

**Análisis documental de la gestión del mantenimiento aeronáutico y su relación con
la productividad y la confiabilidad operacional en Colombia**

David Rodríguez Rodríguez, Daniel Londoño Vargas, Sergio Andrés Romero Moreno

**Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Gerencia de la
Productividad y de las Operaciones Logísticas**

Director

Jonathan David Morales Méndez

Doctor en Tecnología Educativa

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

Facultad de Ingeniería Industrial

Especialización en gerencia de la productividad y las operaciones logísticas

2026

Dedicatoria

Dedicamos este trabajo a Dios, quien ha sido nuestra guía en los momentos de incertidumbre, nuestra fortaleza en medio de las dificultades y la luz que iluminó cada paso de este camino, permitiéndonos no desfallecer y llegar hasta este logro.

A nuestras familias, quienes han sido el corazón de este proceso. Gracias por su amor incondicional, por su paciencia infinita, por comprender nuestras ausencias y por sostenernos incluso cuando las fuerzas parecían acabarse. Este triunfo también les pertenece, porque en cada esfuerzo, en cada desvelo y en cada logro, siempre estuvieron presentes.

A todos aquellos que se involucraron en este camino desde la parte académica por orientarnos con su conocimiento y experiencia, sembrando en nosotros las ganas de seguir aportando a nuestro desarrollo académico y laboral.

Agradecimientos

Expresamos nuestra gratitud a la Universidad Santo Tomás, por la formación académica brindada y por proporcionar el entorno institucional que hace posible el desarrollo de este trabajo de grado.

Reconocemos de manera especial la orientación y el acompañamiento de nuestro director de trabajo, cuya rigurosidad académica, disposición permanente y valiosos aportes son fundamentales en la estructuración, análisis y consolidación de esta investigación.

Agradecemos a los docentes de la especialización, ya que, a través de sus conocimientos y experiencias, contribuyen significativamente al fortalecimiento de nuestras competencias profesionales.

Por último, valoramos el aporte de cada una de las instituciones y fuentes consultadas, tanto nacionales como internacionales, cuya información técnica y documental sustenta el desarrollo del presente estudio.

Contenido

Introducción	12
1. Análisis documental de la gestión del mantenimiento aeronáutico y su relación con la productividad y la confiabilidad operacional en Colombia	15
1.1 Planteamiento del problema	15
1.2 Justificación.....	17
1.3 Objetivos	20
1.3.1 Objetivo general	20
1.3.2 Objetivos específicos.....	20
2. Marco referencial	21
2.1 Marco contextual.....	21
2.2 Estado del arte	22
2.3 Marco teórico	25
2.3.1 Gestión del mantenimiento en sistemas aeronáuticos	25
2.3.2 Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)	26
2.3.3 Programas de confiabilidad basados en datos	27
2.3.4 Disponibilidad, mantenibilidad y desempeño operacional.....	28
2.4 Marco conceptual	29
2.5 Marco legal.....	30
3. Método	32
3.1 Tipo de estudio y método de análisis	33
3.2 Estrategia de búsqueda documental	33
3.3 Flujo de selección documental	35

3.4 Criterios de inclusión y exclusión	37
3.5 Criterios de inclusión y exclusión	40
3.6 Categorías de análisis	41
3.7 Instrumentos de registro y procedimiento	42
3.8 Fases del estudio.....	43
3.8.1 Fase 1. Búsqueda, selección y organización de fuentes	43
3.8.2 Fase 2. Análisis documental y comparación de información	43
3.8.3 Fase 3. Integración de hallazgos y formulación de lineamientos	43
3.9 Rigor metodológico.....	44
4. Resultados	44
4.1 Consolidación del corpus documental.....	45
4.2 Sistematización de la información documental.....	46
4.3 Análisis cualitativo de los hallazgos	49
4.4 Lineamientos técnicos e indicadores de desempeño	49
4.5 Implicaciones para la productividad y operaciones logísticas	54
4.6 Limitaciones del estudio.....	55
4.7 Relación entre mantenimiento, confiabilidad y desempeño operacional.....	56
4.8 Interpretación de los resultados.....	57
5. Discusión	59
6. Conclusiones	61
Referencias.....	64
Apéndices.....	67

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Flujo metodológico de selección documental</i>	35
Tabla 2. <i>Datos generales de accesos a los recursos electrónicos</i>	38
Tabla 3. <i>Caracterización general de las fuentes documentales analizadas</i>	46
Tabla 4. <i>Categorización de la información documental analizada</i>	47
Tabla 5. <i>Lineamientos técnicos propuestos</i>	50
Tabla 6. <i>Indicadores clave de desempeño (KPIs)</i>	52

Lista de figuras

Figura 1. *Relación entre gestión del mantenimiento, confiabilidad y desempeño operacional. . 57*

Resumen

Problema: en la aviación civil colombiana de ala fija no existe una articulación documental suficientemente integrada entre la gestión del mantenimiento aeronáutico, los programas de confiabilidad y los criterios de productividad y confiabilidad operacional, lo que limita la formulación de decisiones técnicas coherentes.

Objetivo: analizar, mediante revisión documental estructurada, la gestión del mantenimiento aeronáutico y los programas de confiabilidad aplicables al contexto colombiano, con el fin de formular lineamientos técnicos e indicadores de seguimiento orientados al fortalecimiento de la productividad y la confiabilidad operacional.

Método: esta investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo de tipo documental descriptivo y analítico, mediante la revisión y análisis comparado la normativa nacional e internacional, guías técnicas, documentos institucionales y anexos científicos especializados, emitidos por organismos como la OACI, la FAA y la Aerocivil.

Resultados: se logró identificar dispersión metodológica entre las fuentes consultadas y carencia de un referente integrador aplicable al entorno colombiano. También se evidenció que una adecuada gestión del mantenimiento afecta de manera directa y positiva en la disponibilidad técnica, la continuidad operacional y la reducción de costos derivados de fallas no planificadas. Como utilidad de esta investigación y análisis, se estructuraron lineamientos técnicos y KPIs como MTBF, MTTR, disponibilidad operacional, tasa de eventos AOG y remociones no programadas.

Palabras clave: mantenimiento aeronáutico, confiabilidad operacional, productividad operacional, aviación civil, gestión del mantenimiento

Abstract

Problem: in Colombian fixed-wing civil aviation, there is no sufficiently integrated documentary articulation among aeronautical maintenance management, reliability programs, and operational productivity and reliability criteria, which limits the formulation of coherent technical decisions.

Objective: to analyze, through a structured documentary review, aeronautical maintenance management and reliability programs applicable to the Colombian context, to formulate technical guidelines and monitoring indicators aimed at strengthening productivity and operational reliability.

Method: the research was developed under a qualitative documentary approach with a descriptive-analytical scope, through the review and comparative analysis of national and international regulations, technical guidelines, institutional documents, and specialized scientific literature issued by organizations such as ICAO, FAA, and Aerocivil.

Results: methodological dispersion was identified among the consulted sources, as well as the absence of an integrating reference framework applicable to the Colombian environment. Likewise, it was evidenced that proper maintenance management positively influences technical availability, operational continuity, and cost reduction derived from unplanned failures. As a result of the analysis, technical guidelines and KPIs such as MTBF, MTTR, operational availability, AOG event rate, and unscheduled removals were structured.

Keywords: aeronautical maintenance, operational reliability, operational productivity, civil aviation, maintenance management

Glosario

Aeronavegabilidad: condición técnica y legal que garantiza que una aeronave es apta para operar de manera segura conforme a los requisitos establecidos por la autoridad aeronáutica (International Civil Aviation Organization [ICAO], 2022).

Aeronavegabilidad continuada: conjunto de procesos y actividades destinadas a mantener una aeronave en condiciones seguras de operación durante toda su vida útil (ICAO, 2020).

Gestión del mantenimiento aeronáutico: proceso estructurado de planeación, ejecución, control y mejora de las actividades de mantenimiento orientadas a preservar la aeronavegabilidad de aeronaves y componentes (Federal Aviation Administration [FAA], 2016).

Mantenimiento aeronáutico: conjunto de tareas técnicas, preventivas y correctivas destinadas a conservar o restablecer la condición operativa de una aeronave o sus sistemas (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2022).

Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM): metodología que define las tareas de mantenimiento con base en el análisis de funciones, fallas, modos de falla y sus consecuencias, buscando optimizar la confiabilidad del sistema (Nowlan y Heap, 1978; Moubray, 1997).

Programa de confiabilidad: sistema documentado de recolección y análisis de datos operacionales que permite evaluar el desempeño del mantenimiento y sustentar decisiones técnicas (FAA, 2018).

Confiabilidad operacional: capacidad de una aeronave o sistema para cumplir su función sin fallas durante un periodo determinado bajo condiciones específicas de operación (SAE International, 2024).

Disponibilidad operacional (Ao): proporción del tiempo en que una aeronave se encuentra en condiciones técnicas aptas para operar (Arias Fraile, 2025).

Mantenibilidad: capacidad de un sistema para ser restaurado a una condición operativa dentro de un tiempo determinado y con recursos adecuados (FAA, 2016).

Productividad operacional: capacidad de un sistema aeronáutico para cumplir sus operaciones programadas de manera eficiente, segura y continua (EUROCONTROL, s. f.).

Evento AOG (Aircraft on Ground): situación en la que una aeronave queda fuera de servicio por una falla técnica que impide su operación (Alomar y Nikita, 2025).

MTBF (Mean Time Between Failures): tiempo promedio entre fallas de un sistema o componente, utilizado como indicador de confiabilidad (SAE International, 2024).

MTTR (Mean Time To Repair): tiempo promedio requerido para reparar un sistema o componente y devolverlo a condiciones operativas (FAA, 2018).

OMA (Organización de Mantenimiento Aprobada): entidad certificada por la autoridad aeronáutica para realizar mantenimiento de aeronaves y componentes (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2022).

RAC (Reglamentos Aeronáuticos de Colombia): conjunto de normas que regulan las actividades aeronáuticas en el país (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2022).

FAA (Federal Aviation Administration): autoridad aeronáutica de Estados Unidos encargada de regular y supervisar la aviación civil (FAA, 2016).

OACI (Organización de Aviación Civil Internacional): organismo internacional que establece normas y recomendaciones para la aviación civil mundial (ICAO, 2022).

KPIs (Indicadores Clave de Desempeño): métricas utilizadas para evaluar la eficiencia y efectividad de los procesos de mantenimiento y operación (FAA, 2018).

Introducción

La industria aeronáutica depende en gran medida de que las aeronaves se mantengan en condiciones seguras y aptas para operar. Así, el mantenimiento aeronáutico tiene un lugar fundamental y crítico dentro de las actividades que respaldan la aeronavegabilidad, la seguridad operacional y la disponibilidad técnica de las flotas. Su alcance va más allá de la ejecución de inspecciones o reparaciones programadas, ya que contiene procesos de planificación, seguimiento, control de información, análisis de fallas, gestión de recursos y mejora continua.

La manera como se gestionan estas actividades tiene efectos directos sobre el desempeño operacional de las organizaciones. Una administración adecuada del mantenimiento contribuye a reducir interrupciones no programadas, optimizar la disponibilidad de las aeronaves y favorecer la continuidad de las operaciones. Del mismo modo, esto influye en aspectos económicos para operadores aéreos y Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas (OMA), permitiendo así un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles.

En Colombia, estas actividades de mantenimiento se ejecutan dentro de un marco normativo definido especialmente por la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, a través de los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia (RAC). A estos lineamientos se suman referentes internacionales emitidos por organismos como la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y la Federal Aviation Administration (FAA), los cuales sirven de guía para la implementación y supervisión de prácticas orientadas a preservar la aeronavegabilidad de las aeronaves.

A pesar de la existencia de estos referentes normativos y técnicos, la información relacionada con mantenimiento, confiabilidad y desempeño operacional suele encontrarse dispersa entre reglamentos, manuales, documentos institucionales y literatura especializada.

Esta situación afecta la visión integrada que ayuda a tomar decisiones y que permite comprender la manera en la cual existe una relación entre gestión del mantenimiento, confiabilidad y productividad operacional.

La literatura internacional ha abordado ampliamente estos temas. Los trabajos desarrollados por Nowlan y Heap (1978), así como los aportes hechos por Moubray (1997), resaltan la importancia de organizar y alinear las actividades y procesos de mantenimiento, a partir del análisis de funciones, modos de falla y consecuencias operacionales. Igualmente, la FAA ha fortalecido el uso de programas de confiabilidad basados en el análisis de datos como herramienta para fortalecer los procesos de mejora continua. Las investigaciones recientes también han evidenciado que situaciones de indisponibilidad técnica, como los eventos Aircraft on Ground (AOG), tienen impactos significativos en los costos operacionales, la logística y la continuidad del servicio.

No obstante, al revisar la documentación disponible para la aviación civil colombiana de ala fija, no se identifican estudios que interrelacionen de manera clara estos elementos dentro de un mismo marco de análisis. Esta carencia, motivó el desarrollo de la investigación, orientada a responder la siguiente pregunta: ¿cómo pueden articularse los enfoques, requisitos y prácticas documentadas sobre gestión del mantenimiento aeronáutico y programas de confiabilidad para generar lineamientos técnicos que aporten al fortalecimiento de la productividad y la confiabilidad operacional en la aviación civil colombiana de ala fija?

Con base en esta hipótesis, el estudio se focalizó en estudiar la relación que hay entre la gestión del mantenimiento aeronáutico, los programas de confiabilidad y el desempeño operacional, tomando como punto de referencia la documentación normativa, técnica y académica de alcance nacional e internacional. Para esto, se desarrolló una exploración documental con

orientación cualitativo y alcance descriptivo-analítico, respaldada en la búsqueda, selección, comparación e interpretación de fuentes especializadas.

La importancia y el aporte de este trabajo, a la operatividad de aeronaves de ala fija, radica en que el mantenimiento aeronáutico no solo guarda relación con la seguridad operacional, sino que también con aspectos donde se involucra a la disponibilidad de los activos, la continuidad de las operaciones y la eficiencia en el uso de los recursos. Desde un punto de vista académico, esta investigación busca aportar al entendimiento de la relación entre mantenimiento, confiabilidad y productividad operacional. Desde punto de vista organizacional, este análisis ofrece una serie de lineamientos e indicadores que pueden servir como punto de referencia para futuras iniciativas de mejora dentro del sector.

El documento se encuentra organizado en diferentes apartados. Inicialmente se presenta el marco referencial, donde se exponen los antecedentes, conceptos y fundamentos que sustentan la investigación. Posteriormente se describe la metodología empleada para la selección y análisis de las fuentes documentales. Más adelante se presentan los resultados obtenidos y los lineamientos propuestos a partir de los hallazgos identificados. Finalmente, se exponen las conclusiones derivadas del estudio y las referencias bibliográficas utilizadas durante el proceso investigativo.

1. Análisis documental de la gestión del mantenimiento aeronáutico y su relación con la productividad y la confiabilidad operacional en Colombia

1.1 Planteamiento del problema

El mantenimiento aeronáutico cumple un papel importante dentro de la aviación, ya que permite conservar las condiciones técnicas necesarias para que las aeronaves funcionen de manera segura durante su vida útil. Tanto el Anexo 8 de la OACI como el Manual de Aeronavegabilidad Doc 9760 indican que la conservación de la aeronavegabilidad es una responsabilidad compartida entre el Estado, los explotadores y las organizaciones de mantenimiento, quienes deben velar por garantizar que las aeronaves mantengan su configuración aprobada y que todas las intervenciones realizadas sean debidamente registradas y controladas (International Civil Aviation Organization [ICAO], 2020, 2022).

Desde este punto de vista, la gestión del mantenimiento no se limita a ejecutar inspecciones o corregir las fallas cuando estas se presentan. También envuelven procesos relacionados con la estructuración de tareas, el control de la información técnica, la auditoria de resultados, la evaluación del desempeño y la toma de decisiones basada en datos y evidencia operacional.

En Colombia, estas actividades se llevan a cabo bajo un marco regulatorio que establece responsabilidades puntuales para los explotadores, las Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas (OMA) y la autoridad aeronáutica. El RAC 145 define aspectos relacionados con la certificación, el personal, las instalaciones, los sistemas de calidad y el manejo de registros. A su vez, documentos emitidos por la FAA, como las circulares AC 120-16G y AC 120-17B, proporcionan orientaciones para el diseño de programas de mantenimiento y confiabilidad, así como para el análisis de información que respalde la toma de decisiones técnicas (Unidad

Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2022; Federal Aviation Administration [FAA], 2016, 2018).

Sin embargo, la existencia de SOP Standar Operation Procedure, no garantiza por sí sola una comprensión integrada del tema. Durante la revisión de la documentación disponible se encontró que gran parte de las fuentes nacionales se enfocan en requisitos de certificación, vigilancia y cumplimiento normativo, por otro lado, la literatura internacional desarrolla con mayor profundidad aspectos relacionados con mantenimiento enfocado en confiabilidad, programas basados en análisis de datos e indicadores de desempeño como disponibilidad y mantenibilidad (Nowlan y Heap, 1978; Moubray, 1997; SAE International, 2024).

Esta situación evidencia una desarticulación entre diferentes tipos de información, aunque están relacionadas, pocas veces son analizadas de manera conjunta. Como resultado, no se observa una integración clara entre los requisitos regulatorios, los programas de confiabilidad y los factores asociados al desempeño operacional, tales como la disponibilidad de las aeronaves, la productividad de las operaciones o los costos derivados del mantenimiento.

La importancia de este vacío se hace más evidente cuando se tienen en cuenta situaciones que afectan directamente la operación aérea. Fallas no programadas, eventos Aircraft on Ground (AOG), retrasos en la obtención de repuestos o tiempos prolongados de reparación pueden dar pie a interrupciones operacionales y costos adicionales para las organizaciones. Diversos estudios han evidenciado que una adecuada gestión de estos factores contribuye a disminuir los periodos de indisponibilidad y a mejorar indicadores técnicos como el MTBF y la disponibilidad operacional. Asimismo, se ha identificado que las actividades de mantenimiento y overhaul representan una parte significativa de los costos asociados a la operación de una flota (Alomar y Nikita, 2025; Arias Fraile, 2025; EUROCONTROL, s. f.).

Pese a esto, en el contexto colombiano todavía es reducida la información que relacione de manera clara los resultados operacionales con las decisiones derivadas de la normativa, los programas de confiabilidad y las prácticas de gestión del mantenimiento. De esta manera es como existe una oportunidad para consolidar y analizar la información disponible desde una perspectiva más funcional.

Por razones de alcance y viabilidad, la investigación se centra en la aviación civil colombiana de ala fija y en los referentes aplicables a explotadores y OMA. No se pretende evaluar el desempeño de una flota específica ni establecer relaciones causales directas entre mantenimiento y productividad. El interés principal consiste en examinar cómo la literatura especializada, la normativa vigente y las guías técnicas describen esta relación, identificar los vacíos existentes y reunir criterios que puedan servir de apoyo para fortalecer la confiabilidad, la disponibilidad y la productividad operacional.

Con base en lo anterior, el problema de investigación se plantea de la siguiente manera: aunque Colombia dispone de regulación y orientación técnica en materia de mantenimiento aeronáutico y confiabilidad, aún no cuenta con una síntesis documental suficientemente integrada que permita relacionar estos referentes con criterios de análisis y decisión aplicables a la gestión del mantenimiento, la confiabilidad y la productividad operacional en la aviación civil de ala fija.

1.2 Justificación

La importancia de esta investigación radica en que el mantenimiento aeronáutico representa una de las actividades más relevantes para garantizar que las aeronaves puedan operar de manera segura y confiable. El mantenimiento forma parte de los procesos, más que una función de soporte, que dan la oportunidad de conservar la aeronavegabilidad, disminuir riesgos

operacionales y mantener las reservas técnicas que se necesita para la continuación normal de las operaciones aéreas. De esta manera, la OACI indica que el desarrollo de la aeronavegabilidad necesita armaduras organizacionales concretas, además de procedimientos documentados y mecanismos de control que admitan ratificar la operación segura de las aeronaves a lo largo del tiempo (ICAO, 2020, 2022).

El mantenimiento toma una relevancia estratégica desde el punto de vista de la gestión, ya que éste implica actividades de planificación, ejecución, seguimiento y mejora continua que tienen efectos directos sobre la disponibilidad de las aeronaves y la continuidad del servicio. Es por lo anterior, que las decisiones vinculadas con mantenimiento impactan así mismo variables relacionadas al funcionamiento operacional y la utilización de los recursos de las entidades y no solo aspectos técnicos.

La congruencia de la investigación para el contexto colombiano está relacionada con las particularidades propias del sector aeronáutico nacional, donde el RAC 145 constituye condiciones asociadas con certificación, competencias de los trabajadores, sistemas de calidad, métodos documentados y inspección de registros, por medio de las actividades de mantenimiento se continúan dentro de un ambiente altamente supervisado. No obstante, aunque estos requerimientos no brindan por sí mismos una mirada integral que permita asociar confiabilidad, disponibilidad, funcionamiento operacional y toma de decisiones en el mantenimiento dentro de un mismo ámbito de análisis (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2022), son elementales para respaldar el cumplimiento normativo,

El tema de estudio de esta investigación se enfocó en la aviación civil de ala fija, debido especialmente a aspectos de disponibilidad de información y factibilidad académica. En paralelo con otras secciones aeronáuticas, este tema cuenta con mayor cantidad de estudios, documentos y

acceso técnico, regulatorio y de acceso público, lo cual favorece el análisis y la semejanza de información derivada de diferentes fuentes.

Simplificando, aunque la investigación no intente corroborar o validar un modelo de mantenimiento en una flota determinada, sí pretende consolidar piezas que puedan ser de utilidad como apoyo para próximos análisis y procedimientos de mejoramiento asociados con la gestión del mantenimiento aeronáutico y adicional, pretende agrupar y organizar datos que en la actualidad se encuentra diseminado entre métodos, manuales, técnicas y publicaciones especializadas. Así mismo, sugiere indicadores los cuales pueden utilizarse como guía para examinar el desempeño y cumplimiento de programas de mantenimiento y confiabilidad, un ejemplo de estos indicadores ampliamente usados en el sector puede ser: el MTBF, el MTTR, la disponibilidad operacional (Ao), la tasa de remociones no planificadas y de acontecimientos AOG,

Desde una visión académica, el estudio aporta una percepción integral de ítems que reiteradamente son abordados separadamente, so pena de que en la práctica sostienen una relación estrecha como lo son: La gestión del mantenimiento, los programas de confiabilidad y el desempeño operacional. Por lo anterior, agrupar dichos temas alrededor de una misma investigación, aporta una mejor comprensión de conceptos como confiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y productividad operacional, disminuyendo posibles equívocas interpretaciones.

Para finalizar, la estructuración organizada de esta información establece un aporte que puede ser útil como base para investigaciones posteriores y estudios aplicados del sector aeronáutico, dado que mayor parte de la información sobre el mantenimiento aeronáutico se encuentra repartido entre reglamentos, manuales, circulares y documentos científicos, lo cual comprende un valor de la investigación y su metodología que permitió recopilar, escoger, comparar y analizar información procedente de fuentes oficiales, técnicas y académicas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Analizar, por medio de una revisión documental organizada, la gestión del mantenimiento aeronáutico y los programas de confiabilidad aplicables a la aviación civil colombiana de ala fija, con el objetivo de proponer lineamientos técnicos e indicadores de seguimiento que conduzcan al mejoramiento de la productividad y la confiabilidad operacional.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar, mediante revisión documental, el marco conceptual, normativo y técnico de la gestión del mantenimiento aeronáutico y de los programas de confiabilidad aplicables a la aviación civil colombiana de ala fija.
- Analizar, mediante síntesis documental comparada, la relación documentada entre gestión del mantenimiento, confiabilidad, disponibilidad, productividad operacional y costos asociados, identificando criterios técnicos relevantes para el contexto colombiano.
- Formular, a partir de los hallazgos documentales, lineamientos técnicos y un conjunto de KPIs de seguimiento que sirvan como referencia analítica para fortalecer la productividad y la confiabilidad operacional en la aviación civil colombiana de ala fija.

2. Marco referencial

2.1 Marco contextual

El sector aeronáutico colombiano está conformado por diferentes actividades relacionadas con el transporte aéreo, el mantenimiento de aeronaves, los procesos de certificación, la supervisión y el apoyo logístico. Estas actividades son reguladas por la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, entidad encargada de establecer los lineamientos necesarios para garantizar la seguridad y el adecuado funcionamiento de la aviación civil en el país. A través de los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia (RAC), la autoridad aeronáutica define las condiciones bajo las cuales operan los explotadores, las organizaciones certificadas y los demás actores que participan en el sector.

Dentro de este contexto, las Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas (OMA) desempeñan un papel fundamental, ya que son las responsables de ejecutar actividades orientadas a conservar o restablecer la aeronavegabilidad de aeronaves, componentes y sistemas aeronáuticos. Su desempeño resulta crucial para asegurar que las aeronaves continúen con las condiciones técnicas necesarias para trabajar de manera óptima, segura y conforme a los requerimientos de la autoridad aeronáutica (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2022; Aerocivil, s. f.-a).

La presente investigación se centra en la aviación civil, debido a la existencia de una mayor información normativa, técnica y académica disponible y de acceso público, pese a que el sistema aeronáutico colombiano integra tanto la aviación civil como la aviación de Estado. Al encontrarse mayor flujo de información en el área de aviación civil, se facilita el análisis y la comparación de documentos asociados con métodos, gestión y desempeño de mantenimiento, gestión y desempeño

operacional. De esta manera, la demarcación corresponde a la obligación de mantener un alcance metodológicamente viable y soportado en fuentes que estén al alcance para ser consultadas y diferenciadas de manera neutral.

De la misma manera, se ha decidido que el estudio se enfoque especialmente en aeronaves de ala fija, debido a la documentación accesible sobre mantenimiento aeronáutico y sus metodologías como MSG-3, programas de confiabilidad e indicadores de desempeño representa un mayor nivel de desarrollo y patrón en este segmento, lo que permite hacer un análisis más congruente de la información compilada.

Como finalidad de esta investigación, la productividad operacional no se restringe a la cantidad de operaciones ejecutadas, sino que también observa ítems como las aeronaves existentes, la continuidad del servicio, la disminución para suspenderlas por técnicos y la gestión eficiente y eficaz de las actividades de mantenimiento. Dado que se entiende como la capacidad de una entidad para continuar sus operaciones aéreas de forma eficiente, garantizando el cumplimiento y aprovechamiento de los servicios programados y el adecuado uso de los recursos disponibles. Desde este ángulo, la productividad operacional es directamente relacionado con la confiabilidad y el desempeño general del sistema de mantenimiento.

2.2 Estado del arte

Las investigaciones relacionadas con la gestión del mantenimiento aeronáutico han priorizado durante su evolución modelos y programas dirigidos hacia modelos de confiabilidad y análisis de información para centrarse finalmente en el cumplimiento de labores y toma de decisiones. Dentro de este crecimiento, uno de los pioneros corresponde al mantenimiento centrado en confiabilidad (Reliability-Centered Maintenance, RCM), trabajado inicialmente por

Nowlan y Heap (1978). Estos dos autores propusieron que la eficacia de una actividad de mantenimiento no depende únicamente de la frecuencia con que se ejecute, sino de la capacidad que tenga para prever o controlar por medio de planes de contingencia, las consecuencias de una falla operacional.

Seguidamente, Moubray (1997), robusteció este enfoque al proponer una metodología organizada que relaciona funciones, fallas, modos de falla y consecuencias operacionales con la elección de labores de mantenimiento. Gracias a estas contribuciones, y la de la norma SAE JA1011 que se desarrolló más adelante, se consolidó una herramienta grandemente usada para la gestión de la confiabilidad en diversos sectores industriales, contribuyendo a un uso más parejo y compacto de esta metodología (SAE International, 2024).

Al mismo tiempo, diferentes autores e instituciones han resaltado la importancia de los programas de confiabilidad como complemento de los programas de mantenimiento continuado. En este campo, la FAA ha desarrollado lineamientos orientados a la búsqueda, agrupación y análisis organizado de información operacional, con el fin de identificar, detectar y respaldar tendencias, desviaciones y ajustes respectivamente en labores de mantenimiento. Según esta entidad, un programa de confiabilidad debe proporcionar información objetiva que facilite el seguimiento del desempeño de la flota y apoye la mejora continua de los procesos de mantenimiento (FAA, 2018).

De igual manera, la AC 120-16G subraya que la gestión del mantenimiento necesita mecanismos constantes de control, supervisión y seguimiento que posibiliten evaluar la efectividad de las actividades ejecutadas y garantizar el cumplimiento de los objetivos operacionales establecidos por los operadores aéreos (FAA, 2016). En Colombia, estos términos también han sido incorporados dentro de la documentación dada por la Aerocivil, pese a que la información

disponible de este sector suele encontrarse repartida en reglamentos, manuales, procedimientos y guías técnicas, lo cual ha dificultado un análisis integral (Aerocivil, s. f.-b; Aerocivil, s. f.-c).

Otro conjunto de investigaciones en los últimos años, han analizado en los eventos Aircraft on Ground (AOG) que se ha tenido una atención específicamente debido a las consecuencias que generan sobre la continuidad de las operaciones. La falta de disponibilidad súbita de una aeronave puede ocasionar además de costos adicionales, retrasos, cancelaciones, requerimientos logísticos urgentes.

De este modo, también Arias Fraile (2025), realizó herramientas enfocadas al análisis de eventos AOG y su huella sobre la eficiencia de los procesos de mantenimiento. Así mismo, Alomar y Nikita (2025), acentúan la importancia de introducir modelos de predicción y gestión de repuestos necesarios para cubrir las necesidades operacionales previniendo y disminuyendo tiempos de vacío e indisponibilidad. Las anteriores investigaciones, concuerdan en indicar que una gestión apta de la confiabilidad posibilita una contribución importante para mejorar la continuidad operacional y la explotación de los bienes disponibles.

Adicional se suman los análisis realizados por EUROCONTROL, los cuales muestran que las actividades de mantenimiento y overhaul representan una proporción importante de los costos asociados a la operación de una flota. Lo anterior, demuestra que las resoluciones de mantenimiento no solo tienen consecuencias técnicas, sino también secuelas directas sobre la eficiencia operacional y el funcionamiento económico de las organizaciones.

En conclusión, las investigaciones consultadas brindan una base sólida para entender la relación entre los cuatro elementos a trabajar: mantenimiento, confiabilidad, disponibilidad y desempeño operacional. Sin embargo, al explorar la documentación accesible para el público para el contexto colombiano, se evidencia que los anteriores elementos suelen abordarse siempre de

manera individual. Aunque existen referentes normativos y autores pioneros en el tema, las directrices técnicas y programas de confiabilidad, no se lograron hallar trabajos integrales con estos componentes dentro de un mismo ámbito de análisis para la aviación civil colombiana de ala fija.

Por tal razón, la presente investigación busca proporcionar una mirada estructurada de los principales conceptos a investigar y enfoques documentados sobre mantenimiento aeronáutico y confiabilidad, con el propósito de facilitar su comprensión conjunta y proporcionar elementos de ayuda y referencia para próximas investigaciones dentro de los procesos de mejora dentro del sector.

2.3 Marco teórico

2.3.1 Gestión del mantenimiento en sistemas aeronáuticos

La gestión del mantenimiento aeronáutico se entiende como el conjunto de actividades que se realizan para asegurar que una aeronave mantenga las condiciones técnicas necesarias para poder operar de manera segura. Este proceso no solo se trata de hacer inspecciones o reparaciones, sino que también incluye la planificación de recursos, el manejo de la información técnica, el control de registros, la supervisión de actividades y el seguimiento de los resultados que se van obteniendo.

En las organizaciones aeronáuticas, este proceso requiere del trabajo coordinado la gestión de varias áreas, tales como mantenimiento, inspección, control de calidad y el área técnica. Además, es necesario contar con personal capacitado, procedimientos establecidos y recursos

adecuados que permitan cumplir con las normas y requisitos de las autoridades correspondientes (FAA, 2016; Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2022).

Desde el punto de vista operativo, la gestión del mantenimiento no solo busca cumplir con las normas, sino que su principal objetivo es garantizar que las aeronaves se mantengan en condiciones seguras para volar, reduciendo la posibilidad de fallas y asegurando la continuidad de las operaciones aéreas.

2.3.2 Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM)

El mantenimiento centrado en confiabilidad, conocido como RCM por sus siglas en inglés, se desarrolló como una alternativa a los enfoques tradicionales que se basaban únicamente en intervalos de tiempo o horas de operación. Este enfoque se basa en el análisis del comportamiento de los sistemas para determinar que fallas podrían presentarse, cuáles serían sus efectos y qué tipo de acciones son adecuadas para evitarlas o controlarlas.

Los estudios realizados por Nowlan y Heap (1978), evidenciaron que aumentar la frecuencia de los intervalos de mantenimiento no necesariamente mejora la confiabilidad de un sistema. En muchos casos, es más eficiente analizar la importancia de cada componente y definir tareas de mantenimiento según el nivel de riesgo que implica su posible falla. Mas adelante, Moubray (1997), consolidó esta metodología al proponer un proceso estructurado que relaciona las funciones del sistema, las fallas funcionales, los modos de falla y sus consecuencias operacionales.

Del mismo modo, el RCM promulga una perspectiva dirigida a la efectividad del mantenimiento, especialmente aquellas tareas que aportan realmente al control del riesgo y al desempeño del sistema. La norma SAE JA1011 apoya este planteamiento al definir pautas

mínimas que ayudan a comprobar si un método aplicado guarda los principios esenciales del mantenimiento basado en confiabilidad (SAE International, 2024).

2.3.3 Programas de confiabilidad basados en datos

Los programas de confiabilidad constituyen una herramienta de apoyo para la toma de decisiones dentro de los sistemas de mantenimiento aeronáutico. Su función principal consiste en recopilar información operacional, analizar tendencias y generar evidencia que permita evaluar el comportamiento de aeronaves, componentes y sistemas a lo largo del tiempo.

Para cumplir este propósito, dichos programas emplean indicadores de desempeño, análisis estadísticos y procedimientos de seguimiento que facilitan la identificación de desviaciones o situaciones que requieren atención. De acuerdo con los resultados alcanzados, es probable poner en práctica acciones de corrección, ajuste y revisión de tareas de mantenimiento e intervalos de vigilancia respectivamente, cuando exista justificación técnica suficiente.

La FAA considera estos programas como un elemento fundamental dentro de los Programas de Mantenimiento Continuo (CAMP), destacando que cualquier modificación derivada de los análisis realizados debe mantener los niveles de seguridad exigidos y ajustarse a los requisitos regulatorios aplicables (FAA, 2018).

Dentro de la presente investigación, los programas de confiabilidad adquieren especial importancia porque permiten relacionar la información técnica generada por el mantenimiento con la evaluación objetiva del desempeño operacional.

2.3.4 Disponibilidad, mantenibilidad y desempeño operacional

La disponibilidad operacional hace referencia al tiempo durante el cual una aeronave se encuentra en condiciones de cumplir las funciones para las que fue destinada. Este concepto se relaciona directamente con la capacidad de la organización para mantener sus aeronaves operativas y disponibles cuando son requeridas para prestar servicio.

Desde el ámbito de la ingeniería de mantenimiento, la disponibilidad suele analizarse a partir de indicadores como el tiempo medio entre fallas (MTBF) y el tiempo medio de reparación (MTTR). Mientras el primero permite evaluar la frecuencia con que ocurren fallas, el segundo refleja la capacidad de recuperación del sistema una vez se presenta una interrupción.

Por su parte, la mantenibilidad se refiere a la facilidad con la que una aeronave, sistema o componente puede ser restaurado a condiciones operativas mediante actividades de mantenimiento adecuadamente planificadas y ejecutadas. Un alto nivel de mantenibilidad contribuye a reducir tiempos de intervención y favorece una recuperación más rápida de la operación.

En el entorno aeronáutico, estos conceptos mantienen una relación estrecha con el desempeño operacional. La continuidad del servicio, la reducción de eventos no programados, el control de situaciones AOG y el uso eficiente de recursos técnicos y logísticos dependen en gran medida de la capacidad del sistema de mantenimiento para conservar la disponibilidad y la confiabilidad de las aeronaves. Por esta razón, la productividad operacional debe entenderse como el resultado de múltiples factores técnicos y de gestión que permiten sostener las operaciones con niveles adecuados de seguridad, eficiencia y confiabilidad.

2.4 Marco conceptual

Gestión del mantenimiento aeronáutico: conjunto de actividades técnicas y administrativas mediante las cuales se planifican, ejecutan, controlan y evalúan las acciones de mantenimiento necesarias para conservar o restablecer la aeronavegabilidad de las aeronaves y sus componentes, garantizando su operación segura y eficiente.

Programa de confiabilidad: herramienta de gestión basada en la recopilación y análisis sistemático de información técnica y operacional, utilizada para evaluar el comportamiento del mantenimiento, identificar tendencias y respaldar la toma de decisiones relacionadas con tareas, procedimientos e intervalos de mantenimiento.

Confiabilidad operacional: capacidad que tiene una aeronave, sistema o componente para desempeñar la función para la cual fue diseñado durante un periodo determinado, sin presentar fallas que comprometan la seguridad o la continuidad de la operación.

Productividad operacional: nivel de eficiencia con el que una organización aeronáutica logra desarrollar las operaciones programadas, aprovechando adecuadamente sus recursos y manteniendo la continuidad del servicio bajo condiciones seguras y acordes con los requisitos regulatorios.

Disponibilidad operacional (Ao): indicador que refleja el tiempo durante el cual una aeronave se encuentra en condiciones técnicas de prestar servicio y puede ser utilizada efectivamente para la operación prevista.

Mantenibilidad: característica de un sistema que determina la facilidad y rapidez con la que puede ser inspeccionado, reparado o restablecido a una condición operativa mediante el uso adecuado de recursos humanos, técnicos y logísticos.

Evento AOG (Aircraft on Ground): condición en la que una aeronave queda fuera de servicio debido a una novedad técnica que impide su operación normal y requiere acciones correctivas o soporte logístico para recuperar su disponibilidad.

KPIs de mantenimiento y confiabilidad: indicadores empleados para monitorear y evaluar el desempeño de las actividades de mantenimiento y su impacto sobre la operación. En este estudio se tienen en cuenta principalmente el MTBF, MTTR, disponibilidad operacional (Ao), tasa de supresión no planeada y tasa de eventos AOG.

2.5 Marco legal

La presente investigación se fundamenta en un conjunto de normas y documentos técnicos que orientan la gestión del mantenimiento aeronáutico y la conservación de la aeronavegabilidad tanto a nivel internacional como nacional. Estos referentes permiten comprender las responsabilidades de los diferentes actores involucrados en el mantenimiento de aeronaves y constituyen la base normativa sobre la cual se desarrollan los programas de mantenimiento y confiabilidad.

En el ámbito internacional, uno de los principales referentes corresponde al Anexo 8 de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), documento que establece los estándares generales relacionados con la aeronavegabilidad de las aeronaves y con las responsabilidades que deben asumir los Estados para garantizar su cumplimiento. Aunque este anexo no desarrolla procedimientos específicos para cada país, sí define los principios que sirven de base para la construcción de los marcos regulatorios nacionales (ICAO, 2022).

Complementariamente, el Manual de Aeronavegabilidad Doc 9760 amplía estos lineamientos al proporcionar orientaciones sobre la manera en que los Estados, los explotadores y

las organizaciones de mantenimiento deben gestionar la aeronavegabilidad continuada. Este documento resulta especialmente relevante para el estudio porque presenta la aeronavegabilidad como un proceso que involucra organización, control, registros, supervisión y seguimiento permanente, y no únicamente la realización de actividades técnicas de mantenimiento (ICAO, 2020).

En Colombia, el principal referente normativo para las organizaciones que realizan mantenimiento aeronáutico es el Reglamento Aeronáutico de Colombia RAC 145. Esta regulación establece los requisitos relacionados con certificación, capacidades técnicas, competencias del personal, instalaciones, sistemas de calidad, control documental y procedimientos para la liberación al servicio de aeronaves y componentes. Por esta razón, constituye una de las bases más importantes para comprender la estructura bajo la cual operan las Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas (OMA) dentro del país (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, 2022).

Adicionalmente, la Aerocivil ha emitido documentos de orientación que complementan la aplicación de la normativa. Entre ellos se encuentra la Circular Informativa No. 016 de 2021, mediante la cual se presentan lineamientos para la implementación de departamentos encargados de la gestión de la aeronavegabilidad y del mantenimiento. Este documento evidencia la importancia que tiene para la autoridad aeronáutica no solo la ejecución de actividades técnicas, sino también la existencia de procesos organizados de planificación, seguimiento y control (Aerocivil, 2021).

De igual manera, la documentación técnica relacionada con programas de confiabilidad y procedimientos de inspección aporta criterios útiles para comprender la forma en que la autoridad supervisa el desempeño de los programas de mantenimiento y evalúa la implementación de

cambios o ajustes sustentados técnicamente. Estos documentos permiten identificar la importancia que tiene el análisis de información y el seguimiento de indicadores dentro de los procesos de mejora continua (Aerocivil, s. f.-b; Aerocivil, s. f.-c).

Finalmente, esta investigación toma como referencia las circulares AC 120-16G y AC 120-17B emitidas por la Federal Aviation Administration (FAA). Aunque estas publicaciones no tienen carácter obligatorio dentro del marco regulatorio colombiano, representan referentes técnicos ampliamente reconocidos en la industria aeronáutica internacional. Su inclusión permite contrastar prácticas, identificar elementos de gestión utilizados en otros contextos y fortalecer la formulación de lineamientos orientados al mantenimiento y la confiabilidad, siempre considerando su compatibilidad con la normativa colombiana vigente (FAA, 2016, 2018).

En conjunto, estos documentos proporcionan el soporte normativo y técnico necesario para analizar la gestión del mantenimiento aeronáutico y los programas de confiabilidad desde una perspectiva alineada tanto con los estándares internacionales como con las exigencias regulatorias aplicables en Colombia.

3. Método

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo y de tipo documental, con un alcance descriptivo y analítico. El estudio se centró en la revisión, comparación e interpretación de documentos normativos, técnicos y académicos relacionados con la gestión del mantenimiento aeronáutico, los programas de confiabilidad y su relación con la productividad y la confiabilidad operacional en la aviación civil colombiana de ala fija.

De acuerdo con este enfoque, la investigación no buscó evaluar directamente el desempeño de una flota específica ni comprobar relaciones de causa y efecto entre las variables estudiadas. Su

propósito principal fue analizar la información disponible en la literatura y en los documentos regulatorios para identificar enfoques, criterios, coincidencias y vacíos existentes en torno a la gestión del mantenimiento y la confiabilidad aeronáutica (Creswell y Creswell, 2018).

3.1 Tipo de estudio y método de análisis

- *Tipo de estudio*: documental, con alcance descriptivo-analítico.
- *Métodos de análisis*: análisis documental, análisis temático y análisis comparativo.
- *Unidad de análisis*: documentos normativos, manuales técnicos, circulares, artículos científicos, trabajos académicos y publicaciones institucionales relacionadas con mantenimiento aeronáutico, confiabilidad, disponibilidad operacional, eventos AOG, costos asociados al mantenimiento y criterios para la toma de decisiones técnicas.

3.2 Estrategia de búsqueda documental

La búsqueda de información se realizó en diferentes bases de datos académicas y fuentes documentales seleccionadas por su relevancia y reconocimiento dentro del sector aeronáutico. Para la consulta de literatura científica se utilizaron bases de datos como Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink y Google Scholar. De manera complementaria, se revisaron documentos oficiales publicados por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), la Federal Aviation Administration (FAA) y la Aeronáutica Civil de Colombia (Aerocivil).

Siguiendo las recomendaciones metodológicas definidas para el estudio, la búsqueda se enfocó principalmente en publicaciones de los últimos diez años. No obstante, se incluyeron algunos documentos de referencia considerados fundamentales para el desarrollo del marco teórico, entre ellos los trabajos de Nowlan y Heap (1978) y Moubray (1997), así como normas y

documentos técnicos que continúan siendo utilizados como referentes dentro del sector aeronáutico.

La identificación de información se realizó mediante el uso de palabras clave en español e inglés relacionadas con mantenimiento aeronáutico, programas de confiabilidad, disponibilidad operacional, productividad operacional y aeronavegabilidad continuada. Estos términos fueron combinados utilizando operadores booleanos con el fin de obtener resultados acordes con los objetivos de la investigación.

Además de la ecuación principal de búsqueda, se elaboraron consultas específicas para abordar diferentes temas de interés. Algunas estuvieron orientadas a la revisión de normativa y documentación técnica, mientras que otras se enfocaron en la relación entre mantenimiento, confiabilidad, disponibilidad operacional, eventos AOG y costos asociados. También se realizaron búsquedas dirigidas a la identificación de indicadores de seguimiento, lineamientos técnicos y estrategias para la gestión de recursos de mantenimiento.

Durante el proceso se aplicaron filtros relacionados con fecha de publicación, idioma, tipo de documento y pertinencia temática. Estos criterios permitieron seleccionar información alineada con los objetivos del estudio y garantizar la calidad de las fuentes analizadas.

Con el propósito de mantener la transparencia del proceso metodológico, se registraron las bases de datos consultadas, las ecuaciones utilizadas, los filtros aplicados y las decisiones tomadas durante la selección de documentos. Esta información permitió reconstruir de manera ordenada las etapas de identificación, revisión, exclusión e inclusión de fuentes.

Como resultado de la búsqueda inicial se identificaron 40 documentos. Posteriormente, 31 fueron seleccionados para una revisión más detallada de su contenido. Durante esta etapa se excluyeron 8 documentos debido a duplicidad, baja relación con el tema de estudio o menor

relevancia técnica. Finalmente, se consolidó un conjunto de 23 fuentes que conformaron la base documental utilizada en la investigación.

Las fuentes incluidas corresponden a normativa nacional e internacional, manuales técnicos, circulares institucionales, literatura científica indexada, libros especializados y documentos académicos relacionados con mantenimiento aeronáutico y confiabilidad. La incorporación de estudios recientes sobre mantenimiento centrado en confiabilidad, mantenimiento predictivo, gestión de repuestos críticos, eventos AOG y disponibilidad operacional permitió enriquecer el análisis y fortalecer la discusión de los resultados obtenidos.

3.3 Flujo de selección documental

Tabla 1. *Flujo metodológico de selección documental*

Objetivo / fase	Base consultada	Ecuación usada	Resultados	Documentos	Documentos	Documentos	Razón principal / de inclusión / exclusión
<i>OEI</i>	Scopus / WoS / Aerocivil / FAA / ICAO	("aircraft maintenance management" OR "gestión del mantenimiento aeronáutico") AND ("reliability program" OR "programa de confiabilidad") AND (Colombia OR Aerocivil OR FAA OR ICAO)	20	14	4	10	Se incluyeron normas, manuales y guías oficiales con alta pertinencia; se excluyeron duplicados y registros de baja aplicabilidad.

Objetivo / fase	Base consultada	Ecuación usada	Resultados	Documentos	Documentos	Documentos	Razón principal de inclusión / exclusión
<i>OE2</i>	Scopus / ScienceDirect / Springer / Google Scholar	(maintenance AND reliability AND availability AND (AOG OR downtime OR costs) AND aviation)	14	11	3	8	Se incluyeron estudios arbitrados sobre RCM, disponibilidad, AOG, mantenimiento predictivo y soporte logístico; se excluyeron textos demasiado generales.
<i>OE3</i>	Scopus / Google Scholar / FAA / Aerocivil	("maintenance KPI" OR MTBF OR MTTR OR availability) AND aviation	6	6	1	5	Se incluyeron trabajos útiles para formular lineamientos e indicadores; se excluyó un registro de menor correspondencia temática.
<i>Consolidación final</i>	Integración de resultados depurados	No aplica	40	31	8	23	El corpus final quedó compuesto por 23 fuentes entre normativa oficial, guías técnicas, documentos institucionales, fuentes clásicas y artículos científicos recientes.

El tráfico de selección documental permitió organizar de manera sistemática el proceso de identificación, depuración y consolidación de las fuentes utilizadas en la investigación. A través

de este proceso se definieron criterios de congruencia, relación, autoridad y relevancia en cuanto el objeto de estudio, técnica y metodología respectivamente, lo cual favoreció la constitución de un organismo documental razonable con los propósitos planteados.

La aplicación paulatina de filtros documentales posibilitó la exclusión registros duplicados, documentos con bajo orden temático en sus fuentes y sin suficiente aporte analítico en las mismas para los objetivos planteados en la investigación. Como resultado, se consolidó un conjunto final de 23 fuentes documentales integradas por normativa aeronáutica, guías técnicas, literatura especializada y producción científica reciente relacionada con mantenimiento aeronáutico, confiabilidad operacional, disponibilidad técnica y productividad operacional.

Este procedimiento fortaleció la transparencia metodológica de la revisión y permitió fortalecer la trazabilidad en el proceso de construcción y análisis del corpus documental utilizado en la investigación.

3.4 Criterios de inclusión y exclusión

Como parte del proceso de revisión documental, se identificaron diversas fuentes que inicialmente fueron consideradas dentro de las búsquedas realizadas, pero que posteriormente fueron excluidas al no cumplir plenamente los criterios metodológicos definidos para la investigación. La exclusión documental respondió a aspectos relacionados con pertinencia temática, alcance técnico, alineación con el objeto de estudio y calidad analítica de la información identificada.

Tabla 2. *Datos generales de accesos a los recursos electrónicos*

Código	Referencia APA / registro	Tipo	Año	País/ámbito	Razón principal de exclusión	Relación con el tema	Observaciones metodológicas
E01	International Air Transport Association. (2025, October 13). Supply chain challenges could cost airlines more than \$11 billion in 2025. IATA.	Comunicado sectorial	2025	Internacional	No se incluyó como fuente principal porque corresponde a comunicación sectorial no arbitrada.	Contexto de costos, cadena de suministro y envejecimiento de flota.	Puede citarse de manera contextual, pero no se prioriza como evidencia central del análisis documental.
E02	MRO Business Today. (2025, April 21). Parts that power progress: Aircraft spares and inventory market insights. https://mrobusinessstoday.com/parts-that-power-progress-aircraft-spares-and-inventory-market-insights/	Prensa especializada	2025	Internacional	Se excluyó por no ser fuente académica ni documento institucional de alta autoridad técnica.	Mercado de repuestos e inventarios aeronáuticos.	Útil para contexto de industria, no para sostener el argumento central del estudio.
E03	Alomar, I., & Nikita, D. (2025). Managing operational efficiency and reducing aircraft downtime by optimization of Aircraft On-Ground (AOG) processes for air operator. Preprint. https://www.preprints.org/	Preprint	2025	Internacional	Se excluyó por duplicidad, dado que se incorporó la versión final publicada en Applied Sciences.	AOG, downtime y repuestos.	La versión arbitrada fue retenida en el corpus principal como F14.

Código	Referencia APA / registro	Tipo	Año	País/ámbito	Razón principal de exclusión	Relación con el tema	Observaciones metodológicas
E04	Khan et al. (2025), Generative AI based predictive maintenance in aviation: A systematic literature review. Research Square preprint.	Preprint	2025	Internacional	Se excluyó por duplicidad, debido a que se incorporó la versión final publicada en CEAS Aeronautical Journal.	Mantenimiento predictivo e IA generativa.	La versión arbitrada fue retenida en el corpus principal como F16.
E05	J-GLOBAL. (2025). Bibliographic record for “Generative AI-based predictive maintenance in aviation: a systematic literature review”.	Registro bibliográfico	2025	Internacional	Se excluyó por ser un registro de indexación secundaria y no el documento fuente completo.	Indexación y localización bibliográfica.	No aporta contenido analítico sustantivo al estudio.
E06	Rodriguez, C. E. (2024). Optimizing business aviation operations through predictive maintenance: A data-driven approach to aircraft lifecycle management. World Journal of Advanced Research and Reviews.	Artículo científico	2024	Internacional	Se excluyó por menor alineación con el foco del estudio, centrado en articulación documental regulatoria y aviación civil colombiana de ala fija.	Mantenimiento predictivo en aviación ejecutiva.	Su orientación temática es útil, pero menos pertinente que las fuentes seleccionadas para el corpus final.

La tabla de fuentes excluidas se incorporó con el propósito de hacer explícito el proceso de depuración documental seguido en la investigación. Su inclusión permitió mostrar que la construcción del corpus no respondió a una lógica acumulativa, sino a la aplicación de criterios

definidos de pertinencia, autoridad de la fuente y relación directa con los objetivos del estudio. De este modo, la exclusión documentada de ciertos registros fortaleció la transparencia del procedimiento y aportó mayor consistencia metodológica a la revisión.

3.5 Criterios de inclusión y exclusión

3.5.1 Criterios de inclusión

- Documentos publicados entre 2014 y 2026, excepto aquellos textos clásicos o normativos que, por su importancia dentro del tema, resultaron indispensables para el desarrollo de la investigación.
- Literatura disponible en español o inglés.
- Fuentes con reconocimiento técnico, científico o institucional.
- Documentos relacionados directamente con mantenimiento aeronáutico, programas de confiabilidad, disponibilidad operacional, productividad, eventos AOG, costos de mantenimiento o normatividad aplicable al sector.
- Normativa oficial emitida por organismos como la OACI, la FAA y la Aerocivil.
- Artículos científicos, libros especializados, manuales técnicos, circulares institucionales y trabajos académicos que aportaran información relevante para el estudio.

3.5.2 Criterios de exclusión

- Documentos sin autor identificado o sin respaldo institucional verificable.
- Publicaciones de carácter divulgativo utilizadas como fuente principal de evidencia.
- Registros duplicados encontrados durante el proceso de búsqueda.

- Estudios enfocados en sectores diferentes al aeronáutico.
- Investigaciones relacionadas exclusivamente con aviación militar, aeronaves de ala rotatoria u otros contextos que no correspondieran al alcance definido para el estudio.
- Documentos con información muy general que no aportaran elementos útiles para el análisis de las categorías establecidas.

Con el fin de mantener claridad en el proceso de selección, los documentos descartados fueron registrados en una matriz específica donde se consignó la razón principal de exclusión, ya fuera por duplicidad, baja relación con el tema, falta de respaldo técnico o escasa pertinencia para los objetivos de la investigación.

3.6 Categorías de análisis

Las categorías utilizadas para organizar y analizar la información recopilada fueron las siguientes:

- Gestión del mantenimiento aeronáutico.
- Programas de confiabilidad y análisis basado en datos.
- Disponibilidad y productividad operacional.
- Confiabilidad operacional y mantenibilidad.
- Eventos AOG, tiempos de indisponibilidad y costos asociados.
- Decisiones técnicas relacionadas con tareas, intervalos y acciones correctivas.
- Requisitos regulatorios y buenas prácticas aplicables al contexto colombiano.

- Indicadores de seguimiento, entre ellos MTBF, MTTR, disponibilidad operacional (Ao), tasa de eventos AOG, remociones no programadas y otros indicadores relacionados con la gestión de repuestos y la respuesta logística.

3.7 Instrumentos de registro y procedimiento

La información recopilada se organizó mediante una matriz documental diseñada para registrar aspectos como autor, año de publicación, tipo de documento, alcance, objetivo principal, hallazgos relevantes, categoría de análisis y aportes al problema de investigación. Esta herramienta facilitó la comparación entre diferentes fuentes y permitió identificar puntos de encuentro y diferencias entre la documentación consultada.

Como apoyo al proceso de análisis también se utilizaron fichas de lectura, cuadros comparativos y matrices específicas para la construcción de lineamientos e indicadores. De esta manera, la revisión documental fue más allá de la simple recopilación de información y permitió desarrollar una interpretación organizada de la evidencia encontrada.

Para facilitar el seguimiento del proceso, las fuentes seleccionadas fueron identificadas mediante códigos consecutivos desde F01 hasta F23. En cada registro se consignaron datos relacionados con autoría, año, tipo de documento, ámbito de aplicación, aportes principales y categorías analíticas asociadas. Los documentos excluidos fueron registrados mediante la codificación E01 a E06, indicando en cada caso la razón correspondiente.

Adicionalmente, se elaboró una tabla de seguimiento del proceso de búsqueda documental en la que se registraron las bases de datos consultadas, las ecuaciones de búsqueda utilizadas, los resultados obtenidos y las decisiones tomadas durante las etapas de selección. Este instrumento

permitió documentar de forma clara cómo se conformó el conjunto final de fuentes utilizado en la investigación.

3.8 Fases del estudio

3.8.1 Fase 1. Búsqueda, selección y organización de fuentes

En esta etapa se establecieron las palabras clave de búsqueda, así mismo se llevó a cabo la exploración documental, aplicando los criterios de inclusión y exclusión definidos para el estudio. Seguidamente, las fuentes seleccionadas se ordenaron y clasificaron, teniendo en cuenta el nivel de relevancia en la investigación.

3.8.2 Fase 2. Análisis documental y comparación de información

En esta fase se realizó la revisión del contenido de las fuentes escogidas con el objetivo de hallar la forma en que se abordaban aspectos relacionados con la gestión del mantenimiento, confiabilidad, disponibilidad, productividad operacional y efectos asociados a fallas o eventos de mantenimiento.

3.8.3 Fase 3. Integración de hallazgos y formulación de lineamientos

A partir de los resultados obtenidos se elaboraron lineamientos técnicos e indicadores de seguimiento relacionados con la gestión del mantenimiento y la confiabilidad. Estas propuestas se fundamentan en la información analizada y se presentan como una síntesis documental orientada a servir como referencia para futuros estudios o procesos de mejora organizacional.

3.9 Rigor metodológico

Para fortalecer la calidad de la investigación se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- Revisión de fuentes normativas, técnicas y académicas provenientes de diferentes contextos.
- Comparación entre referentes internacionales y documentos aplicables al entorno colombiano.
- Prioridad a fuentes oficiales y literatura especializada.
- Uso de matrices documentales para organizar la información y documentar las decisiones adoptadas durante el proceso de análisis.
- Aplicación de criterios de citación y paráfrasis de acuerdo con las normas APA.

Con base en la información recopilada y analizada, se desarrolló la síntesis de resultados presentada en el capítulo siguiente, enfocada en examinar la relación existente entre mantenimiento aeronáutico, confiabilidad, disponibilidad operacional y productividad.

4. Resultados

Los resultados de la presente investigación se derivan del análisis documental de fuentes normativas, técnicas y académicas relacionadas con la gestión del mantenimiento aeronáutico, los programas de confiabilidad y su relación conceptual con la disponibilidad técnica y la productividad operacional. En coherencia con el enfoque metodológico adoptado, los hallazgos corresponden a un proceso de sistematización, categorización e interpretación cualitativa de la información, sin la aplicación de técnicas estadísticas empíricas.

4.1 Consolidación del corpus documental

Como resultado del proceso de búsqueda, selección y depuración de información, se conformó un conjunto final de veintitrés (23) fuentes documentales consideradas pertinentes para el desarrollo de la investigación. La selección se realizó teniendo en cuenta aspectos como la relación directa con el tema de estudio, el respaldo técnico o institucional de las fuentes, la actualidad de la información y su aporte al cumplimiento de los objetivos planteados.

Los documentos incluidos abordaron temas relacionados con la gestión del mantenimiento aeronáutico, los programas de confiabilidad, la disponibilidad de aeronaves, los eventos Aircraft on Ground (AOG) y diferentes aspectos asociados al desempeño operacional dentro de la aviación civil.

Al revisar las fuentes seleccionadas se encontró una combinación de documentos normativos, manuales técnicos, circulares institucionales, literatura científica y publicaciones académicas. Esta variedad permitió analizar el tema desde diferentes perspectivas y contrastar los planteamientos presentes en la regulación aeronáutica con los aportes desarrollados por investigadores y organismos especializados.

También se observó una mayor presencia de fuentes normativas y técnicas frente a otro tipo de publicaciones. Esta situación resulta consistente con las características propias del sector aeronáutico, donde gran parte de las actividades relacionadas con mantenimiento, aeronavegabilidad y confiabilidad se desarrollan bajo requisitos regulatorios específicos y lineamientos emitidos por autoridades nacionales e internacionales.

En conjunto, las fuentes seleccionadas proporcionaron una base documental suficiente para examinar la relación entre gestión del mantenimiento, confiabilidad, disponibilidad operacional y

productividad, permitiendo desarrollar posteriormente el análisis comparativo y la formulación de los lineamientos propuestos en esta investigación.

Tabla 3. *Caracterización general de las fuentes documentales analizadas*

Tipo de fuente	Cantidad
<i>Normativa y regulación aeronáutica</i>	3
<i>Circulares y guías técnicas</i>	6
<i>Manuales / documentos institucionales</i>	2
<i>Literatura especializada clásica</i>	2
<i>Producción académica reciente</i>	10
<i>Total</i>	23

La interpretación planteada en el anterior recuadro deja en evidencia que la base documental de la investigación consultada, no se restringió únicamente a la literatura académica, sino que introdujo información de documentos regulatorios del sector y técnicos esenciales para el análisis del mantenimiento aeronáutico. En consecuencia, ello permitió contrastar exigencias normativas, metodologías de confiabilidad, lineamientos operativos e indicadores de desempeño aplicables al entorno colombiano.

A partir de este corpus documental se desarrolló la sistematización de la información y el análisis temático presentado en los apartados siguientes, orientados a identificar relaciones entre mantenimiento, confiabilidad, disponibilidad operacional y productividad.

4.2 Sistematización de la información documental

A partir de la revisión de las fuentes seleccionadas, se realizó un proceso de organización que permitió identificar categorías analíticas clave, las cuales estructuran el desarrollo del estudio.

Tabla 4. *Categorización de la información documental analizada*

Categoría analítica	Descripción conceptual	Tipo de fuentes asociadas	Variables o elementos analizados	Aporte al desarrollo del estudio
<i>Normativa aeronáutica y aeronavegabilidad continuada</i>	Comprende la regulación y los lineamientos técnicos aplicables a la gestión del mantenimiento aeronáutico y al aseguramiento de la aeronavegabilidad continuada en aviación civil	Reglamentos RAC, OACI, FAA, normas técnicas y circulares regulatorias	Requisitos de mantenimiento, cumplimiento técnico, gestión documental, control aeronavegable	Proporcionó el marco regulatorio y técnico que sustenta la investigación
<i>Gestión del mantenimiento aeronáutico</i>	Incluye los modelos organizacionales, administrativos y operacionales orientados a la planificación, ejecución y control del mantenimiento aeronáutico	Manuales técnicos, literatura especializada y documentos institucionales	Planeación del mantenimiento, programación, gestión de recursos, control operacional	Permitió analizar el mantenimiento como sistema estratégico asociado a disponibilidad y continuidad operacional
<i>Programas de confiabilidad operacional</i>	Hace referencia a metodologías de monitoreo y análisis de datos técnicos orientadas a identificar tendencias de fallas y optimizar decisiones de mantenimiento	Estudios técnicos, guías FAA/OACI y literatura académica reciente	Fallas recurrentes, confiabilidad, monitoreo de componentes, análisis estadístico operacional	Facilitó la comprensión de la relación conceptual entre mantenimiento estructurado y desempeño operacional

Categoría analítica	Descripción conceptual	Tipo de fuentes asociadas	Variables o elementos analizados	Aporte al desarrollo del estudio
<i>Indicadores de desempeño y disponibilidad operacional</i>	Corresponde a métricas utilizadas para evaluar confiabilidad, mantenibilidad y continuidad operativa de las aeronaves	Literatura especializada, artículos científicos y documentación técnica	MTBF, MTTR, disponibilidad operacional, eventos AOG, tiempos fuera de servicio	Permitió identificar indicadores técnicos aplicables al seguimiento de la gestión del mantenimiento
<i>Mantenimiento predictivo y análisis basado en datos</i>	Comprende enfoques contemporáneos orientados al uso de tecnologías, monitoreo predictivo y análisis de datos para anticipar fallas	Producción científica reciente y revisiones sistemáticas	Predicción de fallas, análisis de tendencias, mantenimiento basado en condición	Fortaleció el enfoque contemporáneo de la investigación y la identificación de tendencias emergentes
<i>Productividad operacional y continuidad del servicio</i>	Relaciona la gestión del mantenimiento con la disponibilidad técnica de aeronaves y la estabilidad de las operaciones aéreas	Artículos científicos, informes técnicos y documentos institucionales	Disponibilidad técnica, gestión de fallas no planificadas, continuidad operacional	Permitió contextualizar la relación conceptual entre mantenimiento, confiabilidad y productividad operacional

Las categorías analíticas fueron definidas a partir de los objetivos de la investigación y del proceso de revisión documental desarrollado. Su estructuración permitió organizar el análisis de las fuentes desde una perspectiva normativa, técnica y operacional, facilitando la identificación de

relaciones conceptuales entre gestión del mantenimiento aeronáutico, confiabilidad operacional, disponibilidad técnica y productividad operacional dentro del contexto de la aviación civil colombiana.

4.3 Análisis cualitativo de los hallazgos

El análisis de la información permitió evidenciar que la gestión del mantenimiento aeronáutico se concibe como un sistema técnico-administrativo orientado al mantenimiento de la aeronavegabilidad continuada mediante procesos estructurados, control documental y supervisión permanente (Federal Aviation Administration, 2016; International Civil Aviation Organization, 2022).

Asimismo, los programas de confiabilidad se identifican como herramientas fundamentales para la toma de decisiones técnicas, al permitir la recopilación, análisis e interpretación sistemática de datos operacionales (Federal Aviation Administration, 2018).

Aun así, enfocando en el contexto colombiano se puede evidenciar la dificultad en la integralidad sistemática de elementos normativos, de gestión del mantenimiento y análisis de datos, que dan apertura a una brecha dentro de los procesos asociados a disponibilidad operacional.

4.4 Lineamientos técnicos e indicadores de desempeño

Como producto, la relación entre mantenimiento, confiabilidad y desempeño operacional, se organizaron gracias al análisis comparativo de las diferentes fuentes consultadas, se expusieron lineamientos técnicos y se hallaron indicadores clave de desempeño (KPIs).

Tabla 5. *Lineamientos técnicos propuestos*

Lineamiento técnico	Descripción técnica	Fundamentación documental	Aplicación propuesta dentro de la gestión del mantenimiento aeronáutico
<i>Articulación entre aeronavegabilidad continuada y gestión del mantenimiento</i>	Integrar los requisitos regulatorios de aeronavegabilidad con los procesos operacionales y administrativos del mantenimiento aeronáutico	Reglamentos RAC, OACI y FAA enfatizan la necesidad de mantener condiciones permanentes de aeronavegabilidad mediante programas estructurados de mantenimiento	Fortalecer la coherencia entre cumplimiento regulatorio, control técnico y continuidad operacional
<i>Formalización organizacional de los procesos de mantenimiento</i>	Definir responsabilidades técnicas, trazabilidad documental y procedimientos estandarizados para la ejecución y control del mantenimiento	La literatura especializada y las guías técnicas identifican la estandarización documental como elemento asociado a la confiabilidad operacional	Mejorar la consistencia operativa y la capacidad de seguimiento técnico
<i>Integración de programas de confiabilidad operacional</i>	Incorporar mecanismos sistemáticos de monitoreo de fallas, tendencias y desempeño técnico de componentes	FAA, OACI y estudios recientes resaltan la utilidad de los programas de confiabilidad para el análisis preventivo de eventos recurrentes	Facilitar decisiones de mantenimiento basadas en comportamiento operacional y análisis de datos
<i>Uso de indicadores técnicos de desempeño</i>	Implementar métricas de seguimiento relacionadas con disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad	La literatura revisada documenta el uso recurrente de indicadores como MTBF, MTTR y disponibilidad operacional	Permitir evaluación técnica continua y seguimiento de desempeño operacional

Lineamiento técnico	Descripción técnica	Fundamentación documental	Aplicación propuesta dentro de la gestión del mantenimiento aeronáutico
<i>Toma de decisiones basada en evidencia técnica</i>	Utilizar registros históricos, análisis de fallas y comportamiento operacional como soporte para ajustes en mantenimiento	El enfoque RCM y los modelos de confiabilidad priorizan decisiones sustentadas en evidencia técnica y análisis funcional	Fortalecer la planificación del mantenimiento y la priorización de recursos.
<i>Gestión analítica de eventos AOG</i>	Incorporar análisis estructurado de eventos Aircraft on Ground (AOG) para identificar causas recurrentes y vulnerabilidades operacionales	Los estudios recientes relacionan los eventos AOG con afectaciones en disponibilidad técnica y continuidad operacional	Identificar oportunidades de prevención y fortalecimiento de respuesta operativa
<i>Integración del mantenimiento predictivo</i>	Incorporar enfoques basados en monitoreo de condición y análisis predictivo para anticipar fallas potenciales	La producción científica reciente evidencia tendencias hacia mantenimiento basado en datos y predicción de fallas	Fortalecer la anticipación de fallas no planificadas y la disponibilidad técnica
<i>Anteponer constante las técnicas e información documental de fuentes de mantenimiento</i>	Definir orden según relevancia de la consulta entre normativa, manuales técnicos y documentación institucional	Al realizar la revisión documental en la investigación, se pudo observar la importancia de mantener adherencia entre requisitos regulatorios y documentación técnica	Mejorar el rastreo y exigencia técnica en procesos de mantenimiento

Las directrices técnicas formuladas no intentan definir relaciones experimentales, si no afianzar referidos de análisis y técnica de acuerdo con la información observada y que sea posible aportar al mejoramiento de la gestión del mantenimiento aeronáutico la confiabilidad operacional y la disponibilidad técnica en la aviación civil colombiana.

Estas propuestas fueron elaboradas a partir de la concurrencia entre normas de aeronáutica, documentación especializada y desarrollo científico reciente.

Tabla 6. *Indicadores clave de desempeño (KPIs)*

Indicador (KPI)	Definición técnica	Finalidad dentro de la gestión del mantenimiento aeronáutico	Relación conceptual identificada en la literatura	Unidad o forma de medición
<i>MTBF (Mean Time Between Failures)</i>	Tiempo promedio transcurrido entre fallas funcionales de un sistema o componente	Evaluar el nivel de confiabilidad de equipos y componentes aeronáuticos	La literatura revisada lo asocia con análisis de confiabilidad y reducción de fallas recurrentes	Horas de operación entre fallas
<i>MTTR (Mean Time To Repair)</i>	Tiempo promedio requerido para ejecutar procesos de reparación o restauración funcional	Medir la mantenibilidad y capacidad de respuesta técnica ante fallas	Se identifica como indicador relacionado con eficiencia operativa y tiempos de recuperación	Horas promedio de reparación
<i>Disponibilidad operacional</i>	Proporción de tiempo en que la aeronave se encuentra técnicamente apta para operar	Evaluar la continuidad operacional y capacidad de servicio de la flota	La revisión documental evidencia una relación conceptual entre mantenimiento estructurado y disponibilidad técnica	Porcentaje (%)
<i>Tasa de eventos AOG (Aircraft on Ground)</i>	Frecuencia de eventos que generan inmovilización no planificada de aeronaves	Identificar interrupciones operacionales asociadas a fallas técnicas	Los estudios recientes la relacionan con indisponibilidad técnica y afectaciones operacionales	Número de eventos por período

Indicador (KPI)	Definición técnica	Finalidad dentro de la gestión del mantenimiento aeronáutico	Relación conceptual identificada en la literatura	Unidad o forma de medición
<i>Cumplimiento del mantenimiento programado</i>	Nivel de ejecución de actividades de mantenimiento dentro de los tiempos establecidos	Verificar adherencia a la planificación y control técnico	La literatura lo reconoce como elemento asociado a control operacional y prevención de fallas	Porcentaje (%)
<i>Índice de fallas recurrentes</i>	Frecuencia de repetición de fallas en sistemas o componentes previamente intervenidos	Detectar problemas persistentes y oportunidades de mejora técnica	Se relaciona con efectividad de mantenimiento y análisis de confiabilidad	Número de recurrencias
<i>Tiempo promedio fuera de servicio</i>	Tiempo acumulado de indisponibilidad operacional de la aeronave por mantenimiento o fallas	Evaluar impacto técnico-operacional de interrupciones no planificadas	La literatura revisada lo vincula con continuidad del servicio y disponibilidad operacional	Horas fuera de servicio
<i>Cumplimiento documental y trazabilidad técnica</i>	Nivel de actualización y consistencia de registros técnicos y documentales	Garantizar control técnico y cumplimiento regulatorio	OACI, FAA y normativa aeronáutica resaltan la importancia de la trazabilidad documental	Porcentaje de cumplimiento
<i>Indicadores asociados al mantenimiento predictivo</i>	Métricas derivadas del monitoreo de condición y análisis predictivo de componentes	Anticipar comportamientos anómalos y fallas potenciales	Los estudios recientes evidencian su utilidad en estrategias preventivas y predictivas	Tendencias, alertas o patrones detectados

Los indicadores clave de desempeño identificados en la revisión documental representan referentes técnicos utilizados en la literatura aeronáutica para el seguimiento de confiabilidad,

mantenibilidad, disponibilidad operacional y control técnico del mantenimiento. Su incorporación en el estudio no implica validación empírica dentro de flotas específicas, sino la consolidación de métricas reconocidas documentalmente como herramientas de análisis y apoyo para la gestión del mantenimiento aeronáutico.

4.5 Implicaciones para la productividad y operaciones logísticas

Los resultados obtenidos permiten evidenciar que la gestión del mantenimiento aeronáutico no solo tiene efectos sobre la condición técnica de las aeronaves, sino también sobre aspectos relacionados con la productividad y la gestión logística de las organizaciones. En la aviación civil, mantener niveles adecuados de disponibilidad y confiabilidad contribuye a que las operaciones puedan desarrollarse con menor cantidad de interrupciones y con un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles.

Durante la revisión documental se encontró que indicadores como el MTBF, el MTTR, la disponibilidad operacional, los eventos AOG y los tiempos de indisponibilidad son herramientas útiles para evaluar el desempeño del mantenimiento. Su seguimiento permite identificar tendencias, detectar posibles problemas y orientar acciones encaminadas a mejorar la eficiencia de los procesos técnicos.

Asimismo, varios autores coinciden en que la información generada por estos indicadores puede servir de apoyo para la planificación de recursos, la programación de actividades de mantenimiento y la gestión de repuestos. Esto facilita la asignación más adecuada de personal, materiales y capacidad operativa, disminuyendo en algunos casos los efectos derivados de fallas no previstas o retrasos en la atención de novedades técnicas.

Otro aspecto relevante identificado en las fuentes revisadas es la relación existente entre el mantenimiento y los resultados operacionales de las organizaciones. Cuando los procesos de mantenimiento se apoyan en información confiable y en el seguimiento de indicadores, resulta más fácil relacionar los problemas técnicos con sus posibles impactos sobre la operación, los costos asociados y el cumplimiento de la programación establecida.

Desde el punto de vista logístico, una adecuada gestión del mantenimiento también puede favorecer la planificación de inventarios, la disponibilidad de repuestos críticos y la coordinación entre las diferentes áreas involucradas en la operación. De esta manera, se fortalece la interacción entre mantenimiento, abastecimiento y programación, contribuyendo a una gestión más organizada de los recursos.

En términos generales, la literatura revisada sugiere que el uso permanente de indicadores de mantenimiento y confiabilidad puede aportar al mejoramiento del desempeño operacional, al control de los procesos técnicos y a la reducción de pérdidas asociadas con tiempos de indisponibilidad de las aeronaves.

4.6 Limitaciones del estudio

Los resultados presentados en esta investigación deben interpretarse teniendo en cuenta que se trata de un estudio de carácter documental. Por esta razón, las conclusiones obtenidas se fundamentan en la información disponible en las fuentes consultadas y no en datos recolectados directamente en organizaciones aeronáuticas colombianas.

De igual forma, no se realizaron mediciones de campo ni análisis estadísticos sobre indicadores de mantenimiento, confiabilidad o productividad en operadores específicos. En

consecuencia, los hallazgos corresponden a una síntesis de la información reportada en la normativa, la literatura especializada y los documentos técnicos revisados.

También se identificaron limitaciones relacionadas con el acceso a ciertos datos del sector aeronáutico. Es de resaltar que el acceso a la información suele ser de acceso limitado, restringido o de no acceso al público, lo que ocasionó dificultad en su introducción en la investigación documental con ítems como lo son: información como costos reales de falta de disponibilidad, desempeño al detalle de flotas, tiempos logísticos de abastecimiento o indicadores internos de mantenimiento.

En adición a esto, las fuentes analizadas fueron elaboradas en contextos organizacionales y regulados de manera diferente, por lo cual algunos de los objetivos identificados pueden necesitar ser ajustados antes de su aplicación al contexto colombiano. Cada uno de los operadores tiene características exclusivas relacionadas con su tamaño, tipo de flota, recursos disponibles y modelo de operación.

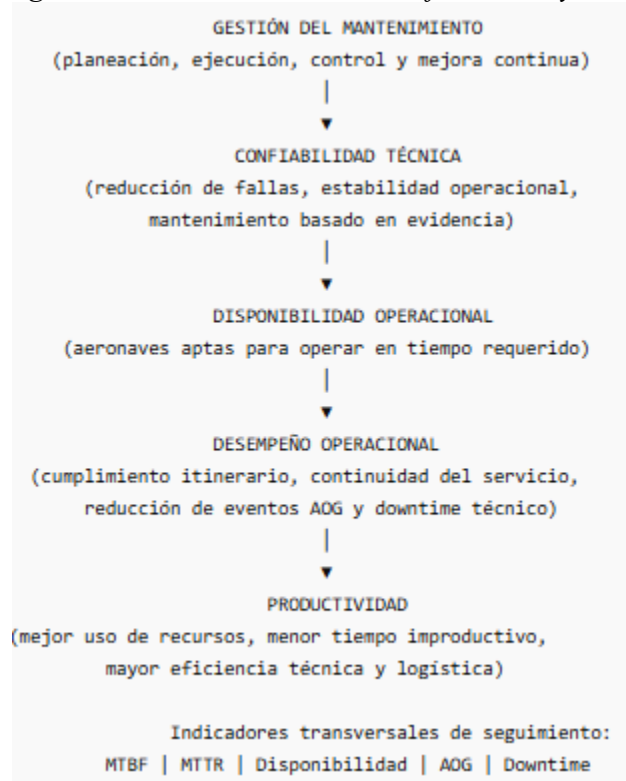
A pesar de estas limitaciones encontradas durante el desarrollo de la investigación, esta última permitió compilar y organizar información importante sobre mantenimiento aeronáutico, confiabilidad y desempeño operacional, contribuyendo a una mirada integral de dichos elementos que puede ser útil como punto de partida y facilita futuras investigaciones.

4.7 Relación entre mantenimiento, confiabilidad y desempeño operacional

Con base en la información reunida y analizada en el desarrollo de la investigación, se identifica como las decisiones tomadas relacionadas con el mantenimiento, influyen directamente sobre la disponibilidad constante de las aeronaves y el cumplimiento de los objetivos de las entidades. Es por esto, que se elaboró la siguiente figura con el objetivo de representar de manera

general la relación existente entre la gestión del mantenimiento aeronáutico, la confiabilidad técnica y el desempeño operacional.

Figura 1. *Relación entre gestión del mantenimiento, confiabilidad y desempeño operacional.*



4.8 Interpretación de los resultados

A partir de la observación y análisis de las fuentes seleccionadas para su posterior investigación, se halló lo siguiente: el mantenimiento no se debe limitar únicamente a la ejecución de tareas ya programadas previamente si lo que se quiere es tener mejores resultados o a la corrección de fallas, sino que se respalda en programas de confiabilidad y en mecanismos o metodologías de seguimiento que ayuden a evaluar constantemente el comportamiento de la operación.

Los archivos analizados dan a conocer que el uso de indicadores facilita una interpretación mucho más clara del estado y funcionamiento de los sistemas aeronáuticos. Por ejemplo, el MTBF permite observar con qué frecuencia se presentan fallas, mientras que el MTTR ofrece información sobre la capacidad que tiene la organización para recuperar la condición operativa de una aeronave o componente después de una intervención de mantenimiento.

De igual manera, la disponibilidad operacional reúne información relacionada tanto con la ocurrencia de fallas como con los tiempos requeridos para su recuperación, convirtiéndose en un indicador útil para evaluar el comportamiento general del sistema de mantenimiento. A esto se suman variables como los eventos AOG y los tiempos de indisponibilidad, las cuales permiten identificar afectaciones directas sobre la operación y sobre la continuidad del servicio.

Otro aspecto que apareció de forma recurrente en la literatura revisada fue la importancia de contar con información técnica organizada y actualizada. Diversos autores destacan que el análisis de datos históricos, registros de mantenimiento e indicadores de desempeño facilita la identificación de problemas repetitivos y contribuye a una mejor planificación de recursos, actividades y acciones correctivas.

En términos generales, los hallazgos permiten entender que existe una relación estrecha entre la gestión del mantenimiento, la confiabilidad y el desempeño operacional. Cuando las organizaciones cuentan con procesos estructurados de seguimiento y análisis, disponen de mayores elementos para anticipar fallas, reducir tiempos de indisponibilidad y mejorar el aprovechamiento de los recursos disponibles.

Por lo tanto, la revisión documental realizada sugiere que la integración entre mantenimiento, confiabilidad y control de indicadores puede aportar al fortalecimiento de la

disponibilidad operacional y al mejoramiento del desempeño general de las organizaciones aeronáuticas, siempre dentro de los niveles de seguridad exigidos por la regulación vigente.

5. Discusión

La revisión documental realizada permitió identificar que existe una amplia cantidad de información relacionada con mantenimiento aeronáutico, programas de confiabilidad y aeronavegabilidad. Sin embargo, gran parte de estos documentos abordan los temas de manera independiente, ya sea desde una perspectiva regulatoria, técnica o académica. Como resultado, no siempre es fácil encontrar una visión integrada que permita relacionar de forma clara la gestión del mantenimiento con la confiabilidad y el desempeño operacional, especialmente en el contexto de la aviación civil colombiana.

Al comparar las diferentes fuentes consultadas, se observó que los principios del mantenimiento centrado en confiabilidad continúan siendo uno de los referentes más utilizados para orientar las decisiones de mantenimiento. Los planteamientos desarrollados por Nowlan y Heap, así como los aportes posteriores de Moubray, siguen presentes en buena parte de la literatura revisada. Esto sugiere que la efectividad del mantenimiento no depende únicamente de cumplir tareas programadas, sino de comprender las funciones de los sistemas, identificar los riesgos asociados a las fallas y definir acciones acordes con su impacto sobre la operación.

Otro aspecto que llamó la atención durante el análisis fue la diferencia entre lo que plantean algunos documentos regulatorios y lo que proponen los enfoques más orientados a la gestión del desempeño. Mientras la normativa se concentra principalmente en garantizar el cumplimiento de requisitos, la literatura técnica suele enfatizar la necesidad de utilizar información operacional e indicadores para apoyar la mejora continua de los procesos de mantenimiento. Aunque ambos

enfoques persiguen objetivos complementarios, la revisión realizada permite inferir que existe espacio para fortalecer la relación entre cumplimiento regulatorio y gestión estratégica del mantenimiento.

De igual manera, los documentos analizados muestran que los programas de confiabilidad pueden desempeñar un papel importante en la identificación de tendencias, el seguimiento de fallas repetitivas y la evaluación del comportamiento de aeronaves y componentes. Cuando estos programas se apoyan en información confiable y en indicadores adecuados, es posible obtener elementos que facilitan la toma de decisiones relacionadas con inspecciones, intervenciones correctivas, gestión de repuestos y programación de actividades de mantenimiento.

La revisión también permitió identificar que variables como el MTBF, el MTTR, la disponibilidad operacional y los eventos AOG aparecen de manera recurrente como herramientas para evaluar el desempeño del mantenimiento. Más allá de su función como indicadores técnicos, estos elementos permiten relacionar las actividades de mantenimiento con aspectos operacionales como la continuidad del servicio, el aprovechamiento de recursos y la reducción de tiempos de indisponibilidad.

En el caso colombiano, los resultados sugieren que una mayor integración entre información técnica, registros operacionales y programas de confiabilidad podría contribuir a mejorar el seguimiento del desempeño de mantenimiento. Asimismo, podría facilitar la identificación temprana de problemas recurrentes y apoyar una asignación más eficiente de recursos humanos, técnicos y logísticos.

Por otra parte, es importante reconocer que los resultados obtenidos provienen de una investigación documental. En consecuencia, las interpretaciones presentadas se basan en información reportada por las fuentes consultadas y no en mediciones realizadas directamente en

operadores o talleres de mantenimiento específicos. Por esta razón, algunos de los lineamientos propuestos deberían complementarse en futuras investigaciones con estudios de campo que permitan contrastar los hallazgos documentales con experiencias operativas reales.

En términos generales, la revisión realizada permite concluir que cuando los elementos de: la gestión del mantenimiento, la confiabilidad y el desempeño operacional se gestionan de manera enlazada, existe una mayor capacidad para el crecimiento y fortalecimiento de la disponibilidad de las aeronaves, optimizar recursos y contribuir a la continuidad de las operaciones, previniendo la falta de disponibilidad con planes de contingencia dentro de los niveles de seguridad exigidos por la normatividad aeronáutica.

6. Conclusiones

La revisión documental realizada permitió comprender mejor la relación existente entre la gestión del mantenimiento aeronáutico, los programas de confiabilidad y el desempeño operacional dentro de la aviación civil colombiana. A lo largo del estudio se encontró que existe una amplia cantidad de información técnica, normativa y académica sobre estos temas; sin embargo, buena parte de ella se encuentra distribuida en diferentes documentos y enfoques, lo que dificulta su consulta e integración para apoyar la toma de decisiones dentro de las organizaciones.

Uno de los principales hallazgos fue reconocer que la gestión del mantenimiento aeronáutico va mucho más allá de la ejecución de inspecciones, reparaciones o actividades programadas. La literatura revisada muestra que se trata de un proceso que involucra planeación, control, seguimiento y evaluación permanente, con el propósito de conservar la aeronavegabilidad, garantizar la seguridad operacional y contribuir a la disponibilidad de las aeronaves.

También se encontró que los programas de confiabilidad cumplen un papel importante dentro de los sistemas de mantenimiento, debido a que permiten recopilar y analizar información relacionada con el comportamiento de aeronaves, componentes y procesos. Gracias a esta información es posible identificar tendencias, detectar problemas recurrentes y respaldar decisiones orientadas a mejorar el desempeño de las operaciones.

De igual forma, la revisión permitió evidenciar la importancia de indicadores como el MTBF, el MTTR y la disponibilidad operacional para evaluar el comportamiento del mantenimiento. Estos indicadores aparecen de manera recurrente en la literatura especializada como herramientas útiles para realizar seguimiento a la confiabilidad de los sistemas y apoyar la identificación de oportunidades de mejora.

Otro aspecto relevante identificado durante el estudio fue la relación existente entre la gestión del mantenimiento y la reducción de eventos de indisponibilidad, especialmente aquellos asociados a situaciones AOG. Las fuentes consultadas coinciden en que la capacidad de anticipar fallas, gestionar adecuadamente la información técnica y responder oportunamente a los requerimientos operacionales puede influir de manera positiva en la continuidad del servicio y en el aprovechamiento de los recursos disponibles.

Asimismo, se observó que el mantenimiento centrado en confiabilidad continúa siendo uno de los enfoques más utilizados para orientar la definición de estrategias de mantenimiento. Su principal aporte radica en la posibilidad de analizar funciones, modos de falla y consecuencias operacionales antes de definir tareas o intervalos de intervención, permitiendo que las decisiones se ajusten mejor a las necesidades reales de cada sistema.

Como resultado de la investigación, se formularon lineamientos técnicos e indicadores de seguimiento que pueden servir como referencia para futuras iniciativas relacionadas con

mantenimiento y confiabilidad en el sector aeronáutico colombiano. Aunque estos lineamientos no fueron validados en una organización específica, constituyen una base de apoyo para estudios posteriores y para procesos de mejoramiento que busquen fortalecer la disponibilidad operacional y la gestión de mantenimiento.

A grandes rasgos, esta investigación permite concluir la relación directa que existe entre el desempeño operacional y con elementos gestión del mantenimiento, los programas de confiabilidad y el seguimiento de indicadores. Cuando estos elementos se desarrollan de manera integral, las entidades cuentan con más herramientas para mejorar la disponibilidad de las aeronaves, optimizar recursos, prevenir fallas y apoyar la continuidad de las operaciones dentro de los patrones de seguridad demandados por la industria aeronáutica.

Referencias

- Aerocivil. (2021). *Circular informativa No. 016: Aspectos técnicos y normativos para que un explotador aéreo implemente un departamento de gestión de mantenimiento de la aeronavegabilidad*. Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil.
- Aerocivil. (s. f.-a). *Organizaciones de mantenimiento aeronáutico*. Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. <https://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/certificacion-y-vigilancia/organizaciones-de-mantenimiento>
- Aerocivil. (s. f.-b). *Parte 4, capítulo VI: Aprobación de un programa de confiabilidad*. Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. <https://www.aerocivil.gov.co/normatividad/reglamentos-aeronauticos-de-colombia-rac>
- Aerocivil. (s. f.-c). *Capítulo IV: Inspección de un programa de confiabilidad aprobado*. Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. <https://www.aerocivil.gov.co/normatividad/reglamentos-aeronauticos-de-colombia-rac>
- Alomar, I., Nikita, D. (2025). Managing operational efficiency and reducing aircraft downtime by optimization of Aircraft On-Ground (AOG) processes for air operator. *Applied Sciences*, 15(9), 5129. <https://doi.org/10.3390/app15095129>
- Arias Fraile, J. (2025). *Desarrollo de una herramienta para el análisis de situaciones “Aircraft on Ground” (AOG) en una aerolínea y su aplicación a la mejora de la eficiencia del mantenimiento de aeronaves* [Trabajo académico]. Universitat Politècnica de València.
- Bohrey, O. P., Chatpalliwar, A. S. (2024). Application of reliability centred maintenance in improving aircraft availability with preventive maintenance intervention. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 42(1), 115–129.

- Creswell, J. W., Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th. ed.). SAGE Publications.
- EUROCONTROL. (s. f.). *Aircraft operating costs: Standard inputs for economic analyses*.
- Ferreira da Costa, G., Ferreira Gomes, G. (2025). Optimizing aircraft fleet maintenance: A data-driven approach using unsupervised artificial intelligence. *Machine Learning for Computational Science and Engineering*, 1, 27.
- Federal Aviation Administration. (2016). *Advisory Circular 120-16G: Air carrier maintenance programs*. U.S. Department of Transportation.
- Federal Aviation Administration. (2018). *Advisory Circular 120-17B: Reliability program methods—Standards for determining time limitations*. U.S. Department of Transportation.
- Ghobbar, A. A., Mukherjee, A. (2026). Optimising aircraft spare parts inventory: A cost-reduction model. *IMA Journal of Management Mathematics*. Advance online publication.
- International Civil Aviation Organization. (2020). *Airworthiness manual (Doc 9760)* (4th. ed.). ICAO.
- International Civil Aviation Organization. (2022). *Annex 8 to the Convention on International Civil Aviation: Airworthiness of aircraft* (13th ed.). ICAO.
- Kabashkin, I., Perekrestov, V. (2024). Ecosystem of aviation maintenance: Transition from aircraft health monitoring to health management based on IoT and AI synergy. *Applied Sciences*, 14(11), 4394.
- Kabashkin, I., Susanin, V. (2024). Unified ecosystem for data sharing and AI-driven predictive maintenance in aviation. *Computers*, 13(12), 318.
- Khan, Z. U., Nasim, B., Rasheed, Z. (2025). Generative AI-based predictive maintenance in aviation: A systematic literature review. *CEAS Aeronautical Journal*, 16(2), 537–555.

Moubray, J. (1997). *Reliability-centered maintenance* (2nd. ed.). Industrial Press.

Nowlan, F. S., Heap, H. F. (1978). *Reliability-centered maintenance*. United Airlines.

SAE International. (2024). *SAE JA1011: Evaluation criteria for reliability-centered maintenance (RCM) processes*.

Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. (2022). *RAC 145: Organizaciones de mantenimiento aprobadas (Enmienda 3)*.

Apéndices

Apéndice A. Relación de fuentes documentales clasificadas

Con el fin de organizar la información compilada durante la investigación, y facilitar su ubicación mientras se desarrollan las diferentes etapas de consulta, revisión y análisis, se usó la codificación individual interna entre F01 y F23.

Además, las fuentes fueron agrupadas según relevancia así: según su tipo de documento y según su aporte al desarrollo del trabajo. Dentro del aporte de ellas se incorporaron normas aeronáuticas, manuales técnicos, circulares institucionales, artículos científicos, libros especializados y otros documentos asociados con mantenimiento aeronáutico, confiabilidad y disponibilidad operacional.

Dicha clasificación interna que se realizó fue relevante para comparar información originada de diferentes fuentes y a identificar los temas en común relacionados con la gestión del mantenimiento, los programas de confiabilidad y el funcionamiento operacional en la aviación civil. Igualmente, permitió organizar los hallazgos obtenidos durante la revisión documental y facilitar su incorporación en las matrices de análisis utilizadas en la investigación.

La codificación y organización de los documentos también sirvió para dejar registro del proceso seguido durante la búsqueda, selección y análisis de la información, permitiendo un mejor control de las fuentes utilizadas y de los aportes identificados en cada una de ellas.

Código	Fuente documental	Tipo de fuente	Clasificación temática
F01	International Civil Aviation Organization (ICAO). <i>Annex 8 to the Convention on International Civil Aviation: Airworthiness of Aircraft</i>	Normativa internacional	Regulación aeronáutica

Código	Fuente documental	Tipo de fuente	Clasificación temática
<i>F02</i>	International Civil Aviation Organization (ICAO). <i>Doc 9760: Airworthiness Manual</i>	Manual institucional	Aeronavegabilidad y mantenimiento
<i>F03</i>	Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. <i>Reglamentos Aeronáuticos de Colombia (RAC)</i>	Normativa nacional	Regulación aeronáutica colombiana
<i>F04</i>	Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. <i>Portal institucional y documentación técnica oficial</i>	Documento institucional	Gestión sectorial aeronáutica
<i>F05</i>	Circular Informativa 5103	Guía técnica	Mantenimiento aeronáutico
<i>F06</i>	Documento técnico especializado sobre confiabilidad operacional	Guía técnica	Reliability program
<i>F07</i>	Documento técnico especializado sobre control de mantenimiento	Guía técnica	Planeación de mantenimiento
<i>F08</i>	Documento técnico especializado sobre gestión técnica aeronáutica	Guía técnica	Continuidad operacional
<i>F09</i>	Federal Aviation Administration (FAA). <i>Documento técnico oficial sobre mantenimiento y confiabilidad</i>	Guía técnica oficial	Maintenance control
<i>F10</i>	Federal Aviation Administration (FAA). <i>Documento técnico oficial sobre aeronavegabilidad continuada</i>	Guía técnica oficial	Airworthiness management
<i>F11</i>	Nowlan, F. S., & Heap, H. F. <i>Reliability-Centered Maintenance</i>	Libro especializado	Confiabilidad
<i>F12</i>	Moubray, J. <i>Reliability-Centered Maintenance II</i>	Libro especializado	Mantenimiento centrado en confiabilidad
<i>F13</i>	SAE International. <i>JA1011: Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance Processes</i>	Norma técnica	RCM

Código	Fuente documental	Tipo de fuente	Clasificación temática
<i>F14</i>	Artículo científico indexado (2025) relacionado con eventos AOG y desempeño operacional	Producción académica	Disponibilidad operacional
<i>F15</i>	Trabajo académico aplicado (2025) relacionado con productividad y mantenimiento aeronáutico	Producción académica	Productividad operacional
<i>F16</i>	Revisión sistemática sobre mantenimiento predictivo e inteligencia artificial en aviación	Producción académica	Mantenimiento predictivo
<i>F17</i>	Artículo científico sobre confiabilidad operacional y disponibilidad técnica en aeronaves	Producción académica	Confiabilidad operacional
<i>F18</i>	Artículo científico sobre aircraft health management y mantenimiento basado en condición	Producción académica	Monitoreo predictivo
<i>F19</i>	Revisión sistemática reciente sobre predictive maintenance en aviación	Producción académica	Predictive maintenance
<i>F20</i>	Artículo científico sobre gestión de inventarios críticos y repuestos aeronáuticos	Producción académica	Gestión de repuestos
<i>F21</i>	Artículo científico sobre optimización logística de repuestos aeronáuticos	Producción académica	Disponibilidad logística
<i>F22</i>	Artículo científico sobre gobernanza de datos y mantenimiento predictivo en aviación	Producción académica	Analítica y mantenimiento
<i>F23</i>	Artículo científico sobre analítica de flota y mantenimiento basado en datos	Producción académica	Gestión basada en datos

La relación anterior evidencia una integración documental multidimensional compuesta por fuentes regulatorias, operacionales, técnicas y académicas. Dicha combinación fortaleció la

solidez metodológica del estudio al permitir contrastar lineamientos internacionales, exigencias normativas colombianas, enfoques de confiabilidad y aportes recientes vinculados con productividad y disponibilidad operacional.