

ISSN: 2711 - 1490 (En línea)

ESCUELA DE POSTGRADOS FAC

BRIEFING

SEGURIDAD OPERACIONAL

Boletín No. 7



ESCUELA DE
POSTGRADOS
DE LA FAC



AERONÁUTICA CIVIL[®]
UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL



Centro de Estudios Aeronáuticos
Institución Universitaria



MAESTRÍA EN
**SEGURIDAD
OPERACIONAL**
ESCUELA DE POSTGRADOS FAC / SNIES 102978

10 Años

Boletín No. 7 Briefing Seguridad Operacional Maestría en Seguridad Operacional 2025

Compiladores

Dra. Erika Juliana Estrada Villa

Ing. Harold Julián Acosta León

Comité Organizador

MY. Francine Pineda Mongui

Dra. Erika Juliana Estrada Villa

Ing. Bryan Felipe Ramírez Segura

Dra. Ximena Rojas Ortiz

Ing. Harold Julián Acosta León

CTO. Carolina Cubillos

Ing. Angelica María Palacios Martínez - CEA Aerocivil

Magister. Betty Barrios Salcedo - CEA Aerocivil

Dr. Jorge Luis Céspedes Ospino - CEA Aerocivil

Comité Evaluador

Magister. Liliana Urrea Sánchez - CEA Aerocivil

CR (RA) Miguel Camacho Martínez - CEA Aerocivil

CR (RA) Henry Camacho Cristancho - CEA Aerocivil

Diseño Aldemar Zambrano Torres

Información Técnica Publicación Producto de Investigación Grupo de investigación GICMA COL0140489

Séptima Edición, junio 2025. ISSN 2711-1490 Periodicidad anual, publicación digital Sitio Web:
<https://www.epfac.edu.co/es/oferta-academica/maestrias/maestria-enseguridad-operacional>

Bogotá, Colombia 2025 ©2025.

Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana Los autores son responsables de la información presentada y contenida en los resúmenes. La información de este documento no puede ser reproducida, almacenada o transmitida de manera alguna, ni por ningún medio, ya sea electrónico, químico, mecánico, óptico de grabación o fotocopia sin permiso del autor y/o Editor.

Editorial



En esta nueva edición del Boletín de Investigación Formativa, celebramos los resultados del II Simposio de la Maestría en Seguridad Operacional, un espacio que consolidó el compromiso académico y profesional de nuestros estudiantes con la misión institucional de la Fuerza Aeroespacial Colombiana: volar, entrenar y combatir para vencer, siempre bajo los más altos estándares de seguridad. El simposio no solo representó un encuentro de ideas y propuestas innovadoras, sino también un ejercicio colectivo de reflexión y responsabilidad académica. Cada presentación fue evidencia del trabajo riguroso, el análisis profundo y la voluntad de nuestros maestrantes por generar conocimiento útil y pertinente, alineado con las necesidades reales del entorno operacional.

Desde la dirección del programa, reiteramos la importancia de estos escenarios de socialización y sus publicaciones asociadas, que permiten fortalecer las tres líneas de investigación de la MAESO: Gestión de la Seguridad Operacional, Factores Humanos e Investigación de Accidentes. Son estas líneas las que guían el desarrollo de soluciones aplicadas a los desafíos contemporáneos de la seguridad en la aviación y que, sin duda, tienen un impacto directo en la prevención de riesgos y la toma de decisiones estratégicas.

Agradezco profundamente a cada uno de los ponentes, jurados, invitados y docentes que hicieron posible este encuentro académico. Los invito a leer con atención este boletín, a compartirlo y a reconocer en sus páginas el reflejo del profesionalismo, la vocación investigativa y el compromiso con el futuro seguro de nuestras operaciones.

Sigamos volando alto, con seguridad, propósito y conciencia operacional.

Mayor Francine Pineda Mongui
Directora Programa Maestría Seguridad Operacional

Tabla de contenido

Gestión de Recursos de Mantenimiento: Clave Para La Seguridad Operacional En Mantenimiento Aeronáutico Fuerza Aeroespacial Colombiana	5
Viabilidad técnica para la implementación del programa M-LOSA en la FAC.....	10
Análisis de viabilidad para la implementación de dispositivos QAR en aeronaves de la FAC, en función de fortalecer la seguridad operacional.....	14
Modelo de gestión y validación de los reportes obligatorios de sucesos por factor técnico.....	19
Auditorías Militares en Operaciones de Vuelo: Un aporte al fortalecimiento del Programa de Análisis de Datos de Vuelo en la FAC.....	25
Evaluación del efecto sorpresa en la conciencia situacional de pilotos militares mediante la técnica de Seguimiento Ocular (Eye Tracking)	30
Riesgos en seguridad operacional satelital: modelo comparativo para una evaluación eficiente ..	36
2015–2025 Una década de investigación en factores humanos en la seguridad operacional: avances y retos desde MAESO	41

Gestión de Recursos de Mantenimiento: Clave Para La Seguridad Operacional En Mantenimiento Aeronáutico Fuerza Aeroespacial Colombiana



Fuente: FAC, 2023

TC. Liliana Carolina Africano Castillo
liliana.africano@fac.mil.co

Información del autor: La Teniente Coronel Liliana Carolina Africano Castillo, es Ingeniera Química de la Universidad Industrial de Santander (UIS), Especialista en Logística Aeronáutica de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aeroespacial Colombiana (EPFAC), Magíster en Derechos Humanos y Derecho Internacional de los Conflictos Armados (DICA) de la Escuela Superior de Guerra, y actualmente se encuentra cursando la Maestría en Seguridad Operacional en la EPFAC. Se desempeña como Jefe de la Sección de Calidad del Grupo Técnico del Comando Aéreo de Combate No. 4 (CACOM-4).

Oficial del cuerpo Logístico Aeronáutico de la Fuerza Aeroespacial Colombiana, cuenta con 19 años de experiencia en especialidad de mantenimiento aeronáutico donde ha ejercido funciones en los niveles táctico, operacional y estratégico. Esta trayectoria le ha permitido identificar de manera integral las necesidades relacionadas con los factores humanos del personal que laboran en el ámbito del mantenimiento aeronáutico.

Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-9497-586X>

CvIac: https://scienti.minciencias.gov.co/cvIac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000589209

Línea de investigación: Factores Humanos

Resumen

A pesar de los avances en los procedimientos y tecnología de mantenimiento aeronáutico, persisten incidentes derivados de errores humanos. En la Fuerza Aeroespacial Colombiana (FAC), estos eventos continúan afectando la seguridad operacional debido a la falta de un programa estructurado de Gestión de Recursos de Mantenimiento (MRM) (FAA, 2014). Por ello, esta investigación parte del reconocimiento de dicha ausencia como un problema crítico que limita la efectividad de las medidas preventivas en el entorno del mantenimiento aeronáutico, es así que proponer un programa de entrenamiento en habilidades no técnicas, fundamentado en los principios del MRM, se convirtió en el eje de la presente investigación.

El estudio se desarrolló con un enfoque cualitativo, apoyado en la revisión documental sobre factores humanos en aviación y centrados en el mantenimiento aeronáutico, a través de normativa nacional e internacional, literatura especializada y experiencias previas tanto en la aviación civil como militar (Rincón, 2020). Aquí se seleccionaron los temas que se son más relevantes y que se repiten en los diferentes documentos y normatividad. A partir de ellos, concertando reglamentación internacional y nacional se permite adoptar tanto información normativa como experiencias prácticas, aportando una visión integral del contexto actual y los desafíos a enfrentar.

La verificación de estas fuentes evidenció que, si bien existen lineamientos generales sobre factores humanos, no se cuenta con un programa específico orientado a las necesidades del mantenimiento aeronáutico de la FAC. También se identificaron experiencias internacionales exitosas, que demostraron la efectividad del entrenamiento recurrente en la reducción de incidentes operacionales.

Entre los hallazgos más relevantes se identificó la necesidad de fortalecer competencias como la toma de decisiones, la comunicación efectiva, el liderazgo, la conciencia situacional y la gestión de la carga de trabajo (OACI, 2003), las cuales fueron priorizadas en una matriz, enfocados los de mayor recurrencia y entre fuentes y autores estudiados. Estas competencias fueron seleccionadas como esenciales para un programa de factores humanos proyectado a personal técnico de mantenimiento aeronáutico, como resultado, se diseñó un syllabus preliminar como centro del programa, que incluye estos tópicos.

El producto central de esta investigación fue la elaboración del documento "Programa MRM para la FAC", que estructura una propuesta detallada con los tópicos mínimos, objetivos de aprendizaje, intensidad horaria, población objetivo y frecuencia de entrenamiento. Este

programa se proyecta como un componente esencial dentro de la formación inicial y recurrente del personal técnico de mantenimiento aeronáutico de la FAC.

Los resultados de este trabajo evidencian que la implementación de un programa de entrenamiento en MRM permitiría reducir la ocurrencia de errores humanos en mantenimiento, mejorar la disponibilidad operativa de las aeronaves y disminuir los sobrecostos asociados a sucesos operacionales, concientizar al personal administrativo y gerencial de la importancia del establecimiento de este. Asimismo, su adopción contribuiría a consolidar una cultura organizacional centrada en la seguridad, la prevención del error y la mejora continua, en línea con

los estándares internacionales establecidos (EASA, 2003).

Así mismo, se espera que de esta investigación se proyecte la formalización del programa MRM como producto aplicable e institucionalizable al interior de la FAC, y que podrá ser replicado a través de las Escuelas como son EIHF y ESUFA así como por otros Entes de Aviación de Estado. Su desarrollo y validación constituyen un avance significativo hacia el fortalecimiento de la Seguridad Operacional en el componente de mantenimiento aeronáutico militar en Colombia.

Palabras clave: Factores Humanos, Mantenimiento Aeronáutico, MRM, Seguridad Operacional

Maintenance Resource Management: A Key to Operational Safety in the Colombian Aerospace Force

Abstract

Despite advancements in aeronautical maintenance procedures and technologies, incidents resulting from human error continue to pose risks. Within the Colombian Aerospace Force (FAC), such occurrences still undermine operational safety due to the lack of a structured Maintenance Resource Management (MRM) program (FAA, 2014). Thus, this research identifies this deficiency as a critical limitation that weakens the implementation of effective preventive strategies in the maintenance environment. Accordingly, the development of a training program focused on non-technical skills, grounded

in MRM principles, became the central objective of this study.

A qualitative research methodology was employed, supported by an extensive documentary review on human factors in aviation, with an emphasis on aeronautical maintenance. The review encompassed national and international regulations, specialized academic literature, and practical experiences from both civil and military aviation domains (Rincón, 2020). The most frequently addressed and relevant topics across sources were selected and aligned with regulatory frameworks to present a comprehensive overview of the current situation and its operational challenges.

The analysis revealed that, although general guidance on human factors is available, there is no specific program adapted to the FAC's maintenance context. In contrast, various international initiatives have demonstrated the success of recurrent training programs in reducing maintenance-related incidents.

One of the study's key findings was the need to reinforce core competencies such as decision-making, effective communication, leadership, situational awareness, and workload management (ICAO, 2003). These were prioritized through a competency matrix based on their frequency across the reviewed literature. These skills were deemed essential for the development of a human factors training program targeting technical maintenance personnel. Consequently, a preliminary syllabus was designed as the foundation for the proposed training model.

The main outcome of this research was the development of the document entitled "MRM Program for the FAC," which presents a comprehensive training proposal. It outlines the minimum required content, learning objectives, instructional hours, target audience, and recommended training intervals. This program is intended to become a fundamental component of both initial and recurrent training for FAC maintenance personnel.

The findings indicate that implementing an MRM training program could significantly reduce human error in maintenance, enhance aircraft operational availability, and lower costs associated with safety-related incidents. Furthermore, it would promote awareness among administrative and supervisory personnel regarding the relevance of human factors training. Its implementation would also contribute to

building a safety-oriented organizational culture focused on error prevention and continuous improvement, in accordance with international standards (EASA, 2003). Ultimately, this research supports the institutionalization of the MRM program within the FAC. The proposal is intended to be implemented across military aviation training institutions such as EIHFA and ESUFA, as well as other national aviation entities. Its development and formal validation represent a substantial contribution to improving operational safety in Colombia's military aeronautical maintenance sector.

Keywords: Human Factors, Aeronautical Maintenance, MRM, Operational Safety.

Bibliografía

European Union Aviation Safety Agency [EASA]. (2003). *CAP 716, Aviation Maintenance Human Factors (EASA / JAR145 Approved Organisations)*. Civil Aviation Authority: CAP 716, Aviation Maintenance Human Factors.

Federal Aviation Administration [FAA]. (2014). *Operator's Manual: Human Factors in Aviation Maintenance*.

Military Airworthiness Authorities [MAWA]. (2019). *EMAR 145 - Requirements For Maintenance Organisations*. [https://eda.europa.eu/docs/default-source/events/emar-145-edition-1-2-\(4-oct-2016\)---approved](https://eda.europa.eu/docs/default-source/events/emar-145-edition-1-2-(4-oct-2016)---approved).

Organización de Aviación Civil Internacional [OACI]. (2003). *Directrices sobre factores humanos en el mantenimiento de aeronaves*.

https://www.srvsop.aero/site/wp-content/uploads/2019/02/9824_cons_es .

Rincón, A. (2020). *Programa de instrucción en factores humanos para mantenimiento (MxHF) dirigido al personal*

que labora en el área de mantenimiento FAC para fortalecer la seguridad operacional. [Tesis de maestría, Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana].

Viabilidad técnica para la implementación del programa M-LOSA en la FAC



Fuente: Cruz (2022)

MY. Edwin Leonardo Valderrama Méndez
edwin.valderrama@fac.mil.co

Información del autor: Oficial Fuerza Aeroespacial Colombiana, Ingeniero en Metalurgia de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Especialista en Gerencia en Logística Integral de la Universidad Militar Nueva Granada, estudiante de la Maestría de Seguridad Operacional de la Escuela de Postgrados FAC.

Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-0245-2315>

Cvlac: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000004496

Línea de investigación: Factores Humanos

Resumen

La investigación titulada " Viabilidad técnica para la implementación del programa M-LOSA en la FAC" surge de la necesidad de implementar un método eficaz en el mantenimiento aeronáutico, capaz de identificar los errores del personal técnico con el fin de contrarrestarlos, por lo que representa un aporte clave para el fortalecimiento de la cultura de seguridad operacional en la Fuerza Aeroespacial Colombiana, al sentar las bases para la implementación de herramientas predictivas que permitan detectar amenazas, reducir riesgos, mejorar la seguridad operacional, optimizar los procesos de mantenimiento y fomentar una cultura de mejora continua en los grupos técnicos de la Institución.

Por esta razón, resulta fundamental implementar el programa M-LOSA (Maintenance Line Operation Safety Assessment) en la Fuerza Aeroespacial Colombiana, considerando como población de estudio al Comando Aéreo de Combate No. 2. De este modo, se posibilita el análisis de la efectividad del programa en la identificación de amenazas, errores y factores que los inducen, con el propósito de mitigarlos y, en consecuencia, contribuir a la seguridad operacional de la Institución mediante un enfoque predictivo. Este programa se basa en modelos reconocidos en la gestión de la seguridad operacional, como el Threat and Error Management (TEM) y el Human Factors Analysis and Classification System-Maintenance Extension (HFACS-ME) usando herramientas como auditorías no punitivas y análisis estructurados de datos. Estos enfoques permiten identificar factores de

riesgo que pueden influir en las operaciones de mantenimiento aeronáutico, facilitando la implementación de estrategias proactivas para la mitigación de estos y la mejora continua en la seguridad.

El objetivo principal va enfocado en reducir la incidencia de accidentes relacionados con fallas humanas y técnicas en la Fuerza Aeroespacial Colombiana ya que según las estadísticas entre 1980 y 2021, de un total de 282 accidentes registrados en la Institución, el Comando Aéreo de Combate No. 2 ocupó la cuarta posición en la estadística de siniestros, con 27 eventos, donde se determinó que el factor humano fue la causa principal en el 61% de los casos, mientras que las fallas técnicas representaron el 26% (Pérez y Sisa, 2023).

Estos hallazgos evidenciaron la necesidad de adoptar estrategias de mantenimiento más precisas y preventivas para mejorar la seguridad operacional; por esta razón la investigación se desarrolló mediante un diseño metodológico mixto con un alcance de carácter descriptivo y explicativo, aplicando instrumentos como vigilancia tecnológica, encuestas semiestructuradas, análisis estadístico por frecuencia usando el modelo HFACS-ME, revisión de carpetas NAT, formatos de observaciones basados en el modelo TEM y validados por expertos en un grupo focal y análisis de datos usando el modelo ERCS (European Risk Classification Scheme), lo que permitió caracterizar las áreas críticas del mantenimiento, implementar una prueba piloto, analizar

los datos, clasificarlos de acuerdo a nivel de severidad vs probabilidad y finalmente proponer mediante un análisis GAP planes de acción específicos con el fin de mitigar las amenazas y errores identificados en la evaluación e implementación del programa. Los resultados evidenciaron que los factores de amenazas y los errores más frecuentes están en áreas que se relacionan con

comunicación, supervisión, herramientas, equipos, entrenamiento y procedimientos; subrayando la importancia de reforzar estas áreas para evitar futuros eventos de seguridad.

Palabras clave: factores humanos, mantenimiento aeronáutico, amenazas y errores, M-LOSA.

Technical feasibility for the implementation of the M-LOSA program at the FAC

Abstract

The research entitled "Technical Feasibility for the Implementation of the M-LOSA Program in the FAC" originates from the need to adopt an effective method in aeronautical maintenance that can identify and mitigate errors committed by technical personnel. This initiative represents a key contribution to strengthening the operational safety culture within the Colombian Aerospace Force (FAC), by laying the groundwork for the implementation of predictive tools aimed at detecting threats, reducing risks, improving operational safety, optimizing maintenance processes, and promoting a culture of continuous improvement among the institution's technical units. Accordingly, the implementation of the Maintenance Line Operations Safety Assessment (M-LOSA) program in the FAC is deemed essential, with the Second Air Combat Command designated as the study population. This enables an assessment of the program's effectiveness in identifying threats, errors, and their contributing factors, with the goal of mitigating them and thereby enhancing operational safety through a predictive

approach. The program is based on well-established operational safety management frameworks, such as Threat and Error Management (TEM) and the Human Factors Analysis and Classification System–Maintenance Extension (HFACS-ME), and incorporates tools such as non-punitive audits and structured data analysis.

These methodologies facilitate the identification of risk factors affecting maintenance operations and support the adoption of proactive strategies for continuous safety improvement.

The main objective of this study is to reduce the occurrence of accidents associated with human and technical failures within the FAC. According to institutional statistics from 1980 to 2021, out of 282 recorded accidents, the Second Air Combat Command ranked fourth in the number of incidents, with 27 reported cases. Human factors were identified as the primary cause in 61% of these events, while technical failures accounted for 26% (Pérez & Sisa, 2023).

These findings underscore the need to adopt more precise and preventive maintenance strategies to enhance operational safety. To this end, the research employed a mixed-methods approach with both descriptive and explanatory scopes. Data collection tools included technological surveillance, semi-structured surveys, statistical frequency analysis using the HFACS-ME model, review of NAT folders, observation formats based on the TEM model (validated by a focus group of subject-matter experts), and risk classification through the European Risk Classification Scheme (ERCS) model.

These methodologies enabled the characterization of critical maintenance areas, execution of a pilot test, risk classification based on severity and probability, and the development of specific action plans through GAP analysis. The results revealed that the most frequent threats and errors were associated with communication, supervision, tools, equipment, training, and procedural compliance—highlighting the urgent need to strengthen these areas to prevent future safety incidents.

Keywords: human factors, aircraft maintenance, threats and errors, M-LOSA

Referencias Bibliográficas

Crayton, L., Hackworth, C., Roberts, C., King, S. (2017). *Line Operations Safety Assessments (LOSA) in Maintenance and Ramp Environments*. FAA.

https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/201707.pdf

Federal Aviation Administration. [FAA]. (2023). *Aviation Maintenance Technician Handbook—General*.

https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/amtg_handbook.pdf

International Civil Aviation Organization. [ICAO]. (2024). *Safety Report*.

https://www.icao.int/safety/Documents/ICAO_SR_2024.pdf

Ma, J., Pedigo, M., Blackwell, L., Gildea, K., Holcomb, K., Hackworth, C., Hiles, J. (2011). *The Line Operations Safety Audit Program: Transitioning from Flight Operations to Maintenance and Ramp Operations*. FAA.

<https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA554042.pdf>

Ma, M. J., & Rankin, W. L. (2012). *Implementation Guideline for Maintenance Line Operations Safety Assessment (M-LOSA) and Ramp LOSA (R-LOSA) Programs*. FAA.

<https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA566771.pdf>

Pérez, G., Sisa, L. (2023). *Estrategias para la prevención de accidentes, a través del análisis de accidentalidad de la Fuerza Aérea Colombiana*. [Tesis de maestría, Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana].

Análisis de viabilidad para la implementación de dispositivos QAR en aeronaves de la FAC, en función de fortalecer la seguridad operacional



Fuente: Fuerza Aeroespacial Colombiana (2021)

CT. Daniel Felipe González Wandurraga
daniel.Gonzalezw@fac.mil.co

Información del autor: Oficial curso N° 87 de la Fuerza Aeroespacial Colombiana, ingeniero informático de la escuela militar de aviación Marco Fidel Suarez, es estudiante de la maestría de seguridad operacional de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aeroespacial Colombiana, actualmente se desempeña como investigador de seguridad operacional de la Oficina de seguridad operacional del Comando Aéreo de Transporte Militar

Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-4367-4755>

CvIac: https://scienti.minciencias.gov.co/cvIac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001637698

Línea de investigación: Gestión de la Seguridad Operacional

Resumen

Dentro del plan estratégico de seguridad operacional (PESO), la Fuerza Aeroespacial Colombiana (FAC) se ha propuesto una serie de objetivos para convertirse en un referente en la prevención de accidentes aéreos,

suministrando las herramientas necesarias a todos los niveles (Táctico, estratégico y operacional) para garantizar operaciones seguras (PESO, 2020). El cumplimiento de estos objetivos garantizará el desarrollo de operaciones

seguras, todo dentro del marco misional de la institución.

James Reason, dentro de su modelo de gestión del riesgo denominado “teoría del queso suizo” plantea que los sistemas de seguridad están compuestos por barreras que frenan la cadena del error he impiden la consolidación de accidentes, estas barreras están una detrás de otra y pueden contener brechas o huecos (como porciones de queso suizo), por los cuales el error puede sobrepasar la barrera, si las brechas están alineadas el error continuara hasta materializarse en un accidente (Benítez, 2021).

Una de las barreras de seguridad que se debe fortalecer para el logro de las metas del PESO es la barrera de la tecnología, desde una mirada del propio sistema de seguridad operacional, el programa *Flight Operational Quality Assurance (FOQA)* tiene como objetivo proporcionar a los explotadores del sector aéreo la información que les permita comprender mejor los riesgos para la operación de vuelo y la forma de administrarlos (OACI, 2011). El *FOQA* es una herramienta que brinda la posibilidad de realizar un seguimiento constante al comportamiento del *Safety Managment System (SMS)*, a través de dispositivos de grabación de datos de vuelo instalados en las aeronaves.

Desde el año 2019, la FAC robusteció su programa *FOQA* mediante la instalación de unos dispositivos denominados *Advance Data Monitoring (ADM)* en algunas aeronaves, los cuales son grabadores de datos de vuelo con una capacidad limitada de parámetros, pero eficientes a la hora de poner en evidencia

desviaciones o malas prácticas por parte de los pilotos. Estos instrumentos fortalecieron el sistema de seguridad operacional de la institución ya que se nota una reducción en los incidentes presentados por parte de los aviones en los que están implementados, disminuyendo de 52 sucesos a 37 en el mismo periodo de tiempo desde su ejecución (5 años), teniendo una disminución del 29 % en la materialización de incidentes. (DISOP-IGEFA, 2024).

Mediante entrevistas a expertos realizadas durante el transcurso de esta investigación las cuales arrojaron datos decisivos en materia de implementación de dispositivos de grabación de datos y revisiones de documentos que reposan en la Dirección de Seguridad Operacional de la FAC, se pudo evidenciar que la implementación de un programa *FOQA* bien estructurado es un aliciente para lograr un sistema de seguridad operacional robusto y preparado para gestionar riesgos en vuelo. Los datos obtenidos mediante estos instrumentos de recolección de información dan cuenta, primero de la disminución de incidentes en las aeronaves en las cuales se instaló el *ADM* y segundo el aumento en los reportes de afectaciones a la seguridad operacional, tanto voluntarios como obligatorios. Adicional deja ver la importancia que tiene para las organizaciones la creación de programas de monitoreo y análisis de datos de vuelo en la identificación de tendencias, desviaciones y malas prácticas, lo que puede poner en riesgo la integridad del vuelo.

Sin embargo, la FAC no cuenta con dispositivos grabadores de datos acordes

a su operación, ya que los *ADM* son dispositivos que graban un número de parámetros limitados de la aeronave, sumado a que los datos obtenidos no son capturados propiamente del avión, sino son obtenidos mediante lecturas GPS, lo que genera una incertidumbre en la confiabilidad de estos datos. Esta problemática da como resultado una disminución en la capacidad del sistema para gestionar riesgos y conducir vuelos seguros. Es de esta manera que se hace imperativo que la institución fortalezca su programa *FOQA* con la adquisición de nuevas tecnologías. La forma en la que se está administrado el riesgo al interior de la institución está quedando rezagada por deficiencias tecnológicas que pueden quedar obsoletas en algunos años.

Para concluir lo anteriormente expuesto, los *Quick Access Recorder (QAR)* son dispositivos que permiten obtener información en memorias, tarjetas, discos, redes u otros medios para transferirla desde la aeronave a una estación de procesamiento en tierra y de esta manera hacer un análisis confiable de los vuelos efectuados por una aeronave (UAEAC, 2011), los *QAR* son una opción confiable si una organización quiere fortalecer su programa *FOQA*, estos dispositivos tienen una gran capacidad de almacenamiento y graban un amplio número de parámetros de vuelo tomados directamente de la aeronave, lo que podría llegar a mejorar el sistema de seguridad operacional en sí, esto con base en el mejoramiento que se evidencio por la implementación de los *ADM*; sin embargo, se hace necesario un análisis para verificar su viabilidad a partir

del costo de su adquisición e implementación.

Para lograr obtener toda la información necesaria para la realización del análisis anteriormente mencionado, se aplicaron 3 instrumentos de recolección de información dentro de este proyecto de investigación (Grupo focal, encuesta, revisión documental), esto para realizar una triangulación y dar mayor validez a los datos obtenidos. Estos instrumentos arrojaron información valiosa tanto en la percepción como en la validación que tiene el personal de tripulantes en el programa *FOQA*, dando cuenta de la importancia de este programa para las organizaciones del sector aéreo.

Este análisis podría beneficiar a la institución ya que al definir su viabilidad se podrán tomar decisiones basadas tanto en datos cualitativos como cuantitativos para una posible implementación de grabadores de datos de vuelo y fortalecimiento de su programa *FOQA*, todo con base al costo de la adaptación de estos dispositivos. Es importante también tener en cuenta que el valor social al conducir operaciones más seguras no se puede calcular, ya que si se garantizan vuelos seguros los beneficiarios serán la población colombiana, esto en base a todas las operaciones tipo que conduce la Fuerza Aeroespacial Colombiana.

Palabras clave: Analisis de viabilidad, *Flight Operational Quality Assurance*, *Flight Data Analysis*, seguridad operacional

Feasibility Analysis for the Implementation of QAR Devices in FAC Aircraft to Strengthen Operational Safety

Abstract

Within the Operational Safety Strategic Plan (PESO), the Colombian Aerospace Force (FAC) has established a set of objectives aimed at becoming a national benchmark in aviation accident prevention. These objectives are designed to equip all operational levels—tactical, strategic, and operational—with the necessary tools to ensure safe flight operations (PESO, 2020). Achieving these objectives ensures mission success within the framework of the institution's core responsibilities.

James Reason, in his risk management model known as the "Swiss Cheese Theory," posits that safety systems are composed of multiple layers of defense intended to stop the progression of errors. These layers, or barriers, may contain inherent weaknesses or "holes." When these holes align, the trajectory of an error may pass through all layers, ultimately resulting in an accident (Benítez, 2021).

One of the key barriers that must be reinforced to achieve PESO's objectives is technological infrastructure. From the standpoint of the safety system, the Flight Operational Quality Assurance (FOQA) program is intended to provide aviation operators with critical information to better understand and manage operational risk (ICAO, 2011). FOQA enables continuous monitoring of the Safety Management System (SMS) through onboard flight data recording devices.

Since 2019, the FAC has enhanced its FOQA program through the installation of Advanced Data Monitoring (ADM) devices on select aircraft. Although these devices

capture a limited set of flight parameters, they have proven effective in identifying pilot deviations and operational deficiencies. Their implementation has strengthened the institution's safety system, as evidenced by a reduction in incidents involving ADM-equipped aircraft—from 52 to 37 over a five-year period—representing a 29% decrease (DISOP-IGEFA, 2024).

Interviews conducted with operational safety experts, along with the review of official FAC documentation, reveal that a well-structured FOQA program is crucial for effectively managing in-flight risks. The data gathered demonstrate both a reduction in incidents and an increase in voluntary and mandatory safety reporting. These findings underscore the value of implementing robust flight data monitoring systems to identify trends, deviations, and unsafe practices that could compromise flight safety.

Despite these advances, the FAC currently lacks flight data recording devices that fully meet its operational requirements. ADM devices record limited data and rely on GPS rather than direct aircraft input, raising concerns about data reliability. This limitation reduces the FOQA system's capacity to accurately assess risks. Therefore, it is imperative to invest in updated technology to enhance the FOQA program's effectiveness and sustainability.

Quick Access Recorders (QAR) represent a viable solution. These devices can store data on memory cards or networked systems and transfer it for ground-based

analysis. QARs are capable of recording a broad range of parameters directly from aircraft systems, making them a reliable and scalable option for strengthening FOQA (UAEAC, 2011). While their benefits are clear, a cost-benefit analysis is needed to evaluate feasibility in terms of acquisition, installation, and long-term operational value.

To support this analysis, the study applied three data collection tools: a focus group, a survey, and a document review. This triangulated approach enhanced the reliability of the findings, incorporating both qualitative and quantitative perspectives. The tools provided insight into pilot perceptions, validated the current FOQA system, and emphasized the importance of data-driven safety strategies for aviation organizations.

This analysis is expected to support institutional decision-making regarding the future implementation of more advanced flight data monitoring systems. Strengthening FOQA will improve operational safety and support evidence-based risk management. Ultimately, the societal benefit of safer military flight operations—especially in the context of FAC's diverse mission portfolio—reinforces the urgency of technological modernization in support of public safety.

Keywords: Feasibility Analysis, Flight Operational Quality Assurance, Flight Data Analysis, Safety Management System

Referencias Bibliograficas

Benítez, G. (2021). Integración de procesos, gestión del riesgo y automatización en la gestión de las unidades militares. *Ciencia y Poder Aéreo*, 67–81.

<https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaero.724>

Fuerza Aeroespacial Colombiana, (2020) Plan Estratégico de Seguridad Operacional 2020-2042, 36.

Inspección General Fuerza Aeroespacial Colombiana. Dirección de seguridad operacional. (2024). Estadísticas de seguridad operacional FAC

Organización Internacional de Aviación Civil (2011). Circular informativa 5002-082-002 programa de análisis de datos de vuelo, 13.

Plan Estratégico de Seguridad Operacional (2020). Fuerza aeroespacial Colombiana, 36

Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. (2011). Circular informativa programa de análisis de datos de vuelo, 13

Modelo de gestión y validación de los reportes obligatorios de sucesos por factor técnico



Fuente: (Fuerza Aeroespacial Colombiana, 2024)

MY. Maireth Cristina Moreno Rodríguez
maireth.moreno@fac.mil.co

Oficial Piloto de la Fuerza Aeroespacial Colombiana, Administradora Aeronáutica de la Escuela Militar de Aviación, estudiante de la Maestría en Seguridad Operacional de la Escuela de Posgrados de Fuerza Aeroespacial Colombiana, actualmente comandante de Escuadrón de Navegación Aérea 415.

Orcid: 0009-0007-4943-6023

Cvlac: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0002359883

Línea de investigación: Gestión de la Seguridad Operacional

Resumen

La seguridad operacional es un pilar fundamental para el éxito de las misiones aéreas, es por esto por lo que, en la Fuerza Aeroespacial Colombiana (FAC), los reportes de seguridad operacional

tanto obligatorios (MOR) como voluntarios (SRV) son importantes para identificar riesgos y prevenir accidentes (Fuerza Aeroespacial Colombiana, 2020). Este artículo analiza el proceso de gestión y

validación de los reportes obligatorios por factor técnico, debido al aumento en su frecuencia: de un promedio anual de 15 reportes entre 2019 y 2021, se pasó a un promedio de 245 reportes anuales en los últimos tres años, específicamente en el Comando Aéreo de Combate N.º 4 (CACOM-4), unidad militar destaca en los procesos de seguridad operacional y con el mayor número de reportes por este factor.

Los reportes obligatorios por factor técnico en CACOM- 4 son generados en un 89% por el personal de tripulantes y el porcentaje restante por personal de mantenimiento, operadores de dron, entre otros, donde observa que el aumento del reporte se acentúa en el año 2022, debido a la promoción de la seguridad que se ha realizado a partir de la alineación de la Institución con la Circular Regulatoria N.º 004-2021 emitida por la AAAES (Autoridad Aeronáutica de Aviación de Estado, 2021). Con esto, se obtienen los reportes correspondientes a los años 2022 a 2025, con un total de 723 MOR a través de la plataforma Power BI, lo que despierta un interés notable para el desarrollo de la presente investigación.

De este modo, y basado en un enfoque mixto, el cual permite combinar datos cuantitativos y cualitativos para ampliar la comprensión del fenómeno estudiado (Hernández, Fernández & Baptista, 2014), se realiza una revisión del marco normativo a nivel internacional, nacional e institucional de la FAC con el propósito de indagar los procedimientos relacionados a la seguridad operacional. Posteriormente, se realiza una matriz documental desde el marco de la OACI, pasando por la reglamentación nacional, la aerolínea

Satena, aviación de estado y culminando en los manuales y procedimientos establecidos en la FAC, evidenciando con ello que el Sistema de Gestión de Seguridad Operacional de la FAC se encuentra alineado con la normativa vigente, buscando gestionar riesgos técnicos, humanos y organizacionales, enfrentando desafíos operacionales propios de la misionalidad, así como en la gestión de reportes donde se limitan respuestas y por ende las medidas preventivas efectivas.

Dentro de la consolidación de la matriz documental se evidencian puntos de mejora en el procedimiento de gestión de los reportes MOR de la FAC; al revisar el Manual de Organización de Mantenimiento (MOM) de Satena, se identificó que esta aerolínea emplea la metodología ARMS como herramienta de evaluación del riesgo. Esta metodología disminuye la subjetividad al considerar la severidad potencial y la eficacia de barreras, generando un índice de riesgo más ajustado (Satena, 2024). Así mismo, se lleva a cabo un proceso alterno de análisis estadístico de las actividades generadas de los 723 reportes MOR registrados en CACOM-4 a través del software ATLAS.Ti.

Este software, permite codificar la información empleando un análisis de similitud textual y frecuencia, lo cual evita la subjetividad del investigador; obteniendo como resultado que la categoría “análisis de confiabilidad y criticidad”, que presenta el 37.03%, es la más representativa; esto sugiere que el resultado de la gestión del reporte es de acuerdo al procedimiento IS-DISOP-PR-034 en el sistema Bizagi como estadística

teniendo en cuenta el bajo nivel de riesgo, seguido por “los registros únicos”, que equivalen al 31.35%, constituyen una proporción considerable perteneciente a datos característicos por su especificidad; “la verificación y las acciones de mantenimiento” representan un 16.64%, donde se agrupan las actividades operativas directas, la revisión de cazafallas o el análisis de la falla; la categoría de “corrección de la falla y estadística MOR”, que arroja un 8.18% y por último, las otras recomendaciones que fluctúan en un 3.61% hacen referencia a sugerencias que no encajan con facilidad en las categorías anteriormente mencionadas. Se concluye que un 61,85% corresponde a correcciones técnicas sin impacto predictivo claro, lo que limita la capacidad de anticipación del sistema y, que cuya descripción es realizada por parte del jefe de la oficina de seguridad operacional.

Con base en los hallazgos obtenidos, que evidencian oportunidades de mejora en la conversión de los datos de reportes en información válida para fortalecer la capacidad predictiva técnica, se propone transformar el proceso actual. Esta transformación contempla que, desde la generación del reporte, el asesor de seguridad operacional del grupo técnico realice una revisión de confiabilidad y un análisis de índice de riesgo basado en la matriz ARMS, generando recomendaciones más específicas.

Adicionalmente, se plantea que la matriz incluya la clasificación por flotas y el código ATA del sistema afectado, permitiendo al validador de la Unidad (jefe de seguridad operacional) contar con información completa para una

retroalimentación más efectiva y su debido seguimiento a nivel central. Esta propuesta facilitará, en los comités de seguridad operacional, un análisis más detallado orientado a tres objetivos: identificar eventos críticos, priorizar acciones de mantenimiento según el riesgo y registrar eventos estadísticos en una base complementaria para su seguimiento histórico por fechas, sistemas, modelos de aeronave y niveles de riesgo.

Así bien, la adopción de estas recomendaciones permitirá a la FAC lograr un nuevo grado de capacidad operativa en el que los informes de seguridad no solo se utilicen para responder a problemas, sino también para preverlos, con procedimientos más claros, objetivos y conectados, donde por medio del reporte se pueda anticipar a incidentes causados por fallas técnicas, así como un aumento en la disponibilidad de aeronaves y una mejora en la gestión de los recursos logísticos.

Además, una cultura organizacional robusta enfocada en la seguridad favorecerá un ambiente de trabajo más comprometido. En este sentido, la mejora en el manejo y en la verificación de los informes técnicos sobre seguridad operacional en la FAC es una necesidad fundamental que afecta de manera directa la efectividad de las operaciones aéreas. Con la incorporación de tecnología, la formación constante y la toma de decisiones fundamentadas en datos, la FAC tiene la capacidad de establecer una infraestructura de seguridad operacional de nivel mundial, que esté en sintonía con los criterios internacionales y las demandas de los contextos actuales de

defensa y soberanía en el aire y el espacio.

De esta manera se espera que el desarrollo de este modelo contribuya a establecer procedimientos y recomendaciones que optimicen la gestión y validación de los reportes obligatorios por factor técnico, mejorando la capacidad institucional de respuesta

ante riesgos operacionales (García, 2023), fortaleciendo la cultura de seguridad y promoviendo la mejora continua, como lo establece el Manual de Gestión de Seguridad Operacional (Fuerza Aeroespacial Colombiana, 2020).

Palabras clave: Seguridad operacional, gestión, riesgo, metodología ARMS, reporte obligatorio, MOR, factor técnico.

Model for the management and validation of mandatory reports of technical events

Abstract

Operational safety is a fundamental pillar for the success of aerial missions. For this reason, in the Colombian Aerospace Force (FAC), both Mandatory Occurrence Reports (MOR) and Voluntary Safety Reports (SRV) serve as critical sources of information for identifying risks and preventing accidents (Colombian Aerospace Force, 2020). This study analyzes the management and validation processes of MORs related to technical factors, in light of a significant increase in their frequency—from an annual average of 15 reports between 2019 and 2021 to approximately 245 reports per year over the past three years, specifically within Air Combat Command No. 4 (CACOM-4), a military unit recognized for its operational safety practices and the highest volume of reports in this category.

At CACOM-4, 89% of MORs related to technical factors are submitted by flight crew members, with the remainder reported by maintenance personnel, drone operators, and others. A notable increase in reporting was observed beginning in 2022, following the promotion of safety

initiatives in alignment with Regulatory Circular No. 004-2021 issued by the AAAES (State Aviation Aeronautical Authority, 2021). Consequently, reports from 2022 to 2025 were compiled—totaling 723 MORs—using the Power BI platform, which provided a substantial data set for this research.

Applying a mixed-methods approach—allowing the integration of quantitative and qualitative data to deepen the understanding of the phenomenon under study (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014)—the research began with a regulatory review at international, national, and institutional levels concerning operational safety in the FAC. A documentary matrix was developed based on ICAO standards, extending through national regulations, the airline Satena, state aviation, and finally the FAC's own manuals and procedures. The analysis demonstrated that the FAC's Safety Management System is consistent with current regulations and seeks to address technical, human, and organizational risks while meeting mission-specific operational

challenges. However, gaps in the report management process were also identified, limiting the system's responsiveness and the implementation of preventive measures.

Within the matrix development, areas for improvement were identified in the FAC's MOR management procedures. A comparative review of Satena's Maintenance Organization Manual (MOM) revealed the airline's use of the ARMS methodology, a tool that enhances objectivity by evaluating potential severity and the effectiveness of safety barriers to yield a more accurate risk index (Satena, 2024). Furthermore, a statistical analysis of the 723 MORs from CACOM-4 was conducted using ATLAS.ti software.

This software facilitated information coding through textual similarity and frequency analysis, thereby minimizing researcher subjectivity. The most prominent category, "reliability and criticality analysis," accounted for 37.03% of the data, aligning with procedure IS-DISOP-PR-034 within the Bizagi system and typically categorized as low-risk statistical information. This was followed by "unique records" at 31.35%, characterized by their specificity. "Verification and maintenance actions" represented 16.64%, encompassing tasks such as inspections, troubleshooting, and failure analysis. "Failure correction and MOR statistics" accounted for 8.18%, and "other recommendations" made up 3.61%, referring to suggestions not easily classified in the prior categories. It was concluded that 61.85% of reports correspond to technical corrections with limited predictive value, which restricts the system's ability to proactively identify risk. Notably, descriptions of these activities

are typically completed by the Head of the Operational Safety Office.

Based on these findings, which highlight the need to convert report data into actionable intelligence to strengthen predictive capacity, a transformation of the current management process is proposed. From the moment a report is submitted, the Operational Safety Advisor of the technical group should conduct a reliability assessment and calculate a risk index using the ARMS matrix, thereby generating more targeted recommendations.

Additionally, it is proposed that the matrix be expanded to include classification by aircraft fleet and the ATA code of the affected system. This enhancement would allow the Unit Validator (Head of Operational Safety) to access more comprehensive data for improved feedback and follow-up at the central level. This refinement will facilitate a more thorough analysis during operational safety committee meetings, focusing on three key objectives: identifying critical events, prioritizing risk-based maintenance actions, and compiling a complementary database for historical tracking by date, system, aircraft model, and risk level.

Adopting these recommendations will elevate the FAC's operational capacity, transforming safety reports from reactive tools into proactive instruments. Through clearer, more objective, and interconnected procedures, MORs will better serve to anticipate incidents caused by technical failures, increase aircraft availability, and enhance logistical resource management.

Moreover, reinforcing a safety-centered organizational culture will help cultivate a more engaged and responsible work

environment. In this regard, improving the management and verification of technical operational safety reports within the FAC is a strategic necessity directly impacting mission effectiveness. Through the integration of advanced technologies, ongoing training, and evidence-based decision-making, the FAC is positioned to establish a world-class operational safety system aligned with international standards and the evolving demands of air and space defense.

Ultimately, the development of this model is expected to result in the establishment of enhanced procedures and guidelines for managing MORs related to technical factors, thereby strengthening the FAC's capacity to address operational risks (García, 2023). This initiative will also contribute to fostering a stronger safety culture and promoting continuous improvement, as emphasized in the Operational Safety Management Manual (Colombian Aerospace Force, 2020).

Keywords: Operational safety, management, risk, ARMS methodology, mandatory report, MOR, technical factor.

Referencias

Autoridad Aeronáutica de Aviación de Estado. (2023). RACAE 219: Sistema de gestión de seguridad operacional. https://aaaes.fac.mil.co/sites/aaaes/files/AAAES/documentos/RACAE/racae_219.pdf

Fuerza Aeroespacial Colombiana. (2019). Procedimiento: Gestión del riesgo AAAES.

https://aaaes.fac.mil.co/sites/aaaes/files/AAAES/documentos/de-semep-fr-001_formato_procedimiento_de_gestion_de_riesgo.pdf

Fuerza Aeroespacial Colombiana. (2020). Manual de Gestión de la Seguridad Operacional (MAGSO). https://www.fac.mil.co/sites/default/files/linktransparencia/Planeacion/Manuales/manuales2022/magso_2020.pdf

Fuerza Aeroespacial Colombiana. (2022). Instructivo para el diligenciamiento del formulario web de reportes obligatorios de sucesos de seguridad operacional (MOR).

https://cdn979857.fac.mil.co/sites/aaaes/files/AAAES/documentos/normatividad2022/circularregulatorio/instructivo_mor_2022_c.pdf

Fuerza Aeroespacial Colombiana. (2024). Balance operacional del Comando Aéreo de Combate N°4 durante 2024. Fuerza Aeroespacial Colombiana. <https://www.fac.mil.co/es/noticias/balance-operacional-del-comando-aereo-de-combate-no-4-durante-2024>

García, M. (2023). *Análisis de incidentes en sistemas de seguridad operacional*. Editorial Seguridad.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill.

Organización de Aviación Civil Internacional. (2016). Anexo 19: Gestión de la seguridad operacional. Organización de aviación Civil Internacional. https://www.icao.int/SAM/Documents/2017-SSP-BOL/Anexo19_2daEdition_es.pdf

Satena. (2024). Manual de la Organización de Mantenimiento MOM.

Auditorías Militares en Operaciones de Vuelo: Un aporte al fortalecimiento del Programa de Análisis de Datos de Vuelo en la FAC



MY. Jaime Eduardo Rincón Valencia
jaime.rinconv@fac.mil.co

Información del autor: Oficial del cuerpo de vuelo del curso 82 de Oficiales de la FAC, Administrador Aeronáutico de la Escuela Militar de Aviación, Maestrante de Seguridad Operacional, actualmente Jefe del Departamento de Planeación del CACOM-5 y Piloto de Pruebas del equipo UH-60 Black Hawk

Orcid: <https://orcid.org/0009-0000-6939-4894>

CvIac: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0002359885

Línea de investigación: Gestión de la Seguridad Operacional

Resumen

Dentro del sistema de gestión de seguridad operacional de la Fuerza Aeroespacial Colombiana FAC se contempla el programa de análisis de datos de vuelo ADV como una herramienta para que, de manera proactiva y predictiva, se reduzca la ocurrencia de incidentes y accidentes aéreos. En tal sentido, los medios y métodos para captar la información y

datos de vuelo han sido, en su mayoría, los dispositivos de grabación de voz y de datos de las aeronaves; lo que, en consecuencia, ha generado un sesgo en la aplicabilidad del programa puesto que son pocas las aeronaves que cuentan con este tipo de tecnología. Es por ello que esta investigación muestra las brechas entre lo teórico que se plantea en el ADV, y lo práctico que se ejecuta en la gestión

operacional en la FAC para este programa; y propone su fortalecimiento a través de la implementación de auditorías militares en operaciones de vuelo en las diferentes aeronaves de la FAC.

La evolución de seguridad operacional en la Fuerza Aeroespacial Colombiana ha venido involucrando nuevas herramientas, programas y procedimientos en busca de reducir las probabilidades de ocurrencias de accidentes e incidentes operacionales. Para la FAC, el programa de análisis de datos de vuelo constituye el modelo proactivo y predictivo, incorporando las buenas prácticas de la OACI (MAGSO, 2020), con el cual busca recolectar datos para que, a través de un análisis detallado, se logre una adecuada toma de decisiones en materia de líneas estratégicas de seguridad operacional en la institución. De esta manera, y tal como está contemplado en el Manual Gestión de la Seguridad Operacional, el programa de análisis de datos de vuelo ADV está definido como “un programa para mejorar la seguridad operacional, mediante la adquisición de datos de vuelo en busca de la identificación de peligros obtenidos en el entorno operacional, a través de un procesamiento de datos por dispositivos de grabación automática como son flight data recorder FDR y advanced data monitoring ADM” (MAGSO, 2020). o por medio de auditorías humanas realizadas en vuelos operacionales conocidas como MOSA, military operation safety Audit.

La presente investigación cuestiona la aplicabilidad del programa de datos de vuelo teniendo en cuenta que tan solo el 29% de las aeronaves de la FAC cuentan con algún sistema de grabación de datos de vuelo, dejando un sesgo importante en

la objetividad del programa y su impacto en la gestión de la seguridad operacional en la institución. A partir de allí, y por medio de una investigación de enfoque mixto secuencial, se plantearon tres fases para llegar al objetivo principal de develar la importancia y aplicabilidad del MOSA como parte fundamental en el programa de análisis de datos de vuelo en la FAC.

En primer lugar, se realizó un análisis de brechas donde se analizaron los informes de fiabilidad de los años 2021, 2022 y 2023 elaborados por la subdirección de fiabilidad de la dirección de seguridad operacional de la FAC, donde, si bien se logra evidenciar un aumento en promedio del 271% en las horas de vuelo analizadas por parte de las Unidades Militares Aéreas en los diferentes equipos de la FAC, aún no se manifiesta el impacto en el proceso de instrucción y entrenamiento en cada uno de los escuadrones correspondientes.

Posteriormente, y dado la subjetividad con la cual se realizan las supervisiones humanas en la FAC, donde el formato utilizado es de carácter punitivo y califica en satisfactorio ó insatisfactorio una maniobra de vuelo, se acudió a una muestra de 18 expertos de la planta de UH-60 Black Hawk para que a partir de sus conocimientos se planteara un nuevo formato que bajo el principio de la no punitividad, se pudiese aplicar en las auditorias de vuelo. En esta fase de la investigación también se realizó una entrevista semiestructurada a dos expertos en el tema de auditorías humanas en vuelo; concluyendo que, con base a los principios de identificación de amenazas y gestión de riesgos TEM, (por sus siglas en ingles Threat and error management) es importante para la FAC

conducir estas observaciones para que puedan evidenciar fortalezas y debilidades en las competencias de los pilotos militares en la FAC (Rodríguez & Ramirez, 2023).

Finalmente, se le da aplicabilidad al formato de auditorías de vuelo MOSA propuesto en la investigación, de la siguiente manera: En primera medida, se realiza una traslapación a 10 formatos de supervisión humana antiguo de la FAC efectuados entre los meses de noviembre y diciembre de 2024 para lograr un primer acercamiento al objetivo propuesto mediante el formato sugerido; encontrando una serie de fortalezas como consciencia situacional y gestión del volumen de trabajo; y competencias por mejorar como comunicación y aplicación de los procedimientos en las tripulaciones de UH-60 en el Comando Aéreo de Combate No.5.

La investigación, al menos preliminarmente, confirma que a pesar de

que en la FAC se le ha dado prevalencia al programa de aseguramiento de la seguridad de las operaciones militares MFOQA por sus siglas en inglés, military flight operations quality assurance; el programa de análisis de datos de vuelo ADV de la FAC, es completamente susceptible a mejoras mediante la implementación de un programa MOSA, que de manera complementaria recolecte información de vuelo de manera análoga, convirtiéndose en insumo para la implementación y cambios en los planes de instrucción y entrenamiento de los diferentes escuadrones de aeronaves de la Fuerza Aeroespacial Colombiana. En tal sentido, y aunque la investigación aún se encuentre en curso; su aplicabilidad en todos los escuadrones de vuelo de la FAC puede representar una propuesta valiosa para la identificación y gestión de riesgos operacionales y como herramienta para el mejoramiento en las competencias de los pilotos militares de la FAC.

Military Audits in Flight Operations: A Contribution to Strengthening the Flight Data Analysis Program in the Colombian Air Force (FAC)

Abstract

Within the Operational Safety Management System of the Colombian Aerospace Force (FAC), the Flight Data Analysis Program is considered a key tool for proactively and predictively reducing the occurrence of aviation incidents and accidents. Traditionally, the methods used to collect flight data have relied primarily on voice and data recording devices installed on aircraft. However, the limited availability of such technology across the

fleet has introduced significant bias into the applicability and reach of the program. This study highlights the gap between theoretical frameworks and practical implementation of the flight data analysis program in the FAC and proposes its enhancement through the integration of Military Operation Safety Audits (MOSA) in flight operations across various FAC aircraft.

The evolution of operational safety within the FAC has involved the integration of new tools, programs, and procedures aimed at reducing the probability of incidents and accidents. For the FAC, the flight data analysis program represents a proactive and predictive model grounded in ICAO best practices (MAGSO, 2020), with the purpose of collecting and analyzing flight data to support strategic decision-making in operational safety. As defined in the Operational Safety Management Manual, the Flight Data Analysis (FDA) program is “a program to improve operational safety through the acquisition of flight data aimed at hazard identification in the operational environment, by processing data collected through automated recording devices, such as Flight Data Recorders (FDR), Advanced Data Monitoring (ADM), or via human audits conducted during operational flights, referred to as MOSA (Military Operation Safety Audit).”

This research questions the current applicability of the flight data program, as only 29% of the FAC’s aircraft are equipped with some form of flight data recording system. This limited coverage significantly compromises the program’s objectivity and impact on operational safety management. To address this issue, a sequential mixed-methods research design was implemented, consisting of three phases aimed at demonstrating the value and feasibility of MOSA as a fundamental component of the FAC’s flight data analysis system.

The first phase consisted of a gap analysis, using reliability reports from 2021, 2022, and 2023 compiled by the Reliability Sub-directorate within the FAC’s Operational Safety Directorate. Although these reports show an average increase of

271% in the number of flight hours analyzed across FAC platforms, no significant impact was identified in the instruction and training processes of the respective squadrons.

The second phase focused on the limitations of current human supervision practices in the FAC, which utilize a punitive format that merely classifies flight maneuvers as satisfactory or unsatisfactory. To improve this, 18 UH-60 Black Hawk experts were consulted to design a new, non-punitive flight audit format based on their operational knowledge. Additionally, semi-structured interviews were conducted with two specialists in human audit methodologies. These consultations concluded that, under the principles of threat identification and risk management from the Threat and Error Management (TEM) model, human audits are essential for identifying strengths and weaknesses in the competencies of military pilots (Rodríguez & Ramírez, 2023).

In the final phase, the applicability of the proposed MOSA format was tested by comparing it with 10 previous supervision reports conducted between November and December 2024. This comparison revealed various strengths—such as situational awareness and workload management—and areas for improvement, particularly in communication and adherence to procedures among UH-60 crews at Combat Air Command No. 5.

Preliminary results suggest that while the FAC has focused its efforts on the Military Flight Operations Quality Assurance (MFOQA) program, its Advanced Flight Data Analysis (ADV) program remains highly susceptible to improvement. The incorporation of the MOSA approach,

which collects flight data through structured human observation, could significantly enhance the current system. By serving as a complementary analog input, the MOSA methodology would directly inform instructional and training adjustments across FAC aircraft squadrons. Although the research is ongoing, its projected applicability across all FAC flight squadrons offers a promising framework for identifying and managing operational risks, while also serving as a developmental tool for strengthening the competencies of FAC military pilots.

Palabras clave: Amenazas, Fiabilidad, Gestión de Riesgos, Auditorías Operacionales, Sistema de Gestión de la Seguridad Operacional.

Key words: Threats, Reliability, Risk Management, Operational Audits, Safety Management System.

Refencias Bibliograficas

Fuerza Aeroespacial Colombiana [FAC]. (2020). *Manual de Gestión de la Seguridad Operacional* [MAGSO].

Rodríguez Suárez, C. & Ramírez Segura, B. F. (2023). Inventario de competencias clave para los pilotos de la FAC. Escuela de Postgrados de la FAC.

Choi, J. (2022). The Enhancing Error Management of Pilot and Line Operation Safety Audit. *Korean journal of aerospace & enviromental meicine*, volumen 32, 44-49.

<https://doi.org/10.46246/KJAsEM.220015>

Khoshkhoo, R., Jahangirian, A., & Sharabafi, F. (2018). Analysis of fleet type impact on the threats and errors of an airline using line operations safety audit (LOSA). *Aviation*, volumen 22, 31-39. <https://doi.org/10.3846/aviation.2018.5002>

2

Fuerza Aeroespacial Colombiana [FAC]. Inspección general. Dirección de seguridad operacional. (2022). *Programa de aseguramiento de calidad de las operaciones aéreas - Flight operational quality assurance* [FOQA].

Evaluación del efecto sorpresa en la conciencia situacional de pilotos militares mediante la técnica de Seguimiento Ocular (Eye Tracking)



Fuente: Elaboración propia, (2024)

CT (R) Rubén Darío Cuadros Valbuena
ruben.cuadros@epfac.edu.co

Ingeniero Mecánico y Piloto egresado de la Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suarez”, con más de 12 años de experiencia en operaciones de transporte aéreo. Durante su trayectoria en la Fuerza Aeroespacial Colombiana desempeñó roles como Comandante de Escuadrilla de Transporte Mediano y Pesado del Comando Aéreo de Transporte Militar. Actualmente se desempeña como Ingeniero de Proyectos de Aviación y estudiante de Maestría en Seguridad Operacional.

Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-3924-6602>

Cvlac: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0002359887

Línea de investigación: Factores Humanos

Resumen

El factor humano continúa siendo uno de los principales componentes asociados a la accidentalidad en la aviación civil y militar. Desde la década de los años setenta, investigaciones impulsadas por la NASA han señalado que aproximadamente el 70% de los accidentes aéreos son atribuibles al componente del factor humano (Kanki, et al., 2019). Esta tendencia también se refleja en el contexto nacional; un estudio reciente sobre siniestralidad en la Fuerza Aeroespacial Colombiana evidenció que, de 182 accidentes analizados hasta el año 2021, 172 tuvieron el factor humano como factor causal, representando un 78% del total (Pérez, Siza, 2023).

En la aviación militar, mantener una conciencia situacional elevada durante todas las fases del vuelo crucial para garantizar la seguridad operacional (Rodríguez Suárez, C., & Ramírez Segura, B. F., 2023). No obstante, la aparición repentina de eventos inesperados conocidos como “sorpresa”, se define como una reacción cognitiva y emocional que ocurre cuando el piloto enfrenta un evento que no coincide con sus expectativas internas, interrumpiendo con ello el procesamiento normal de información (Rivera et al., 2014). De acuerdo con la Agencia Europea de Seguridad Aérea (EASA, 2020), este factor representa un riesgo latente que compromete la capacidad cognitiva del piloto y puede degradar su conciencia situacional, una competencia fundamental en la toma de decisiones durante operaciones críticas.

Según el informe Resumen Estadístico de Accidentes de Aviones Comerciales (Boeing, 2024), el 21% de los accidentes fatales en aviación comercial entre 2014 y 2023 ocurrieron durante la fase de despegue y ascenso inicial, siendo esta la segunda fase más crítica después del aterrizaje, que representó el 36% del total. Estos escenarios, donde la carga de trabajo es elevada, el tiempo de respuesta limitado y la ocurrencia de forma inesperada de eventos como la falla de un motor después de la velocidad V1, genera un efecto sorpresa que desafía la capacidad cognitiva del piloto puede comprometer la conciencia situacional y afectar el proceso de toma de decisiones.

Con base en lo expuesto con anterioridad, surge el presente proyecto de investigación, el cual evaluó el impacto del efecto sorpresa sobre la conciencia situacional en pilotos militares. Para ello, se diseñó una investigación experimental centrada en la simulación de eventos críticos inesperados en vuelo, se llevaron a cabo pruebas en el simulador de la aeronave Super King – 350 ENTROL A11 (FTD 5) B350ER, ubicado en el Comando Aéreo de Transporte Militar. A la fecha han participado cuatro pilotos del equipo SK-350, quienes fueron expuestos a una falla de motor después de la velocidad de decisión (V1) sin advertencia previa. Se emplearon las gafas de seguimiento ocular Tobii Pro Glasses 2 como herramienta de medición, las cuales cuentan con capacidad de registrar datos en tiempo real sobre fijación ocular, dilatación pupilar, sacadas, tiempos de reacción y distribución de la atención.

Los datos experimentales recolectados fueron analizados utilizando métricas claves del software Tobii Pro Lab, tales como el tiempo hasta la primera fijación, número de fijaciones en áreas críticas de interés (AOIs), frecuencia de sacadas, tasa de parpadeo y trayectoria de la mirada antes y durante el evento. Estos resultados preliminares se contrastaron con estudios de referencia sobre deterioro cognitivo ante estímulos inesperados, destacando el trabajo de Babu et al. (2019), el cual proporciona un marco riguroso para interpretar las respuestas fisiológicas y afinar la comprensión del impacto del efecto sorpresa en la conciencia situacional.

En suma, al comparar los datos preliminares obtenidos con la literatura científica, se identificaron patrones fisiológicos consistentes con un aumento en la carga cognitiva tras la aparición del evento sorpresivo. En particular, se observó un incremento en la dilatación pupilar de los pilotos y una reducción en la exploración visual efectiva, indicativa de una pérdida momentánea de la conciencia situacional, a la vez que el tiempo de reacción ante eventos críticos incrementó, lo cual sugiere una disminución en la capacidad de respuesta bajo presión. Estos hallazgos guardan coherencia con estudios previos que destacan cómo la sorpresa y la carga cognitiva afectan negativamente el desempeño de los pilotos en entornos operacionales desafiantes (Diarra et al., 2023).

El análisis de estos resultados refuerza la necesidad de integrar escenarios con eventos sorpresivos en los programas de entrenamiento de los escuadrones de vuelo. La simulación de eventos críticos bajo condiciones controladas permitiría mejorar la capacidad de los aviadores para gestionar el estrés, recuperar la conciencia situacional y tomar decisiones basadas en evidencias incluso en medio de la disrupción. Por lo tanto, la aplicación de la tecnología “Eye Tracking” en estos entrenamientos proporciona una herramienta objetiva para evaluar el rendimiento humano y adaptar los programas de formación a las necesidades operacionales reales.

Este estudio representa un aporte significativo a la comprensión y optimización de las estrategias de mitigación del efecto sorpresa en la aviación militar, fortaleciendo la seguridad operacional desde una perspectiva basada en evidencias. Los resultados presentados corresponden a una etapa inicial de la investigación y deben interpretarse como hallazgos preliminares, se continuará con la recolección de datos, ampliación de la muestra y validación de patrones conductuales que permitan realizar un análisis más robusto y profundo. Este proceso contribuirá a consolidar un marco técnico y operativo que respalde futuras investigaciones en factores humanos y conciencia situacional bajo condiciones de alta exigencia.

Palabras clave: Conciencia Situacional, Rendimiento Humano, Seguimiento Ocular, Seguridad Operacional, Sorpresa

Assessing the Impact of Surprise on Military Pilots' Situational Awareness Through Eye-Tracking Technology

Abstract

The Human Factor remains one of the primary contributors to accidents in both civil and military aviation. Since the 1970s, research led by NASA has shown that approximately 70% of air accidents are attributable to human error (Kanki et al., 2019). This trend is also evident in Colombia; a recent study on accidents within the Colombian Aerospace Force (FAC) revealed that, out of 182 accidents analyzed up to 2021, 172 were caused by human factors, accounting for 78% of the total (Pérez & Siza, 2023).

In military aviation, maintaining high situational awareness throughout all phases of flight is essential to ensuring operational safety (Rodríguez Suárez & Ramírez Segura, 2023). However, the sudden emergence of unexpected events—commonly referred to as “surprise”—is defined as a cognitive and emotional reaction triggered when a pilot encounters a situation that does not align with internal expectations, thereby disrupting normal information processing (Rivera et al., 2014). According to the European Aviation Safety Agency (EASA, 2020), this factor represents a latent risk that can impair a pilot’s cognitive performance and degrade situational awareness, a core competence in critical decision-making.

The Boeing Statistical Summary of Commercial Jet Accidents (2024) reports that 21% of fatal commercial aviation accidents between 2014 and 2023 occurred during the takeoff and initial climb phase—making it the second most hazardous phase after landing, which

accounted for 36% of accidents. These scenarios, marked by high workload, minimal reaction time, and the occurrence of unexpected events such as engine failure after V1 speed, trigger a surprise effect that compromises the pilot's cognitive capacity, situational awareness, and decision-making ability.

In response, the present research project was designed to assess the impact of the surprise effect on situational awareness among military pilots. An experimental study was conducted using simulations of unexpected critical events. The tests were carried out on the Super King 350 ENTROL A11 (FTD 5) B350ER simulator, located at the Military Air Transport Command. To date, four pilots from the SK-350 team have participated, each exposed to an unannounced engine failure after reaching decision speed (V1). Tobii Pro Glasses 2 eye-tracking technology was used to capture real-time data on eye fixation, pupil dilation, saccades, reaction times, and gaze distribution.

The experimental data were analyzed using key metrics from the Tobii Pro Lab software, including time to first fixation, number of fixations on critical Areas of Interest (AOIs), saccade frequency, blink rate, and gaze trajectory before and during the event. These preliminary results were compared to reference studies on cognitive impairment triggered by unexpected stimuli, particularly the work of Babu et al. (2019), which provides a robust framework for interpreting physiological responses and understanding how surprise affects situational awareness.

In summary, the initial findings revealed physiological indicators of increased cognitive load following the surprise event. Specifically, there was a notable increase in pupil dilation and a reduction in effective visual scanning, suggesting a temporary loss of situational awareness and delayed responses to critical stimuli—markers of degraded performance under pressure. These results are consistent with prior studies that emphasize the negative impact of surprise and cognitive overload on pilot performance in high-demand environments (Diarra et al., 2023).

The analysis underscores the importance of incorporating surprise-based scenarios into flight squadron training. Simulating critical incidents in a controlled setting can help pilots develop stress resilience, regain situational awareness, and make informed decisions despite unexpected disruptions. Eye-tracking technology provides an objective means of assessing human performance and tailoring training programs to meet real-world operational challenges.

This study makes a significant contribution to the understanding and optimization of strategies to mitigate the surprise effect in military aviation, thereby enhancing operational safety through an evidence-based approach. The findings presented correspond to the initial phase of the research and should be considered preliminary. Future work will involve additional data collection, expansion of the sample size, and validation of behavioral patterns to support a more comprehensive analysis. These efforts aim to build a technical and operational foundation for future studies on human factors and situational awareness in high-demand environments.

Keywords: Eye Tracking, Human Performance, Safety, Situational Awareness, Surprise

Referencias Bibliográficas

Babu, M. D., JeevithaShree, D. V., Prabhakar, G., Saluja, K. P., Pashilkar, A., & Biswas, P. (2019). *Estimating pilots' cognitive load from ocular parameters through simulation and in flight studies. Journal of Eye Movement Research*, 12(3). <https://doi.org/10.16910/jemr.12.3.3>

Boeing. (2024). *Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents*. The Boeing Company. https://www.boeing.com/content/dam/boeing/boeingdotcom/company/about_bca/pdf/statsum.pdf

Diarra, M., Marchitto, M., Bressolle, M.-C., Baccino, T., & Draï-Zerbib, V. (2023). *A narrative review of the interconnection between pilot acute stress, startle, and surprise effects in the aviation context: Contribution of physiological measurements. Frontiers in Neuroergonomics*, 4. <https://doi.org/10.3389/fnrgo.2023.1059476>

EASA. (2020). *Research Project: Surprise and Startle Effect Management*. European Union Aviation Safety Agency. <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/research-reports/research-project-surprise-and-startle-effect-management>

Kanki, B. G., Helmreich, R. L., & Anca, J. M. (2019). *Crew Resource Management (3rd ed.)*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-00200-5>

Pérez., Sisa, L. (2023). *Estrategias para la Prevención de Accidentes, a través del Análisis de Accidentalidad de la Fuerza Aérea Colombiana*. [Tesis de maestría, Escuela de postgrados Fuerza Aérea Colombiana]. Repositorio institucional clasificado.

Rivera, J., Talone, A. B., Boesser, C. T., Jentsch, F., & Yeh, M. (2014). *Startle and Surprise on the Flight Deck: Similarities, Differences, and Prevalence*.

Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 58(1), 1047-1051.
<https://doi.org/10.1177/1541931214581219>

Rodríguez Suárez, C., & Ramírez Segura, B. F. (2023). *Inventario de competencias clave para los pilotos de la FAC*. Escuela de Postgrados de la FAC.
<https://doi.org/10.18667/99789585245655>

Riesgos en seguridad operacional satelital: modelo comparativo para una evaluación eficiente



Nota. SpOC (Space Operations Center), Prensa Fuerza Aeroespacial Colombiana, 2022, https://cdn979857.fac.mil.co/sites/default/files/portfolio-images/7_6.jpg

TE. José Ricardo Sánchez Montenegro
jose.sanchezmo@fac.mil.co

Oficial piloto de la Fuerza Aeroespacial Colombiana, Ingeniero Mecánico, Profesional en Ciencias Militares Aeronáuticas de la Escuela Militar de Aviación Marco Fidel Suarez, Aspirante a Magister en Seguridad Operacional de la Escuela de Postgrados de la FAC

Orcid: <https://orcid.org/0009-0000-1893-6518>

Cvlac: https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000164189

Línea de investigación: Gestión de la Seguridad Operacional

Resumen

La gestión de riesgos en la seguridad operacional satelital es un aspecto fundamental en la consolidación de capacidades aeroespaciales, especialmente para entidades como la Fuerza Aeroespacial Colombiana, en un contexto donde las operaciones

espaciales experimentan un crecimiento acelerado, la identificación, evaluación y mitigación de riesgos resulta esencial para garantizar la continuidad y la confiabilidad de las misiones satelitales, minimizando la exposición a amenazas tanto técnicas

como ambientales (Gamble et al., 2016). En este marco

La presente investigación examina de manera comparativa los enfoques adoptados por distintas agencias espaciales, evaluando su implicación para la Fuerza Aeroespacial Colombiana (FAC) en su reciente programa satelital.

El problema central de este estudio radica en la ausencia de un modelo consolidado de gestión de riesgos en seguridad operacional satelital para la FAC. Para abordar esta problemática, se efectuó un análisis detallado de las metodologías implementadas por la NASA (National Aeronautics and Space Administration), ESA (European Space Agency), CNSA (China National Space Administration) y JAXA (Japan Aerospace exploration Agency).

La metodología empleada incluyó un análisis documental basado en normativas internacionales, publicaciones indexadas y documentos técnicos de referencia que permiten realizar de una manera cualitativa la investigación (Hernández-Sampieri, 2018).

Los hallazgos indican que la NASA se distingue por su enfoque basado en la redundancia de sistemas críticos y la implementación de rigurosos protocolos de verificación y validación. Este modelo se fundamenta en la necesidad de garantizar la operatividad de los satélites incluso ante fallos en componentes individuales, evitando fallos catastróficos mediante sistemas de respaldo autónomos y redundantes (NASA, 2011). Además, esta agencia implementa auditorías técnicas continuas, análisis de

confiabilidad de hardware y simulaciones avanzadas para predecir posibles fallos antes del lanzamiento de cualquier misión. Estas estrategias han permitido una tasa de éxito elevada en la operación de satélites y han reducido significativamente la probabilidad de fallos críticos en misiones espaciales (Sant et al., 2020).

Por su parte, la ESA ha adoptado el modelo de Evaluación Probabilística de Riesgos PRA por sus siglas en inglés, una metodología que permite cuantificar los riesgos en función de la probabilidad de ocurrencia y la severidad de sus consecuencias. Asimismo, esta agencia aplica esta metodología mediante un enfoque sistemático que incorpora simulaciones avanzadas, modelado de eventos y análisis estadísticos para prever posibles fallos en sus misiones espaciales (Kompella et al., 2023).

La gestión de riesgos de la CNSA se basa en un enfoque integral que abarca aspectos técnicos, financieros y regulatorios. Así mismo, la combinación de herramientas avanzadas de evaluación de riesgos, estrategias de financiamiento diversificadas y una planificación estratégica alineada con el contexto internacional ha permitido a China consolidarse como una de las principales potencias espaciales a nivel global (Sobol y Fadeev, 2018).

Uno de los aspectos distintivos del modelo de la JAXA es su énfasis en la resiliencia operativa y la redundancia de sistemas. La agencia ha desarrollado un enfoque basado en la ingeniería de confiabilidad, lo que implica la integración de redundancias estratégicas en los sistemas críticos de sus misiones. Esto se

complementa con un programa de mantenimiento predictivo que utiliza análisis de big data y aprendizaje automático para anticipar posibles fallos antes de que ocurran (JAXA, 2018).

El análisis de estos enfoques sugiere que la FAC, en su proceso de consolidación de capacidades espaciales con los programas FACSAT-1 y FACSAT-2, podría beneficiarse significativamente de la integración de metodologías de evaluación estructurada. Además, la adopción de protocolos de redundancia y validación de sistemas críticos fortalecería la resiliencia operativa de sus futuras misiones espaciales.

En conclusión, una gestión de riesgos efectiva en seguridad operacional satelital depende de una evaluación rigurosa y una clasificación precisa de los riesgos, basada en parámetros concretos de severidad y probabilidad de ocurrencia. La adopción de metodologías estructuradas permitirá a la FAC fortalecer su capacidad operativa, reducir la incertidumbre y garantizar la seguridad en sus misiones espaciales, facilitando la toma de decisiones informadas y la consolidación de un enfoque proactivo ante los desafíos del entorno aeroespacial.

Palabras clave: Seguridad, Gestión de Riesgos, Satélites.

Risks in satellite operational safety: a comparative model for efficient evaluation

Abstract

Risk management in satellite operational safety is a critical element in consolidating aerospace capabilities, particularly for institutions like the Colombian Aerospace Force (FAC), in a context where space operations are undergoing rapid expansion. The identification, assessment, and mitigation of risks are essential to ensuring the continuity and reliability of satellite missions, while minimizing exposure to technical and environmental threats (Gamble et al., 2016). Within this framework, the present study comparatively analyzes the risk management approaches adopted by various space agencies, evaluating their relevance and applicability to the FAC's emerging satellite program.

The core problem addressed by this research is the absence of a consolidated risk management model for satellite operational safety within the FAC. To bridge this gap, a detailed review was conducted on the methodologies used for risk assessment and classification in space operations by agencies such as NASA (National Aeronautics and Space Administration), ESA (European Space Agency), CNSA (China National Space Administration), and JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency). The methodology involved a documentary analysis of international standards, peer-reviewed academic sources, and technical reference documents. This qualitative approach, grounded in the framework of

Hernández-Sampieri (2018), enabled the identification of best practices and strategic models relevant to satellite risk management.

Findings indicate that NASA's model is characterized by the redundancy of critical systems and the application of rigorous verification and validation protocols. This approach ensures satellite operability even in the event of component failures by incorporating autonomous and redundant systems (NASA, 2011). Additionally, NASA implements continuous technical audits, hardware reliability analyses, and advanced simulations to forecast potential failures before mission launch—strategies that have significantly increased the success rate and reliability of its satellite missions (Sant et al., 2020).

Similarly, ESA employs the Probabilistic Risk Assessment (PRA) model, which quantifies risk based on likelihood and severity. This model is applied systematically through simulations, event modeling, and statistical methods to anticipate failures and inform design and operational decisions (Kompella et al., 2023).

CNSA's strategy integrates technical, financial, and regulatory risk components, employing advanced assessment tools, diversified funding mechanisms, and strategic planning aligned with international trends. This holistic model has positioned China as a leading space power, combining innovation with structured management (Sobol & Fadeev, 2018).

JAXA's approach places emphasis on operational resilience and system redundancy, relying on principles of reliability engineering. This includes embedding redundancies into mission-critical systems and implementing

predictive maintenance programs supported by big data analytics and machine learning to anticipate failures in advance (JAXA, 2018).

Based on this comparative analysis, the FAC—through its FACSAT-1 and FACSAT-2 programs—stands to benefit substantially from the integration of structured evaluation methodologies and redundancy protocols. These practices would enhance the resilience and reliability of its space operations and help establish a robust foundation for future satellite missions.

In conclusion, effective risk management in satellite operational safety requires rigorous evaluation processes and accurate classification of risks based on well-defined parameters of likelihood and severity. Adopting structured and proven methodologies would empower the FAC to reduce uncertainty, improve decision-making, and ensure mission safety—thus promoting a proactive posture toward the challenges of the evolving aerospace domain.

Keywords: Safety, Risk Management, Satellites

Referencias / References

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (6.ª ed.). McGraw-Hill Education.

Sant, J., Klein, G. A., & Dillon, R. L. (2020). NASA Risk management metrics — evaluating the effectiveness of the risk management process. *IEEE Aerospace Conference*, 1–8.

<https://doi.org/10.1109/AERO47225.2020.9172324>.

Kompella, J. D., Ravichandran, K., & Anandan, V. (2023). Application of probabilistic risk assessment approach in nuclear power and space sectors. Paper presented at the *Advances in reliability and safety assessment for critical*, 325–345. https://doi.org/10.1007/978-981-99-5049-2_25.

Sobol, A., & Fadeev, O. (2018). Developing a risk management system and assessing the effectiveness of integrated risk management in the space rocket sector.
<https://doi.org/10.1051/MATECCONF/201821208028>.

NASA.(2011). *NASA risk management handbook* (NASA/SP-2011-3422).

JAXA. (2016). *JAXA Management Requirements* (JMR-001C).

2015–2025 Una década de investigación en factores humanos en la seguridad operacional: avances y retos desde MAESO



Dra. Erika Juliana Estrada Villa ¹
Ing. Bryan Felipe Ramirez Segura ²
Ing. Harold Julián Acosta León³

Línea de investigación: Factores Humanos

Resumen

¹ Docente Maestría en Seguridad Operacional, Maestría en Seguridad Operacional, Escuela de Postgrados de la FAC, EPFAC, erika.estrada@epfac.edu.co
Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5445-2895> **Cvlac:**
https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000460770

² Docente Maestría en Seguridad Operacional, Maestría en Seguridad Operacional, Escuela de Postgrados de la FAC, EPFAC, bryan.ramirez@epfac.edu.co
Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-1562-5479> **Cvlac:**
https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000155660

³ Investigador Maestría en Seguridad Operacional, Maestría en Seguridad Operacional, Escuela de Postgrados de la FAC, EPFAC, harold.acosta@epfac.edu.co
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2843-720X> **Cvlac:**
https://scienti.minciencias.gov.co/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0000068122

Durante los últimos diez años, la Maestría en Seguridad Operacional (MAESO) ha desarrollado una línea investigativa sólida en factores humanos (FFHH), consolidándose como un referente en la formación y análisis del desempeño humano en contextos aeronáuticos. Este artículo presenta una síntesis de los principales hallazgos, enfoques temáticos y retos emergentes identificados en las tesis de grado entre 2015 y 2025, destacando el papel de los FFHH en la mitigación de riesgos y la promoción de una cultura de seguridad.

Introducción

La seguridad operacional en la aviación depende en gran medida del desempeño humano. Reconocer, estudiar y mitigar los factores que afectan este desempeño ha sido el objetivo central de diversas investigaciones desarrolladas en MAESO desde su creación en 2015. A través de un enfoque interdisciplinario, se han abordado temáticas críticas como la fatiga, el error humano, la cultura organizacional y la gestión de recursos de la tripulación (CRM), todas fundamentales para fortalecer la cultura de seguridad.

El currículo de MAESO ha incorporado asignaturas clave como Fisiología de Vuelo, Psicología de Aviación, Manejo de Crisis y Salud Operacional, fortaleciendo la formación técnica y actitudinal del personal aeronáutico. A lo largo de una década, 87 trabajos de grado han profundizado en la comprensión del impacto humano en los sistemas aeronáuticos, con una alta recurrencia de enfoques en seguridad operacional, competencias y cultura organizacional.

El análisis longitudinal de las tesis revela una evolución temática. Inicialmente, el error humano y la fatiga fueron abordados como factores críticos. La fatiga, en particular, se relacionó con turnos extensos, sobrecarga administrativa y deficiencias en la gestión del descanso, lo cual sugiere la necesidad de implementar sistemas de gestión del riesgo por fatiga (FRMS).

Paralelamente, el error humano fue conceptualizado no como falla individual, sino como síntoma sistémico de debilidades organizacionales (Harris & Muir, 2005). Entre 2020 y 2023 se evidenció una madurez investigativa con el fortalecimiento del enfoque en cultura de seguridad y CRM. Se abordaron dimensiones como la conciencia situacional, el reporte voluntario y la cultura justa, reconociendo que los errores forman parte inherente de las operaciones complejas y deben ser gestionados de forma proactiva (Hawking, 2016).

Desde 2023, han surgido investigaciones sobre operaciones con UAV, misiones en la Antártida y entrenamiento basado en evidencias, marcando una apertura a nuevos contextos tecnológicos y operacionales.

Metodologías y herramientas utilizadas

La mayoría de las investigaciones combinan métodos cualitativos y cuantitativos, con una clara preferencia por instrumentos mixtos como análisis documental, encuestas estructuradas, entrevistas semiestructuradas y paneles de expertos. Se destacan herramientas como el NASA-TLX, la escala de

somnolencia de Karolinska y el test de Maslach para evaluar variables como carga de trabajo, fatiga y agotamiento emocional (Creswell & Creswell, 2018).

Esta riqueza metodológica ha permitido una comprensión más integral de los fenómenos investigados, integrando datos objetivos y subjetivos, lo cual fortalece la toma de decisiones basada en evidencia (Leavy, 2017).

Uno de los principales desafíos futuros es la incorporación de inteligencia artificial y análisis predictivo para anticipar riesgos humanos en la operación aérea. Además, se propone expandir las investigaciones hacia entornos extremos como el espacio o regiones polares, donde los FFHH adquieren nuevas dimensiones de análisis.

Asimismo, es clave consolidar un Observatorio de Factores Humanos que sistematice los hallazgos y oriente políticas institucionales de seguridad, promoviendo una cultura organizacional robusta y sostenida.

Conclusiones

La evolución investigativa en MAESO demuestra un compromiso continuo con la comprensión profunda de los factores humanos en aviación. Aunque los modelos clásicos siguen vigentes, el programa ha sabido adaptarse a nuevas exigencias operacionales, ampliando sus horizontes hacia tecnologías emergentes y metodologías más integradas.

La década 2015–2025 constituye una base sólida sobre la cual construir nuevas estrategias de seguridad operacional centradas en el ser humano, con el potencial de influir tanto en entornos nacionales como internacionales.

2015–2025 A Decade of Research on Human Factors in Operational Safety: Advances and Challenges from MAESO

Abstract

Over the past ten years, the Master's in Operational Safety (MAESO) has developed a robust research line in Human Factors (HF), establishing itself as a reference point in the training and analysis of human performance in

aeronautical contexts. This article presents a synthesis of the main findings, thematic focuses, and emerging challenges identified in MAESO theses from 2015 to 2025, highlighting the role of HF in risk mitigation and the promotion of a safety culture.

Introduction

Operational safety in aviation relies heavily on human performance. Recognizing, studying, and mitigating the factors that influence this performance has been the central objective of numerous research efforts within MAESO since its inception in 2015. Through an interdisciplinary approach, the program has explored critical topics such as fatigue, human error, organizational culture, and Crew Resource Management (CRM), all of which are essential for strengthening a safety-oriented culture.

The MAESO curriculum has integrated key courses such as Flight Physiology, Aviation Psychology, Crisis Management, and Operational Health, enhancing the technical and attitudinal training of aeronautical personnel. Over the past decade, 87 theses have advanced the understanding of human impact on aeronautical systems, with recurring focus areas including operational safety, core competencies, and organizational culture.

A longitudinal analysis of these academic projects reveals a thematic evolution. In the early years, human error and fatigue were addressed as critical safety issues. Fatigue was linked to extended duty periods, administrative overload, and inadequate rest management, suggesting the need for implementing Fatigue Risk Management Systems (FRMS).

Concurrently, human error was reframed not as an individual failure, but as a systemic indicator of organizational

shortcomings (Harris & Muir, 2005). From 2020 to 2023, the research demonstrated increased maturity, emphasizing safety culture and CRM. Key dimensions such as situational awareness, voluntary reporting, and just culture were examined, recognizing that errors are inherent to complex operations and should be managed proactively (Hawking, 2016).

Since 2023, new research themes have emerged involving Unmanned Aerial Vehicle (UAV) operations, Antarctic missions, and evidence-based training, reflecting a progressive expansion toward novel technological and operational contexts.

Methodologies and Analytical Tools

Most studies adopted mixed-method approaches, combining qualitative and quantitative strategies, with a marked preference for hybrid tools such as document analysis, structured surveys, semi-structured interviews, and expert panels. Instruments such as the NASA-TLX workload index, the Karolinska Sleepiness Scale, and the Maslach Burnout Inventory were widely used to evaluate workload, fatigue, and emotional exhaustion (Creswell & Creswell, 2018).

This methodological richness allowed for a more comprehensive understanding of the studied phenomena by integrating both objective and subjective data, thereby strengthening evidence-based decision-making (Leavy, 2017).

One of the primary future challenges lies in incorporating artificial intelligence and

predictive analytics to anticipate human-related risks in flight operations. Further research is encouraged in extreme environments such as outer space and polar regions, where HF dimensions acquire new significance.

In addition, the establishment of a Human Factors Observatory is proposed to systematize findings and guide institutional safety policies, fostering a resilient and sustainable organizational culture.

Conclusions

The research trajectory of the MAESO program reflects a sustained commitment to deepening the understanding of human factors in aviation. While traditional models remain relevant, the program has successfully adapted to new operational demands, expanding into emerging technologies and integrated research methodologies.

The 2015–2025 decade provides a solid foundation for developing human-centered operational safety strategies, with the potential to influence both national and international aviation contexts.

Referencias

Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. SAGE Publications.

Harris, D., & Muir, H. (Eds.). (2005). *Contemporary issues in human factors and aviation safety*. Ashgate.

Hawking, F. (2016). *Human factors in*

flight. Routledge Taylor & Francis.

Leavy, P. (2017). *Research design: Quantitative, qualitative, mixed methods*. The Guilford Press.