema: Configura y administra usuarios y accesos.

Caso de Uso 1: Registrar Observación

Actor Principal: Auditor

Flujo Principal:

1. El auditor inicia sesión en la plataforma.
2. Selecciona la opción "Registrar Nueva Observación".
3. Completa los datos requeridos (ubicación, fecha, hallazgo, categoría de riesgo).
4. Adjunta evidencia (fotos, documentos).
5. Guarda la observación y el sistema confirma el registro.

Flujo Alternativo:

- Si falta información obligatoria, el sistema alerta al usuario y no permite guardar la observación hasta que se completen los campos requeridos.

Caso de Uso 2: Generar Reporte de Observaciones

Actor Principal: Supervisor

Flujo Principal:

1. El supervisor accede a la sección de reportes.
2. Filtra observaciones por fecha, auditor o categoría de riesgo.
3. Genera el reporte en formato PDF o Excel.
4. Descarga o envía el reporte por correo electrónico.

Caso de Uso 3: Administrar Usuarios

Actor Principal: Administrador del Sistema

Flujo Principal:

1. El administrador accede al módulo de administración.
2. Agrega nuevos usuarios asignándoles roles.
3. Modifica o elimina usuarios según necesidad.
4. Guarda los cambios y el sistema confirma la actualización.

8. MARCO DE REFERENCIA

1. The Application of Line Operation Safety Assessment (LOSA) and Flight Data Management Technologies to General Aviation Flight Training.

Resumen: Este estudio analiza la integración de LOSA con tecnologías de gestión de datos de vuelo en la aviación general. Se exploran los beneficios de utilizar registros de vuelo automatizados y auditorías LOSA para mejorar la seguridad en la formación de pilotos. El artículo describe cómo la recopilación de datos en tiempo real permite evaluar el desempeño de los pilotos en escenarios operacionales reales y cómo el uso de tecnología avanzada puede reducir los errores humanos.

Metodología: se instalaron grabadores de voz, imagen y datos de vuelo en aeronaves de entrenamiento FAR Part 141. Se realizaron observaciones sistemáticas de vuelos de entrenamiento y se analizaron los datos recopilados en función del modelo de Gestión de Amenazas y Errores (TEM).

Resultados: los datos recopilados mostraron que los pilotos en formación cometían errores recurrentes, como omisiones en listas de verificación y fallos en la comunicación con el control de tráfico aéreo. Sin embargo, la introducción de auditorías LOSA permitió identificar y corregir estos problemas, mejorando significativamente la seguridad operacional.

Referencia: Landry, S. J. (2013). The application of Line Operation Safety Assessment (LOSA) and flight data management technologies to general aviation flight training. In *Advances in Human Aspects of Aviation* (pp. 505–514). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b12321-56>

2. Crew Resource Management (CRM) and Line Operations Safety Audit (LOSA).

Resumen: Este capítulo del libro explora la relación entre LOSA y la Gestión de Recursos de Tripulación (CRM) en la aviación comercial. Se analiza cómo la combinación de ambos enfoques puede mejorar la seguridad y la eficiencia operativa mediante la observación sistemática de vuelos y el análisis del desempeño de la tripulación.

Metodología: Se realizó una revisión de auditorías LOSA implementadas en aerolíneas comerciales, recopilando datos sobre incidentes de seguridad, comunicación entre tripulaciones y cumplimiento de procedimientos operativos estándar.

Resultados: Se encontró que la integración de LOSA con CRM mejora la conciencia situacional de las tripulaciones, permitiendo una mejor gestión de amenazas y errores. Además, los datos indicaron que los vuelos auditados con LOSA experimentaron menos desviaciones operacionales en comparación con aquellos que no fueron evaluados.

Referencia: Tesmer, B. A. (2010). Chapter 10 - Crew Resource Management (CRM) and Line Operations Safety Audit (LOSA). In *Crew Resource Management* (Second Edition, pp. 285–300). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374946-8.10010-X>

3. Manual de Auditoría de Seguridad en Operaciones en Línea (LOSA) – Doc 9803.

Resumen: Este documento proporciona directrices para la implementación de auditorías LOSA en la industria aeronáutica. Explica la importancia del modelo de Gestión de Amenazas y Errores (TEM) y cómo este enfoque permite mejorar la seguridad mediante la observación de operaciones normales.

Metodología: Se analizaron estudios de caso de aerolíneas que han implementado LOSA, evaluando la efectividad del proceso a través del análisis de factores humanos y el desempeño de la tripulación en vuelos regulares.

Resultados: Las aerolíneas que adoptaron LOSA experimentaron una reducción en incidentes relacionados con errores de tripulación y una mejora en la adherencia a procedimientos operativos estándar.

Referencia: Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO) (2002). *Manual de Auditoría de Seguridad en Operaciones en Línea (LOSA)* – Doc 9803.

4. Advisory Circular 120-90 LOSA

Resumen: Este documento de la FAA establece procedimientos y mejores prácticas para la implementación de auditorías LOSA en aerolíneas comerciales, subrayando su importancia dentro de los programas de seguridad operacional.

Metodología: Se realizó un análisis de datos recopilados en auditorías LOSA en diversas aerolíneas comerciales, comparando la efectividad de LOSA con otros programas como FOQA y ASAP.

Resultados: LOSA ha demostrado ser una herramienta efectiva para reducir errores en la gestión operativa y mejorar la toma de decisiones de la tripulación.

Referencia: Federal Aviation Administration (FAA) (2006). *AC 120-90 LOSA*.

5. Aviation LOSA Software

El software Aviation LOSA es una herramienta digital diseñada para mejorar la gestión de auditorías de seguridad operacional en la aviación. Su propósito es automatizar la recopilación, análisis y gestión de datos de auditoría LOSA en aerolíneas, helicópteros, mantenimiento, rampa y cabina. Se centra en la eficiencia y reducción de costos, proporcionando a los auditores una plataforma digital que elimina la necesidad de registros en papel y procesamiento manual de datos.

Características del Software Aviation LOSA

- Plataforma digital basada en LOSA: Automatiza el proceso de auditoría de seguridad mediante la recopilación estructurada de datos.
- Observaciones en tiempo real: Se puede acceder y utilizar en iPads, iPhones y laptops para registrar hallazgos de auditoría.
- Modo offline: Permite la recolección de datos sin conexión a internet y la sincronización posterior cuando se disponga de acceso a la red.
- Dashboard interactivo: Proporciona análisis estadísticos y reportes visuales en tiempo real, facilitando la toma de decisiones.
- Seguridad de datos: Sistema con protocolos de cifrado para proteger la información recopilada durante la auditoría.
- Accesibilidad y compatibilidad: Funciona en múltiples dispositivos, permitiendo su uso en diferentes entornos operacionales.

Referencia: Aviationlosa.com (s/f). *Aviation LOSA software for Airlines, Helicopter, Maintenance, Ramp and cabin*. <https://www.aviationlosa.com/LOSA-Solution/LOSA-Software>

6. LOSA Application FAA

El aplicativo desarrollado por la Federal Aviation Administration (FAA) proporciona una guía detallada para la implementación del sistema LOSA en operaciones de mantenimiento (Mx), control de calidad en mantenimiento (Mx-QC) y operaciones en rampa (Ramp). El documento describe la funcionalidad del software de auditoría LOSA, su estructura, la categorización de amenazas y errores, y los procedimientos para la recopilación y análisis de datos en auditorías de seguridad operacional.

Características:

- **Perfiles de Usuario:** Define los roles dentro del sistema (Observadores, Administradores).
- **Ingreso de Datos:** Describe cómo los observadores registran nuevas observaciones, clasifican amenazas y errores, e ingresan detalles sobre las condiciones del entorno.
- **Estructura de Observación:** Se utilizan formularios digitales donde se deben completar campos obligatorios como tipo de observación, estación, aerolínea, tipo de aeronave, condiciones de iluminación, factores ambientales y amenazas observadas.
- **Gestión de Amenazas y Errores:** La aplicación permite clasificar errores en diferentes categorías y evaluar si fueron efectivamente gestionados o contribuyeron a un estado indeseado de la aeronave.

Áreas de mejora del software:

1. Interfaz de usuario poco intuitiva

- El software parece estar diseñado con una interfaz estática que no aprovecha tecnologías modernas de experiencia de usuario (UX/UI).
- La navegación y el ingreso de datos pueden ser complejos y poco amigables para usuarios sin experiencia técnica.

2. Limitada capacidad de integración con otros sistemas

- No se menciona la compatibilidad con Sistemas de Gestión de Seguridad (SMS) o plataformas digitales de mantenimiento como AMOS o TRAX.
- La falta de integración puede dificultar el uso del software en aerolíneas o empresas de mantenimiento que ya tienen sistemas establecidos.

3. Dependencia de ingreso manual de datos

- Aunque el software digitaliza la auditoría, aún requiere que los observadores ingresen manualmente cada observación. No incorpora herramientas como reconocimiento de voz, códigos QR o automatización basada en sensores para capturar datos automáticamente.

4. Falta de visualización avanzada de datos

- Aunque permite registrar auditorías, el análisis de datos parece ser básico y poco interactivo.

- No menciona funciones avanzadas como gráficos dinámicos, alertas automáticas o inteligencia artificial para detectar patrones de seguridad.

5. Sin compatibilidad con dispositivos móviles modernos

- El software se ejecuta en computadoras y no menciona una versión para móviles o tablets, lo que limita la flexibilidad de los observadores en campo.

Referencia: Federal Aviation Administration (FAA) (2023). *Training, LOSA Software, and forms*. https://www.faa.gov/about/initiatives/maintenance_hf/losa/training

9. ANÁLISIS DE RESTRICCIONES

1. Restricciones Ambientales

- **Impacto ambiental de la infraestructura digital:** Aunque el proyecto no genera desechos físicos, su infraestructura tecnológica puede consumir energía significativa, especialmente si los servidores están alojados en centros de datos con alta demanda energética.
- **Normativas ambientales aplicables en Colombia:**
 - **Ley 1931 de 2018:** Regula la gestión del cambio climático en el país y podría afectar proyectos tecnológicos que generen alto consumo energético.
 - **Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026:** Impulsa la sostenibilidad digital, lo que podría generar incentivos para proyectos de auditoría digital.

2. Restricciones Económicas

- **Desarrollo del software:** Implementar la plataforma con JavaScript (React.js y Node.js) reduce costos, pero aún requiere inversión en servidores, bases de datos y seguridad.
- **Licencias y servidores:** Si se usa un servidor privado, hay costos por licencias y mantenimiento. Una alternativa es usar servicios en la nube para reducir costos iniciales.
- **Costo de capacitación:** El personal de mantenimiento y auditores deben ser capacitados en el uso del sistema.

3. Restricciones Legales

- **Regulación en observaciones LOSA:**
 - **AC 120-90 (FAA):** Define los estándares de auditorías LOSA, asegurando que la digitalización cumpla con sus requerimientos.
 - **Doc 9803 de la OACI:** Requiere que la recopilación de datos siga estándares de seguridad operacional.

- **Regulación de datos y privacidad en Colombia:**
 - **Ley 1581 de 2012 - Protección de Datos Personales:** La plataforma debe asegurar confidencialidad y seguridad de la información recopilada en auditorías.

4. Restricciones en Salud y Seguridad

- **Riesgo de fallos en auditorías digitales:**
 - Si el sistema no funciona correctamente, podría generar errores en las auditorías y comprometer la seguridad operacional.
 - Dependencia excesiva de lo digital sin protocolos manuales de respaldo en caso de falla tecnológica.
- **Seguridad del software:**
 - Riesgos de ciberseguridad pueden exponer datos confidenciales de auditorías y afectar la integridad de la información.
 - Un ataque informático puede modificar informes de seguridad, generando decisiones operacionales incorrectas.

5. Restricciones Socioculturales

- **Resistencia al cambio:**
 - **Audidores y personal de mantenimiento** pueden estar acostumbrados al sistema tradicional en papel y mostrar reticencia a la digitalización.
 - Puede haber una curva de aprendizaje en el uso de la plataforma, lo que requeriría capacitación inicial.
- **Cambio en los hábitos de trabajo:**
 - Un sistema digital implica que las auditorías serán más visibles y trazables, lo que podría generar resistencia si los empleados temen un mayor control sobre su trabajo.

6. Restricciones de tiempo

- Solo se tienen 2 meses para el desarrollo del prototipo, lo que limita la cantidad de funcionalidades que pueden implementarse en la primera versión.

10. METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN Y DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN

Teniendo en cuenta un tiempo estimado de 2 meses para desarrollar el proyecto, se buscará desarrollar un prototipo funcional con fines académicos, sin una implementación real en la empresa STC. Además, se establecen restricciones como no utilizar software o servidores de pago, por lo que todas las herramientas seleccionadas deben ser gratuitas o de código abierto. Por lo anterior se deben descartar soluciones que requieran procesos de implementación extensos, adquisición de licencias comerciales o integraciones complejas con sistemas externos.

1. Detección de soluciones ilógicas

De acuerdo a las restricciones técnicas y de tiempo en el proyecto, las siguientes soluciones son descartadas:

- ❖ Automatización completa del proceso LOSA: La auditoría requiere intervención humana para evaluar criterios de seguridad.
- ❖ Infraestructura con servidores privados: Se utilizarán servidores en la nube gratuitos como Firebase para evitar costos adicionales.
- ❖ Uso de software propietario de alto costo: El proyecto solo empleará herramientas gratuitas y de código abierto.
- ❖ Integración con sistemas externos (AMOS, TRAX, etc.): Estos sistemas requieren licencias comerciales y permisos que no pueden gestionarse en 2 meses.
- ❖ Plataformas que requieran un tiempo de desarrollo superior a 2 meses: Se seleccionará una solución rápida de desarrollar y probar.

3. Comparación con Soluciones Existentes

A continuación, se analizarán soluciones ya implementadas en la industria aeronáutica y se identifican áreas de mejora.

FAA LOSA Software

- ☒ Permite el registro digital de auditorías bajo estándares FAA.
- ☒ Cumple con normativas aeronáuticas.
- ☒ No es compatible con dispositivos móviles modernos.
- ☒ Su interfaz es poco intuitiva y obsoleta.
- ☒ No permite la gestión offline de auditorías.

Aviation LOSA Software

- ☒ Compatible con iPads y laptops, lo que mejora la accesibilidad.
- ☒ Ofrece observaciones en tiempo real.
- ☒ No tiene integración con sistemas de seguridad operacional.
- ☒ Software costoso para la implementación

La solución propuesta debe mejorar la accesibilidad, ser compatible con dispositivos móviles y permitir el almacenamiento de auditorías en la nube con una interfaz moderna y fácil de usar.

4. Evaluación y Selección de Alternativas

Alternativa 1: Aplicación Móvil con Sincronización en la Nube

- ☒ Permite operar sin conexión y sincronizar datos sin acceso internet.
- ☒ Requiere más tiempo de desarrollo, lo que puede dificultar su entrega en 2 meses.
- ☒ Mayor complejidad en la implementación, lo que podría retrasar el proyecto.

Alternativa 2: Integración con Sistemas Existentes (AMOS, TRAX, etc.)

- ☒ Se basa en plataformas ya utilizadas en la industria.
- ☒ Requiere permisos, licencias y configuraciones complejas.
- ☒ Excede el tiempo disponible y el presupuesto del proyecto.

Alternativa 3: Aplicación Web con Firebase (SELECCIONADA)

- ☒ Desarrollo rápido con tecnologías accesibles como React.js y Firebase.
- ☒ No requiere servidores de pago, ya que Firebase proporciona almacenamiento gratuito.
- ☒ Modo offline, permitiendo el uso sin conexión con sincronización de datos cuando se tenga acceso a internet.
- ☒ Almacenamiento seguro con Firestore, evitando costos adicionales.
- ☒ Fácil implementación y escalabilidad futura.

Selección final:

Aplicación web con Firebase, ya que permite un desarrollo rápido, sin costos adicionales y con funcionalidad offline.

Funcionalidades Clave del Prototipo:

- Registro de auditorías LOSA-M con un formulario digital estructurado.
- Almacenamiento en Firebase Firestore para registrar y consultar auditorías.
- Inicio de sesión y gestión de usuarios con Firebase Authentication.
- Modo offline con sincronización automática de datos cuando se tenga conexión.
- Exportación de reportes en PDF para facilitar la documentación de auditorías.

Tecnologías a utilizar:

- **Frontend:** React.js
- **Backend & Base de Datos:** Firebase Firestore
- **Autenticación:** Firebase Authentication
- **Generación de reportes:** Librerías de PDF en JavaScript

11. ANÁLISIS DE COSTOS

1. Costos del producto/servicio

a. Costos directos operativos (variables)

Costos asociados a la construcción de la plataforma y su funcionamiento en una versión funcional básica:

Concepto	Cantidad	Valor unitario COP	Costo Total COP
Mano de obra de desarrollo - 2 meses	1 persona	\$3.000.000/mes	\$6.000.000
Servicios digitales (internet, energía, etc.)	2 meses	\$200.000	\$400.000
Software/librerías de terceros (solo si se requieren complementos no gratuitos)	N/A	\$0 (uso de open source)	\$0
Hosting y base de datos (Firebase Free Tier)	N/A	\$0	\$0
Subtotal costos directos			\$6.400.000

b. Costos fijos (mensuales constantes, independientemente del volumen)

Concepto	Valor mensual COP	Tiempo	Costo Total COP
Hosting adicional (si se supera el plan gratuito)	\$100.000 (estimado)	2 meses	\$200.000
Dominio web (.com.co)	\$70.000	Anual	\$70.000
Subtotal costos fijos			\$270.000

c. Gastos generales (Overhead)

Concepto	Valor estimado mensual	Tiempo	Costo Total COP
Gestión de proyecto (administración, documentación, reuniones)	\$300.000	2 meses	\$600.000
Comunicaciones, publicidad básica	\$100.000	2 meses	\$200.000
Subtotal gastos generales			\$800.000

Costo total del producto (para operar el prototipo): COP \$7.470.000

2. Costos de inversión

a. Costos directos de inversión

Concepto	Valor estimado COP
Equipos de desarrollo (PC, periféricos) – uso personal simulado	\$0
Licencias de software (solo si se requiere edición o software premium)	\$0
Construcción de prototipo digital (valor implícito en el desarrollo)	Incluido arriba
Subtotal inversión directa	\$0

b. Costos indirectos

Concepto	Valor estimado COP
Licencia de operación (no aplica para versión académica)	\$0
Registro de derechos de autor/software (futuro)	\$300.000
Licencia ambiental, permisos (no aplica)	\$0
Imprevistos (10% de costos operativos)	\$747.000
Subtotal costos indirectos	\$1.047.000

3. Capital de trabajo

Dinero necesario para sostener las operaciones iniciales mientras se valida el modelo:

Concepto	Valor estimado COP
Compra de insumos digitales menores (hosting pago eventual, etc.)	\$200.000
Soporte inicial al usuario (simulado)	\$200.000
Mantenimiento mínimo (1 mes post-lanzamiento)	\$500.000
Subtotal capital de trabajo	\$900.000

4. Consolidado General de Costos

Categoría	Valor Total COP
Costos del producto/servicio	\$7.470.000
Inversión inicial (directa + indirecta)	\$1.047.000
Capital de trabajo	\$900.000
Total proyecto	\$9.417.000

5. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Para evaluar la viabilidad económica del proyecto, se realizó el cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR), considerando una simulación de ingresos proyectados por comercialización del sistema bajo un modelo de software como servicio (SaaS). Los supuestos utilizados fueron los siguientes:

- Inversión inicial estimada: \$9.417.000 COP.
- Ingresos mensuales por cliente: \$300.000 COP.
- Etapas de captación de clientes:
 - Meses 1 a 3: sin ingresos (etapa de desarrollo y pruebas).
 - Meses 4 a 6: 5 clientes.
 - Meses 7 a 9: 10 clientes.
 - Meses 10 a 12: 15 clientes.

Con base en estos flujos de caja, la TIR mensual estimada es de 12,97%, lo que equivale a una TIR anual aproximada de 331,91%.

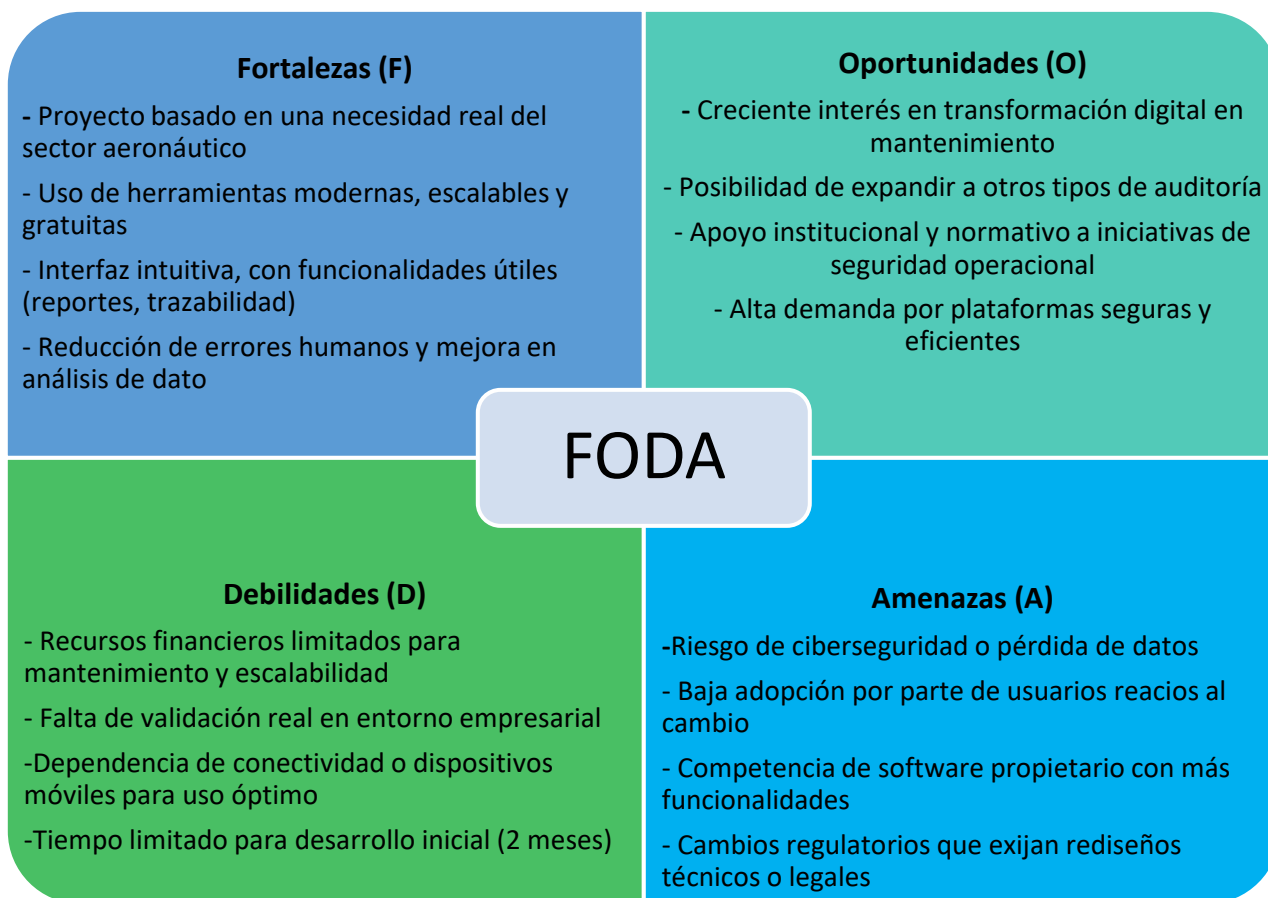
Este resultado indica que el proyecto es altamente rentable bajo las condiciones simuladas, mostrando un retorno significativo de la inversión en el primer año. Además, demuestra que el modelo de negocio es atractivo desde una perspectiva financiera, con un periodo de recuperación de la inversión inferior a 9 meses y una capacidad de escalar en función del número de empresas que adopten la plataforma.

12. ANÁLISIS DE RIESGOS

1. Identificación de Riesgos

Tipo de riesgo	Descripción	Probabilidad	Impacto	Nivel de riesgo
Técnico	Fallos en la funcionalidad del prototipo (errores en registro, sincronización)	Media	Alto	Alto
Financiero	Limitado acceso a fondos para escalar la solución o mantener servidores	Alta	Medio	Alto
Legal	Incumplimiento de la Ley sobre protección de datos personales	Baja	Alto	Medio
Humano	Resistencia del personal a la adopción de la plataforma	Media	Medio	Medio
Seguridad Informática	Vulnerabilidad a ciberataques o filtración de datos sensibles	Alta	Alto	Crítico
Mercado	Baja aceptación comercial del sistema por parte de empresas de mantenimiento	Media	Medio	Medio
Tiempo	Retrasos en el desarrollo por falta de recursos o limitaciones académicas	Media	Alto	Alto

2. Matriz FODA



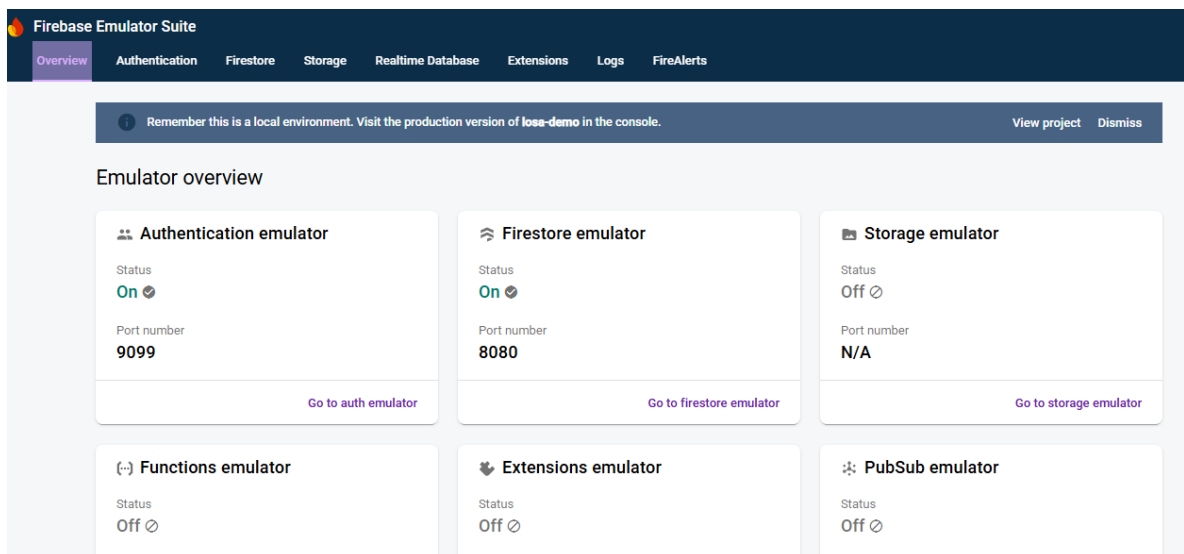
13. PROCESO DE IMPLEMENTACIÓN

1. Preparación del entorno

- **Repositorio:** Se creó un proyecto en GitHub y se clonó localmente.
- **Herramientas:** Vite + React + TypeScript, Firebase (Auth + Firestore), React Router, jsPDF + AutoTable para exportar reportes, Tailwind CSS (y DaisyUI) para estilos.
- **Dependencias:**
 - react, react-dom, react-router-dom
 - firebase
 - tailwindcss, daisyui
 - jspdf, jspdf-autotable

2. Configuración de Firebase

1. Creación de proyecto en Firebase Console.
2. Habilitación de Authentication (email/password) y Firestore.
3. Inicialización del SDK en src/firebase.ts.
4. Emulación local (Firebase Emulator Suite) para desarrollo offline.



3. Arquitectura de la aplicación

- **Páginas (src/pages)**
 - Login.tsx: autenticación de usuarios.
 - ObservationListPage.tsx: listado de inspecciones.
 - NewObservation.tsx: formulario de nueva inspección.
 - ObservationDetail.tsx: detalle de una inspección.
- **Componentes (src/components)**
 - Navbar.tsx: barra de navegación global.

- ProtectedRoute.tsx: wrapper para rutas que requieren login.
- LOSAInspectionForm.tsx: componente de formulario con manejo de estado, validaciones y envío a Firestore.
- ObservationList.tsx: tabla interactiva con descarga de PDF.

```

src > components > LOSAInspectionForm.tsx > LOSAInspectionForm > amenazas.map() callback
1 // src/components/LOSAInspectionForm.tsx
2 import { useState } from "react";
3 import { Timestamp, addDoc, collection } from "firebase/firestore";
4 import { useNavigate } from "react-router-dom";
5 import { db, auth } from "../firebase";
6
7 /* ----- tipos ----- */
8 type PF = "Comandante" | "Primer Oficial";
9
10 type Threat = {
11   descripcion: string;
12   tipo: string;
13   fase: "Despegue" | "Crucero" | "Descenso";
14   vinculaError: boolean;
15   gestion: string;
16 };
17
18 type ErrorMx = {
19   descripcion: string;
20   fase: "Despegue" | "Crucero" | "Descenso";
21   idAmenaza: number | "";
22   tipo: string;
23   respuesta: "Detectado" | "Sin respuesta";
24   resultado: "Sin consecuencias" | "Estado no deseado" | "Error adicional";
25   gestion: string;
26 };
27

```

4. Enrutamiento y seguridad

- Se usa **React Router v6** para definir rutas públicas (/login) y privadas (/new-observation, /observaciones/:id).
- ProtectedRoute redirige al login si no hay usuario autenticado.

5. Formularios y validaciones

- Captura de fecha, aeronave, ruta, piloto, descripciones por fase, listas dinámicas de amenazas y errores, y marcadores de desempeño.
- Validación mínima en cliente (campos obligatorios) antes de guardar en Firestore.
- Conversión de fecha a Timestamp de Firebase.

6. Generación de PDF

- Desde la lista, cada inspección puede exportarse a PDF usando jsPDF y AutoTable, incluyendo datos clave en un reporte.

7. Estilos y experiencia de usuario

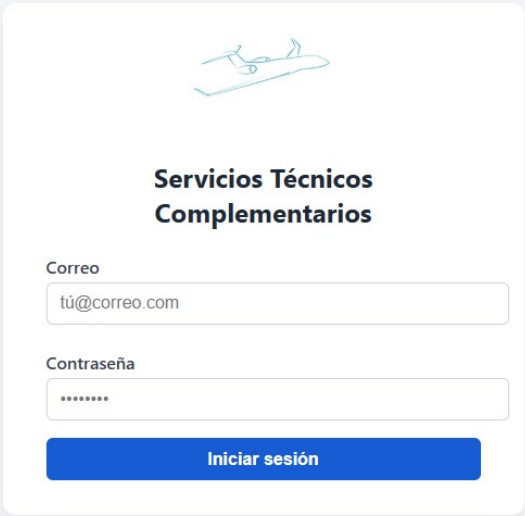
- CSS modular + pequeñas utilidades (DaisyUI): componentes listos, temas, utilidades de espaciado.
- Diseño responsive: rejilla en NewObservation y Detail, centrado de contenido, tarjetas con sombreado y bordes redondeados.
- Navbar y tarjetas con paleta corporativa (azul STC).

8. Pruebas y despliegue

- Pruebas manuales de flujo completo: registro, listado, detalle, PDF.
- Deploy en Firebase Hosting.

9. Capturas de pantalla de la herramienta

Login



The image shows a login form for 'Servicios Técnicos Complementarios'. At the top of the form is a blue line-art icon of an airplane. Below the icon, the title 'Servicios Técnicos Complementarios' is displayed in bold. The form contains two input fields: 'Correo' (Email) with the placeholder 'tú@correo.com' and 'Contraseña' (Password) with a masked input '*****'. A blue button labeled 'Iniciar sesión' (Log in) is positioned at the bottom of the form.

Listado de inspecciones

**Servicios Técnicos Complementarios**

[Inicio](#)[Nueva Inspección](#)[Ver Inspecciones](#)

INSPECCIONES LOSA-M

Fecha	Aeronave	Ruta	Piloto	Amenazas	Errores	Acciones
3/5/2025	HK 4789	NVA-FLO	Comandante	0	4	Ver PDF
6/5/2025	HK 4497	BAQ-SMR	Comandante	0	0	Ver PDF
29/4/2025	HK 5006	MED-BAQ	Primer Oficial	3	0	Ver PDF
22/4/2025	HK 4578	BOG-MED	Comandante	1	1	Ver PDF

Formulario de nueva inspección

**Servicios Técnicos Complementarios**

[Inicio](#)[Nueva Inspección](#)[Ver Inspecciones](#)

Nueva inspección LOSA-M

Piloto volando:

Descripción por fase

Gestión de Amenazas

Descripción 100 Moteo Despegue ☐ Vinculado a error Gestión tripulación

[+ Añadir amenaza](#)

Gestión de Errores

Descripción Despegue 300 Detectado Sin conse Gestión tripulación

[+ Añadir error](#)

Marcadores de Desempeño (1-4)

	Pre-salida	Despegue/Ascenso	Descenso/Aterrizaje
Planeación	☒ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4	☒ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4	☒ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4
Chequeo Cruzado	☒ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4	☒ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4	☒ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4
Gestión de contingencias	☒ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4	☒ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4	☒ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4
Guardar observación			

Detalle de inspección

Detalle inspección

[← Regresar](#)

Información básica

- Fecha: 22/4/2025, 19:00:00
- Aeronave: HK 4578
- Ruta: BOG-MED
- Piloto volando: Comandante
- Riesgo máximo: 4

Marcadores de desempeño

- Briefing: 3, 2, 3
- Planes expuestos: 3, 2, 2
- Contingencias: 4, 3, 2

Amenazas

Descripción	Tipo	Fase	Gestión
Condiciones climaticas adversas	100	Despegue	prepacion precia

Errores

CONCLUSIONES

- ❖ El desarrollo de este proyecto permitió evidenciar la viabilidad técnica y académica de una plataforma digital enfocada en la gestión de observaciones LOSA-M en el sector del mantenimiento aeronáutico. A través del proceso de diseño, implementación y análisis, se lograron cumplir en su totalidad los objetivos propuestos, construyendo una solución funcional basada en tecnologías modernas, escalables y de bajo costo. Se abordó una problemática real de trazabilidad, eficiencia y análisis de datos en auditorías de seguridad, logrando demostrar cómo la transformación digital puede mejorar significativamente los procesos operacionales en empresas del sector.
- ❖ La interfaz web desarrollada responde a criterios de usabilidad y accesibilidad, permitiendo a los auditores registrar observaciones de manera estructurada, clara y rápida. El diseño de la experiencia del usuario fue pensado para perfiles no técnicos, lo cual refuerza el enfoque práctico del sistema y su aplicabilidad inmediata en entornos reales. Se logró desarrollar un prototipo funcional, con flujos de registro, autenticación y consulta que reflejan las dinámicas reales del proceso de observación LOSA-M.
- ❖ La implementación de una base de datos en Firebase Firestore permitió garantizar un almacenamiento seguro y estructurado de la información recolectada durante las auditorías. El uso de esta tecnología demostró ser eficiente tanto en términos de tiempo de desarrollo como de costos, ofreciendo escalabilidad, sincronización en tiempo real y compatibilidad con el modo offline.
- ❖ Se integró un módulo para la generación de reportes automáticos en PDF, lo que facilita la entrega de resultados al equipo de supervisión y la documentación sistemática de hallazgos. Aunque este módulo fue desarrollado en una versión básica, cumple su función principal y sienta las bases para futuras mejoras que podrían incluir dashboards interactivos y analítica avanzada.
- ❖ La elección de una arquitectura basada en React.js y Firebase permitió desarrollar el prototipo en un periodo corto (2 meses), adaptándose a las restricciones de tiempo, presupuesto y licenciamiento. La metodología de desarrollo incremental utilizada permitió iterar rápidamente sobre los requerimientos definidos y validar

funcionalidades a medida que se construía el sistema. Además, se realizó un análisis comparativo con soluciones existentes en la industria, lo que fortaleció la justificación técnica del enfoque adoptado.

- ❖ Entre las principales limitaciones se destaca la falta de validación con usuarios reales en entornos operacionales, lo que impide medir el impacto real del sistema en términos de eficiencia y adopción. Asimismo, al tratarse de un proyecto académico, se operó con recursos limitados, lo que restringió el alcance de algunas funcionalidades como la integración con sistemas existentes o la analítica predictiva.
- ❖ El prototipo desarrollado constituye una base sólida para una futura solución empresarial con potencial de comercialización como plataforma SaaS. A mediano plazo, se podrían incorporar nuevas funcionalidades como dashboards dinámicos, alertas de riesgo, herramientas de aprendizaje automático para detección de patrones y mecanismos de integración con sistemas de gestión de mantenimiento (AMOS, TRAX). Además, existe la posibilidad de adaptar la solución a otras áreas de auditoría y seguridad operacional, más allá del mantenimiento aeronáutico.

REFERENCIAS

- Aviationlosa.com (s/f). Aviation LOSA software for Airlines, Helicopter, Maintenance, Ramp and cabin. <https://www.aviationlosa.com/LOSA-Solution/LOSA-Software>
- FAA. (2006). "Advisory Circular 120-90: Line Operations Safety Audits." Federal Aviation Administration.
- FAA (2023). Line Operations Safety Assessments (LOSA).
https://www.faa.gov/about/initiatives/maintenance_hf/losa
- Federal Aviation Administration (FAA) (2023). *Training, LOSA Software, and forms*.
https://www.faa.gov/about/initiatives/maintenance_hf/losa/training
- Federal Aviation Administration (FAA) (2006). *AC 120-90 LOSA*.
- ICAO. (2002). "Line Operations Safety Audit (LOSA)." International Civil Aviation Organization, Doc 9803.
- Landry, S. J. (2013). The application of Line Operation Safety Assessment (LOSA) and flight data management technologies to general aviation flight training. In *Advances in Human Aspects of Aviation* (pp. 505–514). CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/b12321-56>

Ma, M. J. (2012). Use a Tested Approach for Risk Management and Safety Enhancement: Maintenance Line Operations Safety Assessment (M-LOSA). *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 56(1), 21–25.

<https://doi.org/10.1177/1071181312561025>

Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO) (2002). Manual de Auditoría de Seguridad en Operaciones en Línea (LOSA) – Doc 9803.

SOMA Aviation Software (2024, Nov 6). Mejores prácticas para la gestión de documentos de aeronaves. https://www.somasoftware.com/es/post/best-practices-for-aircraft-document-management?utm_source

Tesmer, B. A. (2010). Chapter 10 - Crew Resource Management (CRM) and Line Operations Safety Audit (LOSA). In *Crew Resource Management (Second Edition)*, pp. 285–300). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374946-8.10010-X>

Rotor & Wing (2017, Dec 20). Safety Audits: Are You Prepared?, <https://login.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/login?url=https://www-proquest.com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/magazines/safety-audits-are-you-prepared/docview/2583439755/se-2>