

SEGURIDAD OPERACIONAL Y SU APROXIMACIÓN EN EL CONTEXTO COLOMBIANO

Una disciplina en constante evolución



**ABDÓN
ESTIBENSON
URIBE TABORDA**

**LEONARDO
DE JESÚS
MESA PALACIO**

**JOAN CHRISTIAN
RODRÍGUEZ
SOSSA**

**SERGIO
ROCHA
CASTILLO**



SEGURIDAD OPERACIONAL Y SU APROXIMACIÓN EN EL CONTEXTO COLOMBIANO

Una disciplina en constante evolución

SEGURIDAD OPERACIONAL Y SU APROXIMACIÓN EN EL CONTEXTO COLOMBIANO

Una disciplina en constante evolución

Abdón Estibenson Uribe Taborda
Leonardo de Jesús Mesa Palacio
Joan Christian Rodríguez Sossa
Sergio Rocha Castillo



Escuela de Postgrados de la FAC
Maestría en Seguridad Operacional
Grupo de Investigación Cultura, Educación y Liderazgo en Seguridad Operacional,
CELSO

Catalogación en la Publicación
Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana

Uribe Tabora, Abdón Estibenson

Seguridad operacional y su aproximación en el contexto colombiano: una disciplina en constante evolución/ autores, Abdón Estibenson Uribe Tabora [y otros tres]. Bogotá D.C.: Escuela de Postgrados de la FAC, 2022.

194 páginas.: il. 24cm. - (Ciencia y Poder Aéreo; No 19)

ISBN 978-958-53696-3-4

E-ISBN 978-958-53696-4-1

1. Seguridad Aeronáutica – Medidas 2. Prevención de Accidentes – Colombia.
i Abdón Estibenson Uribe Tabora, autor. ii Leonardo de Jesús Mesa Palacio, autor.
iii Joan Christian Rodríguez Sossa, autor. Iv Sergio Rocha Castillo, autor. v Fuerza
Aérea Colombiana. Vi Escuela de Postgrados de la FAC,2022.

TL553. 5. U73 2022

SCLC

DOI: <https://doi.org/10.18667/9789585369634>

Registro Catálogo SIBfUP 991232715907231

Libro de investigación evaluado por pares
Primera edición: Bogotá, D. C., Colombia, octubre del 2022
Colección Ciencia y Poder Aéreo N.º 19

ISBN: 978-958-53696-3-4
E-ISBN: 978-958-53696-4-1

Escuela de Postgrados FAC

Director EPFAC

CR. Ervin Gaitán Serrano

Subdirector y Jefe de Estado Mayor

CR. Ciro Alberto Duarte Jaimes

Comandante Grupo Académico

TC. Andrés Felipe Maya Pineda

Jefe de programa Maestría en Seguridad Operacional

MY. Jean Paul Giraldo Moncada

Comandante Escuadrón Investigación

MY. Germán Wedge Rodríguez Pirateque

Equipo editorial

Jefe editorial

MY. Germán Wedge Rodríguez Pirateque

Compilador

Bryan Felipe Ramírez Segura

Coordinadores editoriales

María Carolina Suárez Sandoval

Erika Juliana Estrada Villa

Asistente editorial

Jenny Marcela Rodríguez Rojas

Corrección de estilo

María Carolina Ochoa Gutiérrez

Corrector de pruebas

Karen Grisales Velosa

Diseño y diagramación

Angélica Ramos Vargas

Diseño de portada

Aldemar Zambrano Torres

Nora Lilia Sanchez Araque (Apoyo)

Crédito foto de cubierta

Revista Aeronáutica Fuerza Aérea Colombiana

Bibliotecóloga

Yudy Alejandra Fonseca Fonseca

Autores

Abdón Estibenson Uribe Taborda

Leonardo de Jesús Mesa Palacio

Joan Christian Rodríguez Sossa

Sergio Rocha Castillo

Versión digital - OMP: Biteca Ltda.

Impresión: Comercializadora Comsila SAS

Impreso y hecho en Colombia.

© 2022, Escuela de Postgrados de la FAC
Cra. 11 n.º 102-50 Edificio ESDEG, Escuadrón de Investigación
Oficina 411. A.A.110111. Bogotá D.C., Colombia
Conmutador: (601) 2134698 Ext. 72500 - 72625

www.libros.publicacionesfac.com

Contenido

Prólogo	15
Introducción	17
Capítulo 1. Análisis de las radiaciones de frecuencia emitidas por los equipos de inteligencia	21
Capítulo 2. Análisis de propuesta de plan de acción para prevenir accidentes aéreos en instrucción de vuelo a partir del Sistema de Clasificación y Análisis de Factores Humanos (HFACS) de accidentes en Colombia entre 1998 y 2016 en instrucción de vuelo	63
Capítulo 3. Procedimiento de uso del <i>electronic flight bag</i> (EFB) a partir de la determinación de cargas de trabajo en cabina para pilotos de helicóptero	119
Sobre los autores	193

Lista de figuras

Capítulo 1

Figura 1. Frecuencias y longitudes de onda en el espectro electromagnético	36
Figura 2. Espectro electromagnético	38

Capítulo 2

Figura 1. Ponderado por taxonomía OACI	88
Figura 2. Tripulación en cabina	89
Figura 3. Propuesta de plan de acción académico, nivel básico	105
Figura 4. Propuesta de plan de acción académico, nivel intermedio	107
Figura 5. Comunicación de asuntos de seguridad operacional	109

Capítulo 3

Figura 1. Accidentes fatales y fatalidades a bordo por fases de vuelo	142
Figura 2. Diseño de la investigación	147
Figura 3. Aplicación NASA-TLX para dispositivos iOS	151
Figura 4. Fase de ponderación, comparación de escalas NASA-TLX	152
Figura 5. Formato escala de puntuación NASA-TLX	154
Figura 6. Desarrollo del diseño de investigación	156
Figura 7. Simulador de vuelo equipo HUEY II, instalaciones del CACOM-4	157
Figura 8. Carta salida normalizada IFR Girardot 1B de SKT1, aplicación de navegación FAC	159
Figura 9. Carta de aproximación por instrumentos OACI, aplicación de navegación FAC	160
Figura 10. Briefing del director temático acerca del objetivo de la misión a efectuar	161
Figura 11. Participantes en la investigación usando la documentación en papel, sin el uso del dispositivo EFB	162

Figura 12. Participantes en la investigación usando el dispositivo EFB	163
Figura 13. Proceso de análisis de los datos obtenidos	164
Figura 14. Análisis gráfico de cargas de trabajo en la fase de aproximación del piloto monitoreando con la prueba de Shapiro-Wilk	166
Figura 15. Análisis gráfico de cargas de trabajo en la fase del aterrizaje del piloto volando con la prueba de Shapiro-Wilk	169
Figura 16. Flujo de la prueba piloto	176
Figura 17. Orientación de la misión de la prueba piloto, revisión detallada del procedimiento creado	177

Lista de tablas

Capítulo 1

Tabla 1. Clasificación de las radiaciones según su naturaleza	35
Tabla 2. Clasificación de las radiaciones según su efecto biológico	35
Tabla 3. Consolidación encuesta 1 y 2	48
Tabla 4. Medidas con el analizador de espectro electromagnético	49
Tabla 5. Porcentaje de presentación de síntomas por encuesta	50
Tabla 6. Síntomas reportados en vuelo y tiempo de aparición de los síntomas en los sujetos que responden presentar síntomas en vuelo	50

Capítulo 2

Tabla 1. Tabla clasificación HFACS de accidentes de aeronaves en desarrollo de vuelos de instrucción en el periodo 1998-2016	84
Tabla 2. Resultados entrevista de percepción	93

Capítulo 3

Tabla 1. Autonomías de la población de pilotos y copilotos participantes en la toma de datos	145
Tabla 2. Definiciones dimensiones valoradas en el NASA-TLX	153
Tabla 3. Variables basales de la población de estudio	155
Tabla 4. Ubicación inicial de la aeronave en el simulador	158
Tabla 5. Reporte meteorológico para el simulador de vuelo	158
Tabla 6. Datos carga de trabajo en la aproximación por el piloto monitoreando con y sin EFB	166
Tabla 7. Prueba de Wilcoxon en la aproximación por el piloto monitoreando (muestras relacionadas)	167
Tabla 8. Mediana de la diferencia de Hodges-Lehmann en la aproximación por el piloto monitoreando	167

Tabla 9. Fase de aproximación: piloto monitoreando (n=16)	168
Tabla 10. Datos carga de trabajo en el aterrizaje por el piloto volando con y sin EFB	170
Tabla 11. Prueba T de muestras pareadas	170
Tabla 12. Prueba de diferencias Shapiro-Wilk en el aterrizaje piloto volando	170
Tabla 13. Fase de aterrizaje: piloto volando (n=16)	171
Tabla 14. Procedimiento de uso durante la fase del despegue	172
Tabla 15. Procedimiento de uso durante la fase de aproximación	173
Tabla 16. Procedimiento de uso durante la fase del aterrizaje	173

Prólogo

Dentro del marco científico de la Seguridad Operacional, sin importar la tecnología actual en el mundo o la generación de seguridad en la cual nos encontremos, el factor preponderante para la investigación de accidentes y eventos menores es la identificación del “momento cero”, en el cual la maquina, la tripulación, el medioambiente y el sistema misional fallan. No hacerlo de manera oportuna, sino en momentos subsiguientes, cancela la oportunidad de evitar futuros accidentes, siendo ineficaz el proceso de investigación operacional.

Su relevancia garantiza el éxito del proceso de seguridad operacional, dado que, al determinar correctamente este punto en el tiempo, describiendo su forma y medio de aparición, permite diseñar adecuadamente la “recomendación primaria”, la cual, al ingresarse en la secuencia de eventos, cancela la activación de los factores contribuyentes, siendo, entonces, la principal materia prima de los procesos de prevención y fiabilidad operacional. Esta secuencia identificada en el libro, gracias al proceso científico de investigación de accidentes, determina en sus conclusiones y recomendaciones controlar, cancelar, mitigar o transferir el riesgo en tres áreas principales: procedimientos, reglamentos y tecnología.

Siendo consientes de la importancia de investigar el “momento cero”, con la posterior formulación de recomendaciones que impactaran jerárquicamente los diferentes niveles de falla en un sistema operativo: acto inseguro, precondiciones inseguras, supervisión insegura e influencias organizacionales; se abre el espacio natural, para que la óptica derivada de estudios de caso y procesos evaluativos se ajuste a la fiabilidad operacional, para diseñar barreras eficaces, al optimizar la materia prima; ya que la información base no nace de perdida de vidas ni de material aeronáutico, sino del uso de la experiencia y el estudio científico.

En esta ocasión, los investigadores proveen información relevante y actual sobre el entorno operacional, para comprender medios de falla nuevos o repetitivos, tales como las debilidades en el entrenamiento de vuelo, el uso de tecnología portátil o fija a bordo de las aeronaves, que imprime mejoras en las tareas y seguridad de vuelo, pero, paralelamente, como costo, establece riesgos para la salud de los operadores de equipos especiales (inteligencia militar aérea), debido a la emisión de frecuencias electromagnéticas peligrosas para la salud.

Sin duda, la lectura y el estudio de esta obra nos permitirá conocer nuevas opciones de análisis y búsqueda de factores claves y contribuyentes, los cuales aproximan a los profesionales de la seguridad operacional, al descubrimiento del anhelado “momento cero”.

Teniente Coronel Carlos Andrés Galvis Espejo

Oficial Internacional de Seguridad Operacional del Air Force Safety Center USAF. Investigador de Accidentes de la University of Southern California USC. Ganador Premio a la Excelencia en Investigación “General Álvaro Valencia Tovar” de la Escuela Superior de Guerra [ESDEG]. Con más de diez años de experiencia en la construcción y desarrollo del proceso de Seguridad Operacional de la Fuerza Aérea Colombiana.

Introducción

Asóciate y aprende todo lo que puedas de aquellos que hacen más que tú, que hacen las cosas mejor que tú y que ven más claramente que tú.

GENERAL DWIGHT D. EISENHOWER

La investigación en la Maestría en Seguridad Operacional (MAESO) propicia el desarrollo de competencias y capacidades investigativas en sus estudiantes para la solución de problemas, a nivel institucional y del sector aeronáutico en general. Es así como estas se propician a partir de la interacción de diferentes actores del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación; lo anterior para propender a un conocimiento acumulado en seguridad operacional aplicado a la Fuerza Aérea Colombiana (FAC).

La creación, colaboración y cocreación hace que la investigación en la MAESO se plantee desde la comunicación y la interacción. Los escenarios *in situ* de las investigaciones se configuran en los hangares, las pistas y demás infraestructura de las Unidades Militares Aéreas, lo cual facilita la comprensión de las temáticas, el intercambio de saberes y la aplicación de conocimiento a través de los proyectos de grado realizados como estrategia de investigación formativa, cuyos resultados dan soluciones a problemas sentidos de la FAC desde una perspectiva disciplinar de las operaciones aéreas.

Dentro de la MAESO, el proceso de investigación formativa que lleva el estudiante se entiende como una actividad académica reflexiva, sistemática y metódica, que requiere un análisis profundo de distintos elementos. Por ello, el proceso investigativo exige un proceso lógico para adquirir información de la realidad frente a un objeto de estudio, además de que requiere unas competencias básicas para sistematizar y procesar la información recolectada, y así llegar a unas conclusiones y soluciones que indiquen la construcción del conocimiento útil de las organizaciones, la tecnología y,

por qué no, de la industria aeronáutica. Las actividades de investigación desarrolladas en la MAESO llevan a desarrollar una actitud crítica y una capacidad creativa para encontrar alternativas en el avance de la naturaleza del programa.

A continuación, este libro recoge algunos resultados de investigación de los últimos tres años de la MAESO. Los estudiantes, a través de un proceso de conocimiento acumulado, desarrollan y logran la transmisión de conocimiento, que se promueve a través de la divulgación de los resultados de investigación que se compilan en este libro.

En el primer capítulo, el mayor Abdón Estibenson Uribe Taborda y el ingeniero Leonardo de Jesús Mesa Palacio analizan las radiaciones de frecuencias emitidas por unos equipos de inteligencia, acorde a la información recolectada mediante las mediciones realizadas y una encuesta aplicada a los tripulantes a bordo de la aeronave King FAC-5748. Se puede determinar que los niveles de radiación detectados se encuentran por debajo de los límites definidos por las regulaciones nacionales e internacionales, pues los niveles de radiación están por debajo de los límites permitidos de exposición. Por tanto, los autores infieren que se analicen y se adopten las recomendaciones emitidas con el fin de mitigar los síntomas referidos por el personal de tripulantes de la aeronave FAC-5748, debido a que existe una exposición ocupacional a radiaciones no ionizantes.

En tal sentido, el capítulo propone la implementación de estrategias orientadas a la prevención y mitigación de riesgos, soportadas en la evidencia. Además de socializar los resultados con los operadores, se proponen estrategias como la de cubrir la antena transmisora de potencia con una manta de plomo para aislar y direccionar la radiación generada hacia afuera de la aeronave. En cuanto al personal, se debe estimular que los tripulantes se hidraten antes y durante el vuelo, mantener buenos hábitos alimenticios y un adecuado descanso. Los principales hallazgos están orientados a realizar la medición de los campos electromagnéticos para determinar la densidad de poder por metro cuadrado, con el fin de establecer si la exposición está por dentro de los estándares internacionales, según lo establecido por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) y siguiendo el procedimiento establecido por el Consejo Nacional de Protección y Mediciones de Radiación (NCRP).

En el segundo capítulo, el piloto comercial Sergio Rocha Castillo expone una propuesta de plan de acción para prevenir accidentes aéreos en

instrucción de vuelo, a partir del Sistema de Clasificación y Análisis de Factores Humanos (HFACS, por sus siglas en inglés) de accidentes en Colombia entre 1998 y 2016 en instrucción de vuelo. Se corroboran diversos modelos del Safety Management System (SMS) pertenecientes a academias de aviación que están involucradas en los accidentes, lo cual deja en evidencia poca inclusión del personal dentro del sistema. Esto generó falencias en el sistema directivo y contribuyó en la mayoría de los casos como causa de los eventos. También, el capítulo hace un recuento de los programas SMS, los manuales, los procedimientos y los roles del personal dentro las escuelas de aviación en Colombia, a fin de estandarizar la operación.

Es así como los principales hallazgos están enfocados en caracterizar el rol de los gerentes de seguridad involucrados en accidentes. Se evidencia que, a nivel internacional, estos perfiles trabajan en desarrollar un registro de riesgos para la compañía de manera independiente de los jefes de departamento, del director de operaciones de vuelo y del director de mantenimiento. Entonces, es altamente probable que estos directores no conocieran qué era un reporte de peligros o riesgos y cómo se formulaban las acciones de mitigación o de control.

En cambio, a nivel nacional se encontró que los gerentes de las escuelas de aviación involucrados en accidentes tuvieron un sesgo respecto al SMS, debido a la retención del presupuesto, a la falta de participación en reuniones de seguridad, a la falta de tiempo para la realización de campañas de seguridad, etc. Se infiere que esto sucede por los altos costos de implementación; por lo tanto, es crucial que las compañías apropien desde la alta gerencia la cultura de la seguridad. El estudio concluye que hay tres formas en que los gerentes pueden afectar el programa de seguridad, y que el principal hallazgo que presenta el autor está enfocado hacia la gestión del riesgo que depende de los actores en seguridad. A partir de lo observado en las investigaciones, en el mundo de la aviación un pequeño error podría significar la diferencia entre la vida y la muerte, porque los pilotos instructores son responsables de su propia seguridad y de la de todos los que están a bordo de una aeronave; en muchos sentidos, las escuelas siempre deben propender al aseguramiento de la seguridad, a la mejora continua y a la promoción de la seguridad.

Por último, el mayor Johan Christian Rodríguez Sossa presenta en el capítulo tres un procedimiento para la utilización del maletín de vuelo electrónico, a partir de la determinación de cargas de trabajo en cabina para

los pilotos del helicóptero Bell 212 del Comando Aéreo de Combate N.º 4 (CACOM-4). Como es sabido, el uso del maletín de vuelo electrónico continúa siendo una herramienta de consulta primaria necesaria en las cabinas de vuelo, tanto de aeronaves de ala fija como de rotatoria. El desarrollo de nuevas mejoras que integran *hardware* y *software* cada día más robustos, con estudios de ergonomía, cargas de trabajo y rendimiento, ayuda a tener aplicaciones que requieren constantes actualizaciones para continuar con el proceso de evolución del ser humano.

Es así como el autor presenta en su capítulo una investigación que, a partir del análisis de los datos obtenidos por medio de la metodología NASA-TLX, arroja la estandarización de un procedimiento guía para el uso del maletín de vuelo electrónico, dando solución a un problema del área funcional de la institución, pues se prioriza la necesidad de plantear la creación de programas de estudio y capacitación de uso e interacción del ser humano con el dispositivo EFB (*electronic flight bag*), enfocado directamente en los pilotos de helicóptero Bell 212, para evitar la subutilización de la aplicación de navegación. Así mismo, es posible que los pilotos del equipo Bell 212 se hubiesen adaptado adecuadamente al uso del maletín de vuelo electrónico en las diferentes fases de vuelo.

Por lo antes expuesto, es importante mencionar que en Colombia, y particularmente en la MAESO, es muy poca la información en español sobre los temas aquí abordados. Por lo tanto, los capítulos (resultado del proceso de investigación formativa) deben considerarse como punto de partida para futuros temas de exploración, que deben estar en análisis y en construcción permanente para el beneficio de la aviación nacional.

MY. Jean Paul Giraldo Moncada

Director Maestría en Seguridad Operacional

Capítulo 1

Análisis de las radiaciones de frecuencia emitidas por los equipos de inteligencia

MY. Abdon Estibenson Uribe Taborda
Mag. Leonardo De Jesús Mesa Palacio

CÓMO CITAR

Uribe Taborda, A. E., Mesa Palacio, L. J. (2022). Análisis de las radiaciones de frecuencia emitidas por los equipos de inteligencia. En *Seguridad operacional y su aproximación en el contexto colombiano* (pp. 21-62). Escuela de Postgrados de la FAC.

Colección Ciencia y Poder Aéreo N.º 19

**SEGURIDAD OPERACIONAL
Y SU APROXIMACIÓN EN
EL CONTEXTO COLOMBIANO**

Una disciplina en constante evolución

CAPÍTULO 1.

**Análisis de las radiaciones de frecuencia
emitidas por los equipos de inteligencia**

ISBN 978-958-53696-3-4

E-ISBN 978-958-53696-4-1

<https://doi.org/10.18667/9789585369634.01>

Bogotá, Colombia

Octubre, 2022

Introducción

Los sistemas electrónicos de comunicaciones están compuestos por un emisor y un receptor, relacionados entre sí por un medio de propagación, entre los cuales se encuentran: los sensores activos (el emisor y el receptor están cercanos y pueden detectar la posición del blanco); los sensores pasivos (el receptor puede captar las radiaciones producidas por el emisor para operativos de localización); y los sistemas de comunicación que producen mensajes. Todos actúan por medio de ondas electromagnéticas (Michavila, 1984).

A este fenómeno se le denomina *guerra electrónica* y utiliza el espectro electromagnético para la identificación, interceptación y explotación de emisiones que permiten llevar a cabo los operativos militares (Gherman, 2015, p. 23).

La guerra electrónica necesita a la inteligencia militar para plantear y desarrollar tácticas y procedimientos conocidos como *inteligencia de la guerra electrónica* (EWI) e *inteligencia de señales* (SIGINT), los cuales constituyen la aplicación estratégica de acciones tácticas por medio de la explotación electromagnética (Michavila, 1984). Esto funciona a través del sensor básico, que es el receptor de las radiaciones de frecuencia respectivas de acuerdo con los operativos a realizar y puede detectar, analizar, registrar y localizar la procedencia de las señales emitidas por aeronaves, buques o vía terrestre (Pérez, 2011).

La FAC ha desempeñado un papel importante en los conflictos vividos en el país. Por ello, cuenta con equipos electrónicos de inteligencia de señales (Jefatura de Inteligencia [JIN FAC], 2014), debido a que gran cantidad de operaciones se han realizado en geografías inhóspitas, irregulares, selváticas, con tundra y en cordilleras majestuosas del territorio nacional (JIN FAC, 2014).

Los avances en los sistemas electrónicos y la necesidad del uso de los campos electromagnéticos (CEM) son importantes en el desarrollo de la sociedad, la seguridad y la vigilancia, en el cese de los conflictos y en el mantenimiento de la soberanía nacional (Tchernitchin y Riveros, 2004). Sin embargo, el incremento en su uso ha generado incertidumbre en torno a los efectos potenciales en la salud por exposición a radiaciones de frecuencia electromagnética, y se ha convertido en un tema de interés en las áreas de la medicina ocupacional y la investigación (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2017).

La OMS lidera un proyecto desde 1996 sobre los efectos en la salud por exposiciones a CEM, en el intervalo de frecuencias de 0 a 300 GHz, con el fin de obtener conocimientos certeros y reglamentación importante en torno a la exposición a CEM (OMS, 2017).

En este proyecto, en la actualidad, se vienen realizando dos clases de investigaciones que incluyen estudios en laboratorio con células para determinar los mecanismos que vinculan la exposición a CEM con los efectos biológicos, y su relación entre la dosis-respuesta, los estudios epidemiológicos que manejan estadísticas entre niveles de exposición y una patología específica. El proyecto sugiere continuar las investigaciones con el objetivo de brindar información más acertada (OMS, 2017).

En este capítulo, se analizarán las radiaciones de frecuencia electromagnética que emiten los equipos de inteligencia operados en la aeronave tipo King FAC-5748, sumado a la aplicación de una encuesta para determinar sus posibles efectos en la salud y si estas radiaciones están dentro de los límites de exposición permitidos para los seres humanos.

Justificación

La FAC, con el propósito de neutralizar la amenaza terrorista, la criminalidad, el narcotráfico y la delincuencia en el país, ha tenido que fortalecer su equipo de inteligencia humana y adquirir tecnología de punta para lograr sus objetivos operacionales y brindar soberanía a la nación (JIN FAC, 2014).

Entre la tecnología utilizada por el Grupo de Inteligencia Aérea, se encuentran los equipos de inteligencia de señales que se utilizan dentro de las aeronaves y que engloba la inteligencia de comunicaciones y la inteligencia electrónica (JIN FAC, 2014); esta última es obtenida por radiaciones electromagnéticas ajenas que, principalmente, son radiaciones de radar (Michavila, 1984).

La importancia de este trabajo se basa en la necesidad de obtener información exacta, a través de la identificación de la frecuencia y la transmisión de potencia producida por los dos equipos de inteligencia en el interior de la aeronave. Se pretende identificar de una forma más objetiva si los tripulantes presentan algún tipo de sintomatología relacionada con el tipo de radiación, a fin de tomar acciones que mitiguen el riesgo, si existe, y de dar recomendaciones de seguridad operacional a las tripulaciones.

Con el entendimiento de los posibles efectos en la salud de la población expuesta a las radiaciones de frecuencia emitidas por los equipos de inteligencia de señales a bordo de la aeronave King FAC-5748, se aclarará el tipo de radiación y su posible influencia, o no, en los síntomas reportados por las tripulaciones. Esto permite el levantamiento de sugerencias para la operación del equipo, y se generan las conclusiones y recomendaciones para establecer los tiempos máximos a los que puede estar expuesta la tripulación sin causar efectos negativos en la salud, lo que beneficiaría a la población expuesta, ya que manipularían los equipos de inteligencia de señales con total certeza de que su salud no estaría en riesgo.

Además, la población expuesta encontraría información teórica adecuada sobre la relación existente entre los CEM y la salud de los individuos, con base en los estudios científicos realizados a nivel nacional e internacional. A su vez, servirían de complemento para el manejo debido de los equipos de inteligencia de señales que se encuentran en el interior de la aeronave King FAC-5748, la cual presta sus servicios para el dominio del espacio aéreo, la defensa y la integridad del territorio nacional por parte de la FAC.

La financiación de la investigación es realizada por medio de los recursos de la FAC, asignados en horas de vuelo, utilización de material técnico aeronáutico y la disposición de las tripulaciones.

1. Planteamiento y formulación del problema de la investigación

La exposición a los CEM ha sido un hecho desde la utilización de la electricidad; sin embargo, con el aumento de su uso y el avance tecnológico, se fueron generando inquietudes sobre los efectos que podría tener la exposición a CEM en la salud humana (Solórzano, 2001).

1.1. Problema de investigación

Se plantea determinar el espectro de radiaciones de frecuencia emitidas por los equipos de inteligencia de señales a bordo de la aeronave King FAC-5748. Se describen la frecuencia y la transmisión de potencia emitidas por los equipos de inteligencia de señales en la gama de frecuencia muy alta

(*very high frequency*-VHF) y frecuencia ultraalta (*very high frequency*-UHF) a bordo de la aeronave, con el fin de verificar si se encuentran entre los rangos de exposición permitidos por la OMS y establecer los posibles efectos en la salud de los tripulantes expuestos a las radiaciones de frecuencia emitidas por los equipos de inteligencia a bordo de la aeronave.

El propósito principal de este capítulo es adquirir conocimientos científicos sobre los posibles efectos de la exposición a radiaciones ionizantes y no ionizantes en la salud humana. Se pretende resolver las inquietudes que se generan acerca de los riesgos de sufrir alguna enfermedad debido a la manipulación de los equipos de inteligencia a bordo de la aeronave King FAC-5748, los cuales transmiten en la gama de frecuencia de VHF y UHF.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se podrán identificar los niveles máximos de exposición a los cuales podría estar expuesta la tripulación, así como los síntomas que se presenten en las personas. Con ello se establecerá un protocolo y una lista de recomendaciones de uso de los equipos de inteligencia para complementar las medidas de protección en salud ocupacional a bordo de la aeronave, de tal manera que se pueda continuar usando esta tecnología necesaria en las operaciones de inteligencia aérea.

1.2. Antecedentes

En la actualidad, la investigación mundial admite que es probable que los CEM desencadenen ciertas enfermedades según su dosis, tiempo de exposición, frecuencia, potencia y las características del organismo receptor, aunque todavía no existe una discusión científica sobre si la exposición a CEM en dosis no térmicas tenga efectos biológicos en el organismo (De la Rosa, 2014). También, hay un interés marcado en el ámbito de la salud ocupacional y en el avance tecnológico, puesto que los cambios en la sociedad a partir del siglo XX han originado más fuentes artificiales de radiación electromagnética, lo cual ha conducido a que todos los seres humanos estén expuestos a campos eléctricos y magnéticos débiles en sus viviendas y en sus ambientes laborales (OMS, 2017).

De acuerdo con la OMS, hay más de 25 000 investigaciones científicas sobre la exposición humana a los CEM (De la Rosa, 2014). Sin embargo, el problema en general de estos estudios radica en la calidad de la evaluación sobre la exposición a los campos de radiofrecuencia (RF, por sus siglas en inglés), debido a las dificultades metodológicas, principalmente porque los

RF son invisibles e imperceptibles, y a la falta de claridad sobre los factores que influyen entre la exposición a las RF y la salud humana (Comisión Internacional de Protección de las Radiaciones No-Ionizantes [ICNIRP], 2004).

Se han realizado estudios sobre la relación que existe entre la actividad laboral y la exposición a RF y microondas, como los estudios de cohorte de Groves *et al.* en 2002 en personal de la marina de Estados Unidos; los de Finkelsten en 1998 en Ontario (Canadá); los de Szmigielski en 1996 en personal militar de Polonia; y los de Robinette *et al.* en 1980 en funcionarios de la marina de Estados Unidos en la guerra de Corea. Los resultados presentan inconsistencias por la falta de mediciones de la exposición real, el uso de datos sesgados y la falta de ajuste para los factores confusos, lo cual no permite identificar si las radiaciones de frecuencia causan patologías como el cáncer (Breckenkamp *et al.*, 2003).

Así mismo, se han realizado estudios de epidemiología ocupacional en población militar y civil de la aviación en países como Estados Unidos, Finlandia, Suecia, Dinamarca, Noruega e Islandia, sobre el riesgo de padecer cáncer y los factores a los que está expuesto el personal de vuelo, entre ellos la exposición a CEM. Sin embargo, los resultados son confusos, ya que en algunos estudios el riesgo a padecer la enfermedad es alto y en otros no; además, existe falta de evaluación de la dosimetría de la radiación y concluyen que se deben realizar nuevas investigaciones puesto que la medicina de la aviación es importante en el ambiente ocupacional (Blettner *et al.*, 1998).

En Colombia, existe la necesidad de identificar los riesgos a los que están expuestos los individuos que utilizan tecnología relacionada con CEM en su vida cotidiana y en sus ocupaciones. Sin embargo, no se ha podido determinar con claridad cuáles son los efectos que producen los CEM en la población. Por razones similares, las investigaciones carecen de una metodología adecuada para realizar las mediciones de los CEM, y están esencialmente enfocadas en los efectos térmicos y no en la longitud de onda que puedan emitir las fuentes generadoras de radiación (Troya y Zabala, 2007).

La FAC ha venido utilizando, para las operaciones militares, las aeronaves tipo King, que cuentan con dos equipos de inteligencia de señales: uno de los equipos trabaja en frecuencia muy alta (*very high frequency-VHF*) y el otro equipo lo hace en frecuencia ultraalta (*ultra high frequency-UHF*); se desconoce la intensidad y el tipo de radiación que emiten. En la actualidad, los operadores técnicos de inteligencia y reconocimiento (TIR) han referido síntomas como dolor de cabeza y fatiga durante el vuelo, y se especula que

esta situación de salud ocupacional pudiera estar asociada con la exposición a la radiación causada por estas dos fuentes de CEM.

1.3. Planteamiento y formulación del problema

Para este trabajo de investigación, se propuso como interrogante: ¿cuáles son las radiaciones de frecuencia a las que están expuestos los tripulantes a bordo de la aeronave King FAC-5748 que manipulan los equipos de inteligencia y cuáles son sus posibles riesgos para la salud?

1.4. Objetivos

Objetivo general: Analizar el espectro de las radiaciones de frecuencia emitidas por los equipos de inteligencia de señales a bordo de la aeronave King FAC-5748.

Objetivos específicos:

- Describir la frecuencia y transmisión de potencia emitidas por los equipos de inteligencia de señales en la gama de frecuencia de VHF y UHF a bordo de la aeronave King FAC-5748, a fin de verificar si se encuentran entre los rangos de exposición permitidos por la OMS.
- Identificar la morbilidad sentida por la población expuesta a las radiaciones de frecuencia emitidas por los equipos de señales de inteligencia.
- Evaluar la posible asociación entre los síntomas referidos y la frecuencia del espectro identificada a través de revisión de literatura.

2. Estado del arte

Se pretende adquirir los fundamentos científicos necesarios sobre los probables efectos de la exposición a radiaciones ionizantes y no ionizantes en la salud humana, con el fin de resolver las inquietudes que se generan acerca de los riesgos de sufrir alguna enfermedad por la manipulación de los equipos de inteligencia a bordo de la aeronave King FAC-5748, los cuales transmiten en la gama de frecuencia de VHF y UHF.

Establecer las radiaciones de frecuencia que emiten dichos equipos va orientar a la población expuesta, a fin de determinar el peligro verdadero de

este tipo de exposición. De acuerdo con los resultados obtenidos, se identificarán los niveles máximos de exposición a los cuales podría estar expuesta la tripulación y, con ello, se realizarán un protocolo y una lista de recomendaciones del uso de los equipos de inteligencia para complementar las medidas de protección en salud ocupacional a bordo de la aeronave, de tal manera que se pueda continuar usando esta tecnología tan necesaria para las operaciones de inteligencia aérea.

Artículos basados en estudios epidemiológicos de los efectos de los campos de radiofrecuencia (RF) en la salud humana han dado a conocer el estado de la información sobre el tema en general; en el entendido de que es un tema que aún requiere mayores estudios a profundidad, que sean capaces de explicar problemáticas de la vida cotidiana y ayudar a la planificación de futuros estudios (Belyaev *et al.*, 2016).

Sin embargo, es problemática la confiabilidad de la evaluación de exposición a RF; estudios sobre telefonía móvil en cortos periodos de tiempo no han tenido los resultados esperados, con datos basados solamente en tumores cerebrales y leucemia (Belyaev *et al.*, 2016). Aunque los resultados de los estudios de riesgos de telefonía móvil han recibido una amplia atención pública, su interpretación no es la mejor, debido a que las RF son invisibles e imperceptibles a las personas; sintomatologías como dolores de cabeza revisten gran interés (Kaszuba-Zwoińska *et al.*, 2015).

A pesar del aumento en el uso las nuevas tecnologías que usan la RF, la población en general sabe poco sobre la exposición y aún menos sobre la importancia en su entorno ocupacional (OMS, 2017). Consideraciones epidemiológicas, por falta de información, no permiten tener claro los aspectos relevantes del problema; y dada esta confusión, hay incertidumbre en torno a los mecanismos utilizados para determinar los periodos máximos de exposición a RF que pueden soportar los seres humanos (OMS, 2017).

Es necesario medir y monitorear la exposición en dosis, tiempo y frecuencias (longitud de onda); esta información contribuirá a que los epidemiólogos diseñen estudios que permitan concluir niveles ocupacionales de afectación (OMS, 2017), debido a que el calentamiento celular y de tejidos por la exposición a RF podría presentar efectos biológicos benignos y adversos. Se refleja un desequilibrio en la cantidad de calor acumulado en el cuerpo y en la eficacia de los mecanismos para eliminarlo, con base en temperaturas elevadas o en el aumento de la tensión fisiológica al intentar eliminar el calor (OMS, 2017).

La sensibilidad en “tejidos y células al aumento térmico varían y son causadas por la temperatura que se eleva en el cuerpo y supera 1 °C, por encima de la temperatura normal” (OMS, 2017). La evidencia biológica o epidemiológica muestra que no está claro qué duración debe tener la exposición para el potencial efecto de RF. Dolores de cabeza, sensaciones de calor, mareos, alteraciones visuales, fatiga e insomnio son los principales síntomas que indican los usuarios de dispositivos móviles, todos síntomas comunes en humanos (OMS, 2017).

3. Referentes teóricos

Se realizó una búsqueda de las bases teóricas, legales y conceptuales con base en la revisión de las diversas fuentes de información, entre ellas recursos electrónicos de PubMed, ABSCO Online Science Research y Science Direct, centros de documentación y bibliotecas. Se definieron conceptos básicos para determinar los efectos reales de las radiaciones de frecuencia en la salud de la población.

3.1. Teoría uno

A continuación, se exponen las teorías que soportan el trabajo de investigación sobre el análisis de las radiaciones de frecuencia emitidas por los equipos de inteligencia de señales a bordo de la aeronave King FAC-5748, para determinar si son ionizantes o no; la investigación se relaciona con distintas teorías que le dan forma y se asocian con la investigación propuesta.

En el año 2001, la ICNIRP refirió que la exposición a CEM de frecuencia considerablemente baja hace parte de la vida moderna. Sin embargo, hay preocupación por los efectos adversos en la salud humana. Esta radiación tiene una energía muy baja como para producir efectos negativos en el ADN directamente y, por lo tanto, no podría generar cáncer en el ser humano; sin embargo, en 1979 un estudio realizado por Denver, Wertheimer y Leeper indicó el riesgo de padecer leucemia infantil y la exposición a CEM por líneas eléctricas (ICNIRP, 2001).

Además de la leucemia infantil, el área de la investigación epidemiológica asocia las ocupaciones relacionadas con exposición a CEM con el riesgo a padecer cáncer y patologías cardíacas, neurológicas y reproductivas en

adultos. Evaluar la relación de los CEM con la magnitud del efecto observado sería un punto clave para las investigaciones, pero existen tres dificultades a la hora de evaluar la vinculación entre los CEM y los efectos nocivos para la salud: la falta de conocimiento sobre un sistema de medición de la radiación, el periodo de exposición y la naturaleza retrospectiva de las evaluaciones (ICNIRP, 2001).

Ahlboom y Cardis (2001) publicaron un artículo titulado: “Revisión de la literatura epidemiológica sobre los CEM y la salud”. Su objetivo fue realizar un análisis de artículos que abordaron la necesidad de usar los CEM como parte de la vida moderna y la preocupación de los efectos adversos para la salud. Este estudio concluye que las investigaciones epidemiológicas han mejorado con el tiempo y que existe una asociación de la leucemia infantil y el cáncer con la exposición ocupacional, pero no hay una enfermedad crónica que se pueda establecer como factor etiológico de los CEM. Recomiendan la realización de más estudios para probar hipótesis sobre la exposición a radiaciones.

Por otro lado, varias investigaciones son tomadas como teorías que ayudan al lector a ampliar su conocimiento en al área. Es el caso del trabajo desarrollado por Litvak y Foster (2002) titulado: “Salud y seguridad: implicaciones de la exposición a CEM en el rango de frecuencia 300 Hz a 10 MHz”. El objetivo fue elaborar un informe sobre las fuentes de exposición y las consideraciones biofísicas y dosimétricas de los CEM en el rango de frecuencia de 300 Hz a 10 MHz, el cual es llamado *rango de frecuencia intermedia* (basado en un seminario internacional que se realizó en Maastricht, Países Bajos, el 8 y el 9 de junio de 1999, patrocinado por la OMS, la ICNIRP y el Gobierno de los Países Bajos). En el documento, se exponen las preocupaciones y las necesidades de desarrollar pautas sobre la exposición al rango de frecuencia intermedia. Se concluye con la sugerencia de hacer investigaciones encaminadas a evaluar los riesgos en la salud por exposición a radiaciones de rango de frecuencia intermedia.

Siguiendo una secuencia, Michael Harry Repacholi desarrolló en 2003 los trabajos “Una visión general del proyecto de CEM de la OMS” y “Efectos en la salud por exposición a CEM”, con el objetivo de describir las actividades del Proyecto Internacional CEM de la OMS y presentar una revisión de los efectos biológicos por exposición a CEM. La conclusión básica de las revisiones realizadas por la OMS es que las exposiciones a CEM por debajo de los límites recomendados (todo el rango de frecuencias de 0-300 GHz),

de acuerdo con la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación No Ionizante (ICNIRP), no tienen ningún efecto en la salud, pero se necesitan más investigaciones para evaluar el riesgo.

Así mismo, Genuis (2007) publicó un artículo titulado: “Elaboración de una idea actual: explorando el impacto de la radiación electromagnética en la salud pública”. El objetivo fue revisar la literatura científica sobre el efecto de las radiaciones electromagnéticas en la salud humana, tales como disfunción reproductiva, cáncer, alteraciones del sistema nervioso central, patologías celulares y alteraciones del metabolismo de la melatonina; además, revisar las recomendaciones de salud pública y analizar cuatro casos clínicos de individuos expuestos a radiaciones de frecuencia que se dejan a consideración. Se concluye que los CEM tienen un alto potencial de tener efectos en las células y los tejidos humanos, aunque la evidencia científica indica que las radiaciones de frecuencia baja no tienen la capacidad de interactuar con el material genético y afectarlo. Indica que es necesario informar a la población de la necesidad de disminuir los riesgos de exposición a campos electromagnéticos.

De igual manera, Hardell y Sage (2008) publicaron un documento titulado: “Efectos biológicos de la exposición a campos electromagnéticos y normas públicas de exposición”, cuyo objetivo era evaluar la evidencia científica del impacto que tiene la radiación electromagnética en la salud. La investigación refiere que todo el mundo está expuesto a dos tipos de CEM: los primeros son los campos de aparatos eléctricos y electrónicos y las líneas eléctricas que contienen frecuencias extremadamente bajas (*extremely low frequencies*-ELF); los segundos son la radiación de dispositivos inalámbricos como teléfonos celulares, teléfonos inalámbricos, torres de antenas de celulares y torres de transmisión (RF). Ambos se consideran del tipo de radiaciones no ionizantes. La discusión del artículo indica que la exposición a CEM se ha relacionado con efectos en la salud, tales como leucemia infantil, tumores cerebrales en adultos y niños, efectos genotóxicos, efectos neurológicos, enfermedades neurodegenerativas, alteraciones del sistema inmune, respuestas inflamatorias y alérgicas, cáncer de mama en hombres y mujeres, abortos espontáneos y alteraciones cardiovasculares, aunque estos efectos no están directamente relacionados con ELF y RF (Hardell y Sage, 2008).

También, Mateescu y Alecu (2008) desarrollaron el trabajo titulado: “El campo electromagnético como factor ambiental afectando la salud

humana”, con el objetivo de presentar los efectos de los campos electromagnéticos en un rango de frecuencias de 10 MHz a 300 GHz, incluyendo RF sobre los sistemas biológicos, con el fin de hacer una evaluación acertada sobre los riesgos para la salud humana a nivel ocupacional y de la población en general. Además, presentan las medidas de protección más importantes contra los CEM. Concluyen, basados en los criterios de estudios de laboratorio, que el principal efecto de los CEM es el aumento en al menos 1° C del calentamiento en el cuerpo o tejido humano, concentración de energía que puede ser perjudicial. Según los estudios, no puede confirmarse que los CEM acorten la vida o lleven a la muerte, aunque se recomienda limitar la exposición a los CEM y seguir medidas de protección.

Después, Wilmlink y Grund (2011) publicaron el artículo de revisión “Estado actual de la investigación sobre los efectos biológicos de la radiación de terahercios”, con el objetivo de dar a conocer los conceptos básicos de la biofísica y la tecnología de los terahercios (THz) para evaluar los efectos biológicos y entregar una revisión crítica de la literatura científica. Los THz se utilizan cada vez más en las aplicaciones militares, médicas y de seguridad; por lo tanto, se ha incentivado el estudio de este tipo de gama de frecuencias. Entre sus conclusiones se señala que para los estudios en vivo realizados en vertebrados y en humanos los tratamientos médicos con THz estimularon la cicatrización de heridas. Los efectos directos en la membrana plasmática son: aumento de la permeabilidad, reorganización y destrucción. Los estudios de genotoxicidad muestran que la radiación de THz no causa efectos negativos a la estructura o función del ADN. Recomiendan hacer más estudios en todas las áreas de aplicabilidad de los THz.

Posteriormente, Kaszuba-Zwoińska *et al.* (2015) publicaron el artículo “Efectos biológicos inducidos por el campo electromagnético en humanos”. El texto indica que la exposición a CEM de radiofrecuencia artificial ha aumentado notablemente y es preocupante su interacción con los tejidos del organismo humano, principalmente con los efectos térmicos y la aparición de enfermedades y fenómenos de hipersensibilidad electromagnética en forma de enfermedad dermatológica. Concluye que, al analizar los resultados, se observa la influencia de los CEM sobre todo en personas que trabajan con frecuencias de microondas como los militares.

Para finalizar, Belyaev *et al.* (2016) escribieron el documento titulado “EUROPAEM CEM Directriz 2016. Guía de prevención, diagnóstico y tratamiento

de enfermedades y problemas de la salud relacionados con los CEM”, cuyo objetivo es presentar el panorama actual al que se enfrentan los médicos por las interacciones de los CEM con las nuevas tecnologías electrónicas y los seres humanos. Es evidente que la exposición a ciertos CEM genera riesgos para la salud a largo plazo y pueden presentarse enfermedades como el cáncer, la infertilidad masculina y el alzhéimer. Además de estas enfermedades, se incluyen síntomas como cefalea, alteraciones en la concentración y el sueño, depresión, cansancio, gripa y fatiga. La importancia del documento radica en que presentan una guía para el diagnóstico diferencial y el tratamiento de las alteraciones en la salud humana por exposición a CEM, con el propósito de mejorar la salud, crear estrategias de prevención y formular recomendaciones.

3.2. Teoría dos

Para desarrollar el estudio, se hizo necesario determinar unas categorías conceptuales que son relevantes para conocer y entender los temas relacionados con la presente investigación.

La radiación: Se entiende como la energía en movimiento que va de un lugar a otro, es decir, como la emisión y propagación de energía por medio del vacío o de una forma material, con apariencia de onda electromagnética o en forma de partícula. Posee dos naturalezas: una corpuscular y otra ondulatoria (dualidad onda-partícula); y se clasifica según dos criterios: su naturaleza y el efecto biológico (Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía, 2009).

De acuerdo con su naturaleza, las radiaciones electromagnéticas se caracterizan por presentarse en forma ondulatoria con energía magnética y eléctrica, cuyas intensidades cambian en planos perpendiculares, pero que en el vacío poseen la misma velocidad ($c=300\ 000$ km/segundo). Se pueden clasificar en radiaciones ionizantes y en radiaciones corpusculares. Las primeras corresponden a rayos gamma, rayos X, radiaciones ópticas, radiaciones ultravioleta (UV-A, B y C), radiación visible, radiaciones infrarrojas y radiofrecuencias. Las segundas son las radiaciones corpusculares, que se originan de la “propagación de partículas subatómicas (núcleos de helio, protones, neutrones, electrones), que normalmente tienen gran velocidad, pero menor con respecto a las radiaciones electromagnéticas” (Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía, 2009).

Tabla 1. Clasificación de las radiaciones según su naturaleza

Radiaciones según naturaleza	Radiaciones electromagnéticas	Radiaciones ionizantes	Rayos X		
			Rayos gamma		
			Radiación ultravioleta	UV-C UV-B UV-A	
		Radiaciones ópticas	Radiación visible	Violeta	
				Azul	
				Verde	
				Amarilla	
				Naranja	
			Radiación infrarroja		
		Radiaciones corpusculares		Radiofrecuencia	Radar Microondas
Radiaciones alfa					
Radiaciones beta					
		Radiaciones neutrónica			
		Radiaciones cósmicas			

Fuente: elaboración propia. Este análisis se basa en los límites establecidos por la ICNIRP.

De acuerdo con su efecto biológico, las radiaciones se dividen en dos clases. Las primeras son radiaciones ionizantes (de alta energía), que pueden “ser corpusculares y electromagnéticas; al momento de que estas radiaciones alcanzan los tejidos pierden parte de su energía, apartando los electrones de los átomos sobre los que incide y convirtiéndose en iones” (Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía, 2009). Las segundas son las radiaciones no ionizantes o de baja energía, no tienen la capacidad de ionizar átomos, por lo cual su “efecto biológico es menor. Estas radiaciones electromagnéticas pueden ser los campos electromagnéticos (microondas y radiofrecuencias) y las radiaciones ópticas (ultravioleta, visible e infrarroja)” (Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía, 2009).

Tabla 2. Clasificación de las radiaciones según su efecto biológico

Radiaciones según su efecto biológico	Radiaciones ionizantes o de alta energía	Radiaciones corpusculares	Alfa		
			Beta		
			Rayos cósmicos		
	Radiaciones no ionizantes o de baja energía	Radiaciones electromagnéticas	Radiaciones electromagnéticas	Gamma	
				Rayos X	
			Ópticas	Ultravioleta Visible Infrarroja	
Campos electromagnéticos		Microondas			
		Radiofrecuencia			

Fuente: elaboración propia.

No ionizante						Ionizante			
Hf <12,4 eV						Hf < 12,4 eV			
Subradio frecuencias	Radio frecuencias	Microondas	Infrarrojos	Luz visible	Ultravioletas no ionizantes	Ultravioletas ionizantes	Rayos X	Rayos γ	Rayos cósmicos
0	30kHz	1 GHz	300 GHz	385 THz	750 THz	3 PHz	30 PHz	3 EHz	>3000 EHz
30 kHz	1 GHz	300 GHz	385 THz	750 THz	3000 THz	30 PHz	300 EHz	3000 EHz	
∞	100 km	300 mm	1 mm	780 nm	400 nm	100 nm	10 nm	100 pm	< 0,1 pm
100 km	300 mm	1 mm	780 nm	400 nm	100 nm	10 nm	1 pm	0,1 pm	

N	Banda	f	λ	Aplicaciones
11	EHF Extremely High Frequencies	300 GHz 30 GHz	1 mm 10 mm	Comunicaciones diversas Radar de navegación
10	SHF Super High Frequencies	30 GHz 3 GHz	10 mm 100 mm	Radar, radio, satélites Usos industriales Fisioterapia
9	UHF Ultra High Frequencies	3 GHz 300 MHz	100 mm 1 m	Horno microondas Usos industriales y médicos Fisioterapia. TV
8	VHF Very High Frequencies	300 MHz 30 MHz	1 m 10 m	Radio FM, TV
7	VHF High Frequencies	30 MHz 3 MHz	10 m 100 m	Soldadura plásticos Diatermia Radio OC
6	MF Medium Frequencies	3 MHz 300 kHz	100 m 1 Km	Radio AM
5	LF Low Frequencies	300 kHz 30 KHz	1 Km 10 Km	Calentamiento por inducción
—	ELF Extremely Low frequencies	30 KHz 0 Hz	10 Km ∞	Ultrasonidos Técnicas de audio Transporte energía eléctrica

Figura 1. Frecuencias y longitudes de onda en el espectro electromagnético

Fuente: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del Trabajo (s. f.).

Radiación ionizante: Se define como energía emitida por átomos manifestada como rayos X, rayos γ (gamma) y partículas: α (alfa), β^- , β^+ (beta), n (neutrones) (OMS, 2016). La radiactividad es producto de la desintegración espontánea de los átomos y la energía sobrante emitida es una forma de radiación ionizante; los radionúclidos son elementos inestables que se desintegran y emiten radiación ionizante. A diario, el ser humano inhala e ingiere radionúclidos presentes en el aire, el agua y los alimentos (OMS, 2016).

El efecto de la dispersión de energía a través del vacío o por un medio material, conocido como ondas electromagnéticas, se manifiesta en forma de CEM perpendiculares y oscilantes. La longitud de onda es una oscilación completa y la frecuencia es el número de oscilaciones por segundo; por lo tanto, las ondas electromagnéticas viajan por el vacío a la velocidad de la luz ($2,99792 \times 10^8$ m/s). Dicha velocidad se denomina con la letra “c” (Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía, 2009; ver figura 1).

La radiación viaja haciendo paquetes o cuantos energéticos, denominados fotones, los cuales dependen de su frecuencia o longitud de onda; a mayor frecuencia, mayor es el transporte de energía. En el espectro electromagnético, encontramos frecuencias comprendidas entre 1017 y 1020 Hz (hertzios), llamadas rayos X. Las ondas con frecuencias entre 1020 y 1024 Hz son denominadas rayos gamma, las cuales, gracias a su pequeña longitud de onda o elevada frecuencia, pueden transportar gran cantidad de energía (Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía, 2009).

El flujo de ondas electromagnéticas de alta energía (radiación gamma) tiene su origen en el núcleo excitado. Por lo general, al emitir una partícula alfa o beta, el núcleo elimina el exceso de energía en forma de ondas electromagnéticas de elevada frecuencia, que puede ser producida por materiales radiactivos como el tecnecio 99 (Tc), de utilidad médica. Su onda no tiene masa ni carga, y puede interactuar con la materia y atravesar largas distancias; tiene gran poder de penetración por su longitud de onda corta, lo que le permite atravesar largas distancias en medios como agua, aire y materiales de baja densidad como las láminas acero de hasta 10 cm de espesor (Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía, 2009).

Los rayos X se generan por el choque contra la materia de electrones acelerados a gran velocidad y se definen como radiaciones electromagnéticas de longitud de onda corta que se propaga en línea recta y a la velocidad de la luz; presentan gran capacidad de penetración y se utilizan generalmente para la producción de imágenes diagnósticas. Los rayos X, al chocar con la materia, pueden producir diferentes tipos de efectos: de ionización, de fluorescencia, efecto fotoquímico y efectos biológicos (Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía, 2009).

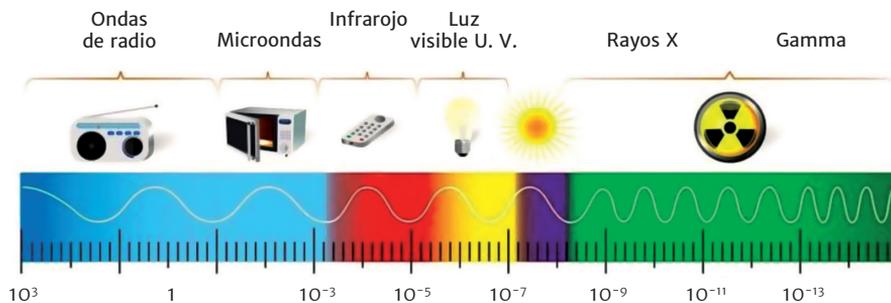


Figura 2. Espectro electromagnético

Fuente: <https://concepto.de/espectro-electromagnetico/> (s. f.)

El ser humano está expuesto a radiación natural por los rayos cósmicos, principalmente en las grandes alturas, y a la radiación originada por las fuentes artificiales. Esta exposición puede ser interna o externa: la exposición interna a la radiación ionizante se da cuando un radionúclido es inhalado, ingerido o ingresa por cualquier medio al torrente sanguíneo, y termina cuando el radionúclido se elimina del organismo gracias a un tratamiento o espontáneamente (OMS, 2016). Cuando un material radiactivo presente en el aire se posa sobre la piel o la ropa, se produce la exposición externa; normalmente, este tipo de material radiactivo puede eliminarse del cuerpo mediante un simple lavado y así la irradiación ionizante por origen externo se detiene cuando la fuente de radiación está protegida o blindada o el individuo sale del campo de radiación (OMS, 2016).

La exposición a radiación ionizante se clasifica en tres grupos: i) la exposición planificada, que es producto de la introducción y el funcionamiento deliberados de fuentes de radiación con fines específicos, por ejemplo, la utilización médica de la radiación para exámenes diagnósticos y tratamientos, o el uso en la investigación y la industria; ii) la exposición existente, que se presenta cuando ya hay una exposición a la radiación y se deben tomar medidas para su control, por ejemplo, la exposición al radón en los hogares, en el medio ambiente y en sitios de trabajo; y iii) la exposición en situaciones de emergencia, como en el caso de los accidentes nucleares y los ataques terroristas (OMS, 2016).

Radiación no ionizante: Son aquellas radiaciones que no pueden producir iones al interactuar con los átomos de un material (EcuRed, 2017), y

por tanto, no poseen la cantidad de energía necesaria para ionizar. Se les puede dividir en dos grupos: los CEM y las radiaciones ópticas (rayos láser, ultravioleta, rayos infrarrojos, radiación solar y luz visible). Aunque las ondas electromagnéticas de la región baja del espectro no poseen la energía suficiente para ionizar átomos, no significa que no sean dañinas para los tejidos (Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía, 2009).

Los CEM son “áreas de energía que rodean a los dispositivos eléctricos y se originan por el movimiento de cargas eléctricas”, y también se pueden definir como una “combinación de ondas eléctricas y magnéticas que se desplazan simultáneamente” (Alonso *et al.*, 2011, p. 9). Las fuentes de CEM artificiales como la electricidad, las microondas y los RF se encuentran ubicadas en un extremo del espectro electromagnético y presentan longitudes de onda relativamente largas, frecuencias bajas y sus campos no pueden romper enlaces químicos, por lo cual pertenecen a las radiaciones no ionizantes (OMS, 2017). La intensidad de los CEM se denomina tensión o voltaje y se mide en voltios o kilovoltios por metro (Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía, 2009).

Los CEM se clasifican en cuatro grupos: i) los campos estáticos (0 Hz), que no varían en el tiempo y se definen como descargas eléctricas que no penetran en el organismo y pueden sentirse por el movimiento del vello en la piel (Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía, 2009); ii) las ELF, por lo general de hasta 300 Hz, y fuentes como las redes de suministro eléctrico y los aparatos eléctricos; iii) las tecnologías que producen campos de frecuencia intermedia, con frecuencias entre 300 Hz y 10MHz, como las pantallas de los computadores, los dispositivos anti-robo y los sistemas de seguridad; y iv) el grupo de los RF, con frecuencias que van de 10 MHz a 300 GHz, como la radio, las antenas de radares, los televisores, los hornos microondas y los teléfonos celulares (OMS, 2017). Los CEM de estos grupos inducen corrientes en el cuerpo humano y, dependiendo de su frecuencia y amplitud, pueden producir efectos de sacudidas eléctricas y calentamiento cuando son muy intensos (más de lo habitual) (OMS, 2017).

La radiación ultravioleta se divide en radiación ultravioleta larga o próxima (UV-A), cuya longitud de onda va de 380 nm (límite de la percepción visual del color violeta) a 320 nm y puede penetrar la biología humana; la radiación ultravioleta media (UV-B) tiene una longitud de onda entre

320 y 280 nm, y es útil en la aplicación del efecto fotoquímico como la pigmentación; la radiación ultravioleta lejana, corta o radiación germicida (UV-C) presenta longitudes de onda de 280 a 200 nm, tiene el máximo de energía y de efectos germicidas, y afecta los tejidos más externos del organismo (Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía, 2009).

En cuanto a las propiedades de las radiaciones ultravioletas, se encuentran: la fluorescencia, el efecto fotoquímico y los efectos fotoeléctricos; son utilizadas en la industria y en la medicina. La radiación visible pertenece a las radiaciones no ionizantes. Cuando el ojo humano puede ver la radiación magnética, tiene longitud de onda entre 400 y 760 nm: el sol es la principal fuente y su efecto más importante es el fotolumínico (Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía, 2009).

La radiación infrarroja se utiliza en termoterapia, en fototerapia para inhibir ciertas sustancias tóxicas sobre la piel y en el diagnóstico médico. Su efecto fototérmico no supera los 3 cm de profundidad de la piel, y la radiación láser, constituida por rayos de haces paralelos y dirigidos, es muy utilizada en la medicina y en la industria (Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía, 2009).

3.3. Radiaciones electromagnéticas en la vida cotidiana

En el año 2001, la ICNIRP señaló que la exposición a CEM de frecuencia extremadamente baja hace parte de la vida moderna, pero hay preocupación por los efectos adversos en la salud humana. Aunque esta radiación tiene una energía baja para tener efectos directos en el ADN y, por lo tanto, no podría generar cáncer en el ser humano, el mismo estudio indicó el riesgo de leucemia infantil asociado a la exposición a CEM por líneas eléctricas (ICNIRP, 2001).

La OMS viene realizando investigaciones sobre el efecto de las exposiciones a CEM por debajo de los límites recomendados en todo el rango de frecuencias de 0 a 300 GHz, de acuerdo con la ICNIRP, y se determinó que no tienen ningún efecto en la salud, pero se necesitan más investigaciones para evaluar el riesgo (Repacholi, 2003).

Stephen *et al.* (2007) hicieron una revisión de la literatura científica sobre el efecto de las radiaciones electromagnéticas en la salud humana, como disfunción reproductiva, cáncer, alteraciones del sistema nervioso

central, patologías celulares y alteraciones del metabolismo de la melatonina, además de revisar las recomendaciones de salud pública y analizar cuatro casos clínicos de individuos expuestos a radiaciones de frecuencia. Concluyeron que los CEM tienen un alto potencial de producir efectos en las células y los tejidos humanos, aunque la evidencia científica indica que las radiaciones de frecuencia baja no tienen la capacidad de interactuar con el material genético y afectarlo.

El principal efecto de los CEM en el organismo es el aumento de la temperatura en el cuerpo humano por lo menos 1 °C, y al concentrarse esta energía en algún tejido, puede dañarlo. Sin embargo, no puede confirmarse que los CEM acorten la vida o lleven a la muerte, aunque se recomienda limitar la exposición y seguir medidas de protección (Mateescu y Alecu, 2008).

Wilmink y Grund (2011) revisaron los efectos biológicos de la radiación THz que se utiliza cada vez más en aplicaciones militares, médicas (estímulo para cicatrización de heridas) y de seguridad. Se concluyó que sus efectos directos sobre la membrana plasmática son: aumento de la permeabilidad, reorganización y destrucción; sin embargo, los estudios de genotoxicidad muestran que la radiación de THz no causa efectos negativos a la estructura o función del ADN.

Un estudio sobre los efectos biológicos de los CEM de microondas en Polonia (Kaszuba-Zwoińska *et al.*, 2015) mostró que no se observaron alteraciones en personas que trabajan con frecuencias de microondas como los militares.

La preocupación en torno a los efectos biológicos de las radiaciones electromagnéticas contribuyó a la conformación de una base de datos como fuente de información para la evaluación de la exposición ocupacional a CEM (Vila *et al.*, 2016), enfocada en fuentes ocupacionales de exposición. La información sobre la exposición ocupacional a CEM fue recolectada por INTERPHONE-INTEROCC, cubre todas las frecuencias de los CEM y representa el recurso más completo de información sobre la exposición ocupacional.

3.4. Radiaciones electromagnéticas y su influencia en la salud

El tema de la exposición a CEM ha despertado un interés marcado en el área de la salud ocupacional y en el avance tecnológico, puesto que los cambios

en la sociedad a partir del siglo xx han originado más fuentes artificiales de radiación electromagnética que han conducido a que todos los seres humanos estén expuestos a una mezcla compleja de campos eléctricos y magnéticos débiles, tanto en sus viviendas como en sus ambientes laborales (OMS, 2017).

Los estudios realizados sobre la exposición a la radiación han obedecido a las inquietudes que se generan en torno a las consecuencias nocivas que pueden tener estas ondas electromagnéticas en la salud, las cuales se estudian en límites amplios que pueden ir desde 0,5 hasta 300 GHz. Aunque se podría pensar que los seres vivos se van adaptando a las ondas electromagnéticas y es incierto saber cómo será esta adaptación en el futuro (Gil y Úbeda, 2001).

Los planteamientos que se expondrán a continuación constituyen un referente metodológico y teórico que soporta la investigación objeto del presente trabajo. Se enmarcan en el ámbito nacional e internacional a nivel de la problemática de la exposición a la radiación electromagnética en el ambiente laboral de las aeronaves.

En el campo de la aviación, se han realizado algunos estudios de tipo de observacional. Uno de estos es el de Gil y Úbeda (2001), titulado “Occupational cancer risk in pilots and flight attendants: Current epidemiological knowledge”, en el cual se adelantó una revisión sistemática de estudios relacionados con el riesgo de padecer cáncer entre los tripulantes de aeronaves civiles y militares a partir de 1990.

Los resultados arrojados por la investigación son confusos. En algunos de los estudios revisados, se observó un alto riesgo de padecer cáncer derivado de la exposición a la radiación cósmica y a otros CEM del rango entre 400 Hz y 2 GHz, mientras que en otros estudios no hubo relación entre la enfermedad y la exposición a las radiaciones. Por lo tanto, los autores recomiendan que se hagan más investigaciones y mediciones de exposición a la radiación y de los cálculos de la dosis.

Gundestrup y Storm (1999), en su trabajo titulado “Radiation-induced acute myeloid leukaemia and other cancers in commercial jet cockpit crew”, buscaron establecer si el aumento del número de casos de cáncer en las tripulaciones se relacionaba con la exposición a radiaciones cósmicas. Se tuvo en cuenta el tipo de aeronave y las horas de vuelo mediante la revisión de los expedientes médicos de los tripulantes de la cabina de aviación civil desde 1946. Se recopilieron 3877 expedientes y se encontró que

el melanoma y otros tipos de cáncer de piel fueron las patologías malignas más frecuentes en la población estudiada.

Así mismo, Zeeb *et al.* (1998) analizaron los patrones de mortalidad de más de 44 000 tripulantes de cabina de avión en Europa con estudios de cohorte de ocho países. Encontraron que las mayores causas de mortalidad son los accidentes ocupacionales y el síndrome de inmunodeficiencia adquirida en los hombres. Sin embargo, no hubo causas de mortalidad atribuibles a la exposición por radiación cósmica u otro tipo de radiaciones.

De igual manera, Buja *et al.* (2005) realizaron un metaanálisis de estudios epidemiológicos entre 2005 y 2014 para determinar la incidencia de cáncer entre pilotos militares, civiles y asistentes de vuelo, teniendo en cuenta su exposición a radiaciones ionizantes cósmicas, a CEM y a productos químicos. En este estudio, se observó que el cáncer de piel en los pilotos está asociado a la exposición a radiaciones ionizantes; así mismo, se encontró una incidencia de cáncer de próstata para los pilotos civiles, probablemente según el estudio por ser de edad más avanzada con respecto a los pilotos militares y asistentes de cabina. Finalmente, el patrón de sueño interrumpido en los trabajadores puede producir disminución de la secreción de melatonina, lo cual contribuye a la formación de tumores.

De Luca *et al.* (2009) analizaron los cambios cromosómicos en muestras de sangre de 71 pilotos argentinos expuestos crónicamente a bajas dosis de radiación ionizante. En el estudio, se encontró que el 20 % de las muestras presentó aberraciones cromosómicas, lo cual sugiere que las radiaciones ionizantes pueden inducir aberraciones cromosómicas y, por ende, convertirse en un indicador de cáncer en la población estudiada.

Cárdenas (2012) hizo una investigación transversal para evaluar la prevalencia de cáncer en la población de pilotos de aviación comerciales en Colombia y los factores de riesgos asociados, en comparación con una muestra aleatoria de la población no expuesta. Este estudio concluyó que existe un mayor riesgo de cáncer de piel en las tripulaciones aéreas con un mayor número de horas de vuelo; sin embargo, la autora recomienda que se requieren más estudios que evalúen la exposición ocupacional y más mediciones de radiación ionizante acumulada para asociar el riesgo a padecer cáncer.

Otra preocupación del campo han sido los métodos para monitorear la exposición a radiaciones. Así, Castro (2013) genera un modelo computacional utilizando E-CARI 6 y EPCARD para dosificar la exposición a radiaciones

ionizantes en milisieverts (mSv). Los resultados obtenidos en veinticinco pilotos de la aviación civil durante el año 2005 mostraron que la cantidad de radiación ionizante en rutas internacionales se encuentra entre 0,002 y 1850 mSv. Sin embargo, sus resultados son inconclusos y recomienda que la radiación ionizante se debe evaluar mediante la medición y el monitoreo, con la utilización de contadores proporcionales de tejido en el interior de las aeronaves.

Blake y Komp (2014), en las Fuerzas Militares de Estados Unidos desde 1945, hicieron un monitoreo anual de 70 000 personas por radiación ocupacional. Encontraron que en la Armada y la Fuerza Aérea de Estados Unidos se mantiene una dosis baja por persona de 1 sievert (Sv). La exposición a las radiaciones electromagnéticas en el personal de la aviación civil y militar ha llamado la atención de la comunidad científica mundial. Sin embargo, al realizar el estudio exhaustivo de las investigaciones, se observa que se requieren más estudios que contribuyan a mejorar la metodología para disminuir los riesgos de confusión y que sus conclusiones permitan entender de manera clara la relación existente entre la exposición a CEM y la salud humana.

3.5. Bases legales

La inteligencia de señales, en su actuar, trasciende en una línea muy delgada para lo cual hoy se cuenta con un soporte jurídico que permite desarrollar esta labor, incluyendo la Ley de Inteligencia N.º 1621 del 17 de abril de 2013. Artículo 17. Monitoreo del Espectro Electromagnético e Interceptaciones de Comunicaciones Privadas. A continuación, se recopilan las principales leyes del presente trabajo de investigación, los artículos se analizan en orden cronológico y permiten abordar el marco legal que orienta el uso de las radiaciones electromagnéticas, las actividades de inteligencia militar aérea en Colombia y los efectos en la salud de la población expuesta:

- Resolución 2400 de 1979. Capítulos v y vi del Ministerio del Trabajo y Seguridad Social. Realiza un análisis sobre prevención y reducción de efectos negativos en el personal expuesto a la radiación ionizante y no ionizante en materia de salud ocupacional.
- Constitución Política de Colombia (1991). Artículo 75. Determina que el espectro electromagnético es un bien público; por lo tanto, nadie

puede apoderarse de él y no puede cederse, venderse o negociarse, y existe igualdad para acceder al espacio electromagnético por parte de la población colombiana.

- Decreto 1982 de 1994. Artículo 1. Hace referencia a enfermedades profesionales que pueden afectar a los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes y no ionizantes.
- Decreto 783 de 2001. Establece las normas para la protección de los trabajadores y la población contra los riesgos de las radiaciones ionizantes, es un reglamento para todas las prácticas que impliquen radiaciones ionizantes tanto de fuentes artificiales como naturales.
- Resolución 18-1434 de 2002. Artículo 1. Indica los requisitos que deben cumplir los individuos interesados en realizar actividades relacionadas con la radiación ionizante o en disminuirlas, e indica condiciones básicas de protección de las personas.
- Ley Estatutaria 1621 de 2013. Artículo 17. Ratifica el marco jurídico que autoriza a los organismos a realizar actividades de inteligencia y contrainteligencia, además de monitorear el espectro electromagnético.
- Decreto 1078 de 2015. Capítulo v. Establece la diferencia entre la exposición ocupacional y la exposición al público en general, y define las diferentes fuentes e intensidades del campo electromagnético. Además, las Fuerzas Armadas de Colombia pueden tener acceso a las frecuencias asignadas al servicio móvil y de radionavegación aeronáutica, en cuanto cumplan con lo dispuesto.
- Resolución 000387 de 2016. Brinda las definiciones técnicas acerca de las exposiciones de radiofrecuencia usadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), las cuales son necesarias para cualquier estudio y aplicabilidad de la norma en cuanto al uso del espectro electromagnético.

Las anteriores leyes son importantes para cualquier estudio y aplicabilidad de la norma en cuanto al uso del espectro electromagnético.

4. Hipótesis

Como referencia de hipótesis, se tiene que es una suposición “posible o imposible para sacar de ello una consecuencia” (Espinosa, 2018). Una idea

a ser debatida y comprobada previo a las informaciones recopiladas para brindar una explicación tentativa y determinar “el tipo de radiaciones de frecuencia emitidas por los equipos de inteligencia de señales a bordo de la aeronave King FAC-5748, pueden producir efectos en la salud de la población expuesta en su operación”.

5. Diseño metodológico

A continuación, se presentan los temas que se van abordar en el desarrollo metodológico mediante el enfoque, el alcance, el diseño, la población, la muestra y los instrumentos de recolección de datos.

Para el cumplimiento de los objetivos propuestos, se realizó una investigación observacional con enfoque cuantitativo.

5.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo exploratorio. Consistió en la revisión de la literatura científica sobre las radiaciones de frecuencia y la salud humana, además de la utilización de herramientas cualitativas y cuantitativas para la recolección de datos por medio del trabajo de campo y la elaboración de dos encuestas realizadas a la población objeto de estudio. Se pretende despertar interés en torno a la realización de nuevos estudios sobre el tema que se aborda, bajo el esquema de un diseño no experimental que “podría definirse como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables”, es decir, estudios que consisten en “observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural” (Hernández-Sampieri *et al.*, 2014, p. 152).

5.2. Población y muestra

La población objeto del presente estudio son el personal de radiooperadores de los equipos de inteligencia que en las plataformas aéreas desempeñan el cargo de operadores TIR (técnicos de inteligencia y reconocimiento). Se realizó una muestra a conveniencia para los operadores de la aeronave 5748; la poca población que desarrolla este tipo de actividades no permite calcular una muestra por medios estadísticos.

5.3. Instrumentos, validación y técnicas

Se describen los instrumentos utilizados para la recolección y la validación, y la técnica utilizada en los datos del presente proyecto en cada una de sus fases.

Encuesta de morbilidad sentida: Se elaboró una encuesta de morbilidad sentida que se compone de dos partes; la primera busca establecer los principales síntomas presentados por los operadores durante los últimos seis meses de vuelo; y la segunda busca conocer los síntomas después de un vuelo de inteligencia. Esta encuesta fue validada por dos expertos en el campo y el protocolo fue aprobado por el Comité de Ética de la Escuela de Posgrados de la FAC (EPFAC), mediante radicado N.º 20185900020223.

Mediciones en el equipo SK 350 5748: Para este estudio sobre la exposición a CEM, se empleó un medidor de radiación. Este dispositivo se comporta como una antena isotrópica que recibe todas las señales en un rango de frecuencias específico, independientemente de la dirección de la que provienen. Las mediciones se desarrollan de la siguiente manera:

- a. Se toma la primera muestra en tierra, dentro de la aeronave, ubicando el equipo detector de radiaciones frente a uno de los equipos transmisores de radiofrecuencia en operación y transmitiendo en la gama de frecuencia de VHF, tomando la medición en la escala de microsievert.
- b. Se realiza la segunda medición en tierra, dentro de la aeronave, ubicando el equipo detector de radiaciones frente al segundo equipo transmisor de radiofrecuencia en operación y transmitiendo en la gama de frecuencia de UHF, tomando la medición en la escala de microsievert. Bandas de trabajo del equipo bajo estudio: 850 MHz y 1900 MHz.
- c. Se realiza la tercera medición en vuelo, dentro de la aeronave, ubicando el equipo detector de radiaciones frente al equipo transmisor de radiofrecuencia en operación y transmitiendo en la gama de frecuencia de UHF, tomando la medición en la escala de microsievert.
- d. Se realiza la cuarta medición en vuelo, dentro de la aeronave, ubicando el equipo detector de radiaciones frente al equipo transmisor de radiofrecuencia en operación normal, tomando la medición en la escala de microsievert.

De igual manera, una vez termina el vuelo, se aplica la encuesta 2 para determinar la frecuencia de la morbilidad sentida por exposición a

radiofrecuencia durante una operación real, a fin de determinar síntomas recientes o asociados.

- e. Se realiza la quinta medición en vuelo, dentro de la aeronave, en la escala de escala de microsievvert.

Encuesta al personal de radiooperadores: Se aplicó una encuesta elaborada para determinar la frecuencia de la morbilidad sentida por exposición a radiofrecuencia entre enero y junio de 2018. La encuesta se hizo posterior a la aprobación del Comité de Ética y previa firma del consentimiento informado por parte de los radiooperadores.

Así mismo, se aplicó la encuesta 2 (posterior al desarrollo de un vuelo), exactamente cuando terminó la misión y descendieron de la aeronave.

Después del diligenciamiento de la encuesta, los datos tabulados se consignaron en la plantilla de tabulación de datos que contiene las casillas mostradas en la tabla 3.

Tabla 3. Consolidación encuesta 1 y 2

Edad	Sexo (F/M)	Tiempo de exposición / minutos al día	Fatiga	Irritabilidad (mal humor)	Cefalea (dolor de cabeza)	Vértigo (sensación de giro)	Mareo	Lagrimo	Náuseas	Disfagia (dificultad para ingerir alimentos)	Insomnio	Estrés
------	------------	---------------------------------------	--------	---------------------------	---------------------------	-----------------------------	-------	---------	---------	--	----------	--------

Fuente: *elaboración propia.*

5.4. Registro de radiaciones

Se pretende hacer un estudio de medición de los límites de exposición y campo electromagnético producidos por la utilización de los equipos de inteligencia de señales a bordo de la aeronave King FAC-5748. Para ello, hubo dos fases: en la primera se usó un analizador de espectro para determinar los niveles de señal; y en la segunda fase se tomaron muestras de los niveles de radiación.

Las mediciones fueron en un periodo comprendido entre el 1 de febrero y el 30 de junio del 2018, en el que se determinaron los niveles de exposición referidos para ser analizados y definir el espectro de operación.

Una primera prueba se realizó en el Laboratorio de Comunicaciones ubicado en el Comando Aéreo de Transporte Militar (CATAM), y como instrumento de medición se utilizó el analizador del espectro (Spectrum Analyzer P/N: N9010A-513, S/N: MY53400186). Este equipo electrónico se usó para visualizar en una pantalla los componentes espectrales de frecuencias de una señal que transmitió el equipo de comunicaciones en la aeronave King FAC-5748.

5.5. Análisis de datos

Aquí, se muestran los resultados y su respectivo análisis de los datos obtenidos en las mediciones realizadas y en la encuesta aplicada.

Espectro electromagnético: En la tabla 4, se presentan los resultados obtenidos del analizador durante las mediciones en rampa.

Tabla 4. Medidas con el analizador de espectro electromagnético

Nivel de transmisión	Frecuencia de transmisión en sus dos portadoras	Potencia de transmisión	Ganancia
1	850 MHz 1900 MHz	2 W	-33 dBm
2	850 MHz 1900 MHz	4 W	-36 dBm
3	850 MHz 1900 MHz	8 W	-39 dBm
4	850 MHz 1900 MHz	15 W	-42 dBm
5	850 MHz 1900 MHz	30 W	-45 dBm

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se describen los resultados de las dos encuestas aplicadas a los operadores TIR. La encuesta 1, que trata sobre los signos y síntomas referidos por los operarios de la aeronave King FAC-5748 en los últimos diez meses, y la encuesta 2, en la que se estudian los síntomas después de un vuelo.

Características de la población: Se contó con la colaboración de diez tripulantes del sexo masculino con una edad comprendida entre 27 y 37 años de edad (en promedio 32.4 ± 3.6 años), quienes refirieron no presentar antecedentes médicos.

Características operativas: El 80 % de los evaluados realiza actividades de vuelo en jornada diurna y solo el 20 % lo hace en jornada nocturna y

nocturna. Con un tiempo de operación del equipo de inteligencia por semana de $112 \pm 56,72$ minutos y por mes de $9,3 \pm 4,2$ horas.

Síntomas identificados: En las tablas 5 y 6, se presentan los síntomas identificados a partir de las encuestas aplicadas.

Tabla 5. Porcentaje de presentación de síntomas por encuesta

Muestra: n=10	Encuesta 1		Encuesta 2 posvuelo	
Síntoma	Síntomas presentados en vuelo en los últimos 10 meses	Cuando opera los equipos a abordó	Síntomas durante vuelo	Al aumentar la potencia de transmisión del equipo (30 W)
Fatiga	0	0	0	0
Irritabilidad (mal humor)	10 %	0	0	0
Cefalea (dolor de cabeza)	30 %	60 %	40 %	50 %
Vértigo (sensación de giro)	10 %	0	0	0
Mareo	0	20 %	20 %	10 %
Lagrimeo	0	0	0	0
Náuseas	0	0	0	0
Disfagia (dificultad para ingerir alimentos)	0	0	0	0
Insomnio	10 %	0	0	0
Estrés	20 %	0	0	0
Ninguna de las anteriores	60 %	20 %	40 %	40 %

Fuente: *elaboración propia.*

Tabla 6. Síntomas reportados en vuelo y tiempo de aparición de los síntomas en los sujetos que responden presentar síntomas en vuelo

Muestra: n=10	Encuesta 1		Encuesta 2 posvuelo	
Síntoma	Tiempo promedio de aparición de síntomas en vuelo (min)	Tiempo de aparición de síntomas al aumentar potencia (min)	Tiempo promedio de aparición de síntomas en vuelo (min)	Tiempo de aparición de síntomas al aumentar potencia (min)
Cefalea (dolor de cabeza)	$46,6 \pm 16,32$	$41,6 \pm 22$	$33,75 \pm 4,78$	$30,8 \pm 14,9$
Mareo	$30 \pm 14,1$	30 ± 14	30 ± 14	30 ± 14

Nota. Datos presentados en media \pm desviación estándar.

Fuente: *elaboración propia.*

Síntomas en los diez meses previos a la aplicación de la encuesta (encuesta 1): Se encontró que los síntomas presentados en los últimos diez meses en su vida diaria son: 10 % irritabilidad, 30 % cefalea (dolor de

cabeza), 10 % vértigo (sensación de giro), 10 % insomnio y 20 % estrés; sin embargo, el 60 % de la población refiere no haber presentado ninguno de los síntomas.

En términos de los síntomas referidos por la tripulación cuando opera los equipos de inteligencia a bordo de la aeronave, en los diez meses previos a la aplicación de la encuesta, el 60 % de la población menciona haber presentado cefalea y el 20 %, mareo; el 20 % restante señaló no haber presentado sintomatología. En los voluntarios que reportaron síntomas, en promedio el tiempo de aparición después del inicio de la operación del equipo es de $46,6 \pm 16,3$ minutos para la cefalea y de 30 ± 14 minutos para el mareo. Al aumentar la potencia del equipo, el 60 % de los encuestados refirió presentar cefalea en un tiempo promedio de $41,6 \pm 22$ minutos, el 20 % refirió mareo en un tiempo promedio de 30 ± 14 min, y el 20 % de los encuestados dijo no haber presentado síntomas con el aumento de la potencia del equipo.

De las siete personas que refirieron síntomas al operar el equipo a bordo, el 71 % los presentó durante la operación; el 14,2 %, después de la operación; y el 14,2 %, durante y después de la operación.

Síntomas posteriores a las labores de vuelo (encuesta 2): Durante el vuelo y después del inicio de la operación del equipo, el 40 % de la población presentó cefalea con aparición en un tiempo promedio de $33,7 \pm 4,78$ min y el 20 % tuvo mareo en un tiempo promedio de 30 ± 14 min; el restante 20 % no presentó ninguno de los síntomas. De los siete operadores que presentaron síntomas, el 85,7 % ($n=6$) tuvo los síntomas durante la operación y el 14,2 % ($n=1$), después de la operación.

Al aumentar la potencia del equipo a 30 W, el 50 % de los sujetos presentó cefalea en un tiempo promedio de $30,8 \pm 14$ minutos y el 10 % tuvo mareo en un tiempo promedio de 30 ± 14 min. El 40 % no presentó síntomas.

Análisis de resultados: El organismo humano tiene mecanismos de termorregulación que actúan constantemente para mantener la temperatura del cuerpo dentro de ciertos límites. Este análisis se basa en los márgenes establecidos por la ICNIRP. La OMS asume los límites de exposición propuestos por la ICNIRP y recomienda que se incorporen en la legislación sin ninguna restricción adicional. La UIT, a través de la norma K.52, reglamenta el procedimiento a seguir para la toma de este tipo de mediciones. En Colombia, se adoptan estos procedimientos y límites de exposición a CEM por medio del Decreto 195 del 2005.

Se pudo determinar que los niveles de radiación detectados se encuentran por debajo de los límites definidos por las reglamentaciones nacionales e internacionales, pues la radiación estuvo por debajo de los límites permitidos de exposición. Los Sv, como unidad de dosis de radiación, también llamada dosis efectiva, son una manera de medir la radiación ionizante y no ionizante en términos de su potencial para causar daño.

En términos de las frecuencias emitidas por el equipo de inteligencia, se encuentra que este corresponde a la categoría de radiaciones no ionizantes. Durante el análisis de la primera medida tomada en tierra, se evidencia que las radiaciones encontradas están en el orden de la gama de frecuencias de VHF, que no corresponde a radiaciones ionizantes, pero sí pueden ser clasificadas en radiaciones no ionizantes, debido a que son producidas por CEM con frecuencias inferiores a 3×10^{15} Hz (espectro de luz visible). La característica fundamental de este tipo de radiaciones es que no causan desprendimiento de partículas atómicas o rompimiento de enlaces al interactuar con la materia.

De la segunda medida en tierra, se obtienen radiaciones en la gama de frecuencias de UHF, las cuales no corresponden a radiaciones ionizantes, pero sí pueden ser clasificadas como radiaciones no ionizantes; estos niveles dependen de la frecuencia, y el grado de penetración y absorción en el cuerpo humano se determina a partir de los efectos térmicos.

El organismo humano dispone de mecanismos de termorregulación que actúan constantemente para mantener la temperatura del cuerpo dentro de unos márgenes determinados. La propia actividad metabólica del organismo exige disipar, es decir, transferir energía al exterior para que la temperatura del cuerpo no aumente. Los estudios establecen cuáles son los niveles de absorción de energía radiada que el ser humano puede tolerar en cuanto al efecto térmico que producen en el tejido.

Se hizo la tercera medición en vuelo, dentro de la aeronave, ubicando el equipo detector de radiaciones frente al equipo transmisor de radiofrecuencia en operación y transmitiendo en la gama de frecuencia de UHF. Para esta muestra, se pueden observar radiaciones en la gama de frecuencias de UHF, las cuales no corresponden a radiaciones ionizantes, pero sí pueden ser clasificadas como radiaciones no ionizantes, en las que estos niveles dependen de la frecuencia.

Los efectos que se producen en el cuerpo humano cuando es expuesto a un campo electromagnético son diversos. Los cambios experimentados en

los tejidos varían en función de la frecuencia del campo incidente, debido a que para frecuencias entre 300 MHz y varios GHz se observa una absorción local no uniforme. En 10 GHz, por ejemplo, la absorción que se genera en los tejidos es relativamente baja, principalmente en la superficie de los tejidos del cuerpo.

Al analizar la morbilidad sentida durante el vuelo reportada por los operadores, se observa que el principal síntoma referido es la cefalea o dolor de cabeza, con el 40 % cuando se opera el equipo y con 50 % cuando se aumenta la potencia de transmisión del equipo a su máximo nivel de 30 W; seguido por el mareo con el 20 % y con el 10 % tras aumentar la potencia del equipo. Sin embargo, el 40 % de los encuestados refirió no presentar síntomas durante la operación del equipo en vuelo ni después del aumento de la potencia.

Para el grupo de sujetos que presentaron síntomas en vuelo, el tiempo de aparición de los síntomas en las dos encuestas está alrededor de los treinta minutos tras el inicio de la operación del equipo y después del aumento de potencia a 30 W.

A partir de los resultados, es posible observar que la presentación de síntomas es muy cercana en porcentaje a la no presentación de síntomas tras la aplicación de la encuesta 2 (posvuelo); contrario a los resultados derivados de la encuesta 1 en la que se presenta un mayor porcentaje de síntomas históricos durante los diez meses previos al momento de operar el equipo de inteligencia.

En la cuarta medición en vuelo para el equipo en la gama de frecuencia UHF, no corresponde a radiaciones ionizantes, pero sí pueden ser encasilladas en radiaciones no ionizantes. En 10 GHz, por ejemplo, la absorción que se genera en los tejidos es relativamente baja, principalmente en la superficie de los tejidos del cuerpo.

5.6. Fases de la investigación

Teniendo en cuenta las técnicas para el procesamiento y la recolección de la información bajo el esquema observacional (Hernández-Sampieri *et al.*, 2014), se definieron las siguientes fases para el desarrollo de la investigación.

Inicio y anteproyecto: Desde el inicio de la problemática evidenciada por los operadores de equipos especiales de inteligencia, se justificó esta temática y se definieron objetivos para buscar solucionar la pregunta

problema antes expuesta. Así mismo, se investigó el marco legal normativo y se construyó un marco teórico conceptual inicial mediante una revisión documental que dio viabilidad al proyecto de investigación.

Fase conceptual: Para esta fase, se hizo una revisión literaria que permitió desarrollar a profundidad las bases conceptuales que ayudaron en el cumplimiento de los objetivos propuestos. Se abordó la problemática identificada mediante la obtención de información de teorías y datos cuantitativos que toman como referencia normas, manuales y estándares nacionales e internacionales.

Fase empírica metodológica (método): En esta fase, se determinaron dos métodos para la recolección de datos del presente proyecto: primero, a través de la elaboración de una herramienta para conocer la morbilidad sentida por el personal de operadores; y segundo, a través de la medición en vuelo de las radiaciones emitidas por el equipo de radiofrecuencia a bordo.

Fase de recolección de datos: La recolección de datos se llevó a cabo en dos momentos: la primera con la aplicación de la encuesta de morbilidad al personal de operadores entre enero y junio de 2018, con previa firma de consentimiento informado; la segunda se realizó a bordo de la aeronave Súper King 5748, donde se hicieron mediciones de radiaciones emitidas en rampa durante julio y noviembre de 2018.

Fase empírica analítica (análisis de resultados): Al analizar los datos cuantitativos recopilados, se determinaron los niveles de exposición referidos para ser analizados y definir los tipos de radiaciones encontradas. Por otro lado, la encuesta permitió comparar la información obtenida con la percepción de la población objeto de estudio.

Fase inferencial (discusión): En esta se emiten conclusiones y recomendaciones a partir de la información adquirida mediante la encuesta y las mediciones realizadas durante la operación de los equipos de inteligencia, de forma tal que puedan ser utilizadas como base de futuros proyectos e investigaciones.

5.7. Consideraciones éticas

De acuerdo con la Resolución 8430 de 1993 del Ministerio de Salud: “Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud”, se tendrán en cuenta los artículos 4, 5, y 6. El artículo 4 expresa que la investigación en salud comprende el desarrollo de

acciones que contribuyan con el siguiente criterio al conocimiento y la evaluación de los efectos nocivos del ambiente en la salud.

El artículo 5 indica que en toda investigación en la que el ser humano sea sujeto de estudio, deberá prevalecer el criterio del respeto a su dignidad y la protección de sus derechos y su bienestar. El artículo 6 refiere que la investigación que se realice en seres humanos se deberá desarrollar conforme a los criterios que indican que se ajustará a los principios científicos y éticos que la justifiquen.

Se contará con el consentimiento informado y por escrito del sujeto de la investigación, de acuerdo con lo establecido en el artículo 14, que indica que el consentimiento informado es el acuerdo por escrito, mediante el cual el sujeto de investigación autoriza su participación en la investigación, con pleno conocimiento de la naturaleza de los procedimientos, beneficios y riesgos a que se someterá, con la capacidad de libre elección y sin coacción alguna.

Se tendrá en cuenta también el artículo 10, en el cual el investigador principal deberá identificar los tipos de riesgos a que están expuestos los sujetos de investigación. Según el artículo 11, la presente investigación tiene un riesgo mayor que el mínimo, ya que es un estudio radiológico. De acuerdo con el artículo 77, como la investigación implica el uso de equipos generadores de radiaciones electromagnéticas, se realizará de acuerdo con las leyes, los reglamentos y las normas sobre seguridad radiológica que rigen al territorio colombiano.

5.8. Papel del investigador

El papel principal de los investigadores es determinar si el uso de la frecuencia y la potencia de los equipos utilizados en la inteligencia militar pudieran presentar alguna sintomatología o afectación en el personal que manipula estos equipos.

6. Hallazgos

Aquí se expondrán los hallazgos encontrados durante el proceso de recolección de datos mediante mediciones y encuestas al personal que refirió presentar sintomatología durante la operación y exposición al equipo de inteligencia en misión.

Las encuestas realizadas a la tripulación de la aeronave King FAC-5748 han mostrado que casi la mitad del personal encuestado que opera el equipo presenta cefalea durante la operación. Sin embargo, al analizar las radiaciones de frecuencias emitidas por los equipos de inteligencia a bordo de la aeronave, las mediciones realizadas en tierra demuestran que las radiaciones de frecuencia emitidas por dichos equipos no son lo suficientemente intensas como para tener efectos en la salud humana.

En el desarrollo del estudio se hizo énfasis en sintomatología específica con cefalea, mareo, fatiga, irritabilidad, vértigo, lagrimeo, náuseas, disfagia, insomnio y estrés. La cefalea y el mareo fueron los principales síntomas referidos por la población encuestada en la vida cotidiana, durante las operaciones en vuelo y en el tiempo de posvuelo.

Es importante señalar que los CEM de 0 Hz a 300 GHz que interactúan con el organismo pueden ocasionar efectos diferentes según su frecuencia, debido a que inducen corrientes eléctricas en el cuerpo humano y producen calentamiento de la materia, en razón a que la absorción de la energía electromagnética por los tejidos y su conversión en calor genera incrementos de temperatura en el interior del cuerpo.

La evidencia científica indica que las radiaciones de frecuencia baja no tienen la capacidad de interactuar con el material genético y afectarlo. Se determina, durante el estudio desarrollado, que no fue posible evidenciar que las radiaciones generadas por los equipos de inteligencia tengan algún tipo de afectación en la salud de la población objeto de estudio. Además, las mediciones realizadas demuestran que la radiación generada no es ionizante, es decir, producen un efecto térmico y corresponden a radiaciones electromagnéticas de menor frecuencia.

A partir de los efectos térmicos, los niveles de radiación detectados en la investigación se encuentran por debajo de los límites definidos por la reglamentación de Colombia y, según los lineamientos, no se requieren medidas de seguridad adicionales con respecto a la radiación electromagnética.

Los efectos que se producen en el cuerpo humano cuando es expuesto a un campo electromagnético son diversos. Por ello, los síntomas experimentados por operadores podrían estar asociados al aumento de la temperatura corporal, lo cual genera dolor de cabeza, mareo y los demás síntomas referidos en la encuesta realizada (Mateescu y Alecu, 2008).

En los estudios revisados sobre radiaciones no ionizantes, se establece que el único efecto biológico claramente comprobado es el calentamiento

de los tejidos. Así mismo, no se pudo encontrar en la literatura alguna evidencia concluyente que permita asociar la radiofrecuencia con algún tipo de cáncer; tampoco se puede afirmar en la actualidad que estas radiaciones no tengan efectos potencialmente adversos para la salud, pero no se puede asegurar que sí los tienen.

Cabe resaltar que el principal síntoma identificado en el presente estudio fue la cefalea, que según la OMS es uno de los trastornos más comunes del sistema nervioso. La mayoría de la población adulta ha sufrido de cefalea y puede estar directamente relacionada con el estrés que deteriora la calidad de vida; de igual manera, el mareo es un síntoma difícil de evaluar, ya que pertenece a diferentes procesos y sintomatologías que lo hacen tener un enfoque multidisciplinario de evaluación compleja. Estos síntomas no son suficientes para indicar que las radiaciones de frecuencia son por sí solas la causa de algún efecto nocivo en la salud humana.

Dado lo anterior, y teniendo en cuenta la poca diferencia entre tener o no síntomas y que los síntomas reportados son inespecíficos, es indispensable hacer otros estudios que contribuyan a la evaluación directa entre causa y efecto de la potencia de la radiación de frecuencia y su directa correlación con una afección específica. En este sentido, los estudios retrospectivos y prospectivos con poblaciones numerosas se hacen indispensables para la evaluación de dichas patologías.

Por otro lado, derivado de los síntomas encontrados, se debe profundizar y analizar si una de las posibles causas de los efectos que los tripulantes han manifestado sentir obediencia a una mala alimentación, a no dormir las horas suficientes que reparen su cuerpo o a una poca hidratación; estados que podrían relacionarse con la sintomatología referida.

7. Conclusiones

La pregunta problema de investigación fue: ¿cuáles son las radiaciones de frecuencia a las que están expuestos los tripulantes a bordo de la aeronave King FAC-5748 que manipulan los equipos de inteligencia? De acuerdo con la información recolectada mediante las mediciones realizadas y la encuesta aplicada para responder la pregunta problema, se puede determinar que los niveles de radiación detectados están por debajo de los límites permitidos de exposición definidos por las reglamentaciones nacionales e internacionales.

7.1. Conclusiones genéricas

Se sugiere que se analicen y se adopten las siguientes conclusiones emitidas con el fin de mitigar los síntomas referidos por el personal de tripulantes de la aeronave FAC-5748, debido a que existe una exposición ocupacional a radiaciones no ionizantes.

- Para mitigar la exposición a radiaciones no ionizantes, se debe cubrir la antena transmisora de potencia con una manta de plomo que permita aislar y direccionar la radiación generada hacia afuera de la aeronave.
- Como mecanismos de prevención, se debe estimular que los tripulantes se hidraten antes y durante el vuelo.
- Las tripulaciones deben alimentarse bien antes de realizar las misiones.
- Las tripulaciones deben dormir bien antes de realizar las misiones.
- Se debe realizar un proceso de divulgación de los resultados encontrados, a fin de dar tranquilidad al personal de operadores.
- Se deben realizar estudios posteriores que incluyan un mayor número de voluntarios y un seguimiento de síntomas, con el fin de estudiar las posibles asociaciones con la exposición ocupacional.
- Se debe ampliar la investigación mediante un estudio comparativo que permita aplicar la herramienta en variables que influyen la sintomatología referida por la población objeto de estudio, como calidad de sueño, hidratación, ejercicio realizado antes del vuelo, alimentación y estado emocional.
- Se propone a futuro ampliar la investigación aplicando la herramienta a otras tripulaciones voluntarias que realicen misiones de transporte, VIP, medicalizadas y de entrenamiento, con el fin de identificar otros factores contribuyentes.

7.2. Conclusiones específicas

- Se describen la potencia y las frecuencias de transmisión de los equipos utilizados en las misiones de inteligencia. La frecuencia está en dos bandas que son en 850 Mhz y 1900 Mhz, y la potencia iba desde 2 a 30 W, relacionadas en la tabla 3. Fueron medidas con el analizador de espectro.

- Se identifican las radiaciones emitidas por los equipos de inteligencia, que no son ionizantes, y se emiten las recomendaciones para el personal de tripulantes.
- Se establece que los efectos a los que está expuesto el personal de operadores son efectos térmicos y, a su vez, pueden ocasionar los síntomas que fueron analizados en la encuesta, en la cual el principal síntoma identificado es la cefalea.
- Conforme a la información recolectada e investigada que sirve de evidencia y a la normatividad existente a nivel nacional y mundial, se puede concluir que aunque hay una exposición ocupacional a radiaciones no ionizantes por parte de la población objeto de estudio, es necesario divulgar que el factor de riesgo y sus posibles efectos en la salud son mínimos y solo requieren medidas de protección para mitigar la exposición directa. Así mismo, los efectos en la salud pueden darse como consecuencia del efecto térmico de las radiaciones no ionizantes que se producen cuando la tasa de absorción es específica, lo cual a su vez indica que es posible que la sintomatología referida por el personal objeto de estudio pueda estar asociada al calentamiento de los tejidos en el cuerpo.
- Es importante señalar que los CEM de 0 Hz hasta 300 GHz que interactúan con el organismo pueden tener efectos diferentes según la frecuencia, debido a que inducen corrientes eléctricas en el cuerpo humano produciendo calentamiento de la materia, en razón a que la absorción de la energía electromagnética por los tejidos y su inmediata conversión en calor genera incrementos de temperatura en el interior del cuerpo.
- La evidencia científica indica que las radiaciones de frecuencia baja no tienen la capacidad de interactuar con el material genético y afectarlo. Durante el estudio desarrollado, no fue posible evidenciar que las radiaciones generadas por los equipos de inteligencia tengan algún tipo de afectación en la salud de la población objeto de estudio. A su vez, las mediciones realizadas demuestran que la radiación generada no es ionizante, producen un efecto térmico y corresponden a radiaciones electromagnéticas de menor frecuencia.
- Las investigaciones consultadas permiten determinar que, a partir de los efectos térmicos, los niveles de radiación detectados se encuentran por debajo de los límites definidos por la reglamentación de Colombia,

y según los lineamientos, no se requieren medidas de seguridad adicionales con respecto a la radiación electromagnética.

- Los efectos que se producen en el cuerpo humano cuando es expuesto a un campo electromagnético son diversos, por lo que se concluye que los síntomas experimentados por los operadores podrían estar asociados al aumento de la temperatura corporal que genera dolor de cabeza, mareo y los demás síntomas referidos en la encuesta realizada.
- En los estudios revisados sobre radiaciones no ionizantes, se establece que el único efecto biológico claramente comprobado es el calentamiento de los tejidos. No se encontró en la literatura alguna evidencia concluyente que permita asociar la radiofrecuencia con algún tipo de cáncer; tampoco se puede afirmar en la actualidad que estas radiaciones no tengan efectos potencialmente adversos para la salud, pero no se puede asegurar que sí los tienen.

8. Referencias

- Ahlbom, A., Green, A., Kheifets, L., Savitz, D. y Swerdlow, A. (2004). Epidemiology of health effects of radiofrequency exposure. *Environmental Health Perspectives*, 112(17), 1741-1754. <https://doi.org/10.1289/ehp.7306>
- Belyaev, I., Dean, A., Eger, H., Hubmann, G., Jandrisovits, R., Kern, M., Kundi, M., Moshhammer, H., Lercher, P., Müller, K., Oberfeld, G., Ohnsorge, O., Pelzmann, P., Scheingraber, C. y Thill, R. (2016). EUROPAEM EMF Guideline 2016 for the prevention, diagnosis and treatment of EMF-related health problems and illnesses. *Reviews on Environmental Health*, 31(3), 363-397. <https://doi.org/10.1515/reveh-2016-0011>
- Blake, P. K. y Komp, G. R. (2013). Radiation exposure of U.S. military individuals. *Health Physics*, 106(2), 272-278. <https://doi.org/10.1097/HP.000000000000032>
- Blettner, M., Grosche, B. y Zeeb, H. (1998). Occupational cancer risk in pilots and flight attendants: Current epidemiological knowledge. *Radiat and Environ Biophysics*, 37(2), 75-80. <https://doi.org/10.1007/s004110050097>
- Breckenkamp, J., Berg, G. y Blettner, M. (2003). Biological effects on human health due to radiofrequency/microwave exposure: A synopsis of cohort studies. *Radiat Environ Biophysics*, 42(3), 141-154. <https://doi.org/10.1007/s00411-003-0203-x>
- Buja, A., Lange, J. H., Perissinotto, E., Rausa, G., Grigoletto, F., Canova, C. y Mastrangelo, G. (2005). Cancer incidence among male military and civil pilots and flight attendants: An analysis on published data. *Toxicology and Industrial Health*, 21(10), 273-282. <https://doi.org/10.1191/0748233705th2380a>

- De la Rosa, R. (2014). *La enfermedad silenciada*. Ediciones I.
- De Luca, J. C., Picco, S. J., Macintyre, C., Dulout, F. N. y López-Larrazza, D. M. (2009). The prevalence of chromosomal aberrations in Argentine air crew members. *Archives of Environmental & Occupational Health*, 64(2), 101-106. <https://doi.org/10.3200/AEOH.64.2.101-106>
- Gherman, L. (2015). *Electromagnetic spectrum domination*. Henri Coanda Air Force Academy.
- Gil, L. y Úbeda, M. (2001). Ondas electromagnéticas y salud. (Informes Sanitarios Siglo XXI). http://www.etsist.upm.es/estaticos/catedra-coitt/web_salud_medioamb/Informes/informes_PDF/camposelectromagneticos/OndasEMySalud.pdf
- Gundestrup, M. y Storm, H. H. (1999). Radiation-induced acute myeloid leukaemia and other cancers in commercial jet cockpit crew: A population-based cohort study. *Lancet*, 354(9195), 2029-2031. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(99\)05093-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(99)05093-X)
- Hardell, L. y Sage, C. (2008). Biological effects from electromagnetic field exposure and public exposure standards. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 62(2), 104-109. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2007.12.004>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill.
- Kaszuba-Zwoińska, J., Gremba, J., Gałdzińska-Calik, B., Wójcik-Piotrowicz, K. y Thor, P. J. (2015). Electromagnetic field induced biological effects in humans. *Przegląd Lekarski*, 72(11):636-641. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27012122/>
- Mateescu, C., Alecu, G. y Kappel, W. (2008). Electromagnetic field as environment factor affecting human health. *Revue Roumaine des Sciences Techniques, Série Électrotechnique et Énergétique*, 53(12), 113-121.
- Michavila Pallarés, B. (1984). La guerra electrónica y la electrónica en la guerra. *Boletín de Información*, (171), 1-109. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4770317>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2016, 29 de abril). *Radiaciones ionizantes: efectos en la salud y medidas de protección*. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs371/es/>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2017). Radiación: campos electromagnéticos (CEM). http://www.who.int/topics/electromagnetic_fields/es/
- Pérez Martínez, F. (2011). *Sensores electromagnéticos. Los sentidos de los sistemas para la defensa y la seguridad*. Cuadernos de Cátedra ISDEFE-UPM N.º 9. <http://catedraisdefe.etsit.upm.es/wp-content/uploads/2011/11/PDF-cuaderno-N%C2%BA-9.pdf>
- Federación de Enseñanza de Comisiones Obreras de Andalucía. (2009). *Temas para la Educación. Revista Digital para Profesionales de la Enseñanza*, (4), 2-15. http://ciam.ucol.mx/portal/portafolios/domingo_ornelas/apuntes/recurso_828.pdf

- Repacholi, M. H. (2003). An Overview of WHO's EMF Project and the health effects of EMF exposure. <http://www.who.int/pehemf/meetings/archive/en/keynote4repacholi.pdf>
- Solórzano del Río, H. E. (2001). *Efectos biológicos de los campos electromagnéticos*. https://www.ecoport.net/temas-especiales/salud/efectos_biologicos_de_los_campos_electromagneticos/
- Genuis, S. J. (2007). Fielding a current idea: Exploring the public health impact of electromagnetic radiation. *Public Health*, 122(2), 113-124. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2007.04.008>
- Jefatura de Inteligencia Fuerza Aérea Colombiana (JIN FAC). (2014). *La inteligencia aérea: estratégico de la defensa nacional*. <https://www.fac.mil.co/la-inteligencia-a%C3%A9rea-estrat%C3%A9gico-de-la-defensa-nacional>
- Troya Mosquera, M. C. y Zabala Niño, J. (2007). *Influencia en la salud de la población expuesta a radiaciones no ionizantes con frecuencias comprendidas entre 0 HZ a 300 HZ, revisión documental* [tesis de especialización, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio institucional PUJ. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/54918/TroyaMosquera%2CMariaCristina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vila, J., Bowman, J. D., Figuerola, J., Moriña, D., Kincl, L., Richardson, L. y Cardis, E. (2016). Development of a source-exposure matrix for occupational exposure assessment of electromagnetic fields in the INTEROCC STUDY. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2017 jul;27(4):398-408. doi: 10.1038/jes.2016.60. Epub 2016 nov 9. Erratum in: *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2019 sep;29(5):731. Erratum in: *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2019 oct;29(6):860. PMID: 27827378; PMCID: PMC5573206.
- Wilmink, G. J. y Grundt, J. E. (2011). Invited review article: Current state of research on biological effects of terahertz radiation. *Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*, 32, 1074-1122. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10762-011-9794-5>
- Zeeb, H., Blettner, M., Langner, I., Hammer, G. P., Ballard, T. J., Santaquilani, M., Gundestrup, M., Storm, H., Haldorsen, T., Tveten, U., Hammar, N., Linnarsjö, A., Velonakis, E., Tzonou, A., Auvinen, A., Pukkala, E., Rafnsson, V. y Hrafnkelsson, J. (2003). Mortality from cancer and other causes among airline cabin attendants in Europe: A collaborative cohort study in eight countries. *American Journal of Epidemiology*, 158(1), 35-46. <https://doi.org/10.1093/aje/kwg107>

Capítulo 2

Análisis de propuesta de plan de acción para prevenir accidentes aéreos en instrucción de vuelo a partir del Sistema de Clasificación y Análisis de Factores Humanos (HFACS) de accidentes en Colombia entre 1998 y 2016 en instrucción de vuelo

Mag. Sergio Rocha Castillo

CÓMO CITAR

Rocha Castillo, S. (2022). Análisis de propuesta de plan de acción para prevenir accidentes aéreos en instrucción de vuelo a partir del Sistema de Clasificación y Análisis de Factores Humanos (HFACS) de accidentes en Colombia entre 1998 y 2016 en instrucción de vuelo. En *Seguridad operacional y su aproximación en el contexto colombiano* (pp. 63-118). Escuela de Postgrados de la FAC.

Colección Ciencia y Poder Aéreo N.º 19

**SEGURIDAD OPERACIONAL
Y SU APROXIMACIÓN EN
EL CONTEXTO COLOMBIANO**

Una disciplina en constante evolución

CAPÍTULO 2.

Análisis de propuesta de plan de acción para prevenir accidentes aéreos en instrucción de vuelo a partir del Sistema de Clasificación y Análisis de Factores Humanos (HFACS) de accidentes en Colombia entre 1998 y 2016 en instrucción de vuelo

ISBN 978-958-53696-3-4

E-ISBN 978-958-53696-4-1

<https://doi.org/10.18667/9789585369634.02>

Bogotá, Colombia

Octubre, 2022

Introducción

El presente capítulo hace referencia a la aplicación del Sistema de Clasificación y Análisis de Factores Humanos (HFACS), con el fin de presentar una propuesta de plan de acción para prevenir accidentes aéreos en instrucción de vuelo. Se verifican los eventos ocurridos en Colombia entre 1998 y 2016 en instrucción de vuelo; ese lapso obedece a la accesibilidad que presentan los informes de accidentes durante dichas épocas, de tal manera que se cuente con documentación que obedezca a informes finales y no incurrir en los preliminares para evitar que el estudio tenga cambios abruptos de información.

La característica principal de este estudio es la clasificación de los accidentes y la recopilación de sus respectivas recomendaciones, las cuales serán adaptadas al modelo de seguridad operacional de la Academia de Aviones y Helicópteros de Colombia S.A.S., institución que desea competir en el mercado aeronáutico con calidad y altos estándares dentro de la normatividad que exige el mercado nacional e internacional.

En 2017, la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) afirmó que “sigue priorizando la acción mundial en tres áreas de seguridad operacional: reforzamiento de la seguridad operacional en la pista, reducción de los accidentes de impacto contra el suelo sin pérdida de control y reducción de los accidentes de pérdida de control en vuelo” (2017, p. 16). Partiendo de este concepto, es de interés investigar los accidentes aéreos durante la instrucción en vuelo en Colombia en un lapso de dieciocho años, de 1998 a 2016, con el objetivo de presentar un plan de acción que propenda a generar cambios sustanciales en la forma como se lleva a cabo la instrucción en la actualidad.

Ahora bien, entre las causas de la accidentalidad se encuentran situaciones como la expansión agresiva del mercado. De acuerdo con Airbus (2016), se evidencia el rápido crecimiento de la industria aeronáutica en Latinoamérica, la cual duplicará su capacidad en los próximos veinte años; es similar a un incremento aproximado de unos 2500 aviones, con una alta demanda de pilotos y un denso tráfico aéreo que serán un reto para las empresas explotadoras y para los controladores aéreos. Ese crecimiento sugiere la necesidad de incrementar, así mismo, las medidas de seguridad operacional y reducir la tasa de accidentalidad para formar pilotos

bajo altos estándares de seguridad basados en mejorar el entrenamiento desde la academia.

La implantación de programas estatales de seguridad operacional y de gestión de la seguridad operacional, de acuerdo con la OACI, “podría suponer cambios de reglamentación, políticas y de organización que exijan recursos adicionales, retención de personal o diferentes conjuntos de aptitudes, según el grado de aplicación de cada elemento” (2017, p. 21). Por lo tanto, ubicar las causas de la accidentalidad y clasificarlas mediante HFACS, asignarle una taxonomía y verificar los factores contribuyentes son acciones que otorgan datos de valor para la planeación fundamentada en eventos ocurridos y para la construcción de un plan que permita generar cambios dentro de la organización.

En el transcurso de la presente investigación, se aplicó una encuesta de percepción, así como vuelos simulados con instructor y alumno, poniendo en práctica las recomendaciones del Grupo de Investigación de Accidentes Aéreos (GRIAA). Se verificó el impacto y la pertinencia de dichas recomendaciones para el fortalecimiento de los procesos y la seguridad operacional de la compañía. Las encuestas fueron aplicadas al personal que labora en ADAHCOL S.A.S., ya que son informantes claves, dentro de una muestra no probabilística conocida como intencional, la cual corresponde al tipo utilizado para este estudio.

Durante la investigación de campo, debido a que el investigador y aplicador de la encuesta era el presidente de la empresa, uno de los obstáculos fue el temor de los trabajadores para aceptar, o no, la aplicación de la encuesta, ya que sentían que su trabajo y su estabilidad podrían verse afectados si los resultados eran negativos. Por tal motivo, se contó con el acompañamiento de la representante legal para brindar mayor tranquilidad los empleados y garantizar sus derechos laborales.

El trabajo contó con tres fases macro:

- Clasificación de los eventos mediante HFACS.
- Recolección y evaluación de las recomendaciones del GRIAA.
- Aplicación de encuesta de percepción, pilotaje de plan de acción en simulador y fortalecimiento del programa Safety Management System (SMS).

1. Planteamiento del problema

1.1. Problema de investigación

Las estadísticas mundiales muestran que los accidentes en vuelos de instrucción son por las mismas causas, que al igual que la investigación de accidentes, según la OACI y el Grupo de Seguridad de Aviación Comercial (CAST), muestra categorías definidas como la pérdida de control en vuelo (LOC-I) y el vuelo controlado contra el terreno (CFIT), en las cuales las tripulaciones cumplen con los parámetros de desempeño requeridos (Sánchez, 2010).

Los estudios han mostrado que muchas de las causas de los accidentes son: baja alerta situacional, toma de decisiones inadecuadas, mala coordinación de la tripulación, incorrecto seguimiento de procedimientos estandarizados, estrés, fatiga y desorientación espacial, entre otros (Sánchez, 2010).

Aunque la OACI afirma que “el porcentaje de accidentes relacionados con la seguridad operacional en la pista se redujo significativamente, representa el 43 % de todos los accidentes y solo el 11 % de todos los accidentes mortales y 1 % de todos los casos mortales relacionados” (2016, p. 19). Para el caso de la aviación de instrucción en Colombia, se presentaron casos de pérdida del control sobre la pista, los cuales, junto a los accidentes por impacto contra el terreno, son el fuerte a investigar y a analizar, ya que en este informe que presenta la OACI Colombia fue participante con varios accidentes que alimentaron esa estadística y el alto valor presentado.

Factores medioambientales como el clima, la iluminación y el terreno, entre otros, han sido analizados y catalogados como una de las posibles causas de los accidentes aéreos. Sin embargo, los factores humanos son más difíciles de analizar, teniendo en cuenta que no son recurrentes de una persona a otra y pueden ser afectados por los procesos cognitivos únicos de cada persona; así mismo, en la mayoría de los casos, los pilotos no tienen control alguno sobre ellos. Tampoco es posible atribuir la ocurrencia de accidentes a variables como la edad o la experiencia en vuelo, ya que el error humano es complejo, lo que dificulta la aplicación de una metodología de investigación estandarizada y universal.

Los aspectos cognitivos involucrados en la aviación dependen de las operaciones mentales del piloto, así como la focalización de su atención, el reconocimiento de patrones y los procesos de toma de decisiones, que

afectan la respuesta o acción frente a los estímulos de entrada. Estas etapas cognitivas son diferentes para cada individuo, por lo tanto, el procesamiento de la información varía de acuerdo con las personas y el ambiente que las rodea; de modo que, en muchos casos, las aproximaciones a modelos basados en procesos cognitivos para el análisis de accidentes pueden llegar a ser intuitivas y/o especulativas. Además, estos modelos usualmente no tienen en cuenta factores relacionados con la ejecución de tareas o con condiciones físicas de los operadores, lo cual puede llevar a la conclusión de error humano sin tener en cuenta las causas de fondo que lo ocasionaron (Wiegmann y Shappell, 2001, p. 129).

1.2. Formulación del problema

¿Cómo estructurar un plan de acción que prevenga accidentes aéreos en instrucción de vuelo desde el HFACS, asociados a la aviación comercial en Colombia como contribución a la seguridad operacional?

1.3. Objetivos

Objetivo general: Estructurar un plan de acción que prevenga accidentes aéreos en instrucción de vuelo desde el HFACS, asociados a la aviación comercial en Colombia como contribución a la seguridad operacional.

Objetivos específicos:

- Caracterizar los accidentes ocurridos en vuelos de instrucción entre 1998 y 2016 en Colombia.
- Aplicar la caracterización del sistema HFACS para determinar las implicaciones de errores humanos que pudieron estar involucrados en los accidentes analizados.
- Diseñar un plan de acción que indique la forma adecuada de prevenir los accidentes aéreos en vuelos de instrucción, basados en el análisis realizado.

2. Justificación

El estudio de la aplicación del HFACS ha incrementado su aceptación como herramienta para clasificar los factores humanos en accidentes de aviación.

El sistema HFACS aplicado a informes de investigación de accidentes previamente publicados por el GRIAA, con el propósito de analizar las tendencias causales de los accidentes de aeronaves civiles en vuelos de instrucción, abre la posibilidad de implementar acciones que ataquen directamente las causas más probables y mitigar el riesgo de futuros accidentes aéreos o, por lo menos, llevarlos al nivel aceptable. De esta manera, con la información obtenida se podrá soportar la continuación, la modificación o el desarrollo de acciones enfocadas a mejorar los sistemas de seguridad operacional en la aviación civil, en especial en la instrucción de vuelo.

La importancia de este estudio radica en proponer un plan que permita mejorar la instrucción y evidenciar las posibles falencias que se presentan al momento de los vuelos que son considerados de rutina, por ser los que mayor importancia deben revestir debido a la baja experiencia de los pilotos alumnos y al poco criterio como pilotos que aún poseen.

Es por eso que, para generar un impacto positivo en la seguridad operacional, se toman los accidentes en vuelos de instrucción en un lapso de dieciocho años, a fin de tener suficiente material investigativo que permita dilucidar una tendencia o elementos repetitivos que puedan ser contrarrestados en el entrenamiento de tierra.

La viabilidad del estudio se basa en la economía que representa para su elaboración, puesto que los informes de investigación de accidentes de la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (Aerocivil) son públicos y gratuitos, y no se requiere un gasto adicional para conseguir la información o para gestionar algún tipo de trámite administrativo que pudiera generar letargo en el curso de esta investigación.

También, este estudio puede generar un interés en las escuelas de aviación colombianas, ya que se analizarán las condiciones en las que se presentaron eventos de seguridad. El posterior planteamiento de las acciones resultado de esta investigación serían un apoyo a la instrucción de pilotos colombianos, en busca de reducir la pérdida de vidas o de materiales para las escuelas.

Por último, se genera un aporte al conocimiento con enfoque hacia la mejora continua de los planes de prevención de accidentes. Este aporte le permite a la línea de investigación en factores humanos de la Maestría en Seguridad Operacional, de la Escuela de Posgrados de la Fuerza Aérea Colombiana (EPFAC), tener un plan que puede ser estudiado y comparado por el personal del ámbito académico, táctico, operacional o estratégico y

hacer el paralelo con los eventos sucedidos en el interior de la FAC. Así se cuenta con la posibilidad de adoptar algunas de las recomendaciones de este estudio en las escuelas primarias y básicas de dicha institución como dueña de la producción documental de sus alumnos de maestría sin otro costo adicional.

3. Marco referencial

3.1. Antecedentes

El estudio del error humano, así como el deseo de anticipar, mitigar o corregir sus causas y consecuencias, ha llevado a numerosos autores a ahondar en este ámbito desde la perspectiva académica, con lo que han producido aportes valiosos para la humanidad y han nutrido el tema a ser desarrollado en el presente capítulo.

En 2011, en la Universidad de Macquarie, en Australia, Wiggins publicó en la revista científica *Applied Cognitive Psychology* el estudio titulado “Vigilance decrement during a simulated general aviation flight”. En este estudio, examinó la vigilancia de los pilotos durante un vuelo general extendido, medido por su capacidad para ejercer control de la aeronave durante un vuelo planificado.

Un total de 31 pilotos calificados volaron un simulador de vuelo desde Wagga Wagga a Bankstown, en Sydney, una distancia de 207 millas náuticas. El vuelo comprendió cinco tramos separados, aunque solo tres tramos fueron sometidos a análisis basados en la teoría de los recursos de atención, y se planteó la hipótesis de que el rendimiento de la tarea diferiría en función del requisito de memoria. De acuerdo con la hipótesis, “los resultados revelaron un deterioro en aquellas tareas para las cuales existía un requisito sustancial para la recuperación de la memoria” (Wiggins, 2011, p. 229).

Este análisis concluyó que el deterioro en el rendimiento se predecía mejor por la percepción de los pilotos de la carga de trabajo asociada con el vuelo y, a su vez, por la percepción de su capacidad para ejercer control del avión en condiciones normales. Se puede establecer que las altas cargas de trabajo son un factor a considerar dentro de lo postulado en esta investigación, que corresponde a verificar en los informes de accidentes si alguno refleja saturación de tareas o baja experticia en vuelo.

Kymal *et al.* (2015) presentan el estudio *Integrated management systems: QMS, EMS, OHSMS, FSMS*, en el cual se hace referencia a la integración cada vez más necesaria de los sistemas de seguridad y calidad, dado que, como sostienen los autores, las organizaciones actuales implementan sistemas independientes para sus sistemas de gestión de calidad (ISO 9001, ISO/TS 16949 o AS9100), su sistema de gestión (ISO 14001), su seguridad y salud laboral (ISO 45001), y sus sistemas de gestión de seguridad alimentaria (FSSC 22000).

Los investigadores señalan que “los sistemas independientes se refieren al uso de estructuras de administración de documentación aislada, lo que resulta en la duplicación de procesos dentro de un sitio para cada uno de los estándares de administración: QMS, EMS, OHSMS y FSMS” (Kymal *et al.*, 2015, p. 9). En otras palabras, los sistemas independientes duplican los procesos de capacitación, control de documentos y procesos de auditoría interna para cada estándar dentro de la compañía. Si bien la confusión y la falta de eficiencia que resulta de esta decisión pueden no ser fácilmente evidentes para algunos trabajadores, los autores afirman que existe una pérdida tremenda de valor asociada a los sistemas de administración independientes dentro de una organización.

Como antecedente de dicho estudio, los autores publicaron en el 2005 el documento “Malabares con múltiples estándares”, que analizó un estudio de caso de una gran organización europea e incluyó ejemplos de duplicación de revisiones de gestión y evaluaciones de riesgo, con lo que evidenciaron procesos como el control de documentos que se repitieron no menos de treinta a cincuenta veces en sus sitios grandes (llamados campus) en Silicon Valley o en Francia.

Para el presente capítulo, es útil comprender los términos señalados por los autores respecto a la integración, comprendida como la reducción de la duplicación de procesos en el interior de una organización; y la reducción de la duplicación entre sitios se denomina estandarización. Así, también es importante abordar la falta de integración y la falta de estandarización como una manera de mejorar los canales de comunicación, fortalecer el SMS de la compañía y generar mejores propuestas que reduzcan la burocracia interna.

Dado su alto valor académico, es importante citar el trabajo desarrollado en 2016 en el Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas (Boulder, Colorado, Estados Unidos), por Sharman y Lane, titulado *Aviation*

turbulence. Processes, detection, prediction. Este libro hace una revisión de los encuentros en vuelo con turbulencia y los cataloga como un peligro bien conocido para la aviación. Según los autores, este fenómeno “es responsable de numerosas lesiones cada año, con muertes ocasionales y daños estructurales. Es un problema de seguridad que genera millones de dólares en costos operativos y puede causar retrasos en los horarios y problemas de gestión del tránsito aéreo” (Sharman y Lane, 2018, p. 3.). Por tales razones, los pilotos, los despachadores y los controladores de tránsito aéreo intentan evitar la turbulencia siempre que sea posible, pero a pesar de estas motivaciones, la precisión en la detección y el pronóstico de la turbulencia en las aplicaciones de aviación son insuficientes para niveles aceptables de operación.

Sharman y Lane describen una revisión a los problemas fundamentales asociados con la comprensión de las propiedades de la turbulencia a macroescala o “escala de aviación”, y proporcionan una visión general de los avances que se están realizando en las áreas de detección y pronóstico. Dichos avances se centran en la comprensión de las propiedades de la turbulencia, en cómo los sistemas deben comunicarse a los usuarios finales a través de programas o interfaces y en cómo deben incluir la salida de gráficos animados de los modelos de simulación de alta resolución para que los pilotos puedan comenzar a “ver” lo que intentan evitar.

Concluyen que la capacitación del personal en tierra es un factor importante, ya que también es necesario relacionar los principios de pronóstico probabilístico para que los usuarios finales (en este caso los pilotos) puedan apreciar y comprender mejor la incertidumbre asociada con los pronósticos de turbulencia y lo que significa para ellos la toma de decisiones. Por lo anterior, para el presente ejercicio investigativo es necesario verificar el impacto de las condiciones meteorológicas en el desarrollo de los vuelos, así como su relación con la accidentalidad en instrucción aérea.

En 2016, Ronald William Day publicó *Design error: a human factors approach*, un estudio realizado en Estados Unidos que se basa en la investigación sobre el proceso de diseño, explicando cómo y dónde aparecen los errores y ofreciendo consejos prácticos sobre estrategias para eliminar los riesgos potenciales de los proyectos de diseño en el futuro.

En el estudio, Day analiza algunos de los modelos más comunes de causalidad de accidentes que se han utilizado para “describir el desarrollo

del error de diseño en los sistemas, por consiguiente, cita la teoría del dominio de Heinrich, seguida del modelo de queso suizo de Reason, la visión sistémica de Hollnagel y un nuevo modelo de agrupaciones aleatorias desarrollado por Day” (2016, p. 14).

Cada uno de estos modelos se utilizó para explicar los problemas de diseño que llevaron a accidentes significativos, y así mismo, se describen en detalle para explicar las razones de cada uno. Entre los casos estudiados se encuentra el fiasco de la nómina de Queensland Health, el accidente ferroviario de Zanthus, el desastre del monte Erebus de Air New Zealand, las muertes del programa de aislamiento del hogar del Gobierno australiano y el colapso del puente de la puerta oeste de Melbourne.

El profesor Wolff-Michael Roth, del Departamento de Ciencias Cognitivas y Aplicadas de la Universidad de Victoria, en Canadá, presentó en 2017 el estudio *Cognition, assessment and debriefing in aviation*, con un enfoque basado en la importancia de la comunicación posterior al vuelo como un medio de transmisión efectiva y, a la vez, como el “dato” o información importante del trabajo realizado por el personal en muchas industrias de alto riesgo, donde los errores pueden tener consecuencias graves, a menudo mortales, como el combate, la cirugía y la aviación.

Aunque existe una gran cantidad de estudios al respecto, Roth demuestra que “las revisiones recientes de la literatura de investigación sugieren deficiencias en los temas investigados, la escasez de teorías relacionadas, las limitaciones en el número de estudios empíricos y los problemas en el diseño de la investigación” (2017, p. 5). Además, evidencia que los *post-briefing* se producen en el contexto de la capacitación recurrente bianual y la evaluación de pilotos.

La evaluación también ha sido un tema espinoso en la aviación, ya que los estudios muestran una variación considerable en la puntuación incluso después de que los evaluadores hayan recibido una capacitación sustantiva (hubo tres años de capacitación a los pilotos): “Si bien los enfoques tradicionales atribuyen estas variaciones a la varianza del error en los modelos estadísticos, no está del todo claro si la variación de la puntuación no puede explicarse por razones racionales” (Roth, 2017, p. 5).

El autor señala en las conclusiones del estudio que las personas tienden a ser capaces de dar buenas razones por lo que están haciendo y por sus juicios, pero en realidad puede haber falencias en las bases para las puntuaciones de evaluación de la variabilidad, observadas entre evaluadores

de los mismos desempeños. Es importante, para la industria de las aerolíneas, entender la fuente racional de estas variaciones en general y que la variación puede no ser el resultado de un error de medición. Esto tiene su fundamento en las diferentes observaciones que hacen los examinadores de vuelo y en la forma en que las clasifican; por eso, para el presente trabajo es un punto de valor agregado verificar si se reportan antecedentes en la accidentalidad de vuelo, elementos como el *debriefing* o *post-briefing* que evidencien falencias en los alumnos o instructores.

En 2017, Boring publicó un estudio titulado *Advances in human error, reliability, resilience, and performance*, en el que afirma que “el estrés y la fatiga influyen en el proceso de respuesta cognitiva humana, incluida la percepción de la información, el razonamiento y la toma de decisiones, y viceversa, la respuesta cognitiva influye en el estado de estos factores” (2017, p. 268). También, se hace referencia al nivel de estrés al que se ve expuesto un operador (en este caso pilotos y alumnos), ya que pueden darse diferentes resultados en el nivel de activación de nodos en la base de conocimiento como consecuencia de su experiencia en condiciones adversas. El nivel de fatiga puede expresarse por el tiempo durante el cual el operador está sujeto a un evento, así como los niveles de activación de la información percibida que representa la carga de datos a la que está expuesto de manera prolongada.

Para lograr el propósito del estudio, se creó el sistema de Análisis de Confianza Humana (HRA, por sus siglas en inglés), con un enfoque que tenga la capacidad de simular el proceso cognitivo de una persona y de responder las preguntas “cómo” y “por qué” el operador se comporta de una manera particular. El examen del proceso cognitivo se puede utilizar para guiar el diseño de experimentos relacionados con HRA y la recopilación de datos.

Concluyen que, basados en el examen del proceso cognitivo, la confiabilidad humana puede mejorarse a partir de nuevas perspectivas, como las interfaces hombre-máquina optimizadas para mejorar la percepción de la información y buscar una capacitación más específica del operador para aumentar la alerta y la conciencia situacional deseada. Debido a lo anterior, se hace importante contar con el soporte metodológico y científico de los autores citados para lograr un propósito plausible en la consecución de un plan de acción con resultados palpables y medibles.

Por último, los autores cierran el estudio haciendo referencia nuevamente al error humano; exponen que errar es humano y está implicado

consistentemente como un factor importante en los incidentes y accidentes de seguridad. Sin embargo, por más omnipresente e importante que sea el error humano, su estudio se ha fragmentado en muchos campos diferentes. De hecho, en muchos de estos campos, el término “error humano” se considera negativo y se prefieren términos como la variabilidad humana o el fracaso humano.

Martinussen y Hunter (2018) publicaron en Estados Unidos la investigación *Aviation psychology and human factors*. Se enfocan en los factores organizacionales y culturales, y en cómo estos influyen en las personas que trabajan en la aviación. La industria de la aviación es un negocio internacional en el que las personas con diferentes antecedentes culturales deben trabajar juntas para asegurarse de que los aviones lleguen a su destino de forma segura y oportuna. Los problemas de comunicación, de acuerdo con los autores, “pueden provocar irritación y desacuerdo e incluso pueden tener graves repercusiones en la seguridad” (Martinussen y Hunter, 2018, p. 251). La comunicación y la coordinación son siempre los procesos más exigentes, especialmente cuando las personas tienen diferentes orígenes culturales, géneros e idiomas.

De esta manera, concluyen afirmando que, por tradición, podría pensarse que la psicología se enfoca más en los humanos, mientras que los factores humanos podrían enfocarse un poco más en el *hardware* y en su interfaz con el operador humano. Pero para contemplar todos los propósitos prácticos, la distinción entre las dos disciplinas es irrelevante, por lo que hacen especial énfasis en alertar al lector sobre la terminología, ya que gran parte de lo que se conoce como psicología de la aviación se publica en libros y revistas etiquetados como “factores humanos”.

Los accidentes aéreos, debido a su naturaleza, sus causas y sus consecuencias, reciben una mayor atención de los medios de comunicación y la población en general, lo cual obliga a que los sistemas de seguridad operacional cada día estén en mejora continua y sean lo suficientemente robustos para evitar eventos que generen la pérdida de vidas y elementos.

La definición anterior es extensa y se esfuerza por cubrir todo el contexto de un accidente aéreo, y a partir de esa definición es que se clasifican cuáles eventos serán objeto de estudio por parte del investigador, con lo que se focaliza el esfuerzo de búsqueda y se cierra el paso a una posible confusión por términos y definiciones.

Para contextualizar la instrucción de vuelo, es necesario abordar la definición de los Centros de Entrenamiento de Aeronáutica Civil (CEAC). De acuerdo con la OACI, son “una organización reglamentada por los requisitos aplicables del LAR 14.2 que provee instrucción, entrenamiento, pruebas y verificaciones bajo contrato u otros arreglos a explotadores de servicios aéreos que están sujetos a los requisitos de este reglamento” (2009, p. 11).

De esta manera, la OACI, como máximo ente de la aviación civil, asigna unas funciones y requisitos a los CEAC, que a grandes rasgos abarcan la necesidad de “establecer, implementar y mantener un programa de instrucción, en tierra y de vuelo, para todos los miembros de la tripulación de vuelo, instructores e inspectores del explotador” (2009, p. 12). Es necesario obtener, de la Unidad de Aviación Especializada de Aeronáutica Civil (UAEAC), la aprobación inicial y final de los programas de instrucción antes de que sean implementados, por lo cual cada CEAC debe asegurarse, mediante la implementación de los programas de instrucción aprobados, de que todos los miembros de la tripulación de vuelo, instructores e inspectores del explotador sean adecuadamente instruidos y entrenados para ejecutar las tareas que les han sido asignadas.

La instrucción de vuelo, de acuerdo con las definiciones anteriores, se enmarca en la actividad académica y operativa en la que un alumno es instruido en las áreas propias del vuelo, en materias académicas, como aprendizaje locomotor y toque de control de la aeronave, mediante un plan de entrenamiento diseñado para abarcar y satisfacer las necesidades del mundo aeronáutico y a la vez cumplir con los estándares mínimos de seguridad operacional de la OACI. Por ende, la instrucción de vuelo en Colombia se realiza en aeronaves con matrícula colombiana; si es extranjera, debe ser explotada por tripulación colombiana, en concordancia con el artículo 83 bis del Convenio de Chicago/44.

De acuerdo con la OACI, la seguridad operacional es “el estado en que el riesgo de lesiones a las personas o daños a los bienes se reduce y se mantiene en un nivel aceptable, o por debajo del mismo, por medio de un proceso continuo de identificación de peligros y gestión de riesgos” (2017, p. 12). Desde aquí, se contempla la seguridad como un sistema con una serie de tareas que incluyen un alto componente de supervisión y de constante revisión de los parámetros de operación. De igual manera, constituye una doctrina de constante cambio que propende a preservar tanto las vidas como el entorno aeronáutico.

También, la seguridad operacional constituye una capacidad excepcional para los explotadores aeronáuticos que les permite sacar la mayor rentabilidad de sus aeronaves, a la vez que las preservan en sentido de los riesgos y las amenazas presentes en la operación, llevándolas al nivel “aceptable”; esto quiere decir que el riesgo es innato y el error puede estar presente, pero para esto se crean sistemas que permiten anticipar y mitigar su impacto.

4. Marco metodológico

4.1. Enfoque de la investigación

La investigación tiene un enfoque cualitativo, toda vez que revisó la información publicada por la Aerocivil sobre los informes finales de investigación de los accidentes de aeronaves en desarrollo de vuelos de instrucción, en los años 1998 a 2016. La bondad de la investigación cualitativa permite estudiar el comportamiento humano y sus consecuencias, así como sus hábitos comunes.

Aunque los reportes de la Aerocivil suman gran cantidad de accidentes entre 1998 y 2016, solo se tuvieron en cuenta los sucesos que involucraron aeronaves de instrucción. Estos reportes fueron analizados y clasificados según el modelo HFACS para comparar las causas comunes y las diferencias que contribuyeron a la ocurrencia de dichos accidentes.

4.2. Alcance de la investigación

Es de tipo descriptivo, señalando que el alcance del trabajo y su investigación abarcaron solo los accidentes de instrucción de vuelo registrados e investigados por la Aerocivil, en el lapso de 1998 al 2016, dando un marco amplio de consulta para posterior clasificación de acuerdo con el modelo HFACS.

Toda la investigación se llevó a cabo teniendo en cuenta los factores de tripulación, ambiente, supervisión y organización asociados a la instrucción de vuelo como desencadenantes de eventos en seguridad operacional, a partir de los cuales se efectuó el plan de acción propuesto en este trabajo.

4.3. Diseño de investigación

El diseño de tipo no experimental contempla la observación de los hechos tal y como sucedieron y su relación con el contexto (Dzul Escamilla, s. f.). Se hizo la obtención y revisión de la literatura concerniente a los accidentes reportados de acuerdo con la información disponible para la muestra seleccionada en el estudio de caso. Adicionalmente, se revisó la literatura referente al HFACS, con el fin de entender la estructura de este marco y cómo comparar los casos de accidentes disponibles.

Después, se hizo una aproximación de HFACS sobre los casos de accidentes revisados, con el fin de identificar causas y/o tendencias comunes o diferencias que permitan establecer influencias organizacionales, supervisión insegura, precondiciones para actos inseguros y actos inseguros, en busca de verificar la aplicabilidad del modelo HFACS en la identificación de fallas activas y latentes que pueden servir de apoyo en el análisis y la prevención de eventos adversos en el futuro.

Al realizar el análisis correspondiente, se dio una aproximación a las causas subyacentes que pueden dar origen a la ocurrencia de accidentes, y se estableció cómo estas pueden servir para implementar acciones dirigidas específicamente a las áreas débiles de acuerdo con la información obtenida, con el fin de reducir las tasas de accidentalidad.

La aproximación corresponde al manual de instrucción basado en datos comprobados y al modelo de investigación y clasificación de factores humanos, por lo cual se tabularon y presentaron de manera estadística los datos con sus causas y factores determinantes en cada evento, y se hizo un análisis de los valores que se arrojan de esta tabulación.

También se contempla, de acuerdo con Hernández-Sampieri *et al.* (2014), el diseño de tipo “fenomenológico”, dado que para la investigación cualitativa es importante conocer las experiencias de los pilotos que hacen parte del pilotaje como una oportunidad para contrastar a pequeña escala la idoneidad del plan propuesto. Así mismo, este tipo de diseño permite recolectar los datos a través de la observación y la entrevista, dos elementos de gran importancia para la presentación del producto luego de efectuar el análisis de la información.

Luego se formularon recomendaciones que fueron piloteadas en simulador de vuelo para verificar su impacto y su pertinencia antes de presentarlas en el resultado de la investigación. Es, en sí, el planteamiento de una

serie de posibles eventos que se debatieron mediante el uso de un equipo que simuló una condición de vuelo de instrucción para obtener una respuesta positiva en la seguridad de la operación en su amplitud.

4.4. Población y muestra

Se evidenció un total de catorce accidentes generados en instrucción de vuelo en las academias de vuelo colombianas en el periodo 1998-2016, y se tomaron en su totalidad los casos que conciernen al objeto de la investigación dentro de los parámetros descritos en el alcance del proyecto.

Para plantear una propuesta con una aproximación al sistema HFACS, los datos se obtuvieron de la información oficial plasmada en cada uno de los accidentes investigados por el GRIAA. Así mismo, se establece que es una muestra no probabilística, es decir, vinculada a las “causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador” (Hernández-Sampieri *et al.*, 2014, p. 243).

4.5. Instrumentos de recolección de datos

Los datos fueron tomados mediante análisis documental en la página web de la Aerocivil, que a través del GRIAA, hace públicas las investigaciones de accidentes en la aviación civil, categorizándolas por años. También, se aplicó una encuesta de percepción dentro de la organización para evaluar y tabular datos que fueron significativos para la formulación de los ítems del plan de acción y la estructuración de un plan de fortalecimiento de la seguridad operacional.

Al aplicar el sistema HFACS en la caracterización, se tomó como apoyo la tabla 1 con los datos significativos de estudio, separando fechas, tipo de aeronave, escuela, lugar del siniestro, condiciones de los hechos, recomendaciones, fatalidades y asignación de la taxonomía según el tipo de accidente. Con esto, se buscó determinar las implicaciones del error humano que pudieron estar involucradas en los accidentes analizados.

Por último, se diseñó un plan de acción que indicó la forma adecuada de prevenir los accidentes aéreos en vuelos de instrucción, basado en el análisis realizado y apoyado en las recomendaciones de la Aerocivil. Luego, al efectuar un contraste entre el plan y las condiciones de vuelo simuladas como se describe en el diseño de investigación, se verificó la idoneidad de

las propuestas planteadas mediante dos aspectos: entrevista estructurada para la reducción de los accidentes en instrucción de vuelo antes y después del vuelo simulado.

Con este propósito, se utilizó una encuesta de percepción que brindó un reflejo de las fortalezas del plan propuesto de acuerdo con los resultados obtenidos. A su vez, se realizó un trabajo de observación directa en el que se corroboró que el plan simulado en el entrenador de vuelo arrojaba resultados en el nivel aceptable de seguridad operacional.

5. Presentación y análisis de resultados

5.1. Resultados y discusión

Para responder a la pregunta problema, se debe clasificar y tabular cada uno de los accidentes con sus recomendaciones establecidas por el GRIAA, como resultado de los accidentes que implicaron la instrucción de vuelo de las academias de vuelo colombianas en el periodo entre 1998 y 2016.

Se tomaron los datos relevantes: números de matrícula, fechas, horas, el lugar, la clasificación del evento según la taxonomía OACI y la clasificación asignada por el investigador mediante HFACS. Por último, se anexan las recomendaciones para verificar qué actividades fueron sugeridas para evitar nuevos eventos del mismo tipo. No se contempló información que brindara un sesgo o características de juicio que alejen la investigación de una propuesta imparcial de un plan de acción como resultado de un análisis de los datos recolectados. En la presente investigación, se resaltaron los eventos de seguridad aérea catalogados como accidentes graves de acuerdo con la Aerocivil, en el lapso ya contemplado en el objeto de estudio. Todos los antecedentes que se citarán corresponden a las investigaciones realizadas por el GRIAA.

En el primer antecedente, se recaba la investigación del accidente ocurrido el 30 de julio de 2008 con la aeronave HK-2092-G, un Cessna 152 explotado por la Academia de Pilotaje de Aviones y Helicópteros. El vuelo se desarrolló en dos partes debido a que el piloto era un alumno que estaba próximo a su primer vuelo solo en la aeronave, lo que implicaba un chequeo previo con un piloto instructor que certificara la idoneidad del alumno en su práctica de vuelo.

El evento ocurrió en el aeródromo de Girardot Santiago Vila (SKGI por su sigla OACI), cerca de las 08:42 hora local. De acuerdo con el piloto alumno, las prácticas de vuelo se realizaban de manera segura y tranquila, hasta que, en uno de los aterrizajes y posterior intento de despegue, el tren de nariz se retrajo de manera inadvertida golpeando el morro contra la pista y haciendo perder el control de la aeronave, que quedó detenida en la zona de seguridad.

Este fue un accidente en el cual se vio involucrada la instrucción en vuelo, aunque las causas no pudieron ser determinadas. Se enfatizó en la poca experiencia del piloto alumno que contaba con quince horas al momento del evento y la hipótesis fue que las cargas a las que está sometido el tren de aterrizaje por factor de instrucción generan desgaste y fatiga, y eso pudo haber producido la retracción del tren. No se tiene evidencia de un aterrizaje fuerte; por lo tanto, se consideró como la hipótesis más sólida el hecho de una fatiga del material, según concluye el GRIAA (2008).

Como segundo antecedente, se presenta el informe final de accidente, ocurrido el 22 de agosto de 2013, donde se investiga el accidente ocurrido a la aeronave de instrucción con matrícula HK-1919-G, durante el ascenso inicial en el municipio de Bello, Antioquia. La empresa explotadora y propietaria de la aeronave es la escuela de aviación Los Halcones S.A. Hay una significativa similitud con el accidente de la aeronave HK-2092-G: predominaron las condiciones visuales, por lo cual se puede dilucidar que los accidentes suceden hasta en las mejores condiciones climáticas.

Este evento permite profundizar en los errores de la instrucción propios de la mala planeación del vuelo. De acuerdo con el GRIAA (2013), el cálculo de ascenso para mantener una gradiente mínima no fue efectuado, y por el contrario, se realizaron maniobras en “S” que permitieron alcanzar altura con menor avance horizontal.

En las conclusiones para la presente investigación, se consideran los eventos producidos por omisión de procedimientos y la ejecución de maniobras no estandarizadas, que desencadenan un accidente durante una misión recurrente de entrenamiento con un piloto instructor con poca experiencia que al momento del accidente sumaba 744:05 horas de vuelo totales.

El GRIAA concluye que la aeronave describió “una trayectoria con un inadecuado régimen de ascenso que fue identificado por el piloto instructor, ya que se percató de que no iba a alcanzar la altura adecuada en la zona y

por eso decidió que se efectuaran virajes en ‘S’ para intentar ganar altura” (2008). Se puede inferir que, aunque la proximidad con el terreno era evidente y con el bajo régimen de ascenso a total potencia, el piloto instructor no interrumpió la maniobra y no optó por otra técnica para ganar altura y sobrepasar la zona con seguridad.

Al contrastar las dos investigaciones anteriores, se cita el informe de accidente HK-1801-G como tercer antecedente, de acuerdo con la investigación efectuada por el GRIAA (2008), sucedido en el municipio de Sopó, Cundinamarca, en vuelo solo de instrucción. Las condiciones meteorológicas eran adversas en las áreas de entrenamiento y el piloto alumno fue autorizado a efectuar un vuelo bajo estas condiciones, lo que desencadenó un evento tipo CFIT o vuelo controlado contra el terreno.

Aunque la academia explotadora de la aeronave Adevia cuenta con catorce años de experiencia en el sector, es de importancia recalcar una vez más la baja alerta situacional por parte de sus directivos e instructores que omitieron observar las normas mínimas de seguridad que un vuelo solo requiere. También, este ejercicio investigativo ayuda a comprender, desde el punto de vista del alumno (sobreviviente con lesiones leves), cuáles aspectos se pueden mejorar para evitar este tipo de situaciones y no convertir al piloto en el eslabón vulnerable de la cadena del error.

El cuarto antecedente corresponde al incidente grave ocurrido el 3 de octubre de 2013 a la aeronave Cessna 172M, matrícula HK-1626G, en el aeropuerto Enrique Olaya Herrera-SKMD de la ciudad de Medellín, Antioquia. El avión de matrícula HK-1626-G de instrucción se volcó aproximadamente a 400 metros de la zona de toma de contacto de la pista 02 del aeropuerto base de instrucción, cerca de la calle de rodaje Hotel (H). Según informó el GRIAA (2013), el avión tuvo un contacto anormal con la pista al momento del aterrizaje y provocó una fractura del tren de nariz.

En el accidente, se vio involucrado el piloto alumno que cursaba su fase solo de maniobras. “El alumno decoló en escuadrilla con otra aeronave de la Escuela donde volaba un instructor quien supervisaría el vuelo del alumno. Las aeronaves se dirigieron hacia la zona de Santafé de Antioquia donde volaron un tiempo aproximado de 35 minutos”, afirmó la escuela de aviación Los Halcones con sede en Medellín, Antioquia. Para el presente capítulo, este tipo de investigación aporta material sobre los errores que se cometen en los vuelos solos, como la falta de planeación, una novedad que se ha dado en algunos de los accidentes mencionados.

El quinto antecedente se sitúa en 2015 y nuevamente el actor principal es alumno en vuelo solo. La empresa explotadora es Aeroandes S.A. y, según el GRIAA (2015), la aeronave era un Piper PA-28-180, de matrícula colombiana HK-1577-G, la cual se programó el 26 de agosto de 2015 a las 09:31 horas locales en el aeródromo Flaminio Suárez Camacho (SKGY). La excursión de pista fue el resultado de un mal procedimiento en la técnica de aterrizaje, en la cual se evidenció una fractura del tren de nariz y provocó daños considerables a la aeronave. El GRIAA determinó que el incidente grave fue producto de la pérdida de control durante la carrera de toque y despegue, y sumado a esto, se dio la falta de continuidad en el entrenamiento más la variedad de instructores con los que se volaron las misiones.

Este evento muestra el punto de vista del proceso organizacional y cómo los programas de entrenamiento deficientes originan una cadena de errores que, aunados a la supervisión insegura, dejan que el accidente cruce la mayoría de barreras del sistema de seguridad operacional que dicta las normas mínimas mundiales de operación segura tanto en vuelos comerciales, como en privados y de instrucción.

La sexta y última investigación relacionada en los antecedentes corresponde al informe final de accidente grave HK-430-G, elaborado por el GRIAA (2013). Se ve involucrada una aeronave de instrucción tipo Cessna 170B en el aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón, en la ciudad de Palmira, Valle del Cauca. En este accidente, la aeronave estaba matriculada para una operación y explotación de tipo privado (Aeroclub del Pacífico), y su dueño registraba como persona natural.

El accidente, de acuerdo con la investigación, ocurrió el 7 de septiembre de 2013 cerca de las 11:06 horas locales. Posterior a entrenamiento de toques y despegues, uno de los pilotos pierde el control de la aeronave mientras estaba en carrera de desaceleración, generando una condición de capoteo de esta, con daños considerables al fuselaje y al motor, que tuvo una parada súbita. Sus ocupantes salieron ilesos y abandonaron la aeronave por sus propios medios.

La investigación concluye que hubo un uso excesivo de los frenos por parte del piloto alumno, quien generó la condición de capoteo y no el viento (según reporte era de 03 nudos). No obstante, la opción de abandonar la pista activa por una calle de rodaje contigua, debido a su poca experiencia, pudo ser tomada por el piloto como la mejor alternativa. Este factor, lejos de ser negativo, demostró ser el eslabón final de la cadena de errores por

cuanto se sumaron su falta de horas (solo diecisiete horas de vuelo) y experiencia de vuelo (240:10 horas totales), junto a condiciones de viento variables y la operación en un aeródromo internacional.

El aporte de esta investigación ayuda a entender de mejor manera los factores de percepción que pueden afectar a un piloto en entrenamiento de pista durante un vuelo solo, y redonda una vez más en la complejidad de los vuelos de un piloto alumno y las medidas que deben abarcar las normas de seguridad para evitar este tipo de situaciones.

La tabla 1 es resultado de la clasificación de acuerdo con los estándares de HFACS y la verificación de las recomendaciones emitidas en cada uno de los eventos, con el fin de inferir de una manera más rápida y eficiente los factores causantes y contribuyentes en dichos casos. Con base en dicha información, se hizo la clasificación y se transcribieron las recomendaciones dadas por la autoridad aeronáutica.

Durante el proceso de clasificación HFACS, se contó con el asesoramiento de los directores de seguridad operacional de la Academia de Aviones y Helicópteros de Colombia S.A.S. y del Instituto Educativo Aeronáutico de Colombia S.A.S., con el propósito de tener un respaldo académico que sustentara la clasificación dentro de los parámetros del DoD HFACS 7.0, que es el documento guía dentro de la investigación para la asignación de los códigos.

Tabla 1. Tabla clasificación HFACS de accidentes de aeronaves en desarrollo de vuelos de instrucción en el periodo 1998-2016

Aeronave	Fecha	Lugar	Clasificación por taxonomía OACI	Clasificación HFACS
HK430	07 de septiembre de 2013, 11:06HL	Aeropuerto Alfonso Bonilla Aragón - Palmira, Valle (SKCL)	LOC-G - Pérdida de control en tierra	Error basado en habilidad/ AE104 sobre control o bajo control de la aeronave o vehículo: volteo dinámico producido por la ejecución de una frenada brusca durante la carrera de desaceleración.
Recomendaciones				
<ul style="list-style-type: none"> · A través de la dirección del Aeroclub, desarrollar un boletín de seguridad operacional entre los socios en lo relacionado con el establecimiento de criterios y normas especiales de los pilotos durante la transición entre equipos. 				
HK1577G	26 de agosto de 2015, 9:31 HL	Aeródromo Flaminio Suárez Camacho, Guaymaral (SKGY).	LOC-G - Pérdida de control en tierra RE - Excursión de pista	Problemas en políticas, procesos/ OPO02. Programas organizacionales/ riesgos de políticas no administrados correctamente. Deficiencias en el programa de entrenamiento debido a la asignación de múltiples instructores en la fase de maniobras. Múltiples criterios de evaluación por parte de los nueve (9) instructores asignados al piloto alumno dificultan la estandarización y la calidad del entrenamiento de vuelo.

Continúa

Aeronave	Fecha	Lugar	Clasificación por taxonomía OACI	Clasificación HFACS
----------	-------	-------	----------------------------------	---------------------

Recomendaciones

- A través de la Dirección de Operaciones, establecer en el Manual General de Operación (MGO) la asignación del mismo instructor a los alumnos durante las fases de presolo y maniobras, con el fin de estandarizar los conocimientos y procedimientos de vuelo.
- A la Dirección de Operaciones, que realice una verificación activa a la planeación de los vuelos, haciendo cumplir cada uno de los trabajos descritos en las fases de presolo, maniobras, según lo establecido en la Directiva de Entrenamiento.
- A la Dirección de Estándares de Vuelo, que diseñe un procedimiento de supervisión al progreso de alumnos inactivos que recobran autonomía, estableciendo los criterios que justifiquen la causalidad de la inactividad de vuelo, así como la forma en que se deben realizar los chequeos de vuelo, sin afectar la calidad del entrenamiento.
- A la Dirección de Seguridad Operacional, que diseñe un plan de capacitación dirigido a instructores y alumnos cuya temática sea el programa de Seguridad Aérea para la Reducción de Accidentalidad en Aproximación y Aterrizaje (Approach and Landing Accident Reduction-ALAR).

HK1626G	03 de octubre de 2013, 14:10HL	Aeropuerto Enrique Olaya Herrera, Medellín (SKMD)	ARC - Contacto anormal con la pista	Error basado en habilidad/AE104 sobre control o bajo control de la aeronave o vehículo. Durante el aterrizaje, piloto alumno efectuó el rompimiento del planeo muy cerca de la pista, lo que indujo a un contacto fuerte contra la superficie debido a la alta rata de aceleración vertical.
----------------	--------------------------------	---	-------------------------------------	--

Recomendaciones

- A través de la Dirección de Entrenamiento, modificar el Volumen II, Capítulo 3, del Programa de Entrenamiento del Manual General de Operaciones, para que se incluya un ítem adicional en el formato de evaluación relacionado con técnicas de recuperación durante aterrizajes con rebotes de manera detallada.

HK1801	27 de marzo de 2008, 7:59HL	Sopo, Cundinamarca	CFIT - Vuelo controlado contra el terreno	Supervisión/SPO01. Tarea dirigida más allá de las capacidades del personal: piloto alumno con baja experiencia ingresa en condiciones IMC durante vuelo visual.
---------------	-----------------------------	--------------------	---	---

Recomendaciones

- A la academia de pilotos de aviación Adevia Ltda., hacer énfasis en los pilotos con el fin de que respeten las reglas de vuelo visual, estableciendo los procedimientos adecuados que han de seguirse en caso de deterioro de las condiciones atmosféricas.
- A la academia de pilotos de aviación Adevia Ltda., supervisar estrictamente la operación de los alumnos en vuelos solos, observando las condiciones atmosféricas de entrenamiento y rutas programadas.

HK1919G	22 de agosto de 2012, 10:20HL	Bello, Antioquia	LOC-1 - Pérdida de control en vuelo	Influencia organizacional/ OCO03 sobre confianza: prisa y exceso de confianza por parte del piloto instructor que originó la pérdida de alerta y conciencia situacional al efectuar el ascenso confiando en que el aparato mantendría su régimen adecuado, ya que no había problemas de potencia, ocasionando el descuido de algunos parámetros de vuelo esenciales y seguros para el cruce montañoso.
----------------	-------------------------------	------------------	-------------------------------------	--

Recomendaciones

- A la escuela Los Halcones: a través de la Dirección de Operaciones, incluir en el MGO procedimientos estandarizados según el rendimiento de las aeronaves que cumplan con las salidas VFR en la Ciudad de Medellín, con el fin de parametrizar alturas seguras antes de cruzar cualquier obstáculo o cruce de montaña. Sea comentado y socializado a todas las tripulaciones y alumnos mediante un taller académico en el que se refuercen los conceptos de aerodinámica y rendimiento.
- A las escuelas de aviación: establecer mecanismos especiales de control en las áreas de Gestión Humana
- de las Escuelas en lo relacionado con los criterios generales para la selección y contratación de pilotos instructores, verificando la idoneidad y las aptitudes para el desempeño como forjadores de aviadores.

Continúa

Aeronave	Fecha	Lugar	Clasificación por taxonomía OACI	Clasificación HFACS
HK2092G	30 de julio de 2008, 8:50 HL	Aeropuerto Santiago Vila, Flandes, Tolima (SKGI)	RE – Salida de pista SCF – Falla o malfuncionamiento del sistema	Influencia organizacional/OR003 falla en sacar del servicio oportunamente equipo inadecuado o desgastado: Salida de pista por el costado debido al colapso del tren de nariz.
Recomendaciones				
<ul style="list-style-type: none"> Recordar la observación detallada y el cumplimiento de las inspecciones de mantenimiento, en especial de las chapas y la estructura de los trenes de aterrizaje de acuerdo con la exposición en los entrenamientos de pista de sus aeronaves. Fomentar en los alumnos e instructores la cultura del reporte oportuno de cualquier situación que pueda afectar a las aeronaves y su operación segura. Recordarles a sus instructores de vuelo la importancia de efectuar seguimiento a los alumnos en primer vuelo solo desde la torre de control. 				
HK2092G HK1328G	15 de septiembre de 2016, 10:22HL	Aeropuerto Santiago Vila, Flandes, Tolima (SKGI)	MAC – Colisión en el aire	Supervisión/S1001 supervisión/Vigilancia de comando inadecuada: fallas en el control y separación del tráfico aéreo.
Recomendaciones				
<ul style="list-style-type: none"> Investigación en estado preliminar. 				
HK2127	21 de enero de 2015, 13:19HL	Aeropuerto José María Córdoba, Rionegro, Antioquia (SKRG)	ARC – Contacto anormal con la pista RE – Excursión de pista	Error basado en habilidad/AE104 sobre control o bajo control de la aeronave o vehículo: falla en la técnica de vuelo por parte del piloto durante la ejecución de la maniobra de toque y despegue.
Recomendaciones				
<ul style="list-style-type: none"> A través de la Gerencia General, fortalecer las políticas organizacionales mediante el desarrollo y la implementación de los procedimientos que especifiquen los requisitos mínimos para la selección y contratación de personal, los cuales deben ser incluidos en el Manual General de Operaciones (MGO) de la empresa. Plazo de ejecución 60 días a partir de la fecha de publicación del informe final en la página web de la entidad. 				
HK2248G	07 de abril de 2013, 13:30 HL	Campo abierto Finca El Hebrón, municipio de Barrancabermeja, Santander	<i>Fuel related</i> (FUEL) – Relativa al combustible	Supervisión/S1001 supervisión/Vigilancia de comando inadecuada: agotamiento del combustible en vuelo, lo cual produjo el apagado del motor y la ejecución de un aterrizaje de emergencia en campo no preparado.
Recomendaciones				
<ul style="list-style-type: none"> A través de la Dirección de Operaciones y la Dirección de Seguridad, establecer mecanismos y procedimientos de control para el desarrollo de los vuelos de crucero, en lo relacionado con el planeamiento y rendimiento de las aeronaves en trayectos que requieran tiempos mayores a 03 horas de vuelo sin retanqueo. A través de la Dirección de Operaciones, establecer un procedimiento más efectivo en el control y supervisión de los manifiestos de peso y balance realizados por alumnos e instructores. 				
HK2399G	12 de septiembre de 2014, 10:17HL	Cerro Niza, municipio de Buga, Valle	CFIT – Vuelo controlado contra el terreno UIMC – Condiciones meteorológicas imprevistas	Supervisión/SP001 Tarea dirigida más allá de las capacidades del personal: pérdida de la conciencia situacional al ingresar inadvertidamente en una zona montañosa siguiendo reglas de vuelo visual en condiciones meteorológicas imprevistas hasta impactar contra el terreno.
Recomendaciones				
<ul style="list-style-type: none"> Entrenar a los pilotos en simulador y/o vuelo haciendo uso de los equipos que tienen las aeronaves para evitar eventos CFIT. Verificar que los procedimientos IFR publicados por la Autoridad Aeronáutica sean conocidos por los pilotos alumnos antes de programarlos para volar en áreas donde no estén familiarizados. Verificar las autorizaciones de los Servicios de Tránsito Aéreo y elevar la alerta situacional tanto vertical como horizontalmente en las áreas montañosas donde exista riesgo CFIT y no volar por debajo de los mínimos de altitudes seguras (AMA). 				

Continúa

Aeronave	Fecha	Lugar	Clasificación por taxonomía OACI	Clasificación HFACS
				<ul style="list-style-type: none"> Al Centro de Instrucción operador de la aeronave, desarrollar una lista de chequeo que permita evaluar las operaciones aéreas y aumentar la atención de los pilotos hacia los eventos CFIT. Se recomienda adaptar la lista de chequeo CFIT de la Fundación de Seguridad de Vuelo (Flight Safety Foundation) con especial énfasis en las secciones 3 y 4. A todas las escuelas de vuelo del país, establecer un mecanismo de control que permita mantener una adecuada continuidad de vuelo en el personal de alumnos, evitando que transcurra mucho tiempo entre vuelos, con el fin de disminuir los riesgos del personal que tiene poca experiencia y criterio operacional.
HK2978G	19 de septiembre de 2014, 13:00 HL	Aeródromo Flaminio Suárez Camacho, Guaymaral (SKGY).	ARC – Contacto anormal con la pista RE – Salida de pista	Error basado en habilidad/AE104 sobre control o bajo control de la aeronave o vehículo: contacto anormal de la aeronave con la pista durante la maniobra de aterrizaje, debido a la ejecución de una aproximación desestabilizada que ocasionó la fractura del tren de nariz, la parada súbita del motor y la posterior salida de pista hacia la zona de seguridad del aeródromo.

Recomendaciones

- A través de la Gerencia y de la Dirección de Escuela y Jefe de Operaciones, hacer una revisión al Manual General de Operaciones, Tomo II, Programas de Entrenamiento, Capítulo 3, Fases Piloto Comercial, 3.1 Piloto Comercial / 3.1.1 Fase Presolo; con el propósito de incluir las técnicas para el recobro de un contacto anormal (en este caso rebote / Bounced Landing) durante la maniobra de aterrizaje.
- A través de la Dirección de Escuela y Jefe de Operaciones, realizar una socialización (dejar registro documentado); hacer énfasis en la importancia de darle estricto cumplimiento a la ejecución de aproximaciones estabilizadas, con el propósito de evitar contactos anormales con pista.
- A todas las escuelas de vuelo del país, a través de la Gerencia y de la Dirección de la Escuela, hacer una revisión al Manual General de Operaciones, Programas de Entrenamiento, en la Fase Piloto Comercial presolo; con el propósito de incluir las técnicas para el recobro de un contacto anormal (Rebote / Bounced Landing), procedimiento de abortaje y procedimiento de motor y al aire durante la maniobra de aterrizaje.

HK5064G HK1912G	12 de abril de 2015, 14:06HL	Serranía de Los Yariguies, Vereda Centro, Hacienda El Cairo, municipio de San Vicente de Chucurí, Santander	CFIT – Vuelo controlado contra el terreno UIMC – Vuelo no planeado en condiciones meteorológicas instrumentales	Supervisión/SPO06 realizar una evaluación formal del riesgo inadecuada: deficiente evaluación y gestión del riesgo por parte del instructor al no prever las condiciones meteorológicas existentes en el sector programado, aun cuando las condiciones meteorológicas al sur se encontraban VMC.
----------------------------	------------------------------	---	--	--

Recomendaciones

- A todas las escuelas de vuelo del país, reforzar y evidenciar por escrito los conceptos relacionados con el CFIT en el personal de alumnos e instructores, y así mismo, en el Manual General de Operaciones incluir estrategias, procedimientos y operaciones de vuelo especiales cuando se ingrese inadvertidamente en condiciones de vuelo instrumentales.
- Para que se incluyan en la Especificación de Operaciones rutas de vuelo VFR detalladas y definidas punto a punto, como rutas de vuelo alternas con sus correspondientes altitudes mínimas y recomendaciones generales. Así mismo, incluir procedimientos detallados, con cursos de acción evidenciados en una lista de chequeo, y en el Manual General de Operaciones incluir las circunstancias para permitir las desviaciones en ruta. Se recomienda que al definir las rutas VFR, se evidencien procedimientos y cursos de acción en listas de chequeo cuando se ingrese inadvertidamente en condiciones meteorológicas instrumentales, que incluya como mínimo cursos de acción inmediatos de: Ajuste actitud de ascenso, Potencia, Velocidad, Remitirse a regulación local.
- Incluir dentro de su programa de instrucción charlas informativas y académicas evidenciadas por escrito, enfocadas al programa CFIT/UIMC, y que sea socializada la presente investigación con el personal administrativo, instructores y alumnos, con el fin de resaltar la importancia del criterio del instructor y del alumno para la toma de decisiones durante encuentros con IMC en vuelos en crucero.

Fuente: *elaboración propia.*

Una vez tabulados los datos, se ponderó por taxonomía OACI (ver figura 1) y se evidenció que las excursiones de pista son el evento con mayor incidencia (4), seguido del contacto anormal con la pista (3); estos dos valores pueden ser asociados como causa y consecuencia. Dicho de otra manera, se pudo establecer que el 100 % de los contactos anormales con la pista desencadenó una salida de ella.

Por otra parte, los eventos de vuelo controlado contra el terreno o CFIT constituyen la segunda mayor causa de accidentalidad en vuelos de instrucción. Es un evento que se gesta desde el interior de las escuelas, con una alta incidencia en el factor organizacional y de supervisión. Se establece una clara relación entre las violaciones de reglas de vuelo visual y los accidentes contra el terreno debido a la desorientación y pérdida de capacidad visual de los pilotos.

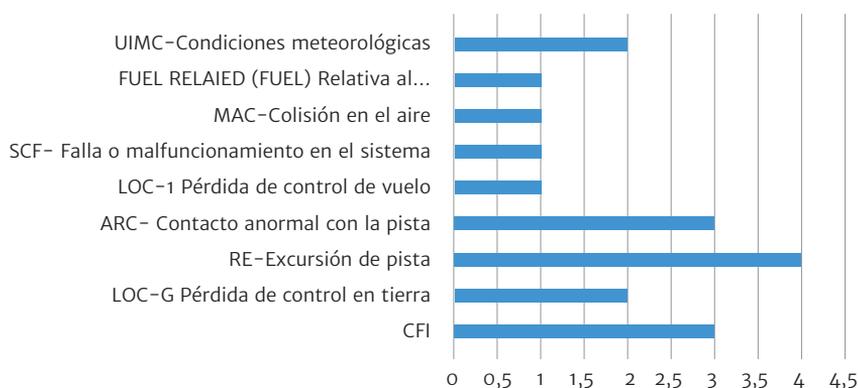


Figura 1. Ponderado por taxonomía OACI

Fuente: elaboración propia.

Así mismo, los datos recolectados establecen que el 57 % de los accidentes contaba con un instructor de vuelo a bordo (figura 2) y ofrecen un claro panorama en el cual se constata que las “zonas de confort y la fatiga” (Administración de Aviación Federal [FAA], 2007, p. 2) dentro de la instrucción de vuelo son las generadoras de accidentes, ya que todos los instructores señalados en las investigaciones poseían vasta experiencia en el campo aeronáutico y de la instrucción. Por eso, lo que se infiere es un descenso en su rendimiento operacional durante algunos tramos o fases del vuelo y esto llevó a los eventos antes mencionados.

Este dato, además, demostró que los alumnos pueden presentar una cierta “sensación de seguridad”, basando sus maniobras en la calificación y el concepto del instructor a bordo, y considera como válidas todas las acciones u omisiones del mismo. De la afirmación anterior, se evidenció que en la mayoría de los accidentes hubo malas prácticas de instrucción e instructores de vuelo que reportaron poco compromiso con sus alumnos, como consecuencia de su alta rotación y la alta presión organizacional para cumplir con los turnos asignados.

Debido a la corta experiencia de los pilotos alumnos y su criterio aún en formación, y en ocasiones poco acertado, reflejado en las escasas horas de vuelo que se reportan en las investigaciones, se genera un vínculo que exige que los pilotos instructores propendan a volar con sus alumnos y a darle la mayor continuidad posible. De esta manera, tienen contacto más directo y observación de la evolución de sus avances como pilotos. Esto también es una de las recomendaciones que quedaron establecidas luego del evento del HK-2399-G.

El 43 % de los accidentes ocurridos en vuelos solos se repartió entre eventos en el aterrizaje por contactos anormales con la pista y por desorientación espacial. Esto se suma a la alta tasa de recomendaciones por este tipo de eventos, y refleja poco compromiso en las escuelas por interiorizar y llevar a cabo acciones de mejora que propendan a reconocer y mitigar este riesgo en la instrucción.

El criterio observado en los relatos de los alumnos que sobrevivieron a los accidentes demuestra que su conciencia situacional es apenas incipiente, y les cuesta mucho más reconocer situaciones anormales o peligrosas a las que no se habían visto expuestos antes.

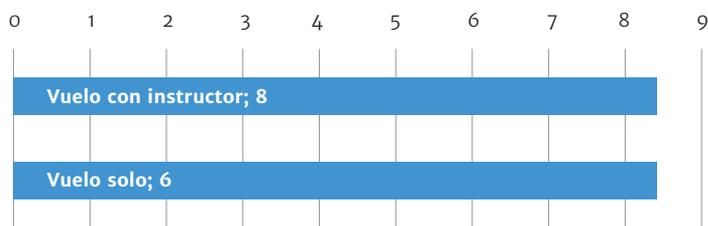


Figura 2. Tripulación en cabina

Fuente: elaboración propia.

El hecho de que se presente una mayor tasa de accidentes con instructor a bordo, en concordancia con las recomendaciones emitidas por la Aerocivil, permite afirmar que en ocasiones se degrada la instrucción y se violan parámetros para tratar de cumplir con los turnos de vuelo. Así se pudo observar en los accidentes que relatan de vuelos controlados contra el terreno. Hay falta de proeficiencia para recobrar un aterrizaje o contacto anormal en la pista por parte de los alumnos de vuelo.

Como lo señala la OACI, “los costos indirectos pueden resultar más caros que los costos directos como resultado de la exposición a los peligros” (2009). Esto es resultado de una mala implementación o supervisión del SMS, lo cual se vio evidenciado durante el transcurrir de las investigaciones, pues un número considerable de gerentes de aviación no adoptó la medida tomada por la OACI que ordenaba a los proveedores de servicios de aviación implementar sistemas formales de gestión de la seguridad operacional.

Lo anterior tiene base en la recomendación de cada una de las investigaciones. Algunas de estas ya hacen parte del programa de administración de la seguridad operacional de la OACI, lo cual refleja redundancia de tareas y un bajo nivel de supervisión de las escuelas, y confirma un bajo control de la Aerocivil hacia las escuelas y su adopción de los programas y las recomendaciones.

Parte de las iniciativas adicionales de gestión de riesgos aumentan los costos y no agregan ningún beneficio adicional para reducir el riesgo y proteger los activos. Esto se observó en el momento de estructurar el plan de acción, en el que se efectuó una revisión minuciosa de cada tarea, función y cargo, ya que, para la aviación civil, el lucro es uno de sus pilares y cada tarea o plan requiere tiempo, personal y recursos; esto se ve reflejado en una reducción de las ganancias libres al final de la operación.

Boeing Commercial Aviation Services redactó el Maintenance Error Decision Aid (MEDA) y afirmó que: “Entre el 20 % y el 30 % de las paradas en vuelo del motor cuestan \$500,000 USD por apagado. El 50 % de las demoras en los vuelos debido a problemas con el motor cuestan \$9,000 USD por hora. El 50 % de las cancelaciones de vuelos debido a problemas en el motor cuestan \$66,000 USD por cancelación” (2013, p. 10). Los costos asociados a la no implementación de un sistema de gestión de la seguridad operacional de la aviación solo se calculan una vez ha sucedido el accidente, por eso la implementación es sustantivamente mucho más económica que la reparación de los daños y la pérdida de vidas.

Los gerentes pueden captar fácilmente estos números concretos, pues saben muy bien cuánto cuesta reemplazar un motor, reemplazar una punta de ala dañada o reparar daños a la propiedad. Incluso, estos valores y datos son de consulta pública en cualquier portal de fabricantes de partes de aviación y no se requieren conocimientos específicos para generar una orden de compra.

Sin embargo, estas cifras “parecen ser fácilmente digeribles debido a cobertura de seguro, la cual es requerida en sus aeronaves y cubre la gran mayoría de los daños generados” (OACI, 2017, p. 7). Ahora bien, se observó en las investigaciones redactadas por el GRIAA que desde el factor gerencial u organizacional, como lo define el HFACS, las escuelas de aviación no poseen o no evidencian un método de identificación de los costos indirectos de un evento. Luego de observar cada informe, se pudo establecer que en su mayoría estos costos adicionales pueden incluir:

- Primas de seguros adicionales o deducibles.
- Pérdida de negocio y reputación dañada.
- Pérdida de ingresos debido a aeronaves fuera de servicio.
- Multas.

A largo plazo, teniendo en cuenta el factor económico, las escuelas y los aeropuertos más rentables serán aquellos que reconozcan los beneficios financieros y los beneficios de adoptar el sistema obligatorio de gestión de la seguridad operacional de la aviación. El fortalecimiento de la cultura de seguridad implica:

- Reducción de la rotación de empleados.
- Menos estrés en el lugar de trabajo.
- Mayor participación de los empleados en la mejora de las operaciones.

Lo anterior se soporta en los documentos de la OACI, así como en el Taller de los Sistemas de Gestión de la Seguridad Operacional (SMS) de la OACI del año 2015, el cual se alinea con el Documento 9859 que trata sobre la “gestión de la seguridad operacional SMS”. Ambos documentos brindan la guía y generan el respaldo de las anteriores afirmaciones, ya que en la revisión de cada investigación se encontraron elementos que permitieron generar juicios de valor.

Tales elementos son la incidencia de la organización en un evento, partiendo desde el punto gerencial y pasando por cada uno de los integrantes de una compañía, en el entendido de que un accidente es un “todo”, en el que se contempla que este se engendra desde el interior de cada compañía cuando no se reconocen de manera oportuna las condiciones latentes que ponen en riesgo la operación.

Con los análisis anteriores, se pudo dar el soporte académico a la caracterización de los accidentes ocurridos en vuelos de instrucción entre 1998 y 2016 en Colombia, con el fin de llevar a cabo la aplicación de la caracterización mediante el sistema HFACS para determinar las implicaciones del error humano que estuvieron involucradas en los accidentes analizados. Con estas dos actividades, se dio cumplimiento a lo propuesto en los objetivos de este capítulo.

Para el tercer objetivo específico, se planteó el diseño de un plan de acción que indique la forma adecuada de prevenir los accidentes aéreos en vuelos de instrucción, con base en el análisis realizado. Se tabularon los datos y se realizó una inferencia de estos, también se aplicó una encuesta de percepción avalada por el Comité de Ética de la EPFAC a un total de veinte personas: cuatro pilotos instructores, cuatro pilotos alumnos, dos gerentes de departamento, cinco técnicos de mantenimiento y cinco secretarías o personal administrativo.

Esta encuesta se aplicó en mayo de 2018 en horario laboral, durante los días semanales ordinarios, de acuerdo con la disponibilidad del personal en las instalaciones de la compañía. La encuesta se diligenció en total privacidad, se dejaba el formato con la secretaria y los encuestados podían recogerla de manera anónima y depositarla en el buzón destinado para preguntas, quejas y reclamos, con lo que se registró su visión sobre la seguridad operacional de la compañía.

Se observó que la seguridad operacional en el interior de la compañía tenía grandes oportunidades de mejora, así como situaciones específicas que generaron alta preocupación a la Dirección. Una vez identificados y graficados, se procedió a estudiar y analizar cada uno de ellos.

De acuerdo con los resultados, se infiere que la política de seguridad no tiene el suficiente impacto para llegar o interesar a todos quienes laboran en la compañía, a partir de lo cual se podría inferir que desde la Gerencia no se motiva a sus empleados para lograr el empoderamiento necesario que genere mayor proactividad hacia la seguridad operacional. Esta situación se

refleja en que el 45 % de las personas encuestadas desconoce la misión y la visión del área donde se desempeñan.

Tabla 2. Resultados entrevista de percepción

	Pregunta	SÍ (%)	NO (%)
1	¿Conoce y aplica la política de seguridad de la compañía?	55	45
2	¿Cumple con los lineamientos de uso de alcohol y drogas psicoactivas?	100	0
3	¿Advierte sobre los factores de riesgo que se puedan presentar asociados a su puesto de trabajo?	40	60
4	¿Hace uso adecuado de los elementos de protección personal?	75	25
5	¿Reporta los actos y condiciones inseguras a través de los IRO?	20	80
6	¿Conoce las responsabilidades establecidas en el plan de respuestas a emergencias?	45	55
7	¿Conoce los límites de operación de su aeronave?	40	0
8	¿Respeta los límites de operación de su aeronave?	40	0
9	¿La operación simulada donde se recrean acciones generadoras de accidentes en instrucción le permite identificar el error y comprender de manera correcta la cadena de sucesos que generan los accidentes?	40	0
10	¿Considera que la instrucción de vuelo (materias académicas) aclaran todas las dudas que podrían presentarse en vuelo respecto a la toma de decisiones?	20	20
11	¿Considera acertado el presente plan de acción como un método para reconocer y reducir los accidentes en la instrucción en vuelo?	40	0
12	¿Evidenció durante el vuelo simulado una mejoría en la seguridad operacional ante situaciones adversas experimentadas basado en las herramientas que brinda el plan de acción propuesto?	40	0
13	¿Evidenció durante el vuelo simulado un mejor desempeño en las decisiones tomadas basado en las recomendaciones de la presente propuesta de plan de acción?	35	5

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, se obtuvo un resultado del 100 % en el conocimiento de las políticas y normas tanto nacionales como internacionales respecto al uso del alcohol y las drogas psicoactivas en el ámbito operacional. Todos los encuestados señalaron reconocer el área de trabajo como un lugar estéril de ese tipo de sustancias y las implicaciones legales y penales del consumo con intención de vuelo o de algún trabajo que involucre contacto u operación con las aeronaves.

Luego, en los puntos 3, 5 y 6 se llegó a resultados muy bajos que se entendieron como líneas de “revisión y atención inmediata”. Esto se debe a que uno de los requisitos de un buen SMS es el reporte voluntario y anónimo, auspiciado desde la Dirección, en el cual el trabajador, sin importar

su cargo en la empresa, se sienta comprometido y libre de reportar, sin temor a represalias. Este resultado generó un alto impacto y sirvió para sensibilizar a los gerentes de Departamento a motivar e incentivar los reportes IRO (Informe de Riesgo Operacional) como una forma de fortalecer la seguridad y los procesos internos.

Respecto a los resultados de los puntos 9, 11 y 12, se logró el impacto deseado al pilotar el plan de prevención, con una aceptación del 100 %; los empleados manifestaron de manera unánime que percibieron una mejora sustancial y positiva respecto a la forma de operar y planificar los turnos. Reconocieron que la monotonía en la operación, como lo expresaron de manera verbal dos pilotos instructores en el *post-briefing*, llevaba a tener una alerta y conciencia situacional baja. De esta forma, se pudo establecer que los planes de mejora en la seguridad tienen alto impacto cuando las personas se sienten a gusto, empoderadas y respetadas en su labor.

Por último, en el punto 13 uno de los pilotos alumnos manifestó que aunque reconocer previamente las situaciones de riesgo a las que se verá inmerso en cada vuelo le puede ayudar a tener un mejor desenvolvimiento, esto no garantiza al 100 % que cuando se presente una situación anormal el desempeño sea también del 100 %, ya que el entrenamiento, a su juicio, “ayuda a mantener unos estándares de desempeño y proeficiencia”, pero esto no es sinónimo de invulnerabilidad; con esto se constata lo que dicta la OACI acerca de que el error es humano, pero es nuestra responsabilidad mitigarlo y llevar los riesgos al nivel aceptable.

5.2. Aplicación de instrumentos

Se aplicó la entrevista de percepción (formato entrevista de percepción), y de acuerdo con el Comité de Ética de la EPFAC, se les informa a los entrevistados que no se penalizará ni se tomarán represalias contra ninguna persona por presentar los problemas de seguridad a la Gerencia.

Las operaciones de vuelo seguras son el compromiso más importante de ADAHCOL S.A.S. Para garantizar este compromiso, es imperativo tener informes sin inhibiciones de todos los incidentes y sucesos que comprometan la seguridad de las operaciones. Por tal razón, se solicitó que cada empleado acepte la responsabilidad de comunicar cualquier información que pueda afectar la integridad de la seguridad operacional, incluso la industrial. Los empleados deben estar seguros de que esta comunicación nunca tendrá

como resultado represalias, lo que permite que ocurra un flujo de información oportuno y sin inhibiciones.

Se les informó a todos los empleados que ADAHCOL S.A.S. no iniciará acciones disciplinarias contra un empleado que divulgue un incidente u ocurrencia que involucre la seguridad del vuelo. Dicha evidencia quedó registrada con soporte en el Comité de Ética emitido por la EPFAC, autorización en la cual no se contemplan situaciones que pongan en riesgo emocional, mental o psicológico al personal que interviene en el estudio. Esta política no puede aplicarse a infracciones penales, internacionales o reglamentarias. Así mismo, se han desarrollado informes de seguridad sobre la seguridad de los vuelos, que están diseñados para proteger la identidad del empleado que proporciona la información. Estos formularios están disponibles en su área de trabajo.

Se les solicitó a todos los empleados que califiquen y den su opinión sobre este programa para ayudar a ADAHCOL S.A.S. a continuar su liderazgo al proporcionar a los clientes y empleados el más alto nivel de seguridad de vuelo.

De esta manera, la caracterización de los accidentes ocurridos en los vuelos de instrucción entre 1998 y 2016 en Colombia permitió recoger información suficiente para ser estudiada y luego analizada bajo el sistema HFACS, y determinar las implicaciones del error humano involucrado en los accidentes analizados. Esto se resume básicamente en el primer y el segundo objetivo específico propuesto en esta investigación.

La caracterización se hizo teniendo en cuenta los datos que brinda el GRIAA a través de las investigaciones realizadas, publicadas en la página web de la Aerocivil, que son una fuente primaria valiosa e imparcial con la cual se estructuraron las tablas para pormenorizar la información y hacer más sencilla su interpretación. Una vez hecho esto, se aplicaron los conceptos de HFACS para determinar los factores humanos implícitos en cada accidente.

Como tercer objetivo, se planteó el diseño de un plan de acción que indique la forma adecuada de prevenir los accidentes aéreos en vuelos de instrucción, con base en el análisis realizado. Para este cometido, se socializaron las recomendaciones emitidas por el GRIAA entre el gerente de la compañía, el gerente de Seguridad Operacional y los pilotos instructores, que por su conocimiento e idoneidad en materia de seguridad operacional pudieron establecer un paralelo que permitiera conocer si tendrían un impacto en la operación y en la seguridad de la compañía.

Para comprender si las recomendaciones emitidas podrían tener un impacto positivo y significativo en la seguridad operacional, se generaron tres grupos de estudio. El primer grupo operó el simulador sin la capacitación previa y el segundo grupo incorporó los conocimientos y las recomendaciones de los manuales de la escuela; el tercer grupo se subdividía en dos alumnos efectuando un vuelo solo, uno de ellos tendría la capacitación de la propuesta del plan de acción y el otro no.

El primer grupo voló una misión de instrucción del periodo “Presolo instructor-alumno”, volando a un área de entrenamiento visual de SKGY con sede en Guaymaral con duración de una hora de vuelo. Simularon que las condiciones atmosféricas se empezaban a deteriorar con rapidez sobre el aeródromo.

Ambos reportes, al ser decodificados, contenían información de que el aeródromo de Guaymaral, para las 14:00 horas, presentaba un viento con intensidad de 5 nudos procedente de los 80 grados, había 8000 m de visibilidad con nubes fragmentadas a 2000 pies de altitud, temperatura de 15 °C y un punto de rocío de 14 °C. Como información adicional, reportaban relámpagos hacia el oeste y un ajuste altimétrico de 30,16 pulgadas de mercurio.

Luego se emitió un reporte tipo SPECI, que es información que se publica cuando las condiciones meteorológicas revisten un cambio importante durante el lapso que debe durar publicado dicho reporte meteorológico de aeródromo (METAR), con lo que se genera una alerta a todos aquellos que van o salen de dicho aeródromo. El reporte ahora contenía unas condiciones totalmente desfavorables para una aproximación visual hacia el aeródromo de Guaymaral, así: 14:30 horas, con viento de intensidad de 5 nudos procedente de los 80 grados, había 8000 m de visibilidad con nubes fragmentadas a 2000 pies de altitud, temperatura de 15 °C y un punto de rocío de 14 °C. Como información adicional reportaban relámpagos hacia el oeste y un ajuste altimétrico de 30,16 pulgadas de mercurio.

Adicional, sus alternos en Girardot (SKGI) y Mariquita (SKQU) siempre permanecieron visuales mientras se realizaban maniobras de coordinación y contacto en el aérea de Guaymaral (SKGY). Se quiso verificar así el criterio de los pilotos y sus alumnos ante el cambio de la situación y si se ingresaba a condiciones IMC sin respetar la operación de reglas de vuelo visuales (*Visual Flight Rules-VFR*), ya que el cruce hacia los alternos exigía el ingreso a condiciones meteorológicas adversas y con baja visibilidad horizontal, sin contacto visual con el terreno.

Durante la misión de vuelo del segundo grupo, se contrastaron los resultados del grupo uno y se comparó el rendimiento de los alumnos en sus vuelos solos, efectuando cambios de condiciones atmosféricas para establecer patrones de conducta en los pilotos y, por último, aplicarles la entrevista de percepción a ambos grupos.

El plan de acción se derivó de los resultados obtenidos en la observación directa de las simulaciones, las reuniones con los gerentes, la aplicación de la encuesta de percepción y con el sustento académico que brinda el Reglamento Aeronáutico de Colombia RAC-219, emitido por la Aerocivil, (Oficina de Transporte Aéreo, Grupo de Normas Aeronáuticas, capítulo 219.105 “Estructura de un SMS”). Este reglamento sirve como base para corroborar si el plan de acción se alinea a las normativas nacionales e internacionales, y también para constituir un referente en la estructuración de cualquier plan que propenda a la administración de los sistemas de seguridad de cualquier explotador aeronáutico.

5.3. Entregables

La propuesta de plan de acción enfocó su esfuerzo en el entrenamiento de áreas que pretenden mejorar la toma de decisiones, el liderazgo y el sano criterio de cada uno de los integrantes que influyen en la operación aérea. Se presenta un documento para el fortalecimiento del sistema de gestión en seguridad operacional SMS, basado en corregir las falencias evidenciadas en el entrenamiento de vuelo y encontradas en los informes de accidentes posteriores a la clasificación en el sistema HFACS.

Como se mencionó, este enfoque se sustentó en los resultados tabulados y analizados mediante HFACS de cada uno de los eventos que involucraron el objeto de estudio. Estos resultados arrojaron que el entrenamiento es el primer contacto del alumno con el vuelo, lo que lo convierte en un factor determinante para su desenvolvimiento futuro. Así mismo en los eventos mencionados se pudo evidenciar que algunos pilotos presentaban deficiencias en la formación, así como las academias con sus instructores.

También, cabe recalcar que el factor organizacional presente en cada accidente recobra mayor interés al apuntar como causa contribuyente las malas políticas y prácticas deficientes que son impartidas a los alumnos, con la Aerocivil como un ente que ejerce poco control en algunas ocasiones.

Las recomendaciones de este plan de acción proponen describir tareas desde el nivel gerencial, abarcando luego a los instructores de vuelo, al personal de mantenimiento y administrativo, y a los alumnos de vuelo, siendo un proceso transversal dentro de toda la organización.

De acuerdo con el plan trabajado y pilotado, se pudo corroborar que el accidente puede ser prevenible desde la gestión si la estandarización y los procedimientos de operación estándar están bien diseñados y son claros para cada uno de los integrantes de la compañía; de esta manera, se logra cierta proactividad en la gestión y administración del error, como uno de los pilares fuertes del SMS.

5.4. Plan de acción para prevenir accidentes aéreos en instrucción de vuelo

El presente plan tiene bases dentro del RAC-219, el cual señala que los sistemas de gestión de riesgo “fueron creados y están descritos para atender situaciones de riesgo que pueden causar daños a la infraestructura, lesiones al personal y una significativa reducción de las habilidades del personal operativo para completar las tareas con seguridad” (Aerocivil, 2017, p. 3). De igual manera, establece que en el caso de un centro de instrucción de tierra, que únicamente provee entrenamiento teórico a sus alumnos, “es virtualmente imposible generar este tipo de riesgos mientras se permanece en un salón de clases” (Aerocivil, 2017, p. 3).

ADAHCOL S.A.S. es una empresa de instrucción de vuelo, tanto teórico en tierra como práctico en vuelo, por lo cual se le hace imprescindible contar con un sistema SMS robusto, en el que la Aerocivil avala todo tipo de comportamiento organizacional dirigido a la “gestión del cambio”. Este concepto es entendido como el proceso formal para “gestionar los cambios dentro de una organización de forma sistemática, a fin de conocer los cambios que pueden tener un impacto en las estrategias de mitigación de peligros y riesgos identificados antes de implementar tales cambios” (Aerocivil, 2020, p. 5).

Esta gestión del cambio buscó complementarse con las mejores prácticas de la industria dentro del proceso de mitigación de riesgos, en el cual quedaron definidas tareas, funciones y competencias de cada trabajador en el interior de la compañía, así como la promoción del sano reporte anónimo.

Lo anterior está respaldado en las secciones 219.125 y 219.130 del RAC-219, en aras de “mantener un proceso para identificar los cambios que puedan afectar al nivel de riesgo de seguridad operacional asociado a sus productos o servicios de aviación, e identificar y manejar los riesgos de seguridad operacional que puedan derivarse de esos cambios” (Aerocivil, 2017, p. 15).

a) Gerente general

Responsabilidad: Es responsable de la asignación de recursos financieros, humanos y técnicos necesarios para lograr el buen funcionamiento del SMS.

Funciones:

- Designar a la persona responsable de la gestión del SMS.
- Administrar el plan de implantación del SMS.
- Dirigir la identificación de los peligros y el análisis y gestión de los riesgos.
- Monitorear que se lleven a cabo las acciones correctivas.
- Proveer reportes periódicos sobre el desempeño de la seguridad.
- Mantener la documentación de seguridad.
- Planificar y organizar el entrenamiento del personal en seguridad operacional, y proveer asesoramiento independiente sobre asuntos de seguridad operacional.
- Establecer y velar por el cumplimiento de la Política de Seguridad Operacional.
- Establecer la Política de Uso de Alcohol y Drogas Psicoactivas.
- Demostrar un excelente comportamiento y actitud con respecto a la seguridad operacional, cumpliendo con las prácticas reglamentarias y las reglas, reconociendo y notificando los peligros, y promoviendo la efectiva presentación de informes de seguridad operacional.
- Participar en las capacitaciones de seguridad e implementar activamente los conocimientos adquiridos en estas.
- Advertir sobre los factores de riesgo que se puedan presentar asociados a su puesto de trabajo.
- Participar y cumplir con los programas de seguridad operacional.
- Reportar actos y condiciones inseguras a través de los IRO.
- Conocer las responsabilidades establecidas en el Plan de Respuesta a Emergencias.

- Tener la responsabilidad final por el SMS de la organización.
- Asistir al Comité de Seguridad Operacional, cuando este lo estime conveniente o por invitación del Grupo Gestor de Seguridad Operacional.

b) Director de Seguridad Operacional

Responsabilidad: Es responsable de proporcionar orientación y dirección para la planificación, la implantación y el funcionamiento del Sistema de Gestión de Seguridad Operacional (SMS) de la organización.

Funciones:

- Elaborar, mantener y promover un SMS eficaz.
- Supervisar el funcionamiento del SMS e informar al director general sobre el funcionamiento y la eficacia del sistema.
- Señalar a la administración superior todo cambio que sea necesario para mantener o mejorar la seguridad operacional.
- Actuar como coordinador en las relaciones con la autoridad de reglamentación de la seguridad operacional.
- Proporcionar asesoramiento especializado y asistencia con respecto a los problemas de seguridad operacional.
- Desarrollar la conciencia y el conocimiento de la gestión de la seguridad operacional en toda la organización.
- Actuar como coordinador de la prevención de problemas de seguridad operacional.
- Administrar el plan de implantación del SMS en nombre del ejecutivo responsable.
- Dirigir la identificación de los peligros y el análisis y gestión de los riesgos.
- Monitorear que se lleven a cabo las acciones correctivas.
- Proveer reportes periódicos sobre el desempeño de la seguridad.
- Mantener la documentación de seguridad.
- Planificar y organizar el entrenamiento del personal en seguridad operacional.
- Proveer asesoramiento independiente sobre asuntos de seguridad operacional.
- Elaborar periódicamente boletines y documentos tendientes a mejorar los niveles de seguridad operacional de la compañía.

- Verificar que tanto los tripulantes como las aeronaves cuenten con todo el material necesario para el cabal cumplimiento de sus funciones y de las normas de seguridad.
- Reportar oportunamente la información concerniente a la seguridad operacional, como también los incidentes o accidentes que se presenten en la operación a la UAEAC.
- Realizar el análisis y facilitar la identificación de peligros y riesgos.
- Monitorear y verificar continuamente la gestión y eficacia del SMS.
- Generar e informar al gerente y al Comité de Seguridad Operacional reportes sobre la gestión y el desarrollo del SMS.
- Asegurar la comunicación con agencias regulatorias y otras de interés de seguridad operacional para realizar análisis y estudios sobre riesgos y elementos importantes a nivel nacional e internacional que afecten la operación.
- Desarrollar, implementar y mantener un Plan de Respuesta a Emergencias.
- Desarrollar y ejecutar auditorias de seguridad operacional.
- El director de Seguridad se apoyará en todas sus funciones con el personal directivo, quienes apoyarán de manera irrestricta su gestión.

c) Inspector técnico AIT

Funciones:

- Conocer y aplicar la Política de Seguridad Operacional.
- Cumplir con los lineamientos de Uso de Alcohol y Drogas Psicoactivas.
- Demostrar un excelente comportamiento y actitud con respecto a la seguridad operacional, cumpliendo con las prácticas reglamentarias y las reglas, reconociendo y notificando los peligros, y promoviendo la efectiva presentación de informes de seguridad operacional.
- Participar en las capacitaciones de seguridad operacional e implementar activamente los conocimientos adquiridos en estas.
- Advertir sobre los factores de riesgo que se puedan presentar asociados a su puesto de trabajo.
- Participar y cumplir con los programas de seguridad operacional.
- Reportar los actos y las condiciones inseguras a través de los IRO.
- Conocer las responsabilidades establecidas en el Plan de Respuesta a Emergencias.

- Participar en la planificación de la estrategia de la compañía que afecte la seguridad operacional.

d) Instructores de vuelo y tierra

Funciones:

- Conocer y aplicar la Política de Seguridad Operacional.
- Cumplir con los lineamientos de Uso de Alcohol y Drogas Psicoactivas.
- Demostrar un excelente comportamiento y actitud con respecto a la seguridad operacional, cumpliendo con las prácticas reglamentarias y las reglas, reconociendo y notificando los peligros, y promoviendo la efectiva presentación de informes de seguridad operacional.
- Participar en las capacitaciones de seguridad operacional e implementar activamente los conocimientos adquiridos en estas.
- Advertir sobre los factores de riesgo que se puedan presentar asociados a su puesto de trabajo.
- Participar y cumplir con los programas de seguridad operacional.
- Hacer uso adecuado de los elementos de protección personal.
- Reportar los actos y las condiciones inseguras a través de los IRO
- Conocer las responsabilidades establecidas en el Plan de Respuesta a Emergencias.
- Participar en la planificación de la estrategia de la compañía que afecte la seguridad operacional.
- Advertir sobre los factores de riesgo que se puedan presentar asociados a su puesto de trabajo.
- Participar y cumplir con los programas de seguridad operacional.
- Reportar los actos y las condiciones inseguras a través de los IRO.
- Conocer las responsabilidades establecidas en el Plan de Respuesta a Emergencias.
- Asistir presencialmente a las capacitaciones y contestar los cuestionarios que se envían a través del correo interno de la compañía y que realiza la Dirección de Seguridad Operacional.

e) Personal administrativo y alumnos

- A través del personal clave del sistema de seguridad operacional, determinar e implementar medios de comunicación con el personal de la

compañía a través de reuniones y notificaciones escritas en la cartelera de seguridad. Además, programar reuniones mensuales en las cuales se permitirá dar informe sobre sucesos, incidentes y reportes de seguridad operacional. Se establecerán formatos para informes de riesgos operacionales IRO, y se debe realizar una retroalimentación de los reportes de los empleados, con el fin de motivar y dar un buen manejo a la gestión de riesgos operacionales.

- Participar activamente en la implementación y el desarrollo del programa de seguridad operacional SMS en este centro de instrucción, de acuerdo con las directrices del RAC-22, el Documento OACI 9858 y el plan de implementación SMS.
- Conocer y aplicar las directrices establecidas en la Política de Seguridad Operacional.
- Cumplir con los lineamientos de Uso de Alcohol y Drogas Psicoactivas.
- Demostrar un excelente comportamiento y actitud con respecto a la seguridad operacional, cumpliendo con las prácticas reglamentarias y las reglas, reconociendo y notificando los peligros, y promoviendo la efectiva presentación de informes de seguridad operacional.
- Participar en las capacitaciones de seguridad operacional e implementar activamente los conocimientos adquiridos en estas.
- Advertir sobre los factores de riesgo que se puedan presentar asociados a su puesto de trabajo.
- Participar y cumplir con los programas de seguridad operacional.
- Conocer las responsabilidades establecidas en el Plan de Respuesta a Emergencias.
- Asistir presencialmente a las capacitaciones y contestar a los cuestionarios que se envían a través del correo interno de la compañía y que realiza la Dirección de Seguridad Operacional.

Una vez asignadas tareas que empoderen a los empleados como agentes de seguridad operacional, se procedió a fortalecer los procesos desde la capacitación e instrucción del personal. Por consiguiente, se presenta un plan de acción académico que fue llevado a práctica durante el pilotaje con resultados sobresalientes en todas las áreas.

Se consolidaron las recomendaciones y lecciones aprendidas a partir de cada una de las actividades realizadas en el simulador, así como la retroalimentación obtenida mediante la encuesta (ver sección 8 más adelante).

Se concentra entonces el esfuerzo en materias puntuales que generen verdadero impacto en el modo de operar y administrar el personal y las aeronaves, entendiendo que las personas son el activo más valioso de la compañía.

6. Estructura plan de acción académico.

Sistema de gestión en seguridad operacional

De acuerdo con lo expresado en los resultados y la discusión, se evidencian fallas desde el nivel organizacional hasta llegar a los operadores de los aviones o pilotos, incluyendo a los pilotos alumnos. Por ende, hubo la necesidad de plantear un programa de estudio académico que reforzara las falencias halladas en el estudio y el análisis de los accidentes trabajados, en miras de lograr una mejor gestión del error por parte de todos los que integran la compañía.

La implementación del presente plan acarrea costos de aulas, instructores y uso de simulador, es decir, hay una relación costo-beneficio, partiendo de la pérdida de vidas y materiales. Entonces, se contempló como mejor curso de acción establecer un piloto de materias en tierra que propendan a anticipar las causas de los eventos que revisten mayor importancia en la aviación como son los accidentes.

Por lo anterior, se creó un plan académico dividido en tres módulos según el RAC-219 “Gestión de Seguridad Operacional”, capítulo B: Implantación de Sistemas de Gestión de Seguridad Operacional (SMS), sección 219.100: Normas Generales, emitido en el año 2016 por la Aeronáutica Civil y actualizado en 2017. Los módulos están dirigidos a toda la organización, con una recurrencia bienal en el caso del personal de nómina en la organización e inicial para el personal temporal, como es el caso de los pilotos alumnos y, en algunos casos, los instructores. Los módulos corresponden a tres categorías: básico, intermedio y de comunicación de asuntos de seguridad operacional.

Una vez establecidos los módulos, se asigna una cantidad de horas, correspondientes a la intensidad requerida para que el personal asimile los conocimientos exigidos en la gestión y administración del error como parte innata de la organización (figura 3).

En el nivel básico y en los siguientes, se discriminan cinco grupos de poblaciones objetivo, con el ánimo de abarcar la mayor parte del personal

← NIVELES	POBLACIÓN OBJETIVO →					Administrativos	Operacionales	Personal técnico	Gerente de Seg. Operacional	Gerente	
	Eventos ↓					Nombre Instructor					
Nivel básico	Módulos ↓	Total horas- Nivel básico	8,5	22	23	23	22				
	Temas o Materias ↓		7,5	4,5	4,5	4,5	4				
	Curso elemental de inducción	Principios básicos de seguridad operacional		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5			
		Filosofía, políticas y normas de seguridad operacional de la organización		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5			
		Organización, funciones y responsabilidad del personal con relación a la seguridad operacional, metas y objetivos, análisis de antecedentes		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5			
		Requisito de evaluación interna continua de eficacia de la seguridad operacional en la organización		1	0,5	0,5	0,5				
		Notificación de accidentes, incidentes y peligros percibidos		1	0,5	0,5	0,5				
		Líneas de comunicación para asuntos de seguridad operacional		1	0,5	0,5	0,5	1			
		Retorno de información y métodos de comunicación para difusión de información de seguridad operacional		1	0,5	0,5	0,5	1			
		Auditorías de la seguridad operacional		1	0,5	0,5	0,5	1			
		Promoción de la seguridad operacional		1	0,5	0,5	0,5				
		Temas o Materias ↓		0	17	17	16,5	17			
	Curso básico de SMS	Inducción al curso SMS			1	1	1	1			
		Conceptos básicos de seguridad			1	1	1	1			
		Introducción a la gestión de la seguridad operacional			1	1	1	1			
		Peligros			2	2	2	2			
		Riesgos			2	2	2	2			
		Reglamentación del SMS			1	1	1	1			
		Introducción al SMS			1	1	1	1			
		Planificación del SMS			2	2	2	2			
Operación del SMS				1	1	1	1				
Aproximación por fase a la implementación del SMS				2	2	2	1,5				
Examen final				3	3	3	3				
Temas o Materias ↓			1	1	2	2	1				
Coordinación Plan de Emergencias	Canales de comunicación		1	1	2	2	1				

Figura 3. Propuesta de plan de acción académico, nivel básico

Fuente: elaboración propia.

involucrado en la operación aérea y de instrucción. Se parte del personal administrativo, seguido por los operacionales, el personal técnico o de mantenimiento, el gerente de Seguridad Operacional y el gerente general. Esta aglomeración corresponde a la clasificación requerida para focalizar el esfuerzo en horas cátedra necesarias para cada uno.

En el curso elemental de inducción, se plantearon nueve materias que enfatizan la teoría básica de la seguridad operacional, sus políticas, sus normas y sus métodos de notificación. Estas asignaturas se rigen mediante lo expuesto en el Concepto de Seguridad Operacional del Documento 9859 de la OACI, la cual es un referente internacional de la aviación y sus conceptos son aplicables tanto por la Aerocivil como por todas las empresas explotadoras aeronáuticas en su magnitud.

El objetivo primordial es brindar los conocimientos teóricos acerca del funcionamiento de este sistema y cómo su aplicación y correcto uso pueden ayudar en la prevención activa y proactiva de los errores en el interior de la organización. Así mismo, lleva a mejorar los estándares y a verificar las fallencias en las que se podría estar incurriendo si se evidencian fallas latentes en la verticalidad del modelo organizacional.

La carga horaria es diferente en cada grupo. De acuerdo con el HFACS, los accidentes se conjugan, en su mayoría, desde el factor organizacional (Amaeshi y Crane, 2006), por lo que se asignó mayor componente horario e intensidad a este personal, con una media de veintidós horas entre el personal gerencial, operativo, técnico y de gerencia de la seguridad operacional. Esto en paralelo con el personal administrativo, que cumple una labor importante, pero solo se remite a situaciones de oficina que, aunque pueden tener incidencia en un evento aéreo, la severidad y el riesgo son más bajos de acuerdo con la OACI (2017).

Después, se inicia el curso básico de SMS, en el que se resaltan materias como riesgos y peligros, reglamentaciones, operaciones y planificación del sistema, al permitir un panorama amplio de capacidades administrativas enfocadas en el mejoramiento continuo y la constante adecuación de los procesos internos. La materia de auditoría conlleva un plus en la actualidad, pues sirve como instrumento de autorregulación y verificación de los estándares de operación de vuelo, instrucción y mantenimiento. Por último, se establece la promoción de la seguridad como fin último de la aplicación del SMS, dando a conocer las políticas de la compañía y alineando al personal dentro del sistema.

Para el nivel intermedio, se usaron como referentes las asignaturas contempladas en el Anexo 19 de la OACI “Gestión de la Seguridad Operacional”, el Reglamento Aeronáutico Latinoamericano LAR-153 “Operación de Aeródromos” y el Documento 9859 de la OACI “Manual de Gestión de la Seguridad Operacional”, siendo este último un compendio de más de 310 páginas con un valioso aporte académico, requerido para un mejor entendimiento del modelo de implementación del SMS y todo su proceso.

El soporte en los textos mencionados permite que se tenga una guía clara de las asignaturas a trabajar, contemplando conceptos y términos requeridos para la correcta aplicación y mejora continua de los sistemas de gestión de la seguridad operacional. Una vez más, se trabajan con los mismos grupos objetivo, con diferente carga horaria según su cargo y área de desempeño.

Módulos ↓		Total horas- Nivel Intermedio	5	18	22	31	26
Temas o materias ↓		0	0	0	16	16	
Nivel Intermedio	Gestión de Riesgos	Inducción a teoría sobre Riesgo				1	1
		Identificación del Riesgo				1	1
		Componentes de un Riesgo				1	1
		Análisis del Riesgo				1	1
		Construcción de tablas de probabilidad y severidad				1	1
		Incertidumbre				1	1
		Métodos de análisis				1	1
		Evaluación del Riesgo				1	1
		Criterios de evaluación y eventos históricos				1	1
		Tratamiento el Riesgo				1	1
		Identificación , evaluación y selección de opciones de mitigación				1	1
		Riesgo residual				1	1
		Aseguramiento y monitoreo de la gestión del Riesgo				1	1
		Medición de desempeño de la gestión				1	1
		Mantenimiento de registros				1	1
		Bases de datos de eventos no tolerables a la Seguridad Operacional				1	1
Temas o materias ↓		5	14	14	7	8	
Estándares de Seguridad Operacional de la Organización	Programa FOD de la Organización	1	2	2	1	1	
	Peligro aviario		2	2	1	1	
	Programa CFIT / ALAR de la Organización		2	2	1	1	
	Programa MACA de la Organización		2	2	1	1	
	Programa ... de la Organización		2	2	2	1	1
	Mejores prácticas de la Industria		2	2	1	1	
	Indicadores de Seguridad Operacional en la Organización		2	2	2	1	2
Temas o materias ↓		0	4	8	8	2	
Reglamentación Nacional Aeronáutica	Partes del RAC		4	8	8	2	

Figura 4. Propuesta de plan de acción académico, nivel intermedio

Fuente: elaboración propia.

El nivel intermedio se denomina así porque dirige todos los esfuerzos a que la operación se encuentre dentro del nivel tolerable (OACI, 2009), en el que se busca que se hayan contemplado todos los riesgos, que se emitan planes apropiados y efectivos que permitan una acción de mitigación, y se corrobora si dicha mitigación no genera otros riesgos adicionales. Por lo tanto, la instrucción como barrera de defensa del SMS debe ser sólida, tanto que permita un ciclo de la información apto, seguro y transparente entre todas las dependencias.

La OACI señala que “no existe la seguridad operacional absoluta en la aviación, no es posible eliminar todos los riesgos de seguridad operacional” (2009, p. 107). Tal afirmación corrobora que este programa de clases e instrucción no será 100 % infalible; no obstante, esta misma organización indica que se pueden tener márgenes muy altos de seguridad para fortalecer pilares de la seguridad como la instrucción, los reglamentos y la tecnología. Dado que los cambios tecnológicos significarían un cambio de aeronave, es más viable en la relación costo-beneficio adaptar las políticas internas y fortalecer el entrenamiento.

El plan intermedio incluye tres grandes módulos: gestión de riesgos, estándares de seguridad operacional de la organización y reglamentación aeronáutica colombiana, como parte de un ciclo de verificación de la teoría internacional versus la nacional, con lo que se adoptan los mejores conceptos y prácticas de cada uno. La inclusión de los programas de prevención de accidentes responde directamente al estudio y la tabulación de los eventos objeto del presente estudio. Se establecen áreas como prevención por accidentes durante la aproximación y aterrizaje o por colisiones en vuelo, siendo conscientes de que es más importante focalizar el entrenamiento de acuerdo con las evidencias y esto permite un beneficio puntual.

Los indicadores de seguridad de la organización sirven para medir y proyectar datos, también para hacer trabajos de *big data* o minería de datos, establecer modelos estadísticos y emitir juicios de valor respecto a situaciones o eventos que potencialmente son alarmas de una falencia interna que podría desencadenar un evento de mayor nivel. Este análisis es de tipo proactivo, en el que la medición constante de la información sirve como punto inicial para considerar si las acciones de mitigación tienen el impacto deseado; en caso contrario, debe detenerse la operación y considerar nuevos cursos de acción.

Módulos ↓	Total horas-Comunicación asuntos de Seguridad						
	3	3	3	3	3		
Comunicación de asuntos de Seguridad Operacional	Temas o materias ↓	1,5	1,5	1,5	1,5	1,50	Gerencia Seg. Opnal.
	Política para reporte de Riesgos	0,5	0,5	0,5	0,5		
	Sistema de peligros y Riesgos	0,5	0,5	0,5	0,5		
	Notificación de incidentes o cualquier suceso que ponga en riesgo la seguridad	0,5	0,5	0,5	0,5		
	Temas o materias ↓	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	Gerencia Seg. Opnal.
	Información de todos los riesgos que	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
	Presentan un potencial de perdidas para la organización	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
	Identificación del peligro y como reciban información sobre las medidas propuestas	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	

POBLACIÓN OBJETO →		Administrativos	Operacionales	Personal Técnico	Gerente de seg. Operacional	Gerente
NIVEL BÁSICO		8,5	22	23	23	22
NIVEL INTERMEDIO		5	29	22	31	26
Comunicación asuntos de Seguridad Operacional		3	3	3	3	3

Figura 5. Comunicación de asuntos de seguridad operacional

Fuente: *elaboración propia.*

6.1. Respuesta a la pregunta problema

¿Cómo estructurar un plan de acción que prevenga accidentes aéreos en instrucción de vuelo desde el HFACS, asociados a la aviación comercial en Colombia como contribución a la seguridad operacional?

La respuesta radica en cómo se estructura desde los cimientos el plan y en qué tan flexible, entendible y accesible es para las personas, a fin de fortalecer el ámbito académico y empoderar a los empleados para generar una cultura de seguridad justa. El éxito de un plan podría establecerse como satisfactorio si permite atacar de manera proactiva al eslabón más débil de la cadena del error que es el factor humano, pero que esto constituye en sí mismo todo un reto de grandes proporciones.

Es posible que la aproximación de los eventos de seguridad operacional mediante el HFACS, en especial los accidentes, tengan un impacto en

ADAHCOL S.A.S., donde se observó que es vital “vender” el SMS a los empleados y obtener su participación en el programa de seguridad aérea. Sin embargo, se pudo observar que es más probable que los empleados de la organización participen si se rediseña el SMS para que sea inclusivo, asegurando que todos los empleados comprendan su rol en la seguridad. También buscar que este sistema sea interactivo, que haya lugar a comentarios consistentes de la gestión de la seguridad operacional; y que sea eficaz para que el programa de seguridad demuestre una mejora continua en esta gestión.

El principal escollo de muchos programas de seguridad operacional de la aviación es la falta de inclusión de aquellas personas que están en el nivel operacional, cuya participación es más crítica. Esto se reflejó incluso en la entrevista de percepción anexa, que mostró desconocimiento de los sistemas de seguridad por parte de la mayoría de alumnos y algunos administrativos. A pesar de que el programa puede ser adoptado por la gerencia, a menudo no es aceptado por los directivos, personal administrativo u otros roles que no consideran que sus tareas influyan en la seguridad.

Se concluye, ante la pregunta problema, que el presente trabajo influye positivamente desde el punto de vista académico, administrativo y operacional para la reducción de la accidentabilidad en la instrucción de vuelo. Se obtuvo un plan de mejora y una revisión introspectiva de la organización, con lo que se fortalecieron los procesos y las capacidades existentes. Es así como podemos afirmar que es posible prevenir accidentes de vuelo en instrucción, revisando la doctrina y presentándola de una manera más amena para el personal que puede aprender y adoptar nuevas mejoras en la operación aérea.

Se aclara que el presente plan es consciente de que no es posible eliminar el error humano y que el hecho de sufrir un accidente aéreo siempre estará presente en la operación y explotación de las aeronaves. Sin embargo, la supervisión, el SMS y las políticas de cultura justa, permiten llevarlas a un nivel mínimo en el que la seguridad sea una consigna permanente que llegue a pasar de ser hábito a ser proceso cultural empresarial.

7. Conclusiones

Durante el transcurso de la presente investigación, se pudieron corroborar los modelos de SMS que poseen las academias involucradas en los accidentes en instrucción de vuelo. Se evidenció poca inclusión del personal dentro

del sistema, lo cual generó falencias en el sistema directivo y contribuyó en la mayoría de los casos como causa de los eventos.

Todos los programas de SMS en las escuelas de aviación comienzan con buenas intenciones. Parten de la implementación del programa de SMS; luego, se busca obtener el compromiso de la alta Dirección, crear los manuales de SMS y los procedimientos de operación estándar, generar la solución de informes de riesgos, y capacitar a los empleados sobre los principios básicos de los sistemas de gestión de seguridad. Se observó que los programas de seguridad fracasan por los siguientes motivos:

- Cuando el gerente de seguridad deja la empresa.
- Si la gestión del nivel medio (administrativos e instructores de vuelo) no admite completamente el programa de seguridad.
- Si el gerente de seguridad a tiempo parcial se ocupa demasiado en otras tareas.
- Si el bombo publicitario del SMS en el país disminuye.

Al verificar a las grandes compañías de aviación, es claro ver que tienen gerentes de seguridad dedicados exclusivamente a este cargo. Por experiencia, las compañías con más de 60-80 empleados deben tener un administrador de seguridad dedicado y de tiempo completo. Es por eso que las empresas más pequeñas a menudo citan la falta de recursos para un gerente de seguridad exclusivo y eso es algo completamente comprensible, como también lo señala la OACI en el Documento 9859 del año 2009.

Se evidenció también, durante el análisis de los accidentes, por ejemplo, que los gerentes de seguridad que trabajan arduamente en desarrollar el registro de riesgos de una compañía lo hicieron de manera independiente de los jefes de departamento (como el director de operaciones de vuelo o el director de mantenimiento). Era altamente posible que estos directores no conocieran qué era un reporte de peligros o riesgos y cómo se formulaban las acciones de mitigación o de control.

Los gerentes de las escuelas de aviación involucrados con accidentes tuvieron un sesgo respecto al SMS, y es de entender que la seguridad operacional cuesta dinero tanto en su implementación como en su conducción, pero es crucial que las compañías aprendan cómo la administración superior afecta las culturas de la seguridad de las escuelas y los comportamientos a veces temerarios de sus pilotos.

Las señales de que la alta gerencia no respalda su programa de seguridad incluyen:

- Retención de presupuestos de los departamentos de seguridad.
- No participar en reuniones de seguridad.
- No dar a los gerentes de seguridad suficiente “tiempo de proyectar sus campañas”.

Los gerentes de las escuelas de aviación, de los aeropuertos y de las operaciones de mantenimiento conforman una cultura que da forma a cómo los empleados piensan y actúan con respecto a su programa de seguridad. Muchos de los empleados más jóvenes verán a los gerentes de más edad como modelos a seguir y moldearán sus comportamientos y actitudes para que coincidan con los de sus líderes.

Por lo anterior, se concluyó que hay tres formas en las que los gerentes pueden dañar intencionalmente (o no) su programa de seguridad:

- Actitud tácita de la administración hacia el programa de SMS de aviación, al referirse a las situaciones cuando se cambia de una posición operativa a una posición gerencial. Es fácil olvidarse de que los empleados generalmente son muy sensibles a las opiniones de la administración y, por lo tanto, adoptarán las preocupaciones de la administración como propias. En otras palabras, se infiere que los empleados son menos sensibles con lo que dice la administración y mucho más con lo que implican las acciones de la administración. Entonces, si la gerencia adopta abiertamente un programa de SMS y habla sobre su apoyo al programa de seguridad, pero no hace un seguimiento regular y abierto en la acción, lo más probable es que los empleados no tomarán en serio el programa de SMS.
- Cultura corporativa centrada en las relaciones, en la que se da prioridad de avance dentro de la compañía con base en quienes son amigos más que en su desempeño. Esto les hace sentir que necesitan enfocarse en estar con las personas adecuadas, y adicional les hace sentir que su trabajo no importa porque el rendimiento no es un factor. Para resumir, el exceso de amistad es una distracción en el programa de seguridad y les demuestra a los empleados que el sistema es menos importante que las relaciones.

- El uso inapropiado de comentarios es un punto sensible, por eso los gerentes de seguridad deben enfocarse en cómo la administración brinda retroalimentación para no dañar su cultura de seguridad. Hay aspectos positivos y también nefastos en los comentarios, ya que dar retroalimentación a los empleados es una forma valiosa de hacerlos sentir responsables, a la vez que perciben que sus esfuerzos para mejorar la seguridad están siendo monitoreados y son recompensados con estímulos positivos.

De igual modo, la retroalimentación también tiene un borde punitivo, ya que se genera una preocupación por los empleados respecto a las políticas y los procedimientos del SMS porque se están contabilizando, y estos valores en realidad reflejarán mal al empleado si ignoró el programa. A pesar de tener esta ventaja punitiva, no deja de ser un gran factor de motivación para acabar con la apatía.

Casi sin excepción, promover la seguridad se queda atrás en la mayoría de los programas de seguridad, porque las autoridades de la aviación civil y los auditores están significativamente más interesados en asegurarse de que las escuelas están cumpliendo con:

- La política de seguridad.
- La gestión de riesgos de seguridad.
- El cumplimiento en “el papel” de las recomendaciones emitidas.

Se evidenció, durante la encuesta de percepción, que los gerentes de seguridad operacional tienen altas cargas de estrés debido a que sus tareas cuentan con breve tiempo, poca mano de obra, presupuesto ajustado, falta de recursos para promover campañas y a veces poco conocimiento para promocionar el SMS.

Es probable que ocurran accidentes de vez en cuando, sin importar cuánto esfuerzo se enfoque en los planes de prevención para evitarlos. Un objetivo más realista sería evitar que el mismo error vuelva a suceder. Algunas veces, los errores tendrán una causa clara, pero más a menudo son una serie de eventos y circunstancias que conducen a un accidente y es necesario hacer una clasificación mediante HFACS para reconocer los factores contribuyentes.

Este estudio concuerda con Boring (2017), al corroborar que través de las diferencias del error humano en terminología y enfoque, el vínculo

común sigue siendo un interés en cómo, por qué y cuándo los humanos toman decisiones incorrectas o cometen acciones incorrectas. El error humano a menudo tiene consecuencias significativas, y han surgido una variedad de enfoques para identificarlo, prevenirlo o mitigarlo.

Si bien un accidente en sí mismo puede ser desafortunado o incluso trágico, los gerentes y los equipos de seguridad pueden analizar los factores contribuyentes para implementar controles que mitiguen el riesgo en el futuro. Estos controles deben documentarse y monitorearse, lo cual proporciona datos de seguridad para el SMS.

En la investigación, surgía la pregunta acerca de la utilidad de la información de accidentes aéreos y se encontró que la causa de un error se puede usar de muchas maneras. En el viejo modelo de seguridad reactiva, la culpa podría ser asignada a una persona en particular, en la mayoría de los casos el piloto, y luego los datos podrían ser olvidados, pero si dichos datos fueron incorporados dentro de un SMS en funcionamiento, serán supremamente útiles para implementar una seguridad proactiva y predictiva. Se contempla el manejo de los datos del accidente y también se pueden usar para alimentar métodos predictivos, ya que, al agregar los datos sobre un evento en particular a una base de datos de SMS, se agrega capacidad a la precisión de los modelos predictivos que pueden mejorar aún más la seguridad.

Al construir una biblioteca de lecciones aprendidas, los datos de accidentes también se pueden usar como recurso de capacitación, de manera tal que la intención de la Aerocivil de evitar la ocurrencia o la repetición de los eventos tiene un impacto mayor en las academias de vuelo, con lo que se genera un perfil de instrucción que evidencie la adopción de las recomendaciones y el estudio minucioso de dichos eventos.

La gestión del riesgo depende de los gerentes y los empleados. A partir de lo observado en las investigaciones, en el mundo de la aviación un pequeño error podría significar la diferencia entre la vida y la muerte, pues los pilotos instructores no solo son responsables de su propia seguridad, sino también de la de todos los que están a bordo. En muchos sentidos, las escuelas siempre deben propender al aseguramiento de la seguridad, a la mejora continua y a la promoción de seguridad.

Durante el transcurrir del estudio, se dio pie a preguntas de los empleados, en las que se evidenció que la cultura de seguridad propia también tenía falencias, no muy lejos de aquellas academias objeto de estudio. Entre los cuestionamientos que hicieron extensivos de manera verbal durante la

aplicación de la entrevista de percepción encontramos los siguientes: ¿qué tan pronto necesito informar mi problema?, ¿me meteré en problemas si informo esto?, ¿me culparán si informo esto?, ¿debo informar esto o es opcional? Estas preguntas pueden responderse en múltiples políticas de seguridad y estandarizaciones para lograr que los empleados se apeguen a las pautas que han establecido, que en última instancia indica una buena cultura de seguridad.

Si un programa de seguridad no es efectivo, creará más daño y desconfianza que lo que existía antes. Al proporcionar contenido didáctico de una manera que refuerce las vías de aprendizaje en el cerebro, se logrará que el alumno tome la iniciativa en el aprendizaje y se crearán hábitos de seguridad permanentes.

El presupuesto de seguridad es un buen índice de la dedicación del ejecutivo responsable a sus programas. De esta manera, se pudo inferir que los programas de seguridad con buenos presupuestos tienen una gran ventaja sobre los que no lo hacen, en términos de recursos disponibles y de los que podrían adquirirse y la capacidad del SMS para sobrevivir a la rotación del gerente de seguridad. Insistimos en este estudio en que la seguridad operacional y sus programas tienen un alto impacto en los márgenes de ganancias de las escuelas de aviación; sin embargo, el costo será más alto cuando se producen accidentes.

Por último, se observó que una de las barreras para obtener la plena participación en los programas de seguridad de la compañía es la falta de participación interactiva en los programas de capacitación. Ya que se ha demostrado que las campañas e iniciativas en seguridad han significado pasar varias horas de “insensibilidad mental” frente a un computador viendo diapositivas o videos sobre seguridad, generalmente sin ningún tipo de impacto en las personas.

Las presentes conclusiones fueron debatidas y analizadas con los gerentes de seguridad de la Academia de Aviones y Helicópteros de Colombia S.A.S. y del Instituto Educativo Aeronáutico de Colombia S.A.S., con una re-orientación positiva para el fortalecimiento de los programas en tierra. Se estableció que como ambas entidades trabajan bajo el modelo de ánimo de lucro, se deben maximizar los recursos del programa SMS y enfocarlos directamente a lograr la implementación de la “cultura de seguridad”, ya que esta será la que permita que todo el engranaje de personal y operacional pueda desempeñarse con altos estándares de calidad y compromiso.

No obstante, al finalizar el presente estudio, se pudo observar que los productos de seguridad aérea no garantizarán el éxito, ni siquiera los beneficios económicos a los integrantes, ni el cumplimiento normativo. Es por eso que todos los proveedores de servicios de aviación reconocen que existe riesgo en la operación debido a la naturaleza de la industria y al entorno en constante cambio. No existen productos o procesos de seguridad de la aviación que lo aislen por completo de los riesgos.

8. Recomendaciones

Posterior al análisis y la clasificación desde el Sistema de Clasificación de Factores Humanos, se presenta la propuesta de plan de acción, piloteada y aceptada por dos pilotos de la Academia de Aviones y Helicópteros de Colombia S.A.S. Se generan recomendaciones tituladas “Funciones y Responsabilidades de Seguridad Operacional”, desglosando dichas recomendaciones en cada uno de los niveles de la empresa.

Las auditorías e inspecciones periódicas demuestran una disposición hacia una gestión de riesgos proactiva. Les ayudan a las escuelas de aviación a descubrir posibles inquietudes, mucho antes de que esas preocupaciones conduzcan a la ocurrencia de peligros. Por eso, es recomendable efectuar las inspecciones de manera consistente, como mínimo una vez al mes, ya que esto permite que todos los hallazgos se corrijan rápidamente.

La comunicación y los canales son vitales para mantener el SMS funcionando correctamente, así se logra aumentar la conciencia de seguridad, mantener un diálogo abierto entre la gerencia de seguridad operacional y los empleados, y demuestra el compromiso de la gerencia con la seguridad. Por tal motivo, es recomendable que se mantenga una reunión de seguridad corta cada semana, que no necesariamente debe ser de carácter formal, en la que se disponga de un lugar para interactuar directamente con los empleados que están facilitando el SMS.

Las escuelas de aviación deben portar carteles de seguridad en los puestos de trabajo cerca del entorno operativo, pues son una manera fácil de promover el programa de seguridad de manera continua sin ningún trabajo adicional. La creación de carteles de seguridad solo requiere una inversión inicial de tiempo y recursos, pero su impacto es mayor a corto y a mediano plazo, ya que perduran en el tiempo e impactan visualmente a los empleados.

Para que los programas proactivos de las escuelas funcionen de manera fluida, se debe contemplar siempre que después de que un empleado informe alguna novedad que ponga en riesgo la operación, se debe realizar una gestión de esta información y finalizar con una retroalimentación al informante. De tal forma, será más fácil reconocer a los empleados que informan, tener una comunicación constante, reforzar una política de informes no punitiva y demostrar que los informes de los empleados realmente importan. También, es crucial recalcar que los medios anónimos de información son igualmente válidos y no punitivos.

Enviar un boletín informativo de seguridad cada mes es una herramienta infrautilizada en la promoción de la seguridad, pues se desconoce su facilidad de creación y además no toman mucho tiempo. Deben funcionar como una especie de “reunión de seguridad digital”, como una forma de maximizar los recursos y no entorpecer las labores de las dependencias. Así mismo, es una capacidad poco trabajada para llegar a cada uno de los trabajadores de manera individual.

Las lecciones aprendidas son piezas importantes de información de seguridad que deben ser comunicadas a los empleados a medida que el SMS las descubre, ya que son simplemente preocupaciones o conductas de seguridad que deben ser tomadas como oportunidades de mejora para toda la organización. En el momento de su ocurrencia dieron resultados positivos o negativos, de los cuales se debe aprender de manera inmediata.

Durante la verificación y clasificación de los accidentes en instrucción de vuelo, se detallan los organigramas de las escuelas de vuelo y se recomienda que para minimizar el riesgo lo máximo posible, o eliminar la posibilidad de un accidente o incidente, se deben analizar los peligros existentes, identificar los riesgos asociados con estos peligros y promulgar medidas de control para mitigar el riesgo.

Se propone crear una biblioteca de lecciones aprendidas, diferente a la base de datos que se utiliza para el análisis predictivo, ya que se enfocará en los logros de los gerentes y equipos de seguridad, por lo que debe ser concebida como una colección de informes posteriores a la acción. Así mismo, crear una biblioteca de lecciones aprendidas refleja un compromiso demostrado con la seguridad, una estructurada documentación de SMS para auditores y auditorías, y una transparencia que fomenta la cultura de la seguridad, y oportunidades de entrenamiento y superación personal.

9. Referencias

- Airbus. (2016). *A statistical analysis of commercial aviation accidents 1958–2016*. <https://cdn.aviation-safety.net/airlinesafety/industry/reports/Airbus-Commercial-Aviation-Accidents-1958-2016.pdf>
- Amaeshi, K. M. y Crane, A. (2006). Stakeholder engagement: A mechanism for sustainable aviation. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 13(5), 245–260. <https://doi.org/10.1002/csr.108>
- Boring, R. L. (2017). *Advances in human error, reliability, resilience, and performance*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-60645-3>
- Dzul Escamilla, M. (s. f.). *Diseño no experimental*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Day, R. W. (2016). *Design error: A human factors approach*. CRC Press.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill.
- Kymal, C., Gruska, G. y Reid, R. D. (2015). *Integrated management systems: QMS, EMS, OHSMS, FSMS*. American Society for Quality.
- Martinussen, M. y Hunter, D. (2018). *Aviation psychology and human factors* (2.ª ed.). Taylor & Francis Group.
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2009). *Manual de gestión de la seguridad operacional*. OACI. http://www.anac.gov.ar/anac/web/uploads/ssp-sms/doc_oaci_9859.pdf
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2017). *Plan global para la seguridad operacional de la aviación 2020–2022* (Doc. 10004). OACI. https://www.icao.int/publications/Documents/10004_es.pdf
- Roth, W.-M. (2017). *Cognition, assessment and debriefing in aviation*. CRC Press.
- Sánchez, L. (2010). *El estudio de factor humano en accidentes de aviación. Derivado de “El factor humano en accidentes de aviación en Colombia: una aproximación sociocultural”* [tesis doctoral, Universidad Nacional de Colombia].
- Sharman, R. y Lane, T. (2016). *Aviation turbulence. Processes, detection, prediction*. Springer.
- Wiegmann, D. A. y Shappell, S. A. (2001). Human error perspectives in aviation. *The International Journal of Aviation Psychology*, 11(4), 341–357. https://doi.org/10.1207/S15327108IJAP1104_2
- Wiggins, M. (2011). Vigilance decrement during a simulated general aviation flight. *Applied Cognitive Psychology*, 25(2), 229–235. <https://doi.org/10.1002/acp.1668>

Capítulo 3

Procedimiento de uso del *electronic flight bag* (EFB) a partir de la determinación de cargas de trabajo en cabina para pilotos de helicóptero

Mag. Joan Chrisitan Rodríguez

CÓMO CITAR

Rodríguez Sossa, J. C. (2022). Procedimiento de uso del electronic flight bag (EFB) a partir de la determinación de cargas de trabajo en cabina para pilotos de helicóptero. En *Seguridad operacional y su aproximación en el contexto colombiano* (pp. 119-191). Escuela de Postgrados de la FAC.

Colección Ciencia y Poder Aéreo N.º 19

**SEGURIDAD OPERACIONAL
Y SU APROXIMACIÓN EN
EL CONTEXTO COLOMBIANO**

Una disciplina en constante evolución

CAPÍTULO 3.

Procedimiento de uso del *electronic flight bag* (EFB) a partir de la determinación de cargas de trabajo en cabina para pilotos de helicóptero

ISBN 978-958-53696-3-4

E-ISBN 978-958-53696-4-1

<https://doi.org/10.18667/9789585369634.03>

Bogotá, Colombia

Octubre, 2022

Introducción

En los últimos tiempos, la humanidad ha tenido algunos avances científicos y tecnológicos que han permitido a los diseñadores de aeronaves propiciar la mejora continua en capacidades y características como autonomía, velocidad, capacidad de carga, facilidad de maniobra y altos niveles de seguridad. En este contexto, el flujo de la documentación utilizada por cada aeronave juega un papel muy importante y no es ajeno a la evolución de los procesos internos de las organizaciones aeronáuticas (Leal, 2013). El uso de materiales que tienen información precisa se ha incrementado, como los mapas, las cartas de navegación y las listas de chequeo, entre otros elementos que han establecido funciones cognitivas importantes desarrolladas por los pilotos y soportadas en prácticas de uso de papel (Nomura *et al.*, 2007), y ese uso se ha venido ajustando de acuerdo con los desarrollos tecnológicos adoptados por la aviación.

La búsqueda de dispositivos que ayuden a las tareas que ejecutan los pilotos durante sus vuelos, la interacción del hombre con la máquina, y la eficiencia y el ahorro de dinero generaron la oportunidad de incluir en las cabinas de vuelo a nivel mundial un maletín de vuelo electrónico o *electronic flight bag* (EFB). El uso de este maletín fue aprobado por la Administración Federal de Aviación (Federal Aviation Administration-FAA) en el año 2002, mediante la circular de advertencia AC 120-76 (FAA, 2002), y de igual manera por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), de la cual Colombia es miembro desde 1947.

En el ámbito militar aeronáutico en Colombia, el Ministerio de Transporte emitió el Decreto 2937 de 2010, en el que designó a la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) como autoridad aeronáutica de aviación de Estado, y estableció que esta debería: “Adoptar métodos y procedimientos encaminados a estandarizar las actividades aeronáuticas desarrolladas por la aviación de Estado”. Esto motivó a que la FAC buscara mantener el liderazgo regional, aprobando la integración de avances tecnológicos como la implementación de los EFB en todas las cabinas de las aeronaves tripuladas, lo cual permitía visualizar información necesaria durante el vuelo. En este contexto, se generó el interés por investigar científicamente el rendimiento de los pilotos de helicóptero, en especial los del Escuadrón 411 del Comando Aéreo de Combate N.º 4, teniendo en cuenta las cargas de trabajo que dicha

implementación ocasionaba en las diferentes fases críticas del vuelo, con el propósito de crear un nuevo procedimiento que pudiese servir de manera estandarizada en su desempeño operacional.

En el interior de la FAC, el Comando Aéreo de Combate N.º 4 es la base aérea que tiene el mayor número de aeronaves y tripulaciones (pilotos) de ala rotatoria (helicópteros), donde se encuentra el Escuadrón 411, conformado por pilotos de la aeronave Bell 212. Dicha aeronave cuenta con una tripulación de cabina múltiple que tiene los cargos de piloto volando y piloto monitoreando, y desde el año 2015 emplean de manera empírica en sus cabinas el EFB que les permite visualizar información aeronáutica necesaria para todo el vuelo. No obstante, llevan a bordo en forma física la información que contienen los manuales utilizados durante el vuelo como medio de respaldo a la información contenida en el EFB.

Para determinar las cargas de trabajo, se emplea la metodología NASA-TLX desarrollada por la NASA (National Aeronautics and Space Administration), que es utilizada a nivel mundial. Dicha metodología tiene un objeto multidimensional, válido y fiable, que permite medir los índices de cargas de trabajo en seis subescalas subjetivas (Rubio *et al.*, 2004). Se aplicó a oficiales pilotos de helicóptero con experiencia de vuelo, pertenecientes al Escuadrón de Vuelo 411 en Melgar, Tolima, que participaron de manera voluntaria en misiones de entrenamiento en un simulador que incorpora características completas de rendimiento, sonido, movimiento y controles de vuelo de un helicóptero real. La medición se enfocó directamente en las fases de vuelo de despegue, aterrizaje y aproximación, que han sido las fases con mayor cantidad de accidentes aéreos, de acuerdo con los análisis presentados por Boeing Commercial Airplanes (2016).

El presente capítulo expone el desarrollo y los resultados de una investigación realizada con el fin de proponer un procedimiento de uso del EFB a partir de la determinación de los niveles de cargas de trabajo en cabina para los pilotos de helicóptero Bell 212 del CACOM-4. Así mismo, plantea cómo se pudo llegar a elaborar la propuesta de un procedimiento para el uso del EFB, con base en el análisis del comportamiento arrojado por dicha metodología, con el objetivo de generar conocimientos científicos en la FAC. De igual manera, se busca crear procedimientos que de manera unificada permitan un mejor desempeño en cabina de los pilotos de helicóptero, con el propósito de contribuir a la prevención de futuros accidentes o incidentes aéreos.

1. Planteamiento del problema

En el siguiente apartado, se presenta la descripción de la problemática evidenciada que se pretende abordar.

1.1. Descripción del problema

En el ambiente de cabina tradicional, la información necesaria para la toma de decisiones durante el vuelo se encontraba en documentos y dispositivos de manera física, como calculadoras y computadores de vuelo. Así se tenía información a la mano para realizar cálculos de rendimiento, determinar rutas de vuelo crucero, visualizar cartas de aproximación, conocer los aeródromos y los requerimientos de meteorología y combustible, etc. (Fitzsimmons, 2002). Sin embargo, los avances en la aviación generados a partir de los años ochenta, la automatización en cabina y la aparición de nuevas herramientas tecnológicas, dieron inicio a la creación del maletín electrónico de vuelo, el cual puede compararse con elementos como computadores, *smartphones* y *tablets*, entre otros, siendo estos últimos los más típicos en aviación (Winter *et al.*, 2018). Dichas herramientas permitieron compilar toda la información contenida en papel y elementos físicos dentro de un solo dispositivo digital que puede ser llevado a vuelo, lo cual ayuda en la reducción de peso y volumen en espacios reducidos como las cabinas de vuelo.

Con base en los diversos avances realizados en *hardware* a nivel mundial, la compañía Airbus, fabricante de aeronaves, ha sido pionera en el desarrollo de una tecnología que permite la consulta digital a bordo de la aeronave por medio del dispositivo EFB, generado a partir del proyecto Less Paper Cockpit (LPC), que inició a mediados de la década de 1990. Este dispositivo impulsó una nueva era de la documentación electrónica en la cabina de mando de las aeronaves. Primero, se intentaba la disminución del uso de papel a bordo y después se buscaba su completa eliminación (Leal, 2013). En relación con lo anterior, la FAC desarrolló un *software* para reemplazar y compilar los documentos físicos del manual de rutas de vuelo en formato digital, y mediante la Jefatura de Operaciones Aéreas ordenó en 2015 el uso de EFB tipo mini-iPad en las aeronaves tripuladas de la FAC, con el objetivo de que sus tripulaciones usaran en vuelo la aplicación de navegación desarrollada (FAC, 2015).

Dicha implementación generó avances y desarrollos a nivel operativo, así como implicaciones para desempeñar las actividades propias del vuelo con el apoyo del EFB, enmarcadas bajo normas y parámetros escritos en los reglamentos, boletines técnicos, circulares de aviso y publicaciones. La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI, 2015a) planteó la necesidad de crear procedimientos para mitigar o controlar las cargas de trabajo adicionales generadas por el uso del EFB (OACI, 2015b); y la Administración Federal de Aviación (FAA, por sus siglas en inglés), bajo la circular de aviso 120-76A, planteó que si el EFB es usado durante fases de vuelo con altas cargas de trabajo, como el despegue y el aterrizaje, su uso debe ser evaluado a través de simulaciones o en operaciones de vuelo en la aeronave bajo las mismas condiciones (Ye *et al.*, 2003).

Al hacer una revisión literaria de la documentación fijada por el organismo regulador de autoridad aeronáutica de aviación de Estado en Colombia durante los años 2017 y 2018, se pudo evidenciar que en los manuales de empleo del helicóptero Bell 212 del Comando Aéreo de Combate N.º 4 está reglamentado el uso del maletín de vuelo electrónico a bordo de la aeronave, y también en el manual de tácticas técnicas y procedimientos de uso, que adiciona información sobre la ubicación de los dispositivos EFB en cabina. Sin embargo, no se tiene establecido ningún procedimiento de uso, y tampoco cómo emplearlo durante las fases críticas de vuelo o qué se debe realizar durante los procedimientos anormales del mismo dispositivo (FAC, 2018).

1.2. Formulación del problema

¿Qué procedimiento debe proponerse para utilizar el maletín de vuelo electrónico en los pilotos de helicóptero Bell 212 del CACOM-4, que les permita tener una guía de uso con base en la determinación y el análisis del nivel de cargas de trabajo durante las fases de despegue, aproximación y aterrizaje?

1.3. Objetivos

Objetivo general: Proponer un procedimiento para el uso del maletín de vuelo electrónico, a partir de la determinación de los niveles de cargas de trabajo en cabina utilizando la aplicación de navegación desarrollada por la FAC durante una misión de entrenamiento en simulador de vuelo en condiciones

diurnas en las fases de despegue, aproximación y aterrizaje en los pilotos de helicóptero Bell 212 del CACOM-4.

Objetivos específicos:

- Determinar los niveles de carga de trabajo mental, físico, temporal, de rendimiento, esfuerzo y frustración mediante el NASA-TLX en el simulador de vuelo de HUEY II para las tripulaciones de Bell 212, en una misión de entrenamiento durante las fases de despegue, aproximación y aterrizaje, estableciendo las diferencias basales entre piloto y copiloto.
- Analizar las diferencias en la carga de trabajo mental, físico, temporal, de rendimiento, esfuerzo y frustración utilizando el NASA-TLX en el simulador de vuelo de HUEY II para las tripulaciones de Bell 212, en una misión de entrenamiento durante las fases de despegue, aproximación y aterrizaje, identificando las diferencias con y sin el uso del EFB.
- Diseñar un procedimiento para el uso del maletín de vuelo electrónico en las fases de despegue, aproximación y aterrizaje, con el objeto de ser aplicado en los pilotos del helicóptero Bell 212 de CACOM-4.

2. Justificación

En la literatura científica, no se conoce el impacto sobre las cargas de trabajo en tripulación de helicópteros de vuelo con el uso de los dispositivos EFB durante las operaciones de vuelo, por ser un elemento que empezó su desarrollo durante la década de 1990. Es necesario determinar si el uso de esta herramienta implementada en la cabina de la tripulación del helicóptero Bell 212 modifica las cargas de trabajo de los pilotos, ya que la aeronave fue diseñada y construida con una ubicación específica de los instrumentos y equipos a bordo de manera estándar para distribuir correctamente los esfuerzos físicos y mentales que demanda el piloto durante las diferentes fases del vuelo. De esta manera, al agregar un dispositivo de visualización de información para la navegación externa, se hace necesario determinar las cargas de trabajo en la tripulación.

Con base en la recomendación que da la OACI, de la cual Colombia es miembro desde 1947, por medio del Documento 10020 (Manual de los Maletines de Vuelo Electrónicos-EFB), en el cual se pide realizar la creación de procedimientos operativos para mitigar y/o controlar la carga adicional de trabajo generada por el uso del maletín de vuelo electrónico por parte de los

entes operadores de los dispositivos (OACI, 2015b), este capítulo busca tres cosas: aportar de manera teórica y con fundamento científico; dar las razones que soportan la elaboración de un procedimiento enfocado directamente a mejorar el rendimiento y la interacción del ser humano con el EFB; así como ayudar a la mitigación en el elemento más susceptible para poder formar parte de un evento no deseado en la aviación. Aunque la cuantificación exacta del error humano es dudosa, las técnicas actuales para el cálculo de los errores humanos aceptan la elección de algún modelo de comportamiento humano, en razón a que es más complicado analizar el comportamiento del humano que el de la máquina, lo que da pie a diversas líneas que permiten la investigación multidisciplinar, especialmente en sectores como la aviación donde los posibles factores a raíz de los errores humanos generan un mayor impacto (Ruiz-Moreno y Trujillo, 2012).

El Comando Aéreo de Combate N.º 4 es la unidad aérea que más horas vuela en la FAC gracias a la Escuela de Helicópteros para las Fuerzas Armadas, encargada de establecer, controlar y estandarizar todos los procedimientos y modos de empleo de los helicópteros tipo mediano de todo el país, en los que se incluye la aeronave Bell 212. La FAC, como autoridad aeronáutica, ha velado por mantener el nivel de seguridad de la organización con los estándares más altos y por continuar con ello, según lo refiere Marchitto (2011).

Existe la necesidad de suplir la carencia de procedimientos para el uso del EFB por parte de las tripulaciones del Escuadrón 411, en este caso, a partir de la medición científica de las cargas de trabajo con la metodología de medición de cargas de trabajo NASA-TLX, mundialmente aceptada y desarrollada por la NASA, cuya “validez, comprobada en numerosas investigaciones, y su facilidad de uso hacen que sea el instrumento de evaluación de carga mental más ampliamente utilizado” (Díaz *et al.*, 2010, p. 192). Se busca la posibilidad de crear un procedimiento que les permita a las directivas de la institución militar adoptar e implementar en un futuro el resultado de la presente investigación.

Al investigar en el Escuadrón de Vuelo 411 el modo de empleo de los elementos externos incluidos en los helicópteros Bell 212 para el desarrollo de las operaciones aéreas, se busca el cumplimiento de las normas establecidas por la aviación a nivel nacional e internacional, y los requerimientos de estandarización de la aviación de Estado. También, se genera un impacto directo en la prevención de accidentes enfocados concisamente desde

el nivel de la influencia por parte de la organización, según lo establecido por el modelo HFACS 7.0. Esto es debido a que los pilotos son los directos responsables de llevar a vuelo y controlar la aeronave. Son, a su vez, el eslabón más frágil dentro de la cadena del error y, así mismo, son el recurso que más se debe cuidar para evitar la ocurrencia de errores.

En el HFACS, desarrollado por el Departamento de Defensa de Estados Unidos, mediante el modelo HFACS 7.0 (que también es aplicado por la FAC), se describe, entre las influencias organizacionales, el “nivel superior de administración, nivel de comando”, que incluye entre los problemas en las políticas y procesos, con el código OP0001, a la “carga de trabajo” (Airforce Safety Center, 1990). La carga de trabajo puede afectar de manera directa la ocurrencia de eventos individuales o de la unidad, y crea un acto inseguro y/o con consecuencias fatales para la aviación, como lo es un accidente. Con base en lo anterior, este capítulo ofrece una ventaja a nivel de estructura gerencial para la FAC al estar enfocado en los procesos organizacionales, con lo que se generan planteamientos que sirven de manera teórica y práctica para la aplicación de nuevos procedimientos aeronáuticos que podrían ser replicados en diferentes escuadrones en el interior de la FAC.

Por último, con la creación de esta propuesta se contribuye a la mejora de las condiciones de trabajo de los pilotos del Escuadrón 411 y a la optimización del uso en cabina del maletín de vuelo electrónico. A su vez, se obtienen recomendaciones para mejorar el uso y desarrollo de los dispositivos electrónicos en cabina para favorecer el desempeño operativo de las tripulaciones

3. Hipótesis

Hipótesis nula: Las cargas de trabajo que manejan los pilotos del escuadrón de helicópteros Bell 212 del CACOM-4 usando dispositivos electrónicos EFB a bordo de las aeronaves en las fases críticas de despegue, aproximación y aterrizaje son las mismas que se manejaban sin la implementación de dichos elementos.

Hipótesis alterna: Las cargas de trabajo que manejan los pilotos del escuadrón de helicópteros Bell 212 del CACOM-4 usando dispositivos electrónicos EFB a bordo de las aeronaves en las fases críticas de despegue, aproximación y aterrizaje aumentan o disminuyen con la implementación de dichos elementos.

4. Marco referencial

A continuación, se presentan los antecedentes de los estudios relacionados con el problema objeto de estudio, referentes a la medición de cargas de trabajo, así como diversas investigaciones en las que se ha utilizado el método NASA-TLX, aplicado a diversos campos científicos, incluido el aeronáutico.

4.1 Antecedentes

Al revisar investigaciones previas, se encuentra el estudio “Evaluación subjetiva de la carga mental: una comparación de los métodos Subjective Workload Assessment Technique (SWAT), NASA-Task Load Index (TLX) con el perfil de Workload Profile (WP) de cargas de trabajo”, desarrollado en la Universidad Complutense de Madrid, España, con el objetivo de evaluar propiedades psicométricas (impertinencia, sensibilidad, diagnóstico y validez) de los métodos. Convocaron a 36 estudiantes de Psicología con entre 20 y 24 años de edad, dos tercios eran mujeres y el resto hombres; doce evaluaron TLX, doce evaluaron el cuestionario SWAT y el resto evaluó el WP (Rubio *et al.*, 2004).

Este estudio arrojó que, según el objetivo de la evaluación de la carga de trabajo mental, se puede aplicar un método. Si se busca comparar la carga mental entre dos o más tareas con diferentes objetivos y niveles de dificultad, se debe elegir el método WP. Si el objetivo es el de predecir el rendimiento de un individuo en una tarea, es recomendable utilizar el método NASA-TLX. Si se requiere un análisis de las demandas cognitivas o la demanda de los recursos en una tarea en particular, se debe escoger el WP o, como alternativa, el método SWAT, de acuerdo con lo manifestado por Rubio *et al.* (2004).

Dicha investigación aporta a la evaluación y validación en las diferentes metodologías que se pueden aplicar para la determinación de las cargas de trabajo durante la ejecución de una tarea asignada, lo cual genera bases necesarias para establecer la metodología en este trabajo de investigación, ya que el uso del NASA-TLX permite determinar el rendimiento en el ser humano durante una tarea asignada.

Entre las investigaciones científicas está el estudio titulado “Administración de cargas de trabajo en aeronaves jets de un solo piloto”, realizado

en 2013 por la NASA, la San Jose State University y la FAA. Por medio de un estudio exploratorio en la administración de cargas de trabajo y en la automatización en pilotos de aeronaves jet de un solo piloto, se buscaba responder las siguientes preguntas:

¿Cómo gestionan los pilotos individuales en jets pequeños su carga de trabajo? ¿Dónde tienen problemas para gestionar su carga de trabajo y cuáles podrían ser las razones del por qué? ¿Cómo la automatización y las tecnologías avanzadas ayudan u obstaculizan a los pilotos de jet individuales en su gestión de la carga de trabajo, y cuáles pueden ser algunas de las razones? (Burian *et al.*, 2013, p. 2).

Para responder estos interrogantes, reunieron a ocho pilotos propietarios y operadores de Mustang y seis pilotos de Citation Mustang, por medio del simulador de Cessna Citation Mustang. Se apoyaron en la instalación de un sistema no invasivo rastreador del ojo y utilizaron la metodología NASA-TLX, además de observaciones del investigador, entrevistas posteriores al vuelo y tres cuestionarios que evaluaron la preferencia del ajuste de cabina, demografía y automatización, experiencias y percepciones.

El estudio concluyó que “la tecnología está destinada a hacer que nuestras vidas sean más fáciles y productivas. Sin embargo, siempre hay consecuencias imprevistas relacionadas con la introducción y el uso de la tecnología” (Burian *et al.*, 2013, p. 147). Esto quiere decir que, a pesar de tener nuevos desarrollos, se pueden presentar eventos inesperados, de no saber administrarlos de la manera adecuada. Así mismo, se demostró que la “presencia de tecnología avanzada en la cabina no necesariamente elimina las altas cargas de trabajo durante el vuelo. Estos eventos pueden causar una carga cognitiva en los pilotos hasta el punto que ocurran errores en navegación y control del vuelo” (Burian *et al.*, 2013, p. 147).

El mencionado estudio presenta como aporte el desarrollo de la metodología NASA-TLX y el diseño observacional que emplearon los investigadores durante la evaluación en el simulador de vuelo, el cual es aplicable para determinar y evaluar las cargas de trabajo en el ambiente aeronáutico, ajustable para la presente investigación.

Sobre el aspecto de cargas de trabajo, se han desarrollado estudios como “Usando NASA-TLX para evaluar el diseño de la cubierta de vuelo en la fase de diseño de la aeronave”, desarrollado por la School of Aeronautics and

Astronautics Shanghai Jiao Tong University, y publicado en 2011, con el objetivo de implementar los factores humanos usando el método NASA-TLX para mejorar la seguridad de la aeronave en la fase de diseño (Yiyuan *et al.*, 2011).

Durante la investigación, se contó con ocho participantes en quienes se evaluaron 72 elementos de diseño sobre factores humanos de aviación por medio del formato NASA-TLX. Luego se les instruyó acerca de cada uno de los ítems que evalúa el NASA-TLX, especialmente en los parámetros de rendimiento y frustración. Después de una semana, los mismos participantes volvieron a diligenciar el formato con los 72 elementos, correlacionando todos los parámetros de la metodología NASA-TLX, para finalmente analizar y comparar los dos resultados de los datos, y se concluyó una mejora luego de la capacitación en las fases de diseño mediante el uso de NASA-TLX. Durante el desarrollo, los investigadores modificaron los valores de la escala de medida de 0 a 100 por valores de 0 a 20 para los valores más bajos y altos de cargas de trabajo, respectivamente (Yiyuan *et al.*, 2011).

Esta investigación aportó dos elementos importantes para el desarrollo del presente proyecto: el primero es la importancia de comparar los elementos de la metodología NASA-TLX para obtener datos más precisos sobre las cargas de trabajo, independientemente del tipo de tarea asignada; y el segundo es la posibilidad de modificar los valores de la escala de medida de 0 a 100. Sin embargo, en la presente investigación no se realizaron modificaciones de la escala de valores originales de la metodología.

Por otro lado, la Embry-Riddle Aeronautical University realizó la investigación “Uso de tabletas como maletines de vuelo electrónicos en aviación general” en 2014, con el propósito de determinar si los pilotos están o no están utilizando el dispositivo EFB, en qué fases lo usan y cómo lo operan, así como la utilidad y sensibilidad de este, por medio de métodos mixtos (Ohme, 2014).

Con una muestra por conveniencia de 1700 miembros de un grupo de Piper Cherokee apoyados en una encuesta en línea, se obtuvo la validación de 33 encuestas con 36 respuestas completas, y se concluyó que el piloto tiene un aumento en la habilidad de incrementar el rango y la carga paga, el ahorro de dinero y la conciencia situacional en vuelo. De igual manera, generó nuevos contenidos de interés para la FAA, el Departamento de Transporte, la Junta Nacional de Seguridad del Transporte (National Transportation Safety on Board-NTSB), los fabricantes de *software*, las empresas de *hardware* y los pilotos de la aviación general (Ohme, 2014).

Dicha investigación, desarrollada en 2014, permite determinar el tipo de metodología mixta que ayudó a complementar la forma de resolver la pregunta problema, con el fin de generar recomendaciones para que sean manifestadas a los desarrolladores de la aplicación de navegación elaborada por la FAC. El estudio también recomienda hacer preguntas más refinadas para el análisis estadístico, lo cual aplica a la recolección de datos inicial de la información demográfica de los participantes en la presente investigación.

Por otra parte, la investigación titulada “El comparativo de beneficio y riesgo de los EFB y documentos de papel en la cabina”, desarrollada con el apoyo de California State University, San Jose State Foundation y NASA Ames Research Center, en septiembre de 2017, comparó reportes del sistema de seguridad, variables categóricas de factores humanos, función en uso, reglamento operativo y las fases de vuelo (Sweet *et al.*, 2017). Dicha investigación obtuvo 404 reportes (184 de papel basado en maletín de vuelo-PFB y 220 de maletín de vuelo electrónico-EFB). Se tomaron las variables de factores humanos basados en la interacción humana con la herramienta que incluye cartas de navegación, listas de chequeo, manuales, tablas de rendimiento y aplicaciones no especificadas que contribuían a un eventual resultado.

Por medio del test Chi-cuadrado, se obtuvieron relaciones significativas entre el uso de los PFB vs. EFB y los factores humanos. Así se demostró que los factores más frecuentes con el EFB son: inhabilidad del acceso a la información, distracción, cargas de trabajo, insuficiente entrenamiento y dificultad para usar el zoom en las pantallas multitáctiles (Sweet *et al.*, 2017). Esta investigación muestra que determinar las cargas de trabajo en vuelo implica que se deben usar todas las herramientas disponibles durante la ejecución de una tarea. Esto es aplicable al momento de realizar el vuelo en el simulador, utilizando el iPad con todas las aplicaciones instaladas disponibles para llegar a tener una evaluación más precisa generada por parte de la observación y las recomendaciones a que haya lugar para los pilotos objeto de este estudio.

Por otra parte, en el escenario aeronáutico mundial se aplicó la investigación “Comparación del rendimiento del piloto entre las cartas de aproximación por instrumentos en papel y electrónicas”, desarrollada por Winter *et al.* (2018) en la Embry-Riddle Aeronautical University, en Estados Unidos. Veintinueve participantes de la Large Aviation University fueron

parte de una muestra por conveniencia; tenían un certificado de vuelo por instrumentos, edad promedio de 21 años, un promedio en horas de vuelo al momento de la investigación de 326,97, 15,36 horas en vuelo por instrumentos y 73,42 horas combinadas entre vuelo simulado por instrumentos y reales de experiencia de vuelo. Entre las condiciones de la investigación se planteó la necesidad de que volaran la aeronave tal cual como en la vida real, excluyendo el uso del piloto automático, sin realizar comunicaciones con la torre de control y sin tener la preocupación de cambios en espacios aéreos.

El vuelo fue efectuado entre el Daytona Beach International Airport (KDAB) y el Memphis International Airport (KMEM), ruta en la que los pilotos debieron efectuar el vuelo haciendo uso del EFB equipado con la aplicación ForeFlight, la cual les permitiría responder una serie de preguntas planteadas por los investigadores durante la fase del vuelo crucero y también apoyar su navegación. La serie de treinta preguntas estaba escrita en un cuadernillo. Estas preguntas relacionaban el tipo de procedimiento, los nombres de las cartas, las alturas, las velocidades, los cursos de aproximación, la altura del FAF, la longitud de pista, las frecuencias de localizador, el procedimiento de aproximación frustrada, etc.

La información suministrada era la necesaria para realizar un vuelo, pero estaba enfocada en diversos aeródromos, cercanos y lejanos a la ruta seleccionada para el vuelo. A los pilotos se les imponía un tiempo de trescientos segundos para resolver cada interrogante. Durante la pregunta 15, se les informó a los pilotos que el dispositivo EFB presentaba una falla y debían cambiar a usar las cartas de navegación en papel para poder continuar resolviendo las preguntas faltantes del cuestionario durante el vuelo. Luego, los participantes diligenciaron un cuestionario de información demográfica y completaron el NASA-TLX en los dos casos (las cartas en medio digital y en papel), con el fin de determinar las cargas de trabajo obtenidas durante cada uno de los dos escenarios durante la resolución del cuestionario (Winter *et al.*, 2018).

La investigación de Winter *et al.* (2018) aportó un desarrollo lógico y secuencial para crear la ruta de vuelo planteada. La importancia de crear una misión lo más cercana a la realidad que enfrentan los pilotos, así como el uso de las aplicaciones que permiten la visualización de las cartas de vuelo propias de la aviación, también ayudó a definir la necesidad de incluir en la planificación de vuelo (tanto de manera física como en el EFB) la misma ruta con el aeródromo de salida, el de destino y los alternos. Lo

anterior es porque siempre que se tiene la intención de efectuar un vuelo por instrumentos en helicópteros de la FAC se realiza una planificación previa incluyendo dicha información, lo cual hace que la investigación se acerque lo más posible a las condiciones de vuelo reales, que es lo que plantea el investigador (Winter *et al.*, 2018).

Los antecedentes encontrados establecen que el desarrollo de la presente investigación tiene una metodología clara, probada y validada en diversos campos de la ciencia, incluido el aeronáutico, así como la importancia de efectuar una descripción observacional con comparación entre los valores de la metodología NASA-TLX, a fin de obtener valores más precisos al momento de la determinación de las cargas de trabajo durante el desarrollo de las tareas asignadas a evaluar.

4.2. Bases legales

Según los hallazgos obtenidos en la revisión bibliográfica, a partir de la década de 1990 se empezaron a generar los primeros EFB, lo que trazó la necesidad de creación de normas, procedimientos y circulares de aviso, así como de directrices para el uso de los dispositivos electrónicos, tema planteado en la presente investigación.

Solo hasta junio de 2002, la FAA del Departamento de Transporte de Estados Unidos expidió la circular de aviso AC 120-76 (Directrices para la certificación, aeronavegabilidad y aprobación operativa del maletín de vuelo electrónico), reemplazada posteriormente en marzo de 2003 por la circular de aviso AC 120-76A, que fue cancelada por la circular AC 120-76B en junio de 2012, que fue cancelada por la circular AC 120-76C en mayo de 2014, la cual sufrió su última cancelación por la circular AC 120-76D en octubre de 2017. La circular AC 120-76D, desde su primera versión, aprobó el uso del EFB portable o instalado en cabina durante las fases críticas de vuelo de taxeo, despegue, aproximación y aterrizaje, y durante todas las operaciones de vuelo por debajo de los 10 000 pies de altura, exceptuando los vuelos cruceros (FAA, 2002). Así mismo, la FAA, por medio de su circular de aviso AC 120-76, recomienda evaluar las cargas de trabajo de los pilotos con el uso del EFB en un simulador de vuelo o en una aeronave durante las fases de vuelo comunes para las aeronaves.

En Colombia, por medio de la Unidad de Aviación Especializada Aeronáutica Civil (UAEAC), se reglamentó el uso de los EFB en cabina de acuerdo

con el Boletín Técnico 5100-069-001 desde el año 2014, siguiendo los mismos lineamientos que da la FAA en su circular AC 120-76C (UAEAC, 2014). De igual manera, el Gobierno colombiano, mediante la Directiva Presidencial N.º 04, busca la “eficiencia administrativa y lineamientos de la política cero papel en la administración pública” (Presidencia de la República de Colombia, 2012), directriz de obligatorio cumplimiento por parte de la FAC, adoptada en consecuencia para las cabinas de vuelo.

La FAC, por medio del Decreto 2937 de 2010 del Ministerio de Transporte, es designada como autoridad aeronáutica de aviación de Estado, de forma tal que es la encargada de velar por el cumplimiento y la creación de las normas que buscan regular la aeronavegabilidad dentro del territorio colombiano por parte de las aeronaves operadas en la Fuerza Pública (Ministerio de Transporte, 2010). Así mismo, por medio de la Directiva Permanente 011 de 2018, regula la “implementación de maletín de vuelo electrónico (EFB) institucional a bordo de aeronaves tripuladas FAC” (FAC, 2018), y busca que se emitan criterios de manera operacional y técnica para poder llevar en cabina los EFB y fortalecer la seguridad operacional de la institución, por medio del uso eficiente de la información necesaria durante la planificación y la operación del vuelo.

4.3. Bases teóricas

En las bases teóricas, se presentan los conceptos necesarios para cumplir con el desarrollo del objetivo general de la presente investigación. Se ahonda en las cargas de trabajo, en la metodología utilizada (NASA-TLX), en el desarrollo de la aplicación de navegación de la FAC, en las aplicaciones establecidas por la FAC usadas para la evaluación de las cargas de trabajo y en las diferentes fases que se presentan durante un vuelo. Adicionalmente, se busca definir cómo se encuentra integrada una tripulación de vuelo del equipo Bell 212, así como la manera en que la FAC tiene establecida la creación de procedimientos para todos los niveles de la organización.

4.3.1. Cargas de trabajo y metodologías

La carga mental medida por el rendimiento requiere la ejecución de una tarea bajo la exigencia de un estado de atención (capacidad de “estar alerta”) y de concentración (capacidad de estar pendiente de una actividad durante

un periodo de tiempo). La carga de trabajo se define como la cantidad de esfuerzo deliberado que se debe realizar para obtener un resultado concreto (Águila, 2010).

Las actividades que realiza el ser humano son limitadas en su capacidad para procesar y responder información, sobre todo en el desarrollo de tareas con algún grado de dificultad. Si el procesamiento y la demanda de respuesta de una tarea excede la capacidad que el ser humano tiene disponible, se produce un aumento en los recursos y la magnitud del rendimiento que se tiene para realizar la actividad. Como resultado, se tiene una sobrecarga que ocasionará la disminución en el rendimiento de la labor: “El término carga de trabajo se refiere a esa porción de la capacidad limitada que el operador tiene para realizar una tarea en particular. El objetivo de la medición de la carga de trabajo es especificar la cantidad gastada” (Boff *et al.*, 1986, p. 42). En conclusión, tener el conocimiento de manera cuantificada sobre la carga de trabajo puede contribuir a la prevención de una existente o potencial sobrecarga, lo que asegura un adecuado rendimiento por parte del ser humano.

El desarrollo tecnológico en los últimos años ha mostrado una evidente disminución de las actividades físicas que es inherente a la realización de tareas, y ha creado de forma paralela un incremento considerable de las cargas mentales durante el desarrollo de estas; en lo que el trabajador se convierte en el responsable de velar por su correcto funcionamiento. Esto demanda que el ser humano debe estar atento a varias señales, a interpretar información, a conocer significados y a accionar los mandos correspondientes para realizar la labor, lo que supone que el trabajo requiere más manejo de información (Artazcoz, 2001).

De forma general, se ha admitido que la carga mental tiene campos multidimensionales determinados por diferentes aspectos (Boff *et al.*, 1986). La carga subjetiva se debe a tres grandes áreas: la primera es la presión de tiempo en la tarea, que incluye tiempo disponible y tiempo necesario; la segunda está conformada por variables de cantidad de recursos en el procesamiento de la tarea; y la tercera tiene aspectos de naturaleza emocional como la fatiga, la frustración y el estrés (Díaz *et al.*, 2010). Ante la dificultad para medir fácilmente las cargas mentales, los avances tecnológicos, el incremento en la automatización, el tamaño de la información que se maneja y la sencillez de la comunicación han venido transformando tareas rutinarias en procesos complejos y abstractos. Como lo afirman Ferrer

y Dalmau: “Hemos llegado a situaciones en las que tenemos cada vez más dificultad para discernir en qué punto, entre el inicio y el resultado de una tarea, se desarrolla nuestra labor” (2004, p. 522).

Las técnicas de evaluación de cargas de trabajo más útiles son la metodología NASA-TLX, la Subjective Workload Assessment Technique (SWAT) y la técnica Cooper-Harper. De las anteriores, en la aviación la más utilizada es NASA-TLX, la cual ha permitido conseguir objetivos dentro de la investigación de factores humanos. Sin embargo, este método solo ha sido usado en condiciones durante o después del vuelo (Yiyuan *et al.*, 2011), por lo cual se precisa que los sujetos evalúen las cargas en escalas combinadas y generen una valoración de manera global, de forma tal que, al aplicar la evaluación, se reduzca el riesgo de incurrir en elementos intrusivos.

Así las cosas, el método NASA-TLX ha recibido evaluaciones de fiabilidad en su proceso y resultado, lo que determina un valor de importancia para su empleo en la presente investigación. Es de resaltar que en 2018 la División de Integración de Sistemas Humanos de la NASA desarrolló la aplicación NASA-TLX para sistemas operativos iOS (Gore y Kim, 2018), que integra en formato digital toda la información y las evaluaciones de los cuestionarios de papel para ser usados de manera interactiva en dispositivos iPad, iPhone o iPod Touch.

4.3.2. Metodología NASA Task Load Index

Según lo refiere Hart (2006), el índice de carga de tarea es una herramienta que permite la valoración subjetiva de cargas de trabajo, que fue desarrollada por la NASA inicialmente como un cuestionario a llenar en lápiz y papel para evaluar el rendimiento de las personas enfocado directamente en los factores humanos. Este índice ha sido aplicado en estudios en campos como la aviación, entre los cuales se tienen los ambientes de cabina en vuelos reales y simulados (López *et al.*, 2010). El procedimiento se soporta en el supuesto de que la carga mental se constituye hipotéticamente en el costo que tiene que desarrollar el ser humano para tratar de obtener un nivel específico de rendimiento (López *et al.*, 2010), de forma que el nivel de carga de trabajo se genera entre la interacción de los requerimientos de una tarea, las condiciones en las que se realiza, las habilidades, las condiciones y las percepciones (Hart y Staveland, 1988).

La carga de trabajo que se evalúa está dividida en seis subescalas agrupadas en tres bloques, con las siguientes características: el primer bloque

representa el procesamiento que demanda la tarea (con las subescalas de demanda mental, demanda física y demanda temporal); el segundo representa propiedades de la conducta (con las subescalas de rendimiento y esfuerzo); el tercero representa cualidades individuales más emocionales (con la subescala de nivel de frustración) (López *et al.*, 2010). Dichas escalas están presentadas de forma digital, como parte de un cuestionario que se tiene por cada uno de los ítems a evaluar y que incluye una explicación que el piloto participante en el estudio debió leer antes de responder. Los temas que mide el cuestionario son (Hart, 2006, p. 1):

- Demanda mental
- Demanda física
- Demanda de tiempo
- Rendimiento
- Esfuerzo
- Frustración

Con cada una de las dimensiones que se midieron en la presente investigación, se dio una descripción que permitió clarificar la escala de evaluación de las tareas que se realizaron por las fases de vuelo de despegue, aproximación y aterrizaje en el simulador de vuelo, a saber (Hart, 2006, p. 5):

Demanda mental: Es una actividad mental y perceptiva que se requiere (ejemplo: pensar, decidir, calcular, recordar, mirar, buscar, etc.). ¿Cuánta actividad mental y perceptiva fue requerida?, ¿fue fácil o exigente, simple o compleja la tarea?

- Demanda física: Cantidad de actividad física que requiere la tarea (ejemplo: pulsar, empujar, girar, etc.). ¿Cuánta actividad física se requiere?, ¿fue fácil o exigente, holgada o extenuante la tarea?
- Demanda de tiempo: Es la presión temporal sentida. Razón entre el tiempo requerido y el disponible. ¿Con cuánta presión de tiempo se sintió debido al ritmo en que se produjeron las tareas o elementos de las tareas?, ¿era el ritmo lento o rápido?
- Rendimiento: Hasta qué punto el individuo se siente satisfecho con su nivel de rendimiento. ¿Qué tan exitoso fue usted en la realización de la tarea? ¿Qué tan satisfecho estuvo usted con su rendimiento?

- Esfuerzo: Es el esfuerzo mental y físico que se tiene que realizar para obtener su rendimiento. ¿Qué tan irritado, estresado y molesto se sintió frente a la tarea?
- Frustración: Hasta qué punto el sujeto se siente inseguro, estresado, irritado, descontento, etc. ¿Qué tan difícil ha tenido que trabajar (mental y físicamente) para lograr su nivel de rendimiento?

A partir de lo anterior, la aplicación metodológica se desarrolla por medio de dos fases luego de haber efectuado la tarea: la primera es la valoración inicial que tiene la dimensión de carga meta para cada uno de los seres humanos; y la segunda se refiere a la valoración en sí de la tarea (López *et al.*, 2010):

Primera fase (ponderación): Se obtiene la importancia que la persona le da *a priori* a cada una de las seis dimensiones como fuente de carga mental, lo cual permite ponderar el índice global de carga mental (López *et al.*, 2010), por medio de quince comparaciones binarias entre cada una de las seis dimensiones. Cada persona deduce entre las dimensiones, de forma independiente, cuál representa una mayor fuente de carga de trabajo, luego de realizar la tarea y antes de realizar la valoración de cada escala.

Segunda fase (valoración): Terminada la primera fase y con la tarea a evaluar completada, el sujeto debe elegir un valor que se determina por medio de una línea dividida en veinte intervalos iguales (que internamente es reconvertida en una escala de 0 a 100) y debe limitar en dos descriptores (ejemplo: bajo/alto, bueno/malo) la carga de trabajo efectuada en las seis dimensiones por cada una de las fases a establecer (Barón *et al.*, 2018).

Con base en los datos obtenidos en las dos fases anteriores, se inicia con el cálculo del índice global de la carga mental, por lo cual se aplica la siguiente fórmula: $IC = ((\sum Pi xi))/15$, donde IC es el índice de carga, Pi es el peso obtenido para cada dimensión en la primera fase (ponderación) y xi es la puntuación obtenida en la segunda fase (valoración) (Rubio *et al.*, 2007).

En síntesis, la metodología evaluó seis subescalas de forma subjetiva, las cuales fueron usadas por medio de fases, primero la de ponderación y después la de valoración. Con este proceso, se obtuvo un valor global de carga de trabajo en una escala numérica de 0 a 100, lo cual permitió evidenciar el valor de carga de trabajo por cada individuo participante en la presente investigación, al desarrollar la tarea asignada en las fases de despegue, aproximación y aterrizaje haciendo uso del dispositivo EFB y con el uso de la información en papel.

4.3.3. Aplicación de navegación FAC

La FAC, por medio de la Directiva Permanente N.º 48, detalla la EFB como el sistema de visualización usado en cabina de pilotos; está compuesto por el *hardware* y el *software* necesarios para apoyar las funciones a las cuales es destinado, presenta variedad de datos aeronáuticos y la posibilidad de realizar cálculos básicos, y permite incluir otras bases de datos o aplicaciones instaladas (FAC, 2015).

Los EFB pueden usar varias tecnologías, formatos y formas de comunicación, y según la clase, estarán en capacidad de soportar aplicaciones de *software* Tipo A y B. Más adelante, se define la configuración utilizada. La FAC, en la configuración de *hardware*, autorizó el uso del mini-iPad institucional como maletín de vuelo electrónico Clase 1/Tipo B para visualizar la información aeronáutica requerida en el desarrollo de las operaciones en todas las fases de vuelo, conforme a lo que implemente cada escuela de vuelo y las capacidades propias de cada escuadrón de vuelo, considerando el mini-iPad propiedad de la FAC como parte del equipo de vuelo (FAC, 2015).

El maletín de vuelo electrónico, en su configuración de *hardware*, acorde con lo establecido en la Directiva Permanente N.º 48 de la FAC, se define como:

Hardware clase 1: Dispositivo comercial portátil, hace parte del equipo de vuelo del piloto, puede ser usado en piñonera y no es instalado o conectado, ni hace intercambio de datos con los diferentes sistemas de la aeronave. No depende de una conexión permanente como una fuente de alimentación de la aeronave para su funcionamiento. Con el fin de cargar la batería interna del dispositivo, es posible conectarlo al sistema eléctrico de la aeronave a través de una fuente de alimentación certificada (FAC, 2015).

Así mismo, este dispositivo puede tener aplicaciones de *software* Tipo A y B, cuyo uso se permite en todas las fases de vuelo debidamente sujetas y no debe interferir con el libre movimiento de los controles de vuelo. En la configuración usada, se aplica el *software* Tipo B.

Software Tipo B: Las aplicaciones de este tipo pueden ser utilizadas en fases de vuelo, como el despegue, la aproximación y el aterrizaje:

- a. Son aplicaciones para ser utilizadas en las fases críticas del vuelo, poseen un *software* y/o algoritmos de exactitud y confiabilidad. Estas aplicaciones no requieren impresión en papel.

- b. Este tipo de aplicaciones pueden ser usadas para presentar información aeronáutica, cartas aeronáuticas en formato electrónico como cartas de salida (SID), en ruta, de llegada (STAR), de aproximación (IAC), diagramas de aeropuertos y listas de chequeo electrónicas (ECL), con lo que garantizan que la información requerida en la posición del piloto esté disponible para su uso durante todas las fases de vuelo y continuamente a la vista para la conciencia situacional. Este formato electrónico visible permite la manipulación gráfica (FAC, 2015, p. 8).

Con base en lo anterior, este desarrollo tecnológico es utilizado en la actualidad por todas las tripulaciones del helicóptero Bell 212 en la FAC. Con un sistema digital, reemplaza el método de consulta de la información necesaria para la navegación aérea en las diferentes misiones que se realizan. Este sistema integra capacidades necesarias, pero que requieren un análisis de afectación de cargas de trabajo en busca de optimizar el rendimiento del ser humano.

4.3.4. Tripulación de helicóptero Bell-212 FAC

Los miembros de la tripulación de vuelo están definidos por la OACI como: “Persona a quien el explotador asigna obligaciones que ha de cumplir a bordo de una aeronave durante un periodo de servicio de vuelo” (2010, p. 4). Con respecto a las aeronaves, la FAC cuenta con helicópteros Bell 212 de fabricación estadounidense, los cuales son volados por dos pilotos que cumplen las funciones de piloto volando y piloto monitoreando, con responsabilidades independientes. Así mismo, las aeronaves tienen cargos y categorías de acuerdo con la experiencia de los pilotos para poder ocupar un lugar físico dentro de la cabina (FAC, 2018). Los cargos son definidos en el manual de tareas del equipo Bell 212 como:

Piloto volando (PF): Se empleará para referirse al piloto que está en los controles durante la maniobra, siendo descrita sin importar su posición en la cabina (silla izquierda o derecha) y su nivel de responsabilidad (PIL O COP).

Piloto monitoreando (PM): Se empleará para referirse al piloto que no está en los controles durante la maniobra, siendo descrita sin importar su posición en la cabina (silla izquierda o derecha) y su nivel de responsabilidad (PIL O COP).

Silla izquierda o derecha: Cuando se refiere a la posición física en cabina; este término se aplicará preferiblemente en reemplazo del término de asiento de PIL o COP (FAC, 2017).

Tomando en cuenta estos cargos, en el desarrollo de la fase en el simulador de vuelo se determinaron las cargas de trabajo en las dos estaciones PF y PM, ocupando las dos posiciones en cabina para volar la aeronave con los respectivos controles y sistemas acordes a cada posición en cabina. Así mismo, los pilotos del Escuadrón Bell 212 pertenecientes al Comando Aéreo de Combate N.º 4 tenían, al momento de la determinación de las cargas de trabajo, los cargos con autonomía vigente de piloto y copiloto en dicho tipo de aeronaves.

4.3.5. Fases de vuelo

Una misión de vuelo es dividida en segmentos de acuerdo con cada una de las etapas en las que se encuentre la aeronave. Una fase de vuelo está definida como:

Fase de vuelo se refiere a un periodo dentro de un vuelo. En el caso de una aeronave tripulada, un vuelo comienza cuando una persona aborda la aeronave con la intención de volar y continúa hasta el momento en que todas esas personas hayan desembarcado. (OACI, 2012, p. 1)

Una vez una persona ingresa al helicóptero con intención de cumplir un vuelo, su normal desarrollo se compone por las fases de: rodaje o taxeo, despegue, ascenso, vuelo crucero o recto y nivelado, descenso, aproximación y aterrizaje (OACI, 2012), las cuales se pueden ver gráficamente en la figura 1. En esta investigación, se tomaron para el análisis las fases de vuelo con mayor índice de accidentalidad a nivel mundial en aviación comercial, de acuerdo con los reportes mundiales generados por Boeing y basados en la OACI y la NTSB.

La figura 1 muestra que el 14 % de los accidentes fatales ocurre en la parte inicial del vuelo, en el despegue y en la parte inicial del ascenso, y que el 49 % ocurre durante la aproximación final y el aterrizaje. Estas fases fueron objeto de estudio en la presente investigación, pues son las fases sobre las que la investigación de accidentes a nivel mundial soporta dichas estadísticas entre los años 2007 y 2016 (Boeing Commercial Airplanes, 2016).

Las fases críticas de vuelo evaluadas en la presente investigación fueron: el despegue, la aproximación y el aterrizaje.

Fatal Accidents and Onboard Fatalities by Phase of Flight

Fatal Accidents | Worldwide Commercial Jet Fleet | 2007 through 2016

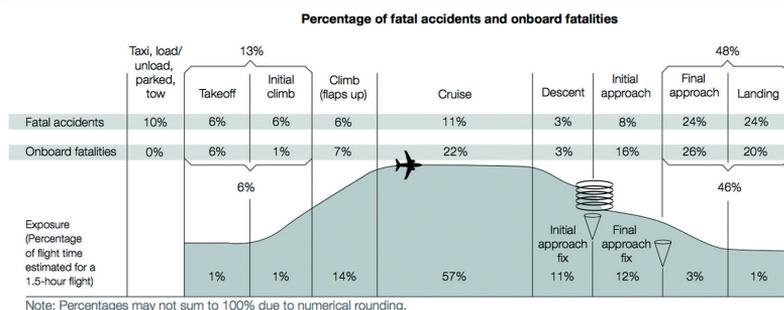


Figura 1. Accidentes fatales y fatalidades a bordo por fases de vuelo

Fuente: *Boeing Commercial Airplanes (2020)*.

4.3.6. Procedimientos

Los procesos permiten la unión de elementos que trabajan de manera unificada para transformar entradas, materias, bienes o servicios terminados, que pueden estar conformados por “materiales, métodos, procedimientos, recursos humanos, maquinaria, equipo y el medio ambiente” (Álvarez, 2020). Un procedimiento es una guía detallada que permite ver de manera secuencial y ordenada cómo se realiza un trabajo con dos o más personas. En este sentido, Álvarez afirma: “Usando adecuadamente métodos y procedimientos escritos, las personas ganan dos cosas: precisión y velocidad” (2020, p. 7).

Relacionado con lo anterior, en el ambiente aeronáutico se regulan y establecen procedimientos que permiten brindar información para ser utilizada de manera estandarizada para todas las operaciones de vuelo. Esto incluye las actividades normales y en caso de presentarse una emergencia, divididos por cada una de las fases de vuelo, están dados en forma de secuencia o paso a paso como guía a seguir para cumplir una tarea en los manuales de referencia rápida (Quick Reference Handbook-QRH; OACI, 2012).

4.3.6.1. Formato de creación de procedimientos FAC

La FAC, como autoridad aeronáutica de aviación de Estado, tiene estipulado un formato estandarizado para la creación de procedimientos bajo el código DE-SEMEP-FR-001 con vigencia 30-08-2019 dentro del sistema de archivo documental.

5. Marco metodológico

A continuación, se exponen los lineamientos metodológicos que orientaron la ejecución del proyecto, con el fin de dar cumplimiento a los objetivos de la presente investigación. Se describe el enfoque de la investigación, el alcance, la población y la muestra con la que se trabajó, así como el diseño utilizado, las fases ejecutadas en el proyecto, los instrumentos de recolección de datos y las consideraciones éticas que se aplicaron.

5.1. Enfoque de la investigación

Se trabajó el enfoque cuantitativo que representa una serie de pasos secuenciales y probatorios con la característica de usar la recolección de datos por medio de herramientas de medición aprobadas, lo que permite responder el problema de investigación planteado con base en “la medición numérica y el análisis estadístico” (Hernández-Sampieri *et al.*, 2014).

La investigación se caracterizó por el desarrollo de un orden lógico, partiendo de la idea de investigación que, luego de ser delimitada, derivó en la pregunta de investigación para el planteamiento del problema, que permitió la determinación de la metodología NASA-TLX. Posteriormente, se siguió hacia el diseño del plan probatorio, continuando con la recolección de datos para pasar al análisis de las mediciones realizadas por métodos estadísticos, a fin de generar una serie de conclusiones respecto a las hipótesis planteadas (Hernández-Sampieri *et al.*, 2014).

En razón a la naturaleza de los datos obtenidos por medio de la herramienta NASA-TLX, instrumento de recolección de datos predeterminado que trabaja con información numérica exacta, fue posible la toma de datos durante tres fases de vuelo específicas (despegue, aproximación y aterrizaje), en la ejecución del vuelo por medio del simulador: “La recolección se basa en instrumentos estandarizados. Es uniforme para todos los casos. Los datos se obtienen por observación, medición y documentación de mediciones. Se utilizan instrumentos que han demostrado ser válidos y confiables en estudios previos” (Hernández-Sampieri *et al.*, 2014, p. 13). Complementando lo anterior, la recolección de datos se hizo de manera electrónica por medio del uso de los dispositivos electrónicos iPad y de la aplicación desarrollada por la NASA, la cual se encuentra soportada en el sistema operativo para dispositivos Apple.

De esta manera, en la presente investigación se utilizó un conjunto de procesos secuenciales basados en la medición numérica de seis variables (demanda mental, demanda temporal, demanda física, rendimiento, esfuerzo y frustración), con el fin de determinar las cargas de trabajo mediante la implementación de la metodología NASA-TXL. Se hizo el análisis de los niveles de las cargas de trabajo que se pueden generar en la cabina de un helicóptero en las fases críticas de vuelo, con y sin el uso de instrumentos (EFB), y en las fases de despegue, aproximación y aterrizaje de la aeronave. Se realizó un análisis matemático de cada una de las seis variables y se generó un procedimiento simplificado para tener una guía de uso estandarizada de dicho dispositivo aplicado a los pilotos del equipo Bell 212, del Comando Aéreo de Combate N.º 4 de Melgar, Tolima.

5.2. Alcance

El alcance de esta investigación científica es cuantitativo, exploratorio, descriptivo, correlacional y explicativo. La investigación tuvo un alcance descriptivo, el cual “busca especificar propiedades, características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis” (Hernández-Sampieri *et al.*, 2014, p. 92). Para el objeto del presente estudio, se realizó un análisis de los niveles de las cargas de trabajo que se pueden llegar a generar en la cabina de un helicóptero durante el desarrollo de las fases críticas de vuelo, con y sin el uso del EFB, durante un vuelo simulado en la ruta entre los aeródromos Teniente General Gustavo Rojas Pinilla de Tolemaida (SKTI) y Santiago Vila de Girardot (SKGI).

En este caso, se tuvieron en cuenta seis variables: demanda mental, demanda temporal, demanda física, rendimiento, frustración y esfuerzo. Se utilizó la aplicación de la metodología NASA-TXL, que permitió la realización de las fases de ponderación y valoración por cada uno de los pilotos desempeñando funciones específicas en cabina, como piloto volando o piloto monitoreando, y se evaluaron las fases de despegue, aproximación y aterrizaje de la aeronave. A partir de ello, fue posible hacer un análisis de cada una de las variables y resolver las hipótesis planteadas.

Sumado a lo anterior, se evidencia la recolección de datos cuantitativos con un enfoque descriptivo, en cuanto “únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los

conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan estas” (Hernández-Sampieri *et al.*, 2014, p. 92). Lo anterior con el propósito de que, luego de realizar el análisis de las variables evaluadas independientemente, se pueda crear un procedimiento simplificado para el uso de los EFB, con base en la determinación científica de los niveles de las cargas de trabajo, que sirva para las tripulaciones del equipo Bell 212 del Comando Aéreo de Combate N.º 4 en Melgar, Tolima, y que a futuro pueda ser tenida en cuenta para ser replicada en diferentes escuadrones de vuelo.

5.3. Población y muestra

En esta sección, se describe la población a la cual está dirigida la investigación y la muestra que participó en su ejecución, con el fin de que pueda ser referente y extrapolar los resultados obtenidos.

5.3.1. Población

La población objeto de estudio son pilotos y copilotos del Escuadrón 411 que durante el periodo de la realización de la toma de datos, durante el segundo semestre de 2018 y el primer trimestre de 2019, tenían la autonomía de vuelo vigente en el equipo Bell 212, perteneciente al Comando Aéreo de Combate N.º 4 de la FAC. En total, veintiún integrantes al momento de realizar la toma de datos presentaban los cargos de vuelo vigentes, como aparece en la tabla 1. Es así como Hernández-Sampieri *et al.* afirman que la población: “Es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones” (2014, p. 174).

Tabla 1. Autonomías de la población de pilotos y copilotos participantes en la toma de datos

Cargo de vuelo	Cantidad en el equipo Bell 212
Piloto estandarizador de instructores	1
Piloto instructor	2
Piloto de pruebas	2
Piloto supervisor	2
Piloto	4
Copiloto	10

Nota: Autonomías vigentes de los participantes a la investigación.

Fuente: elaboración propia.

Entre la población se encontraban once pilotos y diez copilotos. Cabe aclarar que los pilotos del Escuadrón 411 pueden tener más de una autonomía o cargo como pilotos, entre ellos: piloto estandarizador de instructores, piloto instructor, piloto de pruebas, piloto supervisor y piloto. En la tabla 1, se muestran los diversos cargos de pilotos y su cantidad por cargo de vuelo, empezando con el de más alta responsabilidad que el equipo Bell 212 tenía para la fecha de la toma de datos.

5.3.2. Muestra

Debido a la naturaleza de la investigación, Hernández-Sampieri *et al.* afirman que “la muestra es, en esencia, un subgrupo de la población. Digamos que es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población” (2014, p. 175). Tomando esta afirmación y teniendo en cuenta el ambiente dinámico y operacional de los pilotos y copilotos del Escuadrón 411, se buscó generar una muestra que fuera un reflejo fiel del conjunto de la población. Para ello, se seleccionó una muestra no probabilística, con respecto a la cual Hernández-Sampieri *et al.* aseveran que “la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación” (2014, p. 176). Por lo anterior, no se hizo un procedimiento mecánico ni se usaron formulas probabilísticas para el criterio de selección de la muestra.

En el muestreo no probabilístico, se aplicó el intencional o de conveniencia, de acuerdo con la definición de Hernández-Sampieri *et al.*: “[...] estas muestras están formadas por los casos disponibles a los cuales tenemos acceso” (2014, p. 390). A partir del personal de pilotos y copilotos a los que se tenía acceso, la toma de datos se realizó haciendo uso del simulador de vuelo, el cual tenía horarios restringidos debido a la alta demanda que presenta durante todo el año, a causa de los cursos de vuelo por instrumentos. Por otra parte, fue un factor relevante la restricción en el tiempo disponible de la muestra para la recolección de datos, pilotos y copilotos, quienes pertenecen al Escuadrón 411, cuyas características de operación en el territorio colombiano les exige estar en constante despliegue operativo a nivel nacional.

5.4. Diseño de investigación

En la presente investigación, se tuvo en cuenta lo planteado por Hernández-Sampieri *et al.*, quienes afirmaron que “el término *diseño* se refiere al plan o estrategia concebida para obtener la información que se desea con el fin de responder al planteamiento del problema” (2014, p. 128). Dentro del diseño de la investigación, se establecen cuatro fases: la idea de investigación, la revisión de la literatura, el desarrollo del diseño de la investigación, y el análisis y reporte de resultados (figura 2).

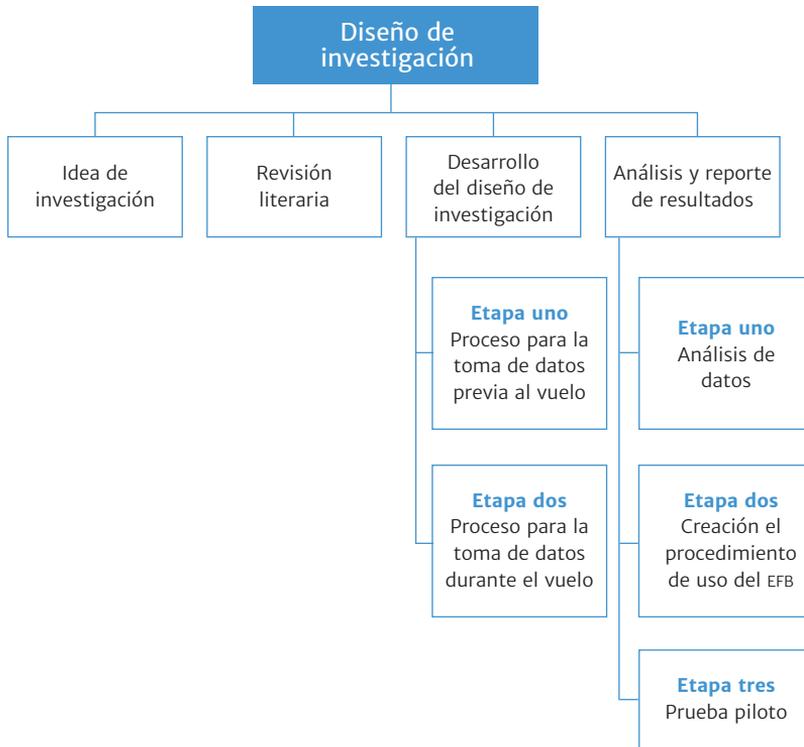


Figura 2. Diseño de la investigación

Fuente: elaboración propia.

En la fase del desarrollo de la investigación, se plantearon dos etapas para el proceso de toma de datos: antes y durante el vuelo. En cuanto al análisis de los resultados obtenidos y la creación del procedimiento de investigación, se realizó a través de una estructura de tres etapas. En la

primera etapa, se incluyó el análisis de datos que ayudó a proseguir con las bases científicas para el cumplimiento de la segunda etapa, en la que se realizó la creación del procedimiento de uso del EFB aplicado a las fases de vuelo de una aeronave. La tercera etapa fue la prueba piloto, que se dividió también en cuatro etapas para que, al terminirlas, se diera cumplimiento al objetivo general de la investigación.

5.4.1. Fase 1. Idea de investigación

En el desarrollo de la fase 1, se tuvo una idea inicial, tal y como afirma Niño: “La idea nace del convencimiento de que lo que la vida nos da, lo debemos devolver sin guardar nada, si con ello se benefician los demás” (2011, p. 15). Teniendo en cuenta la implementación de los EFB en cabina de los helicópteros de la FAC, sin ningún estudio de cargas de trabajo para su uso, se planteó el problema de investigación, los objetivos general y específicos trabajados, la justificación y la hipótesis.

5.4.2. Fase 2. Revisión de la literatura

Para el desarrollo de la fase 2, se realizó la revisión de la literatura que, según Niño, “constituye un sistema coherente de conceptos, teorías, postulados, definiciones, categorías y proposiciones que le dan apoyo y sentido al proceso de investigación” (2011, p. 50). En esta revisión, se desarrolló la perspectiva teórica, buscando partir desde el saber que ya existe para ir hacia lo desconocido en el entorno aplicado a la presente investigación, dentro del ambiente científico aeronáutico del Escuadrón 411 de la FAC, que incluye los antecedentes, las bases teóricas y las bases legales aplicadas.

5.4.3. Fase 3. Desarrollo del diseño de investigación

En la fase 3, se definió y seleccionó el enfoque de la investigación que, según Niño: “Es la descripción de las estrategias y procedimientos, ideados según el método científico, mediante los cuales se aborda una investigación. El diseño hace parte del plan general que se plasma en un proyecto” (2011, p. 151). En relación con lo anterior, se incluyó el alcance, la población y la muestra trabajada, así como los instrumentos de recolección de datos; además, se plantearon los siguientes pasos para la recolección de datos. Hernández-Sampieri *et al.* afirman que: “La recolección se lleva a cabo

al utilizar procedimientos estandarizados y aceptados por una comunidad científica. Para que una investigación sea creíble y aceptada por otros investigadores, debe mostrarse que se siguieron tales procedimientos” (2014, p. 5). Trabajando la metodología NASA-TLX, de forma detallada durante el trabajo de campo se desarrollaron las siguientes etapas: proceso para la toma de datos previa al vuelo y durante el vuelo.

5.4.3.1. Etapa uno: proceso para la toma de datos previa al vuelo

En esta etapa, se generó el diseño de la misión de vuelo a realizar en el simulador, así como la orientación previa al vuelo a los participantes de la presente investigación.

5.4.3.2. Etapa dos: proceso para la toma de datos durante el vuelo

Esta etapa se desarrolló en el simulador de vuelo del equipo HUEY II del Comando Aéreo de Combate N.º 4, realizando el perfil de vuelo creado en la etapa uno con las características de uso del EFB y sin el uso de este, aplicando la herramienta NASA-TLX para la recolección de datos.

5.4.4. Fase 4. Análisis y reporte de resultados

Para la fase 4, se realizó el análisis de datos que, según Niño: “Es descomponer y examinar las partes de un todo, a fin de reconocer su naturaleza, relaciones y características, operación que concluye con el regreso al todo, es decir, con la síntesis, lo cual permite la obtención del conocimiento” (2011, p. 103). Se presenta allí el uso de las seis variables medidas en el método NASA-TLX de carga de trabajo; así mismo, se generó el reporte de resultados, la creación del procedimiento de uso del EFB propuesto, el pilotaje efectuado, la discusión y la respuesta a la pregunta problema. De tal manera, esto permitió establecer las conclusiones y recomendaciones obtenidas a lo largo de la investigación. Esta fase se llevó a cabo por medio de las siguientes tres etapas.

5.4.4.1. Etapa uno: análisis de datos

Se desarrolló por medio de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk con una significancia estadística definida por un alfa de 0,05, a fin de plasmar el análisis con una prueba T de muestras pareadas, lo que permitió determinar si las diferencias de cargas de trabajo con y sin el uso del EFB son significativas durante cada una de las fases críticas del vuelo.

5.4.4.2. Etapa dos: creación del procedimiento de uso del EFB

Con base en el resultado científico obtenido en la fase anterior, se creó un procedimiento para el uso del maletín de vuelo electrónico durante las etapas de vuelo de despegue, aproximación y aterrizaje, con el objeto de ser aplicado en los pilotos y copilotos del helicóptero Bell 212 de CACOM-4.

5.4.4.3. Etapa tres: prueba piloto

Con la participación de dos pilotos experimentados, se efectuó la prueba piloto que incluyó la orientación de la misión para el vuelo. Allí se les explicó detalladamente el procedimiento con respecto al vuelo en el simulador de HUEY II, en donde se volaron y cumplieron las misiones con las responsabilidades de piloto volando y piloto monitoreando, haciendo uso del EFB con el procedimiento creado y sin hacer uso del EFB. Lo anterior permitió la aplicación de la herramienta NASA-TLX y, por último, hacerle ajustes al procedimiento planteado.

5.5. Instrumentos de recolección de datos

La metodología utilizada para la medición y determinación de cargas de trabajo se llevó a cabo por medio del instrumento NASA-TLX de manera digital, con la aplicación NASA-TLX para dispositivos iOS desarrollada de manera oficial por la NASA. Este se basa en el supuesto de que la carga mental es un constructo hipotético que representa el costo que tiene el trabajador que busca alcanzar un nivel de rendimiento específico para una tarea (Díaz *et al.*, 2010). Adicional a ello, los participantes llenaron un archivo en Excel en el que almacenaban la información necesaria con las características basales. A continuación, se describe la herramienta y el archivo digital para la recolección de datos.

5.5.1. Aplicación del método NASA-TLX

La aplicación del método se hizo por medio del dispositivo iPad, el cual tenía instalada la aplicación NASA-TLX exclusiva para sistemas operativos iOS (figura 3). Fue diligenciado por medio de dos fases: una inicial que permitió una ponderación entre las seis dimensiones y una segunda para hacer la valoración de la tarea. Por medio de la aplicación, de una manera sencilla y amigable, se concluyeron las dos fases.

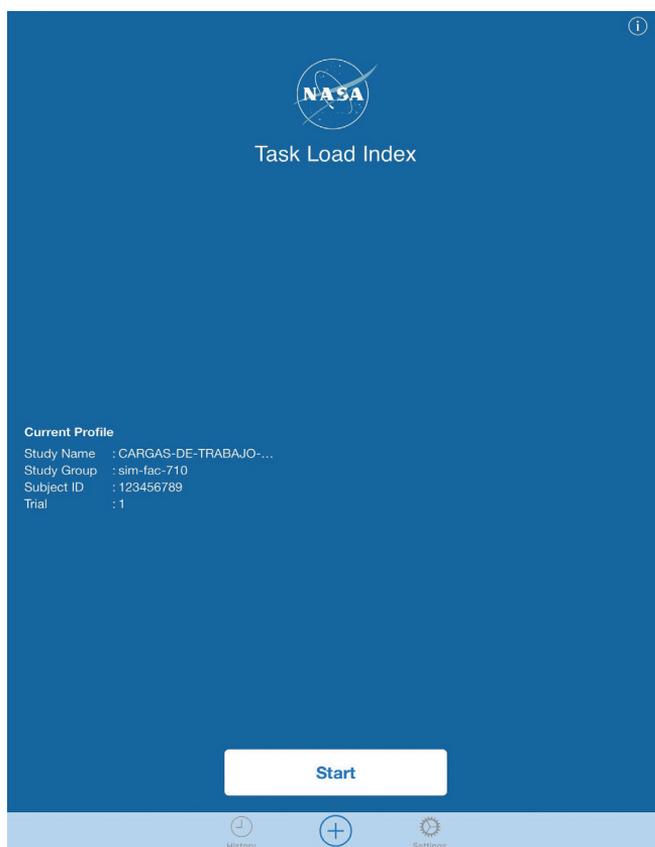


Figura 3. Aplicación NASA-TLX para dispositivos iOS

Fuente: *elaboración propia.*

La figura 3 sirve de referencia para presentar la forma como la aplicación NASA-TLX permitía a los investigadores y participantes tener la opción de seleccionar los ajustes de la aplicación.

5.5.1.1. Fase de ponderación

Se les presentó a los participantes las definiciones de cada una de las dimensiones, luego se realizaron las comparaciones binarias, como se evidencia en la figura 4, para que eligieran de cada uno de los pares. Cada variable representó valores de pesos entre 0 (variable que no fue seleccionada en ninguna ocasión y por eso no se consideró relevante) y 5 (la dimensión que siempre es elegida y por eso se consideró el elemento percibido como una fuente de carga de trabajo importante).

De tal manera, a partir de las comparaciones binarias, se tuvo en primer lugar una fuente de datos de variabilidad interpersonal, con lo que se obtuvieron las diferencias en la definición de carga de trabajo en cada tarea considerada por cada uno de los individuos participantes de la investigación (Águila, 2010).

<
Evaluation Review

You've finished the evaluation. A summary of your responses is shown below for your review. You may tap any response below to go back to the associated question and change your answer.

If you're ready to submit your responses, tap Finish.

Pairwise Comparison Summary

Frustration	✓ Mental Demand
Physical Demand	✓ Temporal Demand
Mental Demand	✓ Effort
✓ Temporal Demand	Mental Demand
Effort	✓ Physical Demand
✓ Physical Demand	Performance
Performance	✓ Mental Demand
✓ Performance	Frustration
Mental Demand	✓ Physical Demand
✓ Effort	Performance
Performance	✓ Temporal Demand
✓ Temporal Demand	Frustration
Frustration	✓ Effort
✓ Physical Demand	Frustration
Temporal Demand	✓ Effort

Rating Scales Summary

Finish

Figura 4. Fase de ponderación, comparación de escalas NASA-TLX

Fuente: *elaboración propia.*

5.5.1.2. Fase de valoración

En esta fase, cada una de las seis dimensiones o variables se presentó individualmente con la escala de valoración, iniciando por la demanda mental, luego la demanda física, la demanda de tiempo, el rendimiento, el esfuerzo y, por último, la frustración. Cada una de ellas estuvo acompañada de una pregunta orientadora, de acuerdo con la variable a evaluar, como lo muestra la tabla 2.

Tabla 2. Definiciones dimensiones valoradas en el NASA-TLX

Variable	Descripción	Descriptorios limitantes
Demanda mental	¿Cuánta actividad mental y perceptiva utilizó para esta tarea?	Bajo/Alto
Demanda física	¿Cuánta actividad física utilizó para esta tarea?	Bajo/Alto
Demanda de tiempo	¿Cuánta presión de tiempo sintió para poder completar esta tarea?	Bajo/Alto
Rendimiento	¿Qué tan satisfactorio cree usted que estuvo realizando el cumplimiento del objetivo de la tarea?	Bueno/Pobre
Esfuerzo	¿Qué tan fuerte ha tenido que trabajar para alcanzar su nivel de resultados?	Bajo/Alto
Frustración	¿Qué tan inseguro, desalentado, irritado, estresado, y molesto estuvo durante esta tarea?	Bajo/Alto

Nota: Definiciones de cada una de las variables evaluadas por la metodología NASA-TLX.

Fuente: *elaboración propia.*

Los participantes valoraron la tarea o subtarea basados en los resultados subjetivos durante el desarrollo de la misión de vuelo, poniendo un valor en la escala que se les presentó individualmente por variable. Cada factor estaba representado en una línea dividida en veinte intervalos iguales, como se muestra en la figura 5, los cuales automáticamente son reconvertidos por la aplicación a una escala sobre 100 y limitada bipolarmente por dos descriptorios, bueno/pobre, bajo/alto, según la dimensión a evaluar (Águila, 2010).

La figura 5 muestra la evaluación presentada a cada uno de los participantes y que fue herramienta de recolección de datos durante la fase de valoración.



Evaluation Review

You've finished the evaluation. A summary of your responses is shown below for your review. You may tap any response below to go back to the associated question and change your answer.

If you're ready to submit your responses, tap Finish.

Rating Scales Summary

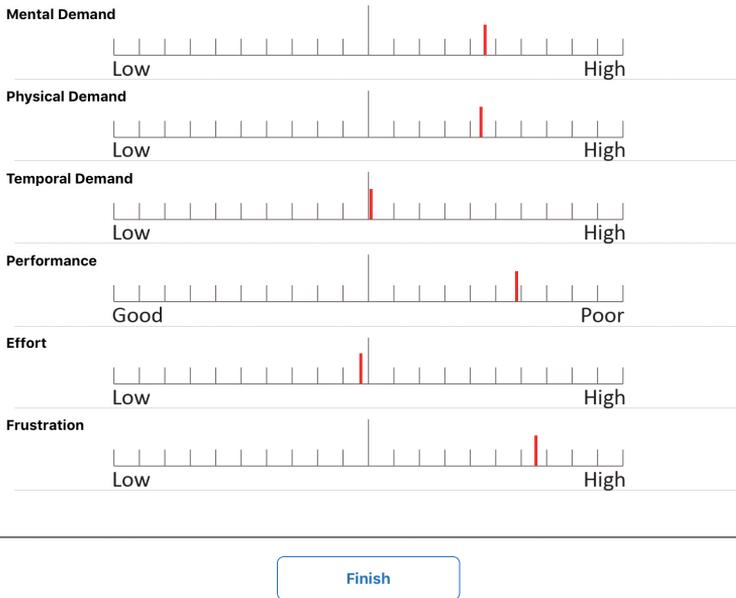


Figura 5. Formato escala de puntuación NASA-TLX

Fuente: *elaboración propia*.

5.5.2. Formato de recolección de datos basales

Se creó un formato especial en Excel que fue diligenciado por los pilotos al finalizar la evaluación de las cargas de trabajo. Esto permitió registrar los datos de los pilotos que sirvieron para obtener la información relacionada con la experiencia de vuelo medida en horas de vuelo, así como las características basales, como la edad, el sexo y cargo en el equipo.

6. Análisis de resultados

Los resultados se muestran en el orden relacionado con los objetivos planteados, los cuales estuvieron encaminados a la creación de un procedimiento

para el uso EFB a partir de la determinación de los niveles de cargas de trabajo en cabina.

6.1. Resultados

La presente investigación se llevó a cabo en pilotos de helicóptero Bell 212 con edades entre 23 y 37 años, que efectuaron vuelos en el simulador de HUEY II. El trabajo de campo fue realizado con la muestra que, finalmente, estuvo conformada por seis pilotos y diez copilotos. A continuación, se muestran los datos recogidos en el trabajo de campo.

6.1.1. Datos basales

Las características propias de los pilotos y copilotos participantes fueron obtenidas por medio del formato de recolección de datos, que diligenciaron en los dispositivos EFB al finalizar cada vuelo. Con la información obtenida, se determinó que la mediana de edad de la población participante es de 27 años ($DE=4,8$), la mediana de experiencia en el helicóptero Bell 212 medida en horas de vuelo fue de 440 horas ($DE=920$), la mediana de experiencia de vuelo en diferentes aeronaves fue de 702 horas ($DE=1417$), el 87,5 % ($n=14$) de la población es del género masculino y el 62,5 % ($n=10$) de la población son copilotos, como lo muestra la tabla 3.

Tabla 3. Variables basales de la población de estudio

Variables	
Edad	27 años ($DE=4,8$)
Horas de vuelo Bell 212	440 horas ($DE=920$)
Experiencia de vuelo	702 horas ($DE=1417$)
Género	87,5 % ($n=14$) (masculino)
Cargo de vuelo	62,5 % ($n=10$) (copiloto)

Nota: Características generales de la población de estudio en la línea basal.

Fuente: elaboración propia.

Las variables basales presentadas en la tabla 3 permitieron tener las características generales de la población de pilotos y copilotos participantes en la presente investigación.

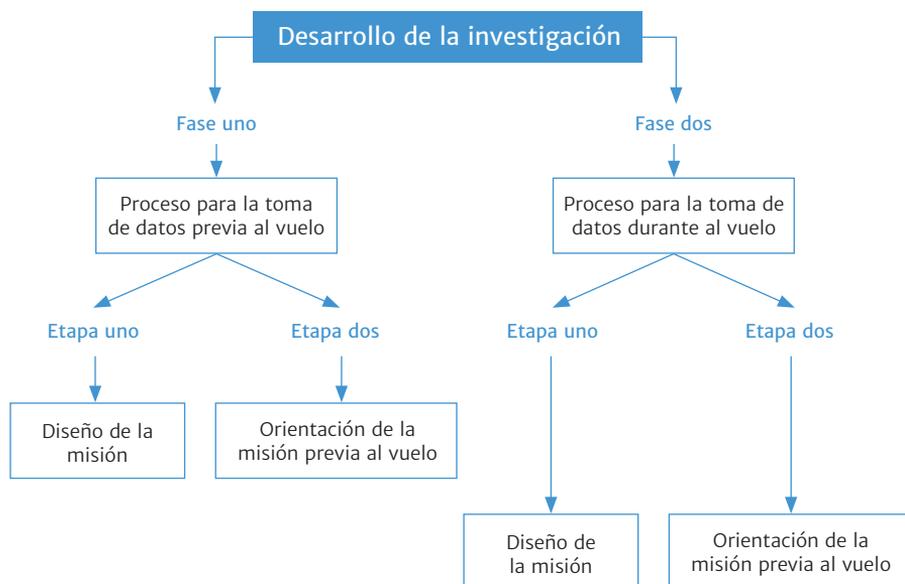


Figura 6. Desarrollo del diseño de investigación

Fuente: *elaboración propia.*

6.1.2. Desarrollo del diseño de investigación

A continuación, por medio de dos fases se describen los procesos efectuados para el desarrollo de la investigación (figura 6).

La figura 6 expone las dos fases: la fase uno es el proceso para la toma de datos previa al vuelo, el cual incluyó las etapas de diseño de la misión y de orientación de la misión previa al vuelo; la fase dos es la toma de datos durante el vuelo, que está constituida en la etapa de vuelo en el simulador y la aplicación de la herramienta NASA-TLX. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las fases y etapas del desarrollo del diseño de investigación:

6.1.2.1 Fase uno: proceso para la toma de datos previa al vuelo

Fue desarrollada con la participación de dieciséis oficiales, entre los cuales se encontraban seis pilotos y diez copilotos del equipo Bell 212, que de manera voluntaria quisieron participar en la presente investigación. Realizaron el procedimiento de recolección de los datos, en la cual se aplicaron las fases de diseño de la misión y orientación de la misión previa al vuelo en el simulador.

6.1.2.1.1. Etapa uno: diseño de la misión

En esta etapa, se diseñó la misión de vuelo para que fuera ejecutada en el simulador de vuelo de HUEY II (figura 7). Se tuvo en cuenta, para la creación de la ruta, un procedimiento de salida por instrumentos (SID) (Girardot 1 Bravo) y una carta de aproximación por instrumentos (IAC) (VOR Bravo), en los que las tripulaciones hubieran efectuado un previo entrenamiento durante la fase del curso básico de vuelo por instrumentos, que es requisito previo para iniciar el curso de vuelo en el equipo Bell 212. También, se tuvo en cuenta el conocimiento de la ruta de vuelo por los pilotos al estar dentro del área de responsabilidad del Comando Aéreo de Combate N.º 4.

Dicha ruta incluyó el despegue desde el aeródromo de SKTI y el aterrizaje en SKGI bajo reglas de vuelo por instrumentos (*Instrument Flight Rules-IFR*) en condiciones de reglas de vuelo visuales (*Visual Flight Rules-VFR*) diurnas. Para ello, se estipularon condiciones iniciales del simulador con características de rendimiento que permitieran el cumplimiento de todo el vuelo, sin verse afectados por condiciones adversas de viento o turbulencia en el simulador, de acuerdo con la tabla 4.



Figura 7. Simulador de vuelo equipo HUEY II, instalaciones del CACOM-4

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Ubicación inicial de la aeronave en el simulador

Ubicación inicial	SKTI (Aeródromo Teniente General Gustavo Rojas Pinilla, Tolemaida-Colombia)
Peso aeronave	8700 lb
Combustible a bordo	1300 lb
Presión barométrica	29,92
Turbulencia	0
Viento	Velocidad: 0 KT Dirección: 0°
Sonido	Sí
Altitud	AGL
Vuelo / Tierra	Tierra

Nota: Características de las condiciones iniciales del simulador de vuelo.

Fuente: *elaboración propia*.

Las condiciones meteorológicas que presentaba el simulador al momento de realizar cada uno de los vuelos se describen en los siguientes informes de reporte meteorológico de aeródromo (METAR), de los aeródromos de despegue, destino y alternos, tal y como se observa en la tabla 5.

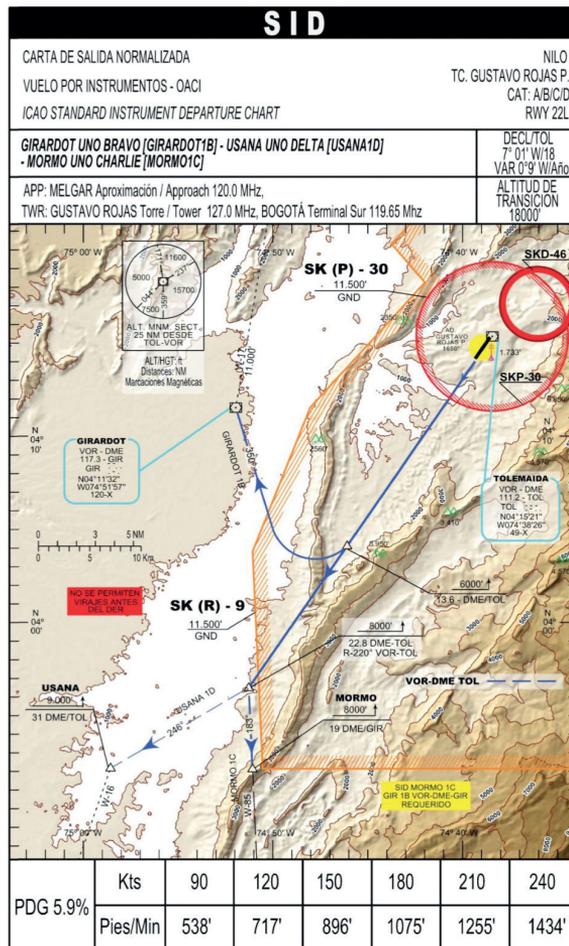
Tabla 5. Reporte meteorológico para el simulador de vuelo

Aeródromo	Reporte meteorológico
SKTI	0000KT 9999 SCT 020 SCT080 30/22 A2992
SKGI	0000KT 9999 SCT 020 SCT080 30/22 A2992
SKIB	0000KT 9999 SCT 020 SCT080 30/22 A2992
SKBO	0000KT 9999 SCT 020 SCT080 20/15 A3002

Nota: Reportes meteorológicos de los aeródromos del área general del vuelo.

Fuente: *elaboración propia*.

La ruta de vuelo, una vez establecido en el aeródromo SKTI / TOL Teniente General Gustavo Rojas Pinilla, fue la salida normalizada SID GIRARDOT 1B de la pista 22L (figura 8), donde luego se efectuó incorporación al patrón de sostenimiento a 5000 pies del VOR GIR y aproximación por instrumentos IAC RWY 02 VOR B (figura 9), y se terminó con el aterrizaje en el aeródromo SKGI Santiago Vila.



DIRECCIÓN DE NAVEGACIÓN AÉREA

AIRAC AMDT 23/20

CARTOGRAFIA
 AEROCIVIL
 AVI-ESTADO
 METEOROLOGÍA
 TMA's

Figura 8. Carta salida normalizada IFR Girardot 1B de SKTI, aplicación de navegación FAC

Fuente: elaboración propia.

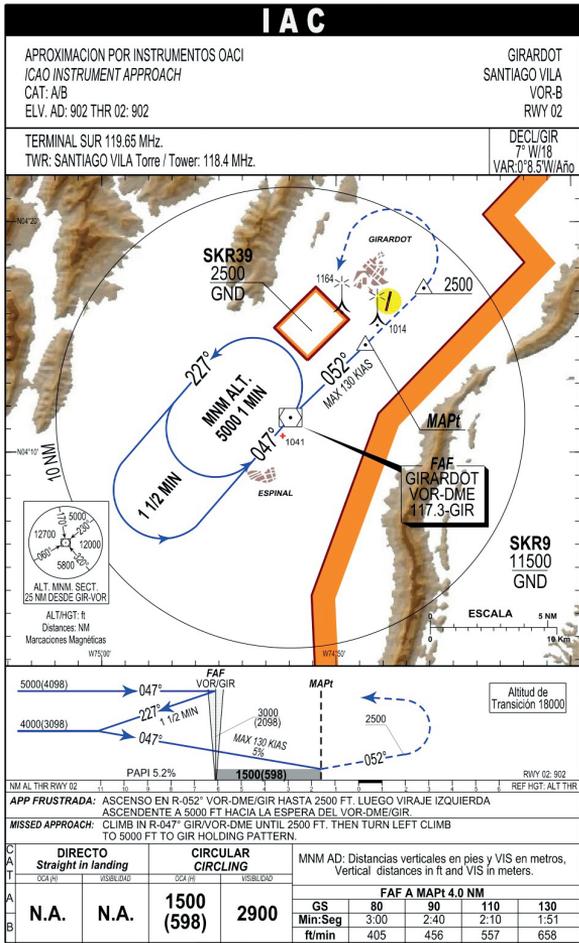


Figura 9. Carta de aproximación por instrumentos OACI, aplicación de navegación FAC
Fuente: *elaboración propia.*

6.1.2.1.2 Etapa dos: orientación de la misión previa al vuelo

En esta etapa, se hizo una explicación detallada previa a la misión en el simulador, incluyendo la orientación a cada uno de los participantes sobre el orden de la misión, así como el cargo y el rol en cabina que irían a desempeñar, como se muestra en la figura 10.



Figura 10. Briefing del director temático acerca del objetivo de la misión a efectuar
Fuente: elaboración propia.

6.1.2.2. Fase dos: proceso para la toma de datos durante el vuelo

Esta fase se dividió en dos etapas: el vuelo en el simulador y el proceso de aplicación de la herramienta de recolección de datos NASA-TLX.

6.1.2.2.1. Etapa uno: vuelo en el simulador

En esta etapa, se realizó el vuelo para poder obtener la medición de las cargas de trabajo en las cabinas del simulador de vuelo del equipo HUEY II, ubicadas en el Comando Aéreo de Combate N.º 4. Esto permitió llevar la investigación hasta el mayor nivel de realismo para este tipo de misiones, que en el momento del desarrollo de la investigación era como se encontraba estipulado el programa de entrenamiento de estos pilotos.



Figura 11. Participantes en la investigación usando la documentación en papel, sin el uso del dispositivo EFB

Fuente: *elaboración propia.*

Una vez establecido el vuelo, en la cabina cada uno de los dos pilotos participantes por cada uno de los cuatro vuelos cumplió una función determinada, con roles de piloto volando, sentado en la silla del lado derecho (silla en donde usualmente en una misión de operación real va ubicado el piloto comandante de la aeronave), y de piloto monitoreando, sentado en la silla del lado izquierdo. Se efectuaron variaciones aleatorias a los participantes para determinar el inicio de la misión. Se permitió empezar usando las cartas de navegación convencionales (figura 11) o iniciar usando el dispositivo EFB (figura 12) para el desarrollo del vuelo, sin que esto afectara el desempeño de la misión. Cabe aclarar que el piloto volando y el piloto monitoreando efectuaron los vuelos haciendo uso del EFB o sin hacer uso del dispositivo, pero sin combinarlo; por ejemplo, el piloto volando hacía uso de la documentación en papel y el piloto monitoreando también debía hacer uso de la información de manera física.

Esta etapa permitió la realización del vuelo simulado, haciendo uso del dispositivo EFB y de la información en papel, lo cual fue específico en la presente investigación para tener la posibilidad de obtener datos de manera subjetiva.



Figura 12. Participantes en la investigación usando el dispositivo EFB

Fuente: elaboración propia.

6.1.2.2.2. Etapa dos: aplicación herramienta NASA-TLX

Luego de efectuar el vuelo en el interior de la cabina del simulador, cada uno de los participantes tomó la herramienta NASA-TLX, aplicación que ya estaba instalada en los dispositivos iPad de cada uno de los participantes para el desarrollo del vuelo. Con ello, realizaron la determinación subjetiva de las cargas de trabajo experimentadas en las fases de despegue, aproximación y aterrizaje, en forma digital, antes de cambiar de roles y hacer o no uso de las cartas de navegación en forma física o digital.

Luego de que la pareja de participantes terminara el vuelo, se restablecían las condiciones iniciales, configurando el simulador de modo que iniciaran con los parámetros estándar establecidos en la fase uno.

6.1.3. Análisis de datos

Una vez recogidos los datos, fueron analizados a la luz del marco referencial establecido para el desarrollo de esta investigación, lo cual permitió tener la correlación de la metodología con la necesidad para dar paso a la creación del procedimiento de uso del EFB.

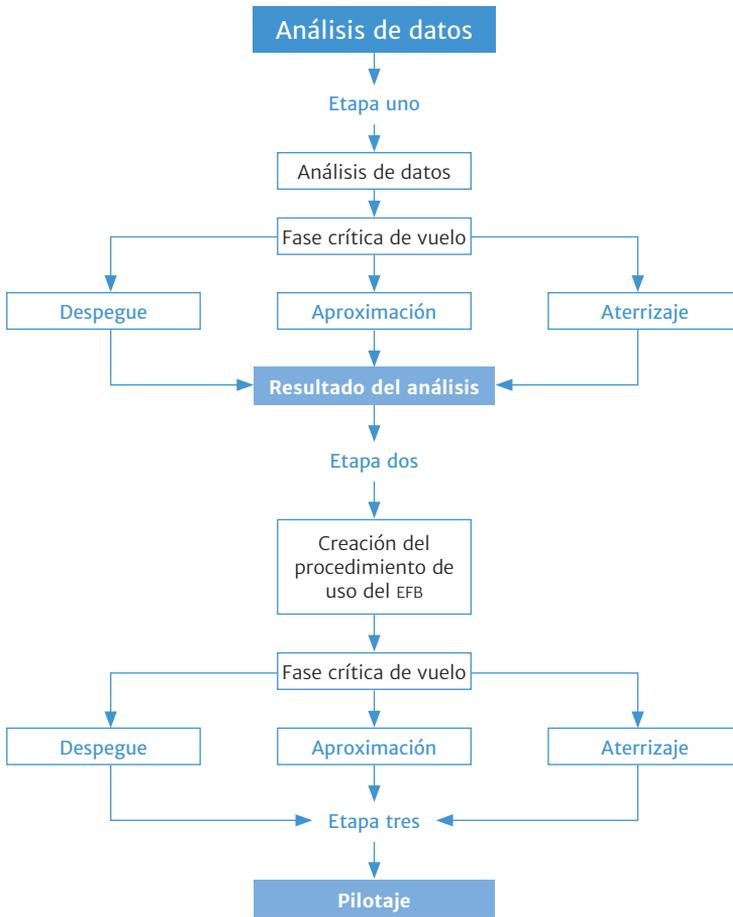


Figura 13. Proceso de análisis de los datos obtenidos

Fuente: *elaboración propia.*

En la figura 13, se muestran las dos fases en las que se presentaron el análisis de datos y la creación del procedimiento de uso del EFB. En la primera, se tratan las fases críticas de vuelo de despegue, aproximación y aterrizaje por parte de los pilotos volando y monitoreando; en la segunda, se presenta la creación del procedimiento propuesto para el uso del dispositivo EFB con base en el resultado del análisis de datos.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las fases del análisis de datos. La etapa tres del pilotaje se presentará independientemente en el documento.

6.1.3.1. Etapa uno: análisis de datos

A partir de los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología NASA-TLX, en los que se obtuvieron 1248 datos numéricos, se conformó el desarrollo del objetivo específico N.º 1 del presente trabajo de investigación. Esto aportó la información para el inicio del análisis de los datos, que fue base fundamental para cumplir con el objetivo específico N.º 2, de forma que contribuyó a generar las bases académicas necesarias para ayudar en el análisis de la reducción de cargas de trabajo en las tripulaciones de helicópteros de futuras investigaciones.

La significancia estadística se definió con un alfa de 0,05. El análisis de las variables de carga de trabajo muestra una distribución normal usando la prueba de Shapiro-Wilk. Posterior a la verificación de normalidad en la distribución de los datos de los resultados del NASA-TLX, se realizó el análisis con una prueba T de muestras pareadas para determinar si las diferencias de cargas de trabajo con y sin EFB son significativas ($n=16$). Por último, mediante la prueba de Wilcoxon, fueron evaluadas las diferencias intragrupo para las variables de demanda temporal, demanda mental, demanda física, esfuerzo, frustración y rendimiento durante las fases de despegue, aproximación y aterrizaje, con las estaciones de piloto volando y monitoreando con el uso y sin el uso del EFB. Todos los análisis estadísticos se ejecutaron con el programa estadístico IBM SPSS Software® BETA 2017.

6.1.3.1.1. Fase de aproximación, piloto monitoreando

En la figura 14, se muestra la correlación entre los valores generales de las cargas de trabajo del piloto monitoreando en la fase de aproximación, y se evidencia que sí hay diferencias significativas en la carga de trabajo durante la fase de aproximación con y sin EFB ($p=0,0027$). En la parte izquierda, se observan representadas en la figura las cargas de trabajo con el uso del EFB, y al lado derecho, se muestran las cargas de trabajo sin el uso del EFB, con lo que se evidencia de manera gráfica la diferencia entre las dos medianas. En la tabla 6, se muestran los datos tomados para analizar las cargas de trabajo en la aproximación por el piloto monitoreando. Se indica, en la tabla 6, la prueba T de muestras pareadas, así como en la tabla 7 se presentan los resultados obtenidos por medio de la prueba de Shapiro-Wilk con IC del 95 % para la media con un $p=0,0027$, lo cual permite concluir que sí se presentan diferencias significativas entre las medias.

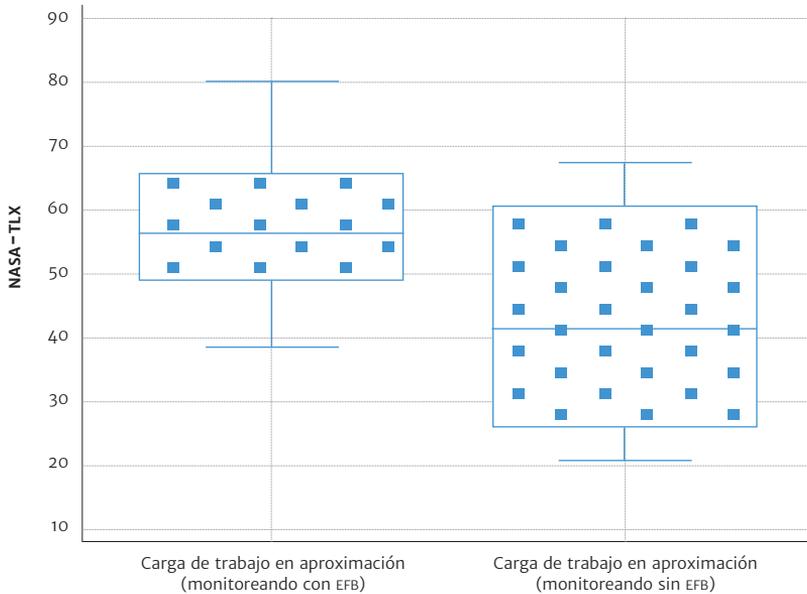


Figura 14. Análisis gráfico de cargas de trabajo en la fase de aproximación del piloto monitoreando con la prueba de Shapiro-Wilk

Fuente: elaboración propia.

La distribución de las variables de carga de trabajo en aproximación por el piloto monitoreando con un intervalo de confianza del 95 % no es normal. Para la prueba, se tuvo en cuenta el tamaño de la muestra con un $n=16$.

Tabla 6. Datos carga de trabajo en la aproximación por el piloto monitoreando con y sin EFB

	Carga de trabajo en la aproximación monitoreando con EFB	Carga de trabajo en la aproximación monitoreando sin EFB
Tamaño muestral	16	16
Media aritmética	<u>17,6700</u>	<u>20,6700</u>
ic del 95% para la media	<u>80,3300</u>	<u>67,3300</u>
Varianza	56,1650	41,3300
Desviación típica	49,3119 a 65,3930	26,1577 a 60,4529
Error típico de la media	48,6650 a 65,6700	25,8350 a 60,5000

Nota: Carga de trabajo piloto monitoreando en la aproximación.

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 7, se presenta el resultado de la prueba de Wilcoxon para muestras relacionadas. Se realizó con el objetivo de contrastar la normalidad de los datos analizados con un $p=0,0027$, lo cual considera que existen diferencias entre el vuelo con y sin el EFB en la aproximación por parte del piloto monitoreando.

Tabla 7. Prueba de Wilcoxon en la aproximación por el piloto monitoreando (muestras relacionadas)

Prueba Wilcoxon	
Número de diferencias positivas	4
Número de diferencias negativas	12
Total de rangos más pequeño	13,00
Probabilidad bilateral	P = 0,0027

Nota: Diferencias de carga de trabajo piloto monitoreando en aproximación.

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 8, se presenta el resultado de la prueba Hodges-Lehmann como un método de estimación no paramétrica, con un intervalo de confianza del 95 % basado en la prueba de rangos de Wilcoxon.

Tabla 8. Mediana de la diferencia de Hodges-Lehmann en la aproximación por el piloto monitoreando

Medianan de la diferencia de Hodges-Lehmann	-14,1650
Intervalo de confianza del 95 %	-20000 a -51650

Nota: Prueba Hodges-Lehmann, piloto monitoreando en aproximación.

Fuente: elaboración propia.

Una vez se obtuvo el análisis de los datos, que muestra una diferencia significativa con un $p=0,0027$, se realizó la prueba de Wilcoxon y la mediana de la diferencia de Hodges-Lehmann con un intervalo de confianza del 95 %, donde se evidenció la diferencia de medianas.

Se realizó el análisis de cada una de las seis subescalas del NASA-TLX durante la fase de aproximación por parte del piloto monitoreando, y los resultados obtenidos se muestran en la tabla 9. De color gris se resaltan los valores p que mostraron una diferencia significativa.

Tabla 9. Fase de aproximación: piloto monitoreando (n=16)

Variables	Mediana de la diferencia de Hodges-Lehmann	Intervalo de confianza del 95%	Valor p	Interpretación del valor p
Demanda mental en la aproximación del piloto monitoreando con y sin EFB	-62,5	-100 - (-27,5)	0,0034	La demanda mental es significativamente mayor con el uso del EFB a monitorear sin el EFB.
Demanda física en la aproximación del piloto monitoreando con y sin EFB	25	0 - 57,5	0,0295	La demanda física es significativamente menor con el uso del EFB a monitorear sin el uso de EFB.
Demanda temporal en la aproximación del piloto monitoreando con y sin EFB	-50	-97,5 - 0	0,0386	La demanda temporal es significativamente mayor con el uso de EFB a monitorear sin el EFB.
Rendimiento en la aproximación del piloto monitoreando con y sin EFB	-22,5	-45 - 0	0,0391	El rendimiento es significativamente mayor con el uso del EFB a monitorear sin el uso de EFB.
Esfuerzo durante la aproximación del piloto monitoreando con y sin EFB	-47,5	-77,5 - (-10)	0,0034	El esfuerzo es significativamente mayor con el uso del EFB a monitorear sin el uso del EFB.
Frustración en la aproximación del piloto monitoreando con y sin EFB	-15	-30 - (-5)	0,0039	La frustración es significativamente mayor con el uso del EFB a monitorear sin el EFB.

Nota: Prueba de Wilcoxon de las subescalas del NASA-TLX.

Fuente: elaboración propia.

Durante el análisis de los resultados por medio de la prueba de Wilcoxon, se evidencia que en las seis variables durante la aproximación del piloto monitoreando con y sin EFB hay diferencias significativas.

Entonces, con los resultados expuestos se rechaza la hipótesis nula y se deja en evidencia el aumento o la disminución de las cargas de trabajo para la fase de aproximación del piloto monitoreando, soportando diferencias en las cargas de trabajo mental, física, temporal, de rendimiento, esfuerzo y frustración planteadas en el objetivo específico N.º 2. Esto significa que, durante la fase crítica de aproximación por el piloto monitoreando, las cargas de trabajo que manejan los pilotos del escuadrón de helicópteros Bell 212 del CACOM-4 usando dispositivos electrónicos EFB son diferentes a las que se presentan sin el uso del EFB, lo que genera una cantidad de interrogantes que serán expuestos en la discusión del presente documento.

6.1.3.1.2. Fase del aterrizaje, piloto volando

En la figura 15, se muestra la correlación entre los valores generales de las cargas de trabajo del piloto volando en la fase del aterrizaje y se evidencia que no hay diferencias significativas en la carga de trabajo durante la fase de aproximación con y sin EFB ($p=0,1594$). En la parte izquierda, se observan las cargas de trabajo con el uso del EFB, y al lado derecho, se muestran las cargas de trabajo sin el uso del EFB, con lo que se grafica la diferencia entre las dos medianas. En la tabla 10, se muestran los datos tomados para analizar las cargas de trabajo en el aterrizaje por el piloto volando; en la tabla 11, se indica la prueba T de muestras pareadas, así como en la tabla 12 se presentan los resultados obtenidos por medio de la prueba de Shapiro-Wilk con IC del 95 % para la media con un $p=0,0803$, lo cual permite concluir que no se presentan diferencias significativas entre las medias.

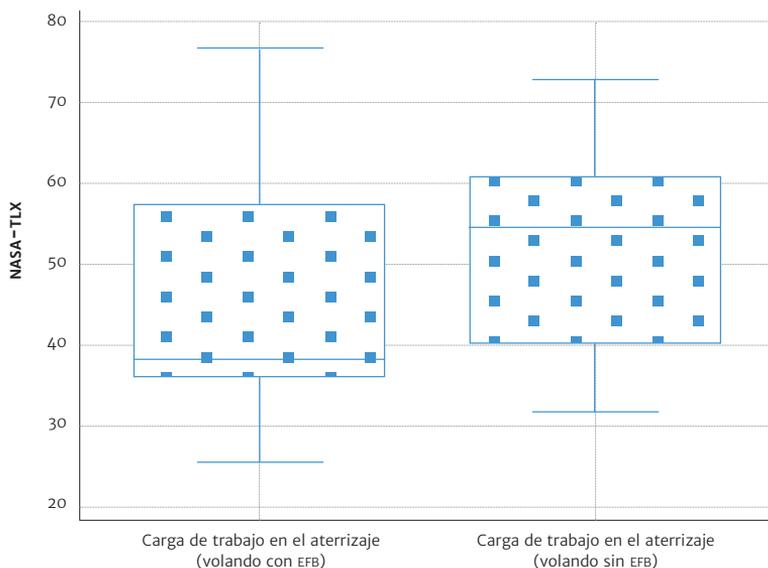


Figura 15. Análisis gráfico de cargas de trabajo en la fase del aterrizaje del piloto volando con la prueba de Shapiro-Wilk

Fuente: elaboración propia.

La distribución de las variables de carga de trabajo en el aterrizaje por el piloto volando con un intervalo de confianza del 95 % es normal. Para la prueba, se tuvo en cuenta el tamaño de la muestra con un $n=16$.

Tabla 10. Datos carga de trabajo en el aterrizaje por el piloto volando con y sin EFB

	Carga de trabajo en el aterrizaje volando con EFB	Carga de trabajo en el aterrizaje volando sin EFB
Tamaño muestral	16	16
Media aritmética	44,8131	52,4781
IC del 95% para la media	35,8965 a 53,7298	45,6710 a 59,2852
Varianza	280,0093	163,1895
Desviación típica	16,7335	12,7746
Error típico de la media	4,1834	3,1936

Nota: Carga de trabajo piloto volando en el aterrizaje.

Fuente: *elaboración propia*.

En la tabla 11, con intervalo de confianza del 95 % a través de una prueba T de muestras pareadas con una probabilidad bilateral $p=0,1594$, se evidencia que el mismo conjunto de elementos que se midieron bajo dos condiciones diferentes no presentó diferencias significativas en las cargas de trabajo generales con el uso y sin el uso del EFB durante la fase del aterrizaje por el piloto volando.

Tabla 11. Prueba T de muestras pareadas

Prueba T	
Diferencia de medias	7,6650
Desviación típica de la diferencia entre medias	20,7065
Error típico de la diferencia entre medias	5,1766
IC del 95%	-3,3687 a 18,6987
Estadística de prueba T	1,481
Grados de libertad (GL)	15
Probabilidad bilateral	P = 0,1594

Nota: Carga de trabajo piloto volando en el aterrizaje.

Fuente: *elaboración propia*.

En la tabla 12, se muestra el resultado de la prueba de Shapiro-Wilk que se realizó con el objeto de contrastar la normalidad de los datos analizados con un $p=0,0803$, lo cual considera aceptar la normalidad.

Tabla 12. Prueba de diferencias Shapiro-Wilk en el aterrizaje piloto volando

Prueba de Shapiro-Wilk para la distribución normal	W=0,9000 Aceptar normalidad (P=0,0803)
--	---

Nota: Diferencias por medio de la prueba de Shapiro-Wilk.

Fuente: *elaboración propia*.

Una vez se observó el análisis de los datos, con la aceptación de la prueba T y la normalidad de los datos por medio de la prueba Shapiro-Wilk, se realizó la prueba de Wilcoxon con un intervalo de confianza del 95 % y se evidenció que los valores oscilan en un rango estrecho para establecer la diferencia de medianas. Se hizo el análisis de cada una de las seis subescalas del NASA-TLX durante la fase del aterrizaje por parte del piloto volando. Se muestran los resultados obtenidos en la tabla 13; de color gris se resaltan los valores p que mostraron una diferencia significativa.

Tabla 13. Fase de aterrizaje: piloto volando (n=16)

Variables	Mediana de la diferencia de Hodges-Lehmann	Intervalo de confianza del 95 %	Valor p	Interpretación del valor p
Demanda mental en el aterrizaje piloto volando con y sin EFB	83,75	0 - 157	0,0245	La demanda mental es significativamente mayor sin el uso del EFB que volar con el EFB
Demanda física en el aterrizaje piloto volando con y sin EFB	15	0 - 30	0,0093	La demanda física es significativamente mayor sin el uso del EFB que volar con el EFB
Demanda temporal en el aterrizaje piloto volando con y sin EFB	45	-32 - 107	0,2769	No hay diferencias significativas
Rendimiento en el aterrizaje piloto volando con y sin EFB	-5	-77,5 - 22	0,7609	No hay diferencias significativas
Esfuerzo durante en el aterrizaje piloto volando con y sin EFB	7.5	-47,5 - 30	0,5995	No hay diferencias significativas
Frustración en el aterrizaje piloto volando con y sin EFB	0	-10 - 25	0,4961	No hay diferencias significativas

Nota: prueba de Wilcoxon de las subescalas del NASA-TLX.

Fuente: elaboración propia.

Durante el análisis de los resultados por medio de la prueba de Wilcoxon, se evidencia una diferencia significativa en dos variables durante el aterrizaje del piloto volando con y sin EFB. La variable de demanda temporal con un $p=0,0245$ muestra que es significativamente mayor volando sin EFB que volar con el EFB. Así mismo, la demanda física con un $p=0,0093$ muestra que es significativamente mayor sin el uso del EFB que volar con el EFB.

Con los resultados expuestos, se rechaza la hipótesis nula del presente estudio, lo que significa que las cargas de trabajo que manejan los pilotos del escuadrón de helicópteros Bell 212 del CACOM-4 aumentan o disminuyen con la implementación de los dispositivos EFB durante la fase crítica del

aterrizaje. Por medio del análisis de las diferencias en las cargas de trabajo planteadas en el objetivo N.º 2 de la presente investigación, las variables de demanda temporal y demanda física son mayores, por lo cual las cargas de trabajo aumentan en la fase del aterrizaje por el piloto volando.

6.1.3.2 Etapa dos, creación del procedimiento de uso del EFB

Con base en el resultado científico obtenido en la etapa anterior y con la necesidad de estandarizar procedimientos de uso del maletín de vuelo electrónico en las fases de despegue, aproximación y aterrizaje, con el fin de que sea aplicado en los pilotos y copilotos del helicóptero Bell 212 de CACOM-4, se presenta el documento completo que incluye una propuesta de uso del dispositivo EFB en todas las fases de vuelo, procedimientos normales y procedimientos de emergencia a ser tenidos en cuenta durante el vuelo.

Se presentan los procedimientos para las fases críticas de vuelo, en las que se generaron actividades que son responsabilidad del piloto volando (PV), del piloto monitoreando (PM) y de ambos pilotos (BOTH). También, se diferencian las condiciones y reglas de vuelo para las cuales aplica. Desarrollado bajo IFR, es identificado con una I; y desarrollado bajo VFR, se representa con una V, dependiendo del momento del vuelo:

- Fase del despegue (tabla 14).

Tabla 14. Procedimiento de uso durante la fase del despegue

Actividad	Descripción	Responsable
Rodaje	<p><i>NOTA</i> La atención de la tripulación debe estar enfocada a maniobrar la aeronave de manera segura, el PF debe evitar tiempo en tener la cabeza abajo para observar el EFB, el helicóptero se puede detener para resolver cualquier duda en esta fase de vuelo.</p> <p>(I)App Navegación...plano de aeródromo ajustar(BOTH) Plano de aeródromo...chequear(PM) Informar al PF avance progresivo en el aeródromo Chequeo para antes de despegar...completar</p>	<p>Piloto volando (PF) Piloto monitoreando (PM)</p>
Antes del despegue	<p><i>ADVERTENCIA</i> Durante las fases críticas de vuelo, la tripulación debe evitar estar trabajando al mismo tiempo en el EFB, si es requerido, transfiera los controles de vuelo de la aeronave.</p> <p>(I)App navegación...seleccione carta SID(BOTH) (V)Air Nav Pro...rumbo y distancia tramo inicial(BOTH) Briefing procedimiento de despegue...completar (PF) Incluye procedimiento en caso de abortaje o emergencia Chequeo para antes de despegar...completar(BOTH)</p>	<p>Piloto volando (PF) Piloto monitoreando (PM)</p>

Nota: Propuesta de procedimiento uso en la fase crítica del despegue.

Fuente: elaboración propia.

- Fase de la aproximación: en la tabla 15, se propone el procedimiento de uso como una guía para ser aplicada en condiciones de reglas de vuelo visuales y por instrumentos.

Tabla 15. Procedimiento de uso durante la fase de aproximación

Actividad	Descripción	Responsable
Antes de la aproximación	(i)App Navegación...seleccione carta IAC(BOTH) Verifique realizar chequeos WHOLDS, AAAC, CAT, 6T Briefing procedimiento aproximación...completar(PF) (v)Air Nav Pro...informe altura y rumbo pistas(PM) <i>Si tiene la información disponible, informe a la tripulación</i> Briefing procedimiento aproximación...completar(PF)	Piloto volando (PF) Piloto monitoreando (PM)

Nota: Propuesta de procedimiento uso en la fase crítica de la aproximación.

Fuente: elaboración propia.

- Fase del aterrizaje: en la tabla 16, se incluye el procedimiento antes y después del aterrizaje.

Tabla 16. Procedimiento de uso durante la fase del aterrizaje

Actividad	Descripción	Responsable
Antes del aterrizaje	(i)App Navegación...verifique carta IAC(BOTH) Verifique chequeo AAAC completo (v)Air Nav Pro...trayectoria al punto de aproximación(PM) <i>Por encima de los últimos 400 pies</i> EFB...verificar no interferencia con controles de vuelo Chequeo para antes de aterrizar...completar(BOTH)	Piloto volando (PF) Piloto monitoreando (PM)
Después del aterrizaje	(i) App Navegación...seleccione plano de aeródromo(BOTH) Chequeo para después de aterrizar...completar(BOTH)	Piloto volando (PF) Piloto monitoreando (PM)

Nota: Propuesta de procedimiento de uso en la fase crítica del aterrizaje.

Fuente: elaboración propia.

Así se presentó el diseño del procedimiento para hacer uso del maletín de vuelo electrónico en las fases de despegue, aproximación y aterrizaje, con el objetivo de que sea aplicado en los pilotos del helicóptero Bell 212 del CACOM-4. Se incluye en la descripción en qué momento la tripulación debe elevar su alerta situacional para llegar a aplicar una advertencia, una nota o una tarea puntual para el desarrollo del vuelo ya sea en condiciones visuales o instrumentos.

7. Discusión

Este estudio fue diseñado para investigar los niveles de cargas de trabajo en cabina utilizando la aplicación de navegación desarrollada por la FAC, así como las aplicaciones necesarias y autorizadas por la Directiva Permanente N.º 011 de la FAC del año 2018. Esto en una misión de entrenamiento en simulador de vuelo en condiciones diurnas durante las fases de despegue, aproximación y aterrizaje en los pilotos de helicóptero Bell 212 del CACOM-4. Los resultados mostraron que las cargas de trabajo varían dependiendo de la fase crítica de vuelo y la posición en cabina que se ocupe, y de la función que esté desempeñando el piloto durante la misión.

En la hipótesis alterna planteada, se disponía que las cargas de trabajo aumentaban o disminuían con el uso de los dispositivos EFB en las fases críticas de despegue, aproximación y aterrizaje. La información obtenida demostró que esta hipótesis solo se veía soportada en la fase de aproximación por parte del piloto monitoreando en las seis variables evaluadas (demanda mental, demanda temporal, demanda física, rendimiento, esfuerzo y frustración).

Es importante precisar que Winter *et al.* (2018) demostraron que, por medio de la interfaz ForeFlight®, el uso aplicativo en las cartas de vuelo electrónicas puede dar a los pilotos una forma más rápida de obtener acceso a la información requerida sobre las cartas de aproximación en papel, debido al bajo número de estímulos necesarios para recopilar información deseada, de manera que el tiempo de respuesta es más bajo. Esto tuvo una variación en el presente estudio, pues se usaron las aplicaciones exigidas por la FAC, y para la visualización de las cartas de vuelo, se utilizó la aplicación de navegación, con lo que se mostró una diferencia significativa en el aumento de la demanda temporal para uso del EFB vs. el uso de papel en la fase de aproximación por el piloto monitoreando, y planteó la necesidad de capacitar a de la aplicación para obtener una demanda temporal menor.

Así mismo, Link (1978) resalta que si se miden tanto las probabilidades de respuesta como los tiempos de respuesta, entonces la probabilidad de respuesta y los tiempos de respuesta correctos y de error deben variar en función de la diferencia de estímulo. Los estímulos recibidos como piloto monitoreando con el uso del EFB son altos, ya que se tienen responsabilidades como hacer cambios de frecuencias tanto de navegación como de comunicación, hacer lectura de los chequeos durante la fase de aproximación,

al igual que los *call outs* o llamados de verificación, adicionales al monitoreo y la supervisión constante de los instrumentos y sistemas de la aeronave. Para cumplir en un corto tiempo con todo ello y ayudar en la reducción de las cargas de trabajo, se requiere tener disponible y a la vista la información contenida en las cartas de aproximación, el QRH y una alerta situacional elevada para el monitoreo de los instrumentos y sistemas de la aeronave. Con los resultados de la presente investigación, se plantea la necesidad de mejorar la interfaz que permita tener una mejor ergonomía visual y cambiar de manera rápida la visualización de la información para mejorar los tiempos de respuesta.

Tal y como se mostró en esta investigación, la ingeniería ha generado avances tecnológicos aplicados a la aviación que han provocado impactos a escala mundial. Modesto Alonso (2013) resalta que hay dos objetivos principales en el estudio de los factores humanos aplicados a la aeronáutica: el primero es diseñar sistemas para sacar ventaja de las características y las habilidades de las personas que habrán de operarlos; el segundo es seleccionar y entrenar a los operadores de estos sistemas. Sin embargo, los resultados obtenidos durante esta investigación demuestran que en la FAC no se había evaluado cómo gestionar las cargas de trabajo generadas con la inclusión de los EFB en las tripulaciones de helicópteros, ni la interacción de la tecnología entre el piloto y la aeronave. Al mismo tiempo, se proporcionó a la aviación de ala rotatoria un procedimiento estandarizado como guía de uso de los dispositivos EFB en cabina, con el fin de buscar el mejor rendimiento y reducción de cargas de trabajo de los pilotos que lo operan.

Teniendo en cuenta lo planteado antes, se determinaron los niveles de cargas de trabajo mediante el NASA-TLX en el simulador de vuelo de HUEY II, los cuales fueron fundamentales para realizar el análisis de las diferencias que se presentan con el uso del dispositivo EFB vs. el uso de la información en papel. Se encuentra como resultado que sí hay diferencias significativas en las seis variables evaluadas, específicamente en la fase de la aproximación por parte del piloto monitoreando. Teniendo en cuenta el planteamiento del problema, los antecedentes planteados, los desarrollos tecnológicos en cabina, el marco teórico y las bases legales trabajadas, se resaltó que luego de la aprobación del uso de los dispositivos EFB durante las fases críticas de vuelo por parte de la FAA (2002), que recomienda que las cargas de trabajo de los pilotos con el uso del EFB sean evaluadas en un simulador de vuelo o en una aeronave, la presente investigación observó

que esta recomendación no había sido tomada en cuenta por la FAC durante la implementación en la cabina del helicóptero Bell 212. Esto último permitió desarrollar el diseño de un procedimiento para el uso del maletín de vuelo electrónico en las fases críticas de vuelo con el objeto de ser aplicado en los pilotos del CACOM-4.

7.1. Pilotaje

La recolección y el análisis de los datos derivaron en la creación de la versión final del diseño del procedimiento. Para ello, se tomaron dos participantes, entre ellos el piloto estandarizador de instructores del año 2019 (cargo de vuelo con mayor importancia y responsabilidad entre los pilotos del Escuadrón 411). Es de aclarar que estos pilotos no habían participado previamente en la toma de datos que se analizaron para la creación del procedimiento en el desarrollo de la investigación.

Esta prueba piloto se realizó durante un tiempo de cuatro horas que incluyó la fase en tierra previo al vuelo, el periodo de vuelo y la recolección de datos en el simulador, a fin de estandarizar el procedimiento de uso del dispositivo EFB a partir de la determinación de las cargas de trabajo en las fases críticas de vuelo del despegue, aproximación y aterrizaje, y de identificar pasos que presentan un grado de esfuerzo mayor para realizar los procedimientos creados. Es de resaltar que los datos tomados de esta fase por medio de la metodología NASA-TLX no se tuvieron en cuenta para el análisis estadístico.

El procedimiento final fue ajustado después de la prueba piloto, teniendo en cuenta las dificultades evidenciadas y las recomendaciones hechas por parte del piloto estandarizador de instructores del equipo Bell 212. La prueba piloto fue desarrollada en cuatro etapas (figura 16).

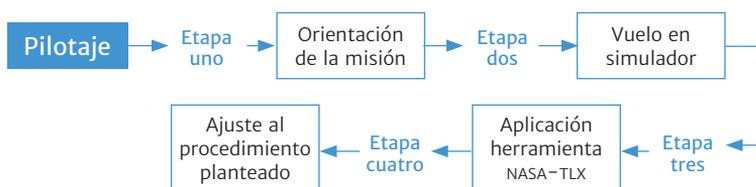


Figura 16. Flujo de la prueba piloto

Fuente: *elaboración propia.*

7.1.1. Etapa uno: prueba piloto, orientación de la misión

Esta etapa se realizó con los dos participantes de la prueba piloto en un ambiente previo al vuelo en el simulador, en donde se revisaron una a una las actividades descritas en el procedimiento, a partir de las instrucciones iniciales para el uso del EFB, seguido de la verificación de los requerimientos físicos para el vuelo y las prohibiciones del uso de los EFB.



Figura 17. Orientación de la misión de la prueba piloto, revisión detallada del procedimiento creado

Fuente: elaboración propia.

Durante esta etapa, también se incluyó la revisión y la explicación detallada de los procedimientos normales de operación.

7.1.2. Etapa dos: pruebas piloto, vuelo en el simulador

Esta etapa se realizó en el simulador de vuelo del equipo HUEY II, bajo las mismas condiciones de los vuelos que se presentaron para realizar la toma de datos iniciales.

7.1.3. Etapa tres: pruebas piloto, aplicación herramienta NASA-TLX

En esta etapa, los pilotos realizaron cuatro vuelos completos; dos vuelos por cada una de las funciones de piloto volando y piloto monitoreando, y

dos vuelos efectuando cambio de roles (el piloto que se encontraba volando pasó a monitorear y el piloto monitoreando pasó a volar). Al finalizar se administró el instrumento de evaluación.

7.1.4. Etapa cuatro: prueba piloto, ajustes al procedimiento planteado

Tras obtener los resultados de la etapa anterior, se realizaron ajustes al procedimiento propuesto inicialmente, como la creación de un procedimiento de verificación de uso rápido del dispositivo (*thru flight*) durante la etapa prevuelo del equipo EFB, con el fin de pasar de verificar un mayor número de ítems a hacerlo por unos más simples que incluyen toda la información pertinente.

7.2. Respuesta a la pregunta problema

La pregunta problema planteada fue la siguiente: ¿qué procedimiento debe proponerse para poder utilizar el maletín de vuelo electrónico en los pilotos de helicóptero Bell 212 del CACOM-4, que les permita tener una guía de uso con base en la determinación y el análisis del nivel de las cargas de trabajo durante las fases de despegue, aproximación y aterrizaje?

Las cargas de trabajo obtenidas en los pilotos de helicóptero Bell 212 del CACOM-4, registradas por medio de la metodología NASA-TLX, que determinó la evaluación de manera subjetiva de seis variables (demanda temporal, demanda física, demanda mental, esfuerzo, frustración y rendimiento) en las fases de despegue y aterrizaje para el piloto volando y monitoreando, así como las del piloto volando en la aproximación, se encuentran dentro de parámetros de cargas de trabajo normales durante el desarrollo de las actividades propias que desempeñan en vuelo los pilotos con y sin el uso del EFB. Sin embargo, las cargas de trabajo no son normales durante la fase de aproximación por parte del piloto monitoreando.

Se demuestra que en la fase de aproximación por parte del piloto monitoreando, las cargas de trabajo que el sujeto experimenta son mayores con el uso del EFB. Debido a lo anterior, se propone un procedimiento que los pilotos del equipo Bell 212 en el CACOM-4 puedan disponer como guía de uso. Se indican los puntos necesarios a ser ejecutados por los pilotos, según la función que estén desempeñando durante las fases críticas de vuelo del despegue, aproximación y aterrizaje. Este fue creado con base en el formato

de creación de procedimientos establecido por la FAC, y fue planteado con la característica principal de ser un procedimiento simple y sencillo de entender e interpretar, y que no requiera una explicación previa para un piloto del Escuadrón 411.

7.3. Aprobación del procedimiento propuesto

El procedimiento creado como propuesta de guía de uso del maletín de vuelo electrónico en los pilotos de helicóptero Bell 212 del CACOM-4, basado en la determinación y el análisis de las cargas de trabajo durante las fases de despegue, aproximación y aterrizaje, fue aprobado por el Consejo Académico del primer semestre de 2019, de la Escuela de Helicópteros para las Fuerzas Armadas de la FAC para ser incluido en el QRH del equipo Bell 212.

8. Conclusiones, limitaciones y recomendaciones

8.1. Conclusiones

El uso del maletín de vuelo electrónico a nivel mundial sin duda alguna continuará siendo una herramienta de consulta primaria necesaria en las cabinas de vuelo, tanto de aeronaves de ala fija como de rotatoria. El desarrollo de nuevas mejoras que integran *hardware* y *software* cada día más robustos, con estudios de ergonomía, cargas de trabajo y rendimiento, ayuda a tener aplicaciones que requieren constantes actualizaciones para continuar con el proceso de evolución del ser humano.

Dicho esto, la FAC, como autoridad de aviación de Estado y pionera en la aviación en Colombia, debe continuar con la investigación, el desarrollo, el análisis y las afectaciones alrededor de este tipo de tecnología, la cual fue incorporada en las cabinas de vuelo sin ningún tipo de preámbulo, ni educación, ni estandarización, a fin de evitar avanzar sin educación. Por lo tanto, se plantea la necesidad de educar a los usuarios que hacen uso de los dispositivos EFB, proceso en el que se incluyan todas las aplicaciones que ordena la Directiva Permanente N.º 011 establecida por la FAC en el año 2018. Con la estandarización de un procedimiento guía de uso del maletín de vuelo electrónico, se logra dar a la FAC un ítem que no se tenía creado.

Se ve la necesidad de plantear la creación de programas de estudio y capacitación de uso e interacción con el dispositivo EFB, enfocado

directamente en los pilotos de helicóptero Bell 212, con el fin de evitar que la aplicación de navegación sea subutilizada. Así mismo, es posible que los pilotos del equipo Bell 212 se hubiesen adaptado adecuadamente al uso del maletín de vuelo electrónico en las diferentes fases de vuelo.

El análisis de los datos por medio de la metodología NASA-TLX generó los siguientes interrogantes:

- ¿Por qué a pesar de que los pilotos monitoreando hacen un mayor esfuerzo en la fase de aproximación haciendo uso del EFB, la evaluación del rendimiento es mayor con el uso del EFB?
- ¿Por qué a pesar de que los pilotos monitoreando tienen una mayor frustración en la fase de aproximación haciendo uso del EFB, la evaluación del rendimiento es mayor con el uso del EFB?
- ¿Por qué los pilotos monitoreando en la fase de aproximación se sienten más frustrados haciendo uso del EFB que sin hacer uso del EFB?
- ¿Qué relación tiene que la demanda mental del piloto monitoreando en la aproximación y la frustración del piloto monitoreando en la aproximación con el uso del EFB sean significativamente mayores que sin el uso del EFB?
- ¿Dichos interrogantes se generan únicamente para el equipo Bell 212 o estos planteamientos también serán aplicables en otras flotas?

Con los interrogantes planteados, se deja a la FAC literatura científica base que puede ser aplicada en futuras investigaciones que permitan no solo resolver dichas incógnitas, sino también aportar a nuevos desarrollos y avances tecnológicos.

8.2. Limitaciones

- La investigación desarrollada comparó varios pilotos del Escuadrón 411 expuestos a las mismas tareas evaluadas, pero ellos podían valorar de formas distintas las cargas de trabajo, ya que el método NASA-TLX es puramente subjetivo y midió las percepciones de los pilotos, en las cuales se pudieron presentar ambigüedades. Por ello, se requieren otros instrumentos que generen la valoración en resultados más objetivos (Martínez, 2018). No quiere decir que en la FAC no existan

diferencias, ya que la investigación solo es aplicada a los pilotos del helicóptero Bell 212, por lo cual no se pueden generalizar los resultados.

- En el desarrollo del estudio de investigación, se excluyó de la investigación a dos pilotos que no pudieron completar los vuelos sin el uso del EFB, lo cual no permitió que se tuvieran en cuenta los datos almacenados, pues no se registraron completamente para realizar el análisis.
- Que los participantes no tuvieran tiempo disponible resultó siendo una dificultad para la toma de datos, en razón a que las actividades administrativas en las áreas de trabajo no permitían participar en la realización de los vuelos. Sin embargo, esto se superó en algunos casos haciendo los vuelos los fines de semana, lo que afectó el tiempo libre de los participantes en la investigación.
- La medición de la carga de trabajo con el uso de la documentación en papel estuvo limitada a las áreas de vuelo de los aeródromos de despegue, aterrizaje y un alterno, debido a la ausencia del Manual de Normas, Rutas y Procedimientos de Aviación Civil de la República de Colombia en medio físico, así como del Manual de Normas, Rutas y Procedimientos de Aviación de Estado.
- En esta investigación, no se determinaron los diferentes tipos de cargas de trabajo, las cargas ergonómicas, la ubicación en cabina, la exactitud, confiabilidad, descompresibilidad, la temperatura de uso y las actualizaciones del EFB. Sí se estableció el uso del dispositivo en la pierna, ya que la FAC les hace entrega a las tripulaciones de una piñonera para que sea usada durante los vuelos.

8.3. Recomendaciones

- Realizar las mediciones en espacios de tiempo diferentes durante el desarrollo en el simulador de vuelo; por ejemplo, los vuelos con el uso del EFB deben realizarse en un día específico, y otro día se debe efectuar el vuelo usando la documentación en papel.
- Es necesario mejorar la interfaz de la aplicación de navegación para que permita tener una mejor ergonomía visual y cambiar de manera rápida la visualización de la información en las cartas de aproximación, a fin de mejorar los tiempos de respuesta. Esto podría hacerse creando una opción que permita realizar la división de la pantalla, la

cual puede ser llevada a cabo por parte de los desarrolladores de la aplicación en el interior de la FAC en el Comando de Operaciones Aéreas (COA).

- La Jefatura de Educación Aeronáutica (JEA) debe realizar la creación de programas de estudio y capacitación del uso e interacción del maletín de vuelo electrónico para los tripulantes de vuelo del Escuadrón 411. Se deben incluir: características de los dispositivos, instalación y desinstalación de las aplicaciones, modos de empleo, restricciones, limitaciones, procedimientos en caso de falla o accidentes aéreos ocasionados por el mal uso de los EFB, etc. Con el fin de no generalizar el análisis de los resultados obtenidos en la investigación, pues esta investigación solo es aplicada a los pilotos del equipo Bell 212, se recomienda realizar estudios para determinar cuáles son las cargas de trabajo en otros escuadrones de vuelo, incluyendo cabinas de un solo piloto y cabinas múltiples.
- Dar continuidad al programa de entrenamiento de vuelo por instrumentos a los pilotos del Escuadrón 411, que les ratifique realizar las actividades de vuelo bajo reglas de vuelo instrumentales (IFR), de manera estandarizada, y usando la fraseología, los chequeos y los llamados (*call outs*), en busca de mejorar la administración de los recursos de cabina.
- La aplicación de navegación desarrollada por la FAC debe contar con un manual de empleo de la herramienta, que permita de manera gráfica identificar las ventajas y capacidades que tiene el desarrollo tecnológico.
- La creación del Manual de Referencia Rápida de Manera Electrónica E-QRH para que sea incluido en la aplicación de navegación como un subíndice dentro de las categorías inferiores, que permita ser descargado y actualizado únicamente por cada uno de los escuadrones de vuelo. Esto serviría para estandarizar, desde el nivel organizacional, los procedimientos que deben usar las tripulaciones de la fuerza pública.
- Las cartas de navegación de vuelo dentro de la aplicación de navegación se deben georreferenciar para visualizar la ubicación de la aeronave durante la ejecución real del vuelo, en cuanto a los procedimientos de despegue (Standard Instrument Departure, SID), las llegadas (Standard Terminal Arrival, STAR), las cartas de aproximación (Instrument Approach Chart, IAC), las cartas de área terminal de maniobra (Terminal Manoeuvring Area, TMA), los planos de aeródromo, así como los procedimientos visuales que incluyen las llegadas y

salidas por corredores visuales, ya que la gran mayoría de las cartas se encuentran diseñadas a escala.

- Que la FAC continúe con el desarrollo de investigaciones científicas que ayuden a mejorar los procesos de interacción hombre-máquina. También que les dé el tiempo necesario a los investigadores y a los participantes para que participen de manera activa en el desarrollo de las investigaciones.
- Que se realicen estudios dirigidos a las flotas de ala fija, en busca de la mejora de la interacción del hombre y la máquina en la FAC.

Con las recomendaciones expuestas, se espera que la FAC tenga en cuenta en el normal desarrollo de sus actividades constitucionales, y que el ámbito académico pueda tomar estos planteamientos y hacerlos útiles para continuar con el crecimiento científico y profesional.

9. Referencias

- Águila Soto, A. D. (2010). *Procedimiento de evaluación de riesgos ergonómicos y psicosociales*. Editorial Universidad de Almería.
- Airforce Safety Center. (1990). *Human Factors Analysis and Classification System (DoD HFACS)*. [https://www.safety.af.mil/Portals/71/documents/Human%20Factors/DoD%20HFACS%207.0%20\(AFSAS\)%20Final.pdf?ver=2019-06-06-110309-983](https://www.safety.af.mil/Portals/71/documents/Human%20Factors/DoD%20HFACS%207.0%20(AFSAS)%20Final.pdf?ver=2019-06-06-110309-983)
- Alonso, M. M. (2013). La psicología aeronáutica y su contribución a la seguridad aeroespacial. *Revista Argentina de Psicología*, (52). https://www.modestoalonso.com.ar/assets/12_rap_52_la_psicologia_aeronautica.pdf
- Alonso Fustel, E., García Vásquez, R. y Onaindia Onalde, C. (2011). *Campos electromagnéticos y efectos en la salud*. Subdirección de Salud Pública de Bizkaia. https://www.osakidetza.euskadi.eus/contenidos/informacion/cem_salud/es_cem/adjuntos/cem.pdf
- Ahlstrom, U., Ohneiser, O. y Caddigan, E. (2016). Portable weather applications for general aviation pilots. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 58(6), 864-885. <https://doi.org/10.1177/0018720816641783>
- Álvarez Torres, M. G. (2020). *Manual para elaborar manuales de política y procedimientos*. Editorial Panorama.
- Artazcoz Lazcano, L. (2001). Factores de riesgo psicosocial y carga mental: ¿estamos midiendo lo mismo o son conceptos diferentes? *Archivos de Prevención de Riesgos Laborales*, 4(3), 91-92. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7444679>

- Barón Saavedra, D. A. y Vanegas Santos, M. P. (2018). *Carga mental relativa al puesto de trabajo en cuidadores formales: trabajadores sociales de personas con diagnóstico de enfermedad psiquiátrica en una institución de segundo nivel de complejidad de Bogotá a través del método NASA-TLX* [trabajo de grado, Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales]. Repositorio institucional UDCA. <https://repository.udca.edu.co/handle/11158/1193>
- Belyaev, I., Dean, A., Eger, H., Hubmann, G., Jandrisovits, R., Kern, M., Kundi, M., Moshhammer, H., Lercher, P., Müller, K., Oberfeld, G., Ohnsorge, O., Pelzmann, P., Scheingraber, C. y Thill, R. (2016). EUROPAEM EMF Guideline 2016 for the prevention, diagnosis and treatment of EMF-related health problems and illnesses. *Reviews on Environmental Health*, 31(3), 363-397. <https://doi.org/10.1515/reveh-2016-0011>
- Boeing Commercial Airplanes. (2016). *Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents*. <https://skybrary.aero/sites/default/files/bookshelf/2716.pdf>.
- Boeing Commercial Airplanes. (2020). *Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents Worldwide Operations 1959-2020*. http://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/company/about_bca/pdf/statsum.pdf
- Boff, K. R., Kaufman, L. y Thomas, J. P. (1986). *Handbook of perception and human performance: Cognitive processes and performance (volume 2)*. Wiley-Interscience.
- Burian, B. K., Pruchnicki, S., Rogers, J., Christopher, B., Williams, K., Silverman, E., Drechsler, G., Mead, A., Hackworth, C. y Runnels, B. (2013). *Single-pilot workload management in entry-level jets*. Federal Aviation Administration. https://www.faa.gov/data_research/research/med_humanfacs/oamtechreports/2010s/media/201317.pdf
- Boeing Commercial Aviation Services. (2013). *Maintenance Error Decision Aid (MEDA)*. https://www.boeing.com/commercial/aeromagazine/aero_03/textonly/m01txt.html
- Cárdenas Rojas, P. (2012). *Cáncer de piel en tripulación aérea colombiana y factores de riesgo asociados* [tesis de especialización, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional Unal. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/20654>
- Castro González, L. N. (2013). *Informe preliminar del nivel de exposición a radiación en pilotos civiles de Colombia durante el año 2005 con el uso de un modelo computacional* [trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio institucional Unal. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/21320>
- Cruz Pérez, F. de J., y Araujo Álvarez, J. M. (2016). Prevalencia de discromatopsia en pilotos aviadores y factores laborales aeronáuticos, estudio comparativo. *Revista Colombiana de Salud Ocupacional*, 6(4), 16-22. https://doi.org/10.18041/2322-634X/rc_salud_ocupa.4.2016.4942
- Casner, S. M. (1992). To err is human, to be error-tolerant is divine. *Applied Cognitive Psychology*, 6(5), 456-457. <https://doi.org/10.1002/acp.2350060510>

- Caldwell, J. A. (2005). Fatigue in aviation. *Travel Medicine and Infectious Disease*, 3(2), 85–96. <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2004.07.008>
- Cejas, C. (2014). A 50 años de la Declaración de Helsinki. *Revista Argentina de Radiología*, 78(1), 1–2. [https://doi.org/10.1016/S0048-7619\(14\)70031-6](https://doi.org/10.1016/S0048-7619(14)70031-6)
- Presidencia de la República de Colombia. (2012, 3 de abril). *Directiva Presidencial N.º 04. Eficiencia administrativa y lineamientos de la política cero papel en la administración pública*. <https://www.camara.gov.co/sites/default/files/2018-05/46%20Directiva%20Presidencia%202012%20-%20cero%20papel.pdf>
- Espinosa Freire, E. E. (2018). La hipótesis en la investigación. *Mendive*, 16(1), 122–139. <http://mendive.upr.edu.cu/index.php/MendiveUPR/article/view/1197>
- Esquivel Triana, R. (2016). La Fuerza Aérea Colombiana y el cese del conflicto armado (1998–2015). *Revista Científica General José María Córdova*, 14(17), 377–401. <http://www.scielo.org.co/pdf/recig/v14n17/v14n17a14.pdf>
- EcuRed. (2017). *Radiación no ionizante*. https://www.ecured.cu/radiaci%c3%b3n_no_ionizante
- Díaz Ramiro, E., Rubio Valdehita, S., Martín García, J. y Luceño Moreno, L. (2010). Estudio psicométrico del índice de carga mental NASA-TLX con una muestra de trabajadores españoles. *Revista de Psicología del Trabajo y de las Organizaciones*, 26(3), 191–199. <https://doi.org/10.5093/tr2010v26n3a3>
- Fajardo Rodríguez, H. A. (2007). *Error humano: medicina y aviación*. Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Federal Aviation Administration. (2002). *Advisory Circular AC No. 120–76*. [http://rgl.faa.gov/Regulatory_and_Guidance_Library/rgAdvisoryCircular.nsf/list/AC_120-76/\\$FILE/AC120-76.pdf](http://rgl.faa.gov/Regulatory_and_Guidance_Library/rgAdvisoryCircular.nsf/list/AC_120-76/$FILE/AC120-76.pdf)
- Federal Aviation Administration. (2007). *Fatiga en aviación*. https://www.faa.gov/pilots/safety/pilotsafetybrochures/media/Span_Fatigue.pdf
- Federal Aviation Administration. (2012). *Approaches and landings*. https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/airplane_handbook/media/10_afh_ch8.pdf
- Federal Aviation Administration. (2013). *Takeoffs and departure climbs*. https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/airplane_handbook/media/07_afh_ch5.pdf
- Ferrer, R. y Dalmau, I. (2004). Revisión del concepto de carga mental: Evaluación, consecuencias y proceso de normalización. *Anuario de Psicología*, 35(4), 521–545. <https://core.ac.uk/download/pdf/154918049.pdf>
- Fitzsimmons, M. F. S. (2002). *The electronic flight bag: A multi-function tool for the modern cockpit*. United States Air Force Academy.
- Fuerza Aérea Colombiana (FAC). (2015). *Directiva Permanente 048. Procedimiento para autorizar el uso de electronic flight bags (EFB) clase 1, 2 y 3*. <https://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/biblioteca-tecnica/Direccion%20de%20estandares%20de%20vuelo/BT%205100-069-001%20EFB%20V3.pdf>

- Fuerza Aérea Colombiana (FAC). (2017). *Manual de tareas B-212*, (3ª ed.) (Vol. 212). Escuela de Helicopteros para las Fuerzas Armadas (EHFAA).
- Fuerza Aérea Colombiana (FAC). (2018). *Directiva Permanente 011. Implementación de maletín de vuelo electrónico (EFB) institucionales a bordo de aeronaves tripuladas FAC*.
- Fuerza Aérea Colombiana (FAC). (2018). *Manual de técnicas, tácticas y procedimientos A/B-212*. Escuela de Helicopteros para las Fuerzas Armadas (EHFAA).
- Gore, B. F. y Kim, R. H. (2018). *NASA-TLX for iOS. User guide v1.0*. https://humansystems.arc.nasa.gov/groups/TLX/downloads/NASA_TLX_for_iOS_User_Guide_Final.pdf
- Hardell, L. y Sage, C. (2008). Biological effects from electromagnetic field exposure and public exposure standards. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 62(2), 104-109. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2007.12.004>
- Hart, S. G. (2006). Nasa-Task Load Index (NASA-TLX); 20 years later. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 50(9), 904-908. <https://doi.org/10.1177/154193120605000909>
- Hart, S. G. y Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX: Results of empirical and theoretical research. *Advances in Psychology*, 52, 139-183. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)62386-9](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)62386-9)
- Hernández-Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). McGraw-Hill.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del Trabajo. (s. f.). *NTP 234: Exposición a radiofrecuencias y microondas (I). Evaluación*. https://www.insst.es/documents/94886/327166/ntp_234.pdf/528209f8-f019-4027-8005-3162e4b17100
- Lachmansingh, D. A. (2016). Malignancies associated with radiation in aerospace personnel. A review of evidence and studies. *Archives of Medicine*, 8(6:14), 1-7. <http://www.archivesofmedicine.com/medicine/malignancies-associated-with-radiation-in-aerospace-personnel-a-review-of-evidence-and-studies.pdf>
- Larson, G. E. y Perry, Z. A. (1999). Visual capture and human error. *Applied Cognitive Psychology*, 13(3), 227-236.
- Litvak, E. y Foster, K. R. y Repacholi, M. H. (2002). Health and safety implications of exposure to electromagnetic fields in the frequency range 300 Hz to 10 MHz. *Bioelectromagnetics* 23(1), 62-82. <https://doi.org/10.1002/bem.99>
- Leplat, J. y Rasmussen, J. (1984). Analysis of human errors in industrial incidents and accidents for improvement of work safety. *Accident Analysis & Prevention*, 16(2), 77-88. [https://doi.org/10.1016/0001-4575\(84\)90033-2](https://doi.org/10.1016/0001-4575(84)90033-2)
- Leal Sánchez, J. F. (2013). *Hacia una fase digital* [tesis de especialización, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio institucional UMNG. <http://hdl.handle.net/10654/10858>
- Link, S. W. (1978). The relative judgment theory of the psychometric function. *Journal of Mathematical Psychology*, 12(1), 114-135. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(75\)90053-X](https://doi.org/10.1016/0022-2496(75)90053-X)

- López Núñez, M. I., Rubio Valdehita, S. y Luceño Moreno, L. (2010). Fase de ponderación del NASA-TLX: ¿un paso innecesario en la aplicación del instrumento? *EduPsykhé: Revista de Psicología y Psicopedagogía*, 9(2), 159-175. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3437172>
- Marchitto, M. (2011). El error humano y la gestión de seguridad: la perspectiva sistémica en las obras de James Reason. *Laboreal*, 7(2), 56-64. <https://journals.opedition.org/laboreal/7750>
- Martínez Gómez, T. M. (2018). *Caracterización de instrumentos de evaluación de carga mental* [trabajo de grado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio institucional PUJ. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/39170>
- Mateescu, C. Alecu, G. y Kappel, W. (2008). Electromagnetic field as environment factor affecting human health. *Revue Roumaine des Sciences Techniques, Série Électrotechnique et Énergétique*, 53(12), 113-121.
- Ministerio de Salud y Protección Social. (1993, 4 de octubre). *Resolución 8430 de 1993. Por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud*. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/RESOLUCION-8430-DE-1993.PDF>
- Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. (2015, 26 de mayo). *Decreto 1078 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones*. https://normograma.mintic.gov.co/mintic/docs/decreto_1078_2015.htm
- Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. (1979, 22 de mayo). *Resolución 2400 de 1979. Por la cual se establecen algunas disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo*. <https://www.ilo.org/dyn/travail/docs/1509/industrial%20safety%20statute.pdf>
- Ministerio de Transporte. (2010, 5 de agosto). *Decreto 2937 de 2010. Por el cual se designa a la Fuerza Aérea Colombiana como autoridad aeronáutica de la aviación de Estado y ente coordinador ante la autoridad Aeronáutica Civil Colombiana y se constituye el Comité Interinstitucional de la Aviación de Estado*. https://web.mintransporte.gov.co/jspui/bitstream/001/4111/1/Decreto_2937_2010.pdf
- Mivovenko Enerstvedt, O. (2017). *Aviation security, privacy, data protection and other human rights: Technologies and legal principles*. Springer.
- Niño Rojas, V. M. (2011). *Metodología de la investigación. Diseño, ejecución e informe*. Ediciones de la U.
- Nomura, S., Hutchins, E. y Holder, B. E. (2007). The uses of paper in commercial airline flight operations. *Proceedings of the 2006 20th Anniversary Conference on Computer Supported Cooperative Work*. <https://doi.org/10.1145/1180875.1180914>
- O'Hare, D., Mullen, N., Wiggins, M. y Molesworth, B. (2008). Finding the right case: The role of predictive features in memory for aviation accidents. *Applied Cognitive Psychology*, 22(8), 1163-1180. <https://doi.org/10.1002/acp.1428>

- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y Comisión Latinoamericana de Aviación Civil (CLAC). (2008). *Reglamento Aeronáutico Latinoamericano LAR 135. Requisitos de operación: operaciones domésticas e internacionales regulares y no regulares*. <https://www.icao.int/SAM/Documents/2008/JG19/LAR%20135.pdf>
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2006). *Convenio sobre Aviación Civil Internacional*. https://www.icao.int/publications/Documents/7300_cons.pdf
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2009). *Manual de gestión de la seguridad operacional*. http://www.anac.gov.ar/anac/web/uploads/ssp-sms/doc_oaci_9859.pdf
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2010). *Anexo 6 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional. Parte 1. Transporte Aéreo Internacional-aviones. Operación de aeronaves, ADJ A-1*. [https://www.icao.int/safety/fatiguemanagement/FRMS Tools/Amendment 35 for FRMS SARPS AttA \(sp\).pdf](https://www.icao.int/safety/fatiguemanagement/FRMS Tools/Amendment 35 for FRMS SARPS AttA (sp).pdf)
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2011). *Conceptos básicos sobre seguridad operacional (SMS)*. [https://www.icao.int/SAM/Documents/2011/WILDHA.11/01_LR_Conceptos%20Básicos%20Sobre%20Seguridad%20Operacional%20\(SMS\).pdf](https://www.icao.int/SAM/Documents/2011/WILDHA.11/01_LR_Conceptos%20Básicos%20Sobre%20Seguridad%20Operacional%20(SMS).pdf)
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2012). *Phase of Flight, Definitions and Usage Notes*. <https://dokument.pub/phase-of-flight-definitions-and-usage-notes-flipbook-pdf.html>
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2015a). *Taller de los Sistemas de Gestión de la Seguridad Operacional (SMS) de la OACI*. <https://www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2015/FSSMS/TallerSMSMEX-ModuloV.pdf>
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2015b). *Manual on Electronic Flight Bags (EFBS)*. http://www.aviationchief.com/uploads/9/2/0/9/92098238/icao_doc_10020_-_unedited_en_efbs_1.pdf
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2016a). *Plan mundial de navegación aérea 2016-2030*. https://www.icao.int/publications/Documents/9750_cons_es.pdf
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2016b). *Informe Anual de 2016*. <https://www.icao.int/annual-report-2016/Pages/ES/progress-on-icaos-strategic-objectives-safety-policy-and-standardization.aspx>
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2016c). *Plan global para la seguridad operacional de la aviación 2017-2019*. https://www.icao.int/Meetings/a39/Documents/GASP_es.pdf
- Ohme, M. (2014). Use of tablet computers as Electronic Flight Bags in general aviation. *Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*. <https://commons.erau.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1049&context=aircon>
- Patrickson, M. G. (1988). Book review. New technology and human error. J. Rasmussen, K. Duncan and J. Leplat, John Wiley & Sons, London & New York, 1987. *Journal of Organizational Behavior*, 9(2), 195-196. <https://doi.org/10.1002/job.4030090211>

- Pillay, M. (2015). Accident causation, prevention and safety management: A review of the state-of-the-art. *Procedia Manufacturing*, 3, 1838-1845. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.224>
- Reason, J. (1986). Book review. An engineer's view of human error, Trevor Kletz, Third Edition, IChemE (2001), 260 pp, £45, ISBN: 0 85295 430 1. *Process Safety and Environmental Protection*, 80(3), 166. <https://doi.org/10.1205/095758202317576283>
- Rubio, S., Díaz, E., Martín, J. y Puente, J. M. (2004). Evaluation of Subjective Mental Workload: A Comparison of SWAT, NASA-TLX, and Workload Profile Methods. *Applied Psychology*, 53(1), 61-86. <https://doi.org/10.1111/j.1464-0597.2004.00161.x>
- Rubio Valdehita, S., Luceño Moreno, L., Martín García, J. y Jaén Díaz, J. (2007). Modelos y procedimientos de evaluación de la carga mental de trabajo. *Edupsykhé: Revista de Psicología y Psicopedagogía*, 6(1), 85-108. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2267138>
- Ruiz-Moreno, J. M. y Trujillo, H. M. (2012). Modelos para la evaluación del error humano en estudios de fiabilidad de sistemas. *Anales de Psicología*, 28(3), 963-977. <https://www.redalyc.org/pdf/167/16723774036.pdf>
- Rouse, W. B. y Morris, N. M. (1987). Conceptual design of a human error tolerant interface for complex engineering systems. *Automatica*, 23(2), 231-235. [https://doi.org/10.1016/0005-1098\(87\)90097-5](https://doi.org/10.1016/0005-1098(87)90097-5)
- Stringer, P. G. y Riley, D. D. (1985). Pilot error accidents: A total system approach to analysis. *Proceedings of the Human Factors Society Annual Meeting*, 29(6), 526-530. <https://doi.org/10.1177/154193128502900601>
- Sweet, J., Vu, K.-P., Battiste, V. y Strybel, T. Z. (2017). The comparative benefits and hazards of EFBs and paper documents in the cockpit. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 61(1), 99-100. <https://doi.org/10.1177/1541931213601490>
- Sociedad Española de Electromedicina e Ingeniería Clínica (SEEIC). (s. f.). *Ondas electromagnéticas. Cómo se generan*. <https://seeic.org/images/site/varios/tecnicos/ondas%20electromagneticas.pdf>
- Tchernitchin, A. y Riveros, R. (2004). Efectos de la radiación electromagnética sobre la salud. *Cuadernos Médico-Sociales (Chile)*, 44, 221-234. [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/21D8DFD5E6D3FFC805257C-86005917FF/\\$FILE/Magazine_2004_44_4_44_4_5.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/21D8DFD5E6D3FFC805257C-86005917FF/$FILE/Magazine_2004_44_4_44_4_5.pdf)
- Torres, J. I. y Alzate, L. H. (2006). Efectos de las radiaciones electromagnéticas no ionizantes en sistemas biológicos. *Revista Médica de Risaralda*, 12(2), 44-54. <https://doi.org/10.22517/25395203.985>
- Unidad Administrativa Especial de la Aeronáutica Civil (Aerocivil). (2014). *Boletín técnico procedimiento para autorizar el uso de electronic flight bags (efb) clase 1, 2 y 3*. Bogotá. Recuperado de [http://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/biblioteca-tecnica/Direccion de estandares de vuelo/BT 5100-069-001 EFB V3.pdf](http://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/biblioteca-tecnica/Direccion%20de%20estandares%20de%20vuelo/BT%205100-069-001%20EFB%20V3.pdf)

- Unidad Administrativa Especial de la Aeronáutica Civil (Aerocivil). (2015). *Programa del Estado para la Gestión de Autoridad en Seguridad Operacional*. <https://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/iris-integrador-de-reportes-e-informacion-de-seguridad-operacional/PEGASO/PEGASO.pdf>
- Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (Aerocivil). (2016). *Misión, visión y objetivos*. <http://www.aerocivil.gov.co/aerocivil/mision>
- Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (Aerocivil). (2017). *RAC-219, Gestión de seguridad operacional*. <https://www.aerocivil.gov.co/normatividad/RAC/RAC%20%20219%20-%20Implementaci%C3%B3n%20del%20Sistema%20%20SMS.pdf>
- Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil (Aerocivil). (2020). *RAC 114, investigación de accidentes e incidentes de aviación*. <https://www.aerocivil.gov.co/normatividad/RAC/RAC%20%2020114%20-%20Investigaci%C3%B3n%20%20de%20Accidentes%20e%20Incidentes%20de%20Aviaci%C3%B3n.pdf>
- Vila, J., Bowman, J. D., Richardson, L., Kincl, L., Conover, D. L., McLean, D., Mann, S., Vecchia, P., Van Tongeren, M. y Cardis, E. (2016). A source-based measurement database for occupational exposure assessment of electromagnetic fields in the INTEROCC study: A literature review approach. *The Annals of Occupational Hygiene*, 60(2), 184-204. <https://doi.org/10.1093/annhyg/mev076>
- Winter, S. R., Milner, M. N., Rice, S., Bush, D., Marte, D. A., Adkins, E., Roccasecca, A., Rosser, T. G. y Tamilselvan, G. (2018). Pilot performance comparison between electronic and paper instrument approach charts. *Safety Science*, 103, 280-286. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.12.016>
- Wen-Chin, L., Hsin-Chin, C. y Fuh-Eau, W. (1990). Human errors in the cockpit and accidents prevention strategies from cockpit resources management perspective. *19th Digital Avionics Systems Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/dasc.2000.884885>
- Wiggins, M. (2011). Vigilance decrement during a simulated general aviation flight. *Applied Cognitive Psychology*, 25(2), 229-235. <https://doi.org/10.1002/acp.1668>
- Corral, Y. (2009). *Validez y confiabilidad de los instrumentos de investigación para la recolección de datos*. Editorial Universidad de Carabobo.
- Yeh, M., Swider, C., Jo, Y. J. y Donovan, C. (2003). *Human Factors Considerations in the Design and Evaluation of Electronic Flight Bags. Version 2.0*. Federal Aviation Administration. https://www.volpe.dot.gov/sites/volpe.dot.gov/files/docs/Human_Factors_Considerations_in_the_Design_and_Evaluation_of_Flight_Deck_Displays_and_Controls_V2.pdf
- Yiyuan, Z., Tangwen, Y., Dayong, D. y Shan, F. (2011). Using NASA-TLX to evaluate the flight deck design in design phase of aircraft. *Procedia Engineering*, 17, 77-83. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.10.010>

- Zeeb, H., Blettner, M., Langner, I., Hammer, G. P., Ballard, T. J., Santaquilani, M., Gundestrup, M., Storm, H., Haldorsen, T., Tveten, U., Hammar, N., Linnarsjö, A., Velonakis, E., Tzonou, A., Auvinen, A., Pukkala, E., Rafnsson, V. y Hrafnkelsson, J. (2003). Mortality from cancer and other causes among airline cabin attendants in Europe: a collaborative cohort study in eight countries. *American Journal of Epidemiology*, 158(1), 35-46. <https://doi.org/10.1093/aje/kwg107>
- Zheng, B., Jiang, X., Tien, G., Meneghetti, A., Panton, O. N. M. y Atkins, M. S. (2012). Workload assessment of surgeons: Correlation between NASA-TLX and blinks. *Surgical Endoscopy*, 26, 2746-2750. <https://doi.org/10.1007/s00464-012-2268-6>

Sobre los autores

Abdon Estibenson Uribe Taborda

Magíster en Seguridad Operacional y en Ciencias Militares. Comandante del Escuadrón Armamento Aéreo CACOM-5, Fuerza Aérea Colombiana. Integrante del grupo de investigación Centro Tecnológico de Innovación Aeronáutica (CETIA). Correo electrónico: abdon.uribe@fac.mil.co y uribe027@hotmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4058-4365>

Leonardo De Jesús Mesa Palacio

Magíster en Sistemas Automáticos de Producción. Integrante del grupo de investigación Centro de Desarrollo Tecnológico Aeroespacial para la Defensa CETAD. Correo electrónico: leomesa@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4903-723X>

Sergio Rocha Castillo

Magíster en Seguridad Operacional. Correo electrónico: capitanrochas@hotmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6027-655X>

Joan Chrisitan Rodriguez Sossa

Magíster en Seguridad Operacional. Jefe del Departamento de Seguridad Operacional del Comando Aéreo de Combate N.4 (CACOM-4), Fuerza Aérea Colombiana. Correo electrónico: joan.rodriguez@fac.mil.co
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1516-4289>

Para mayores informes:

Dirección postal

Cra. 11 n.º 102-50 Edificio ESDEG, Escuadrón de Investigación
Oficina 411. A.A.110111. Bogotá, D. C., Colombia
(601) 2134698 Ext. 72625 - 72500
Correo electrónico: cienciaypoderaereo@epfac.edu.co

Biblioteca Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana

Correo electrónico: biblioteca@epfac.edu.co

<https://libros.publicacionesfac.com>



Seguridad operacional y su aproximación en el contexto colombiano

fue compuesto en caracteres ConduitITC y Merriweather.

Se terminó de imprimir en Bogotá D. C.,
en octubre del 2022.

Este libro recoge algunos resultados de investigación formativa llevada a cabo en los últimos tres años por un grupo de estudiantes de la Maestría en Seguridad Operacional (MAESO) de la Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana. En el primer capítulo, el Mayor Abdón Estibenson Uribe Taborda y el ingeniero Leonardo de Jesús Mesa Palacio analizan las radiaciones de frecuencias emitidas por unos equipos de inteligencia, acorde a la información recolectada mediante las mediciones realizadas y una encuesta aplicada a los tripulantes a bordo de la aeronave King FAC-5748. En el segundo capítulo, el piloto comercial Sergio Rocha Castillo expone una propuesta de plan de acción para prevenir accidentes aéreos en instrucción de vuelo, a partir del Sistema de Clasificación y Análisis de Factores Humanos (HFACS, por sus siglas en inglés) de accidentes en Colombia entre 1998 y 2016 en instrucción de vuelo. Por último, el Mayor Johan Christian Rodríguez Sossa presenta en el capítulo tres un procedimiento para la utilización del maletín de vuelo electrónico, a partir de la determinación de cargas de trabajo en cabina para los pilotos del helicóptero Bell 212 del Comando Aéreo de Combate N.º 4 (CACOM-4). Es así como la presente obra colaborativa expone un trabajo investigativo juicioso de cada uno de los autores, teniendo en cuenta que en Colombia es muy poca la información en español sobre los temas abordados. Por lo tanto, los capítulos pueden considerarse como punto de partida para futuros temas de exploración, que deben estar en análisis y en construcción permanente para el beneficio de la aviación nacional.



ISBN: 978-958-53696-3-4



9 789585 369634

