

## 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 Aero-náutica 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)

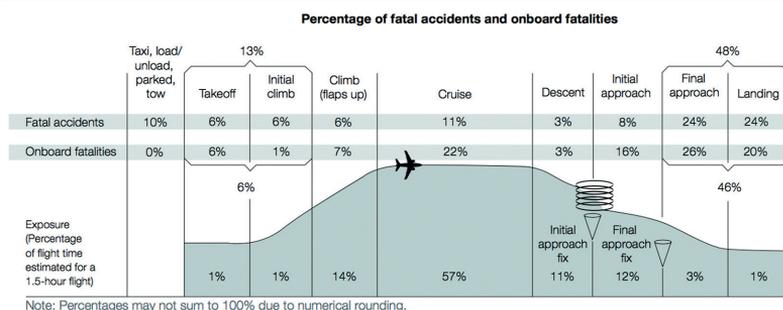
Una vez una persona ingresa al helicóptero con intención de cumplir un vuelo, su normal desarrollo se compone por las fases de: rodaje o taxeo, despegue, ascenso, vuelo crucero o recto y nivelado, descenso, aproximación y aterrizaje (OACI, 2012), las cuales se pueden ver gráficamente en la figura 1. 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.

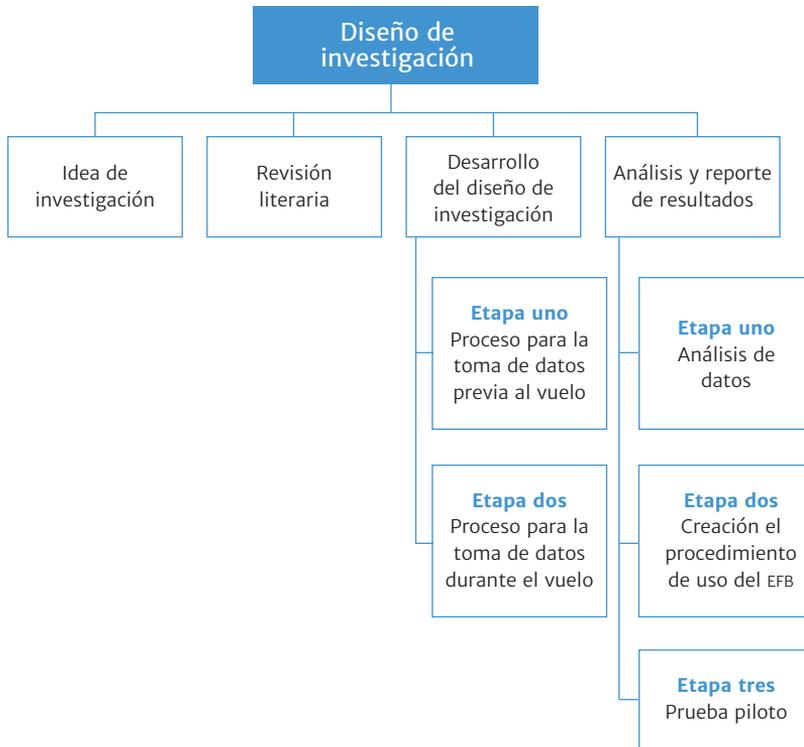
### 5.3.2. Muestra

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

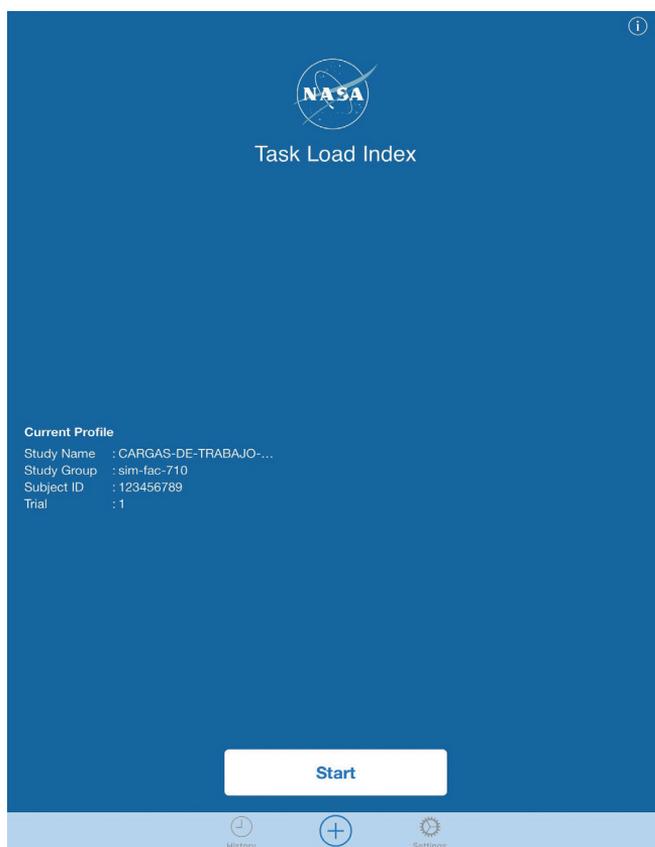
Con la participación de dos pilotos experimentados, se efectuó la prueba piloto que incluyó la orientación de la misión para el vuelo. Allí se les explicó detalladamente el procedimiento con respecto al vuelo en el simulador de HUEY II, en donde se volaron y cumplieron las misiones con las responsabilidades 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.

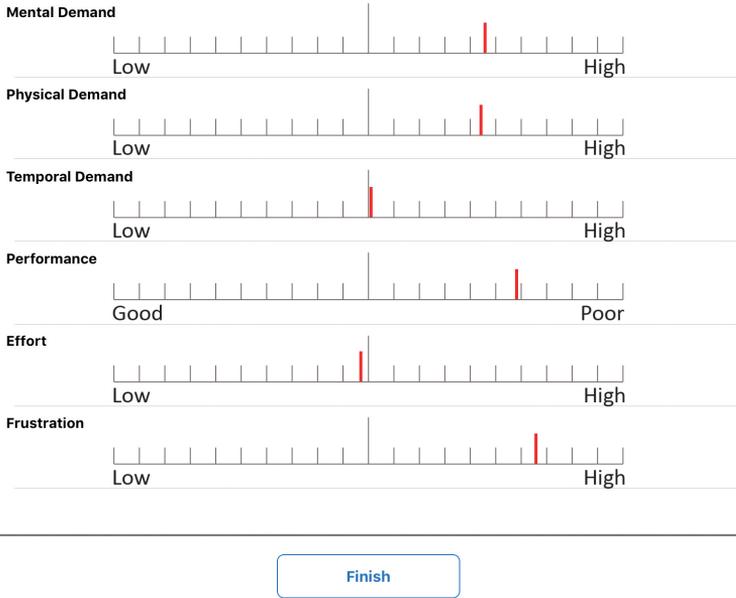


## Evaluation Review

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.

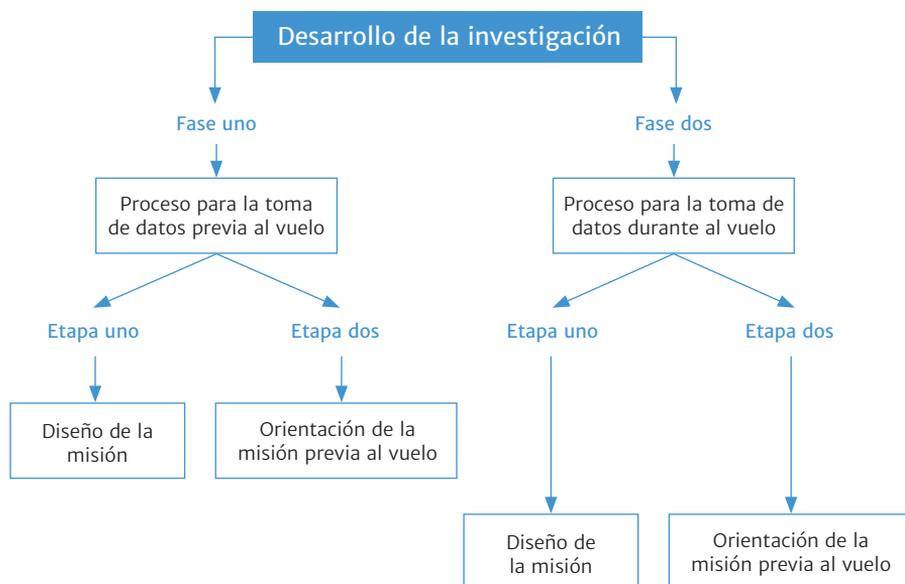
**Tabla 3.** Variables basales de la población de estudio

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:

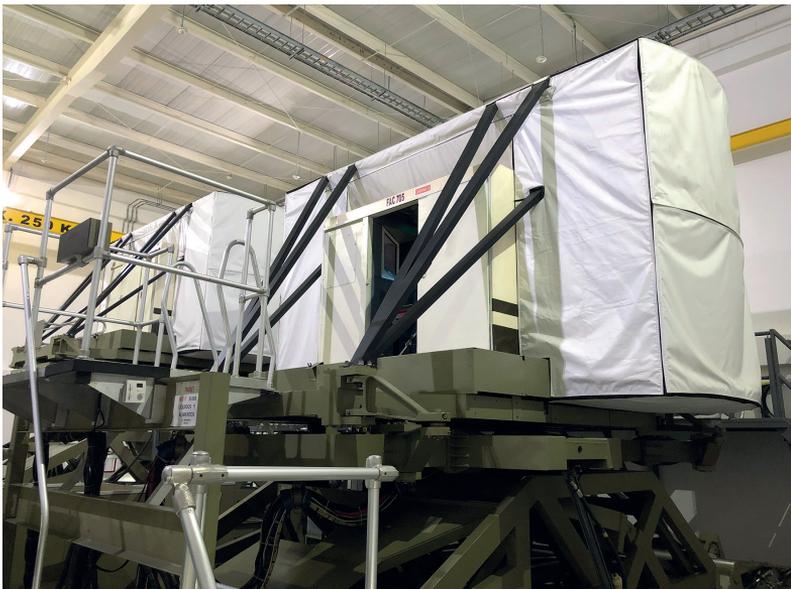
### 6.1.2.1 Fase uno: proceso para la toma de datos previa al vuelo

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.

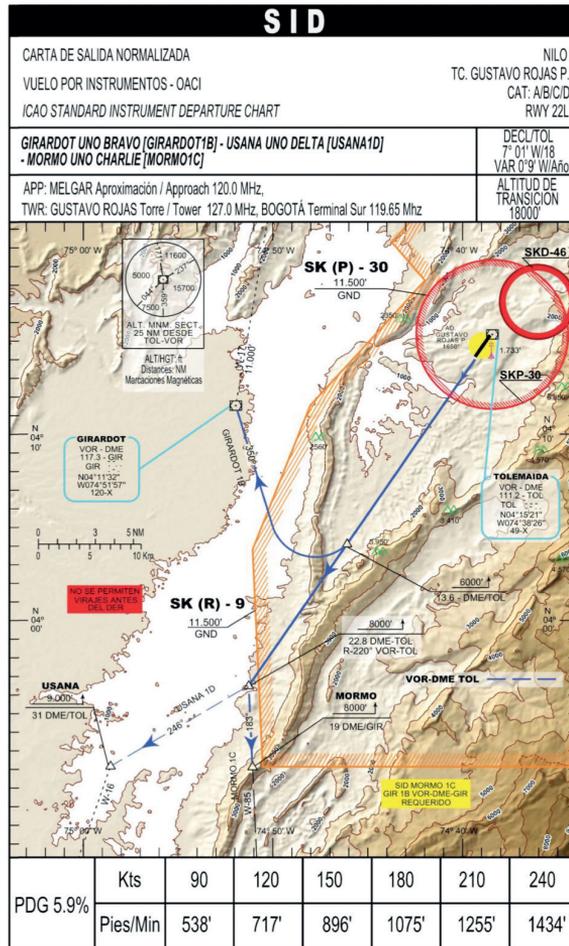
**Tabla 5.** Reporte meteorológico para el simulador de vuelo

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



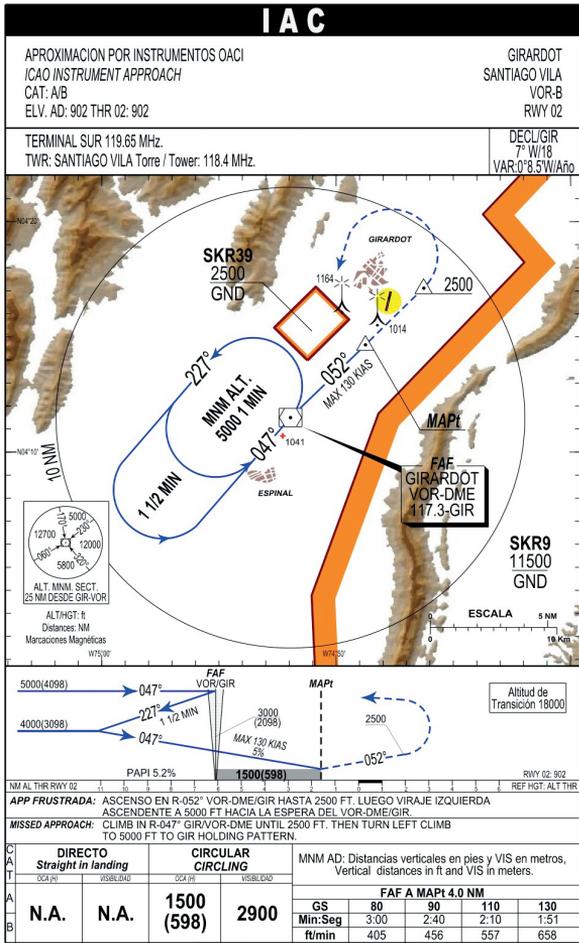
METEOROLOGIA



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.

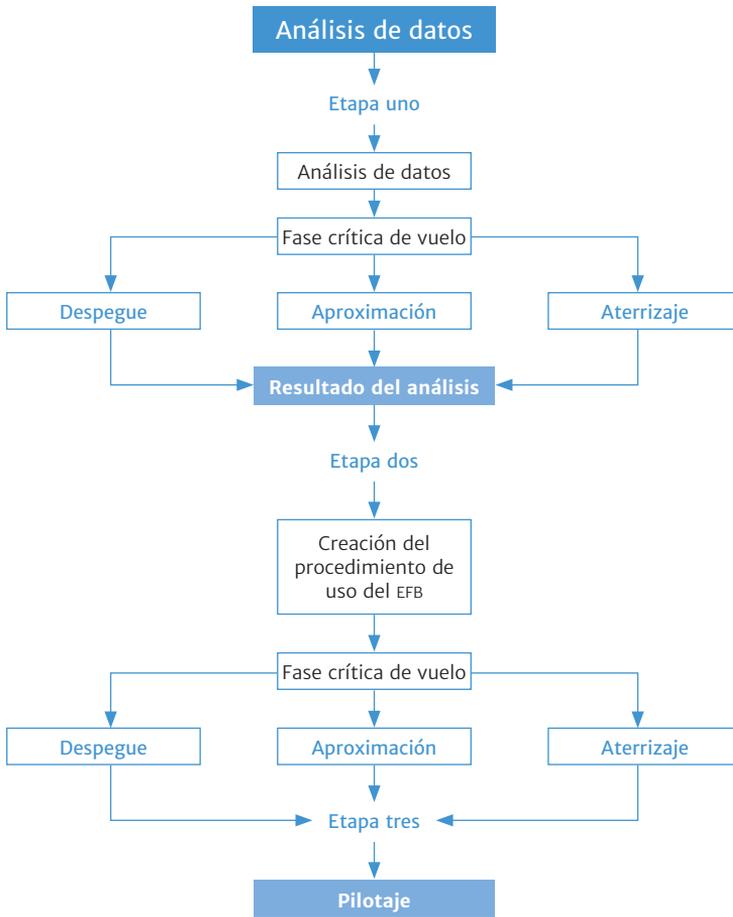
#### 6.1.2.2.2. Etapa dos: aplicación herramienta NASA-TLX

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.

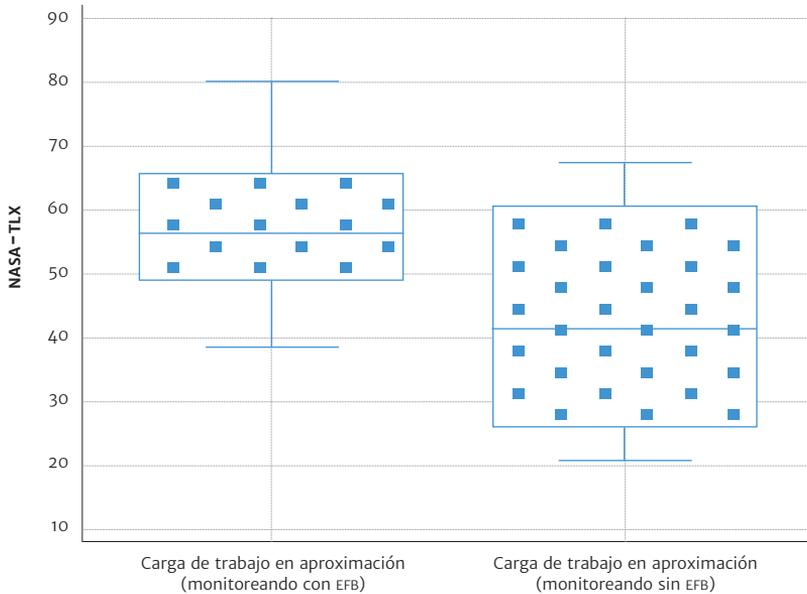
### 6.1.3.1. Etapa uno: análisis de datos

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)	<b>0,0034</b>	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	<b>0,0295</b>	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	<b>0,0386</b>	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	<b>0,0391</b>	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)	<b>0,0034</b>	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)	<b>0,0039</b>	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.

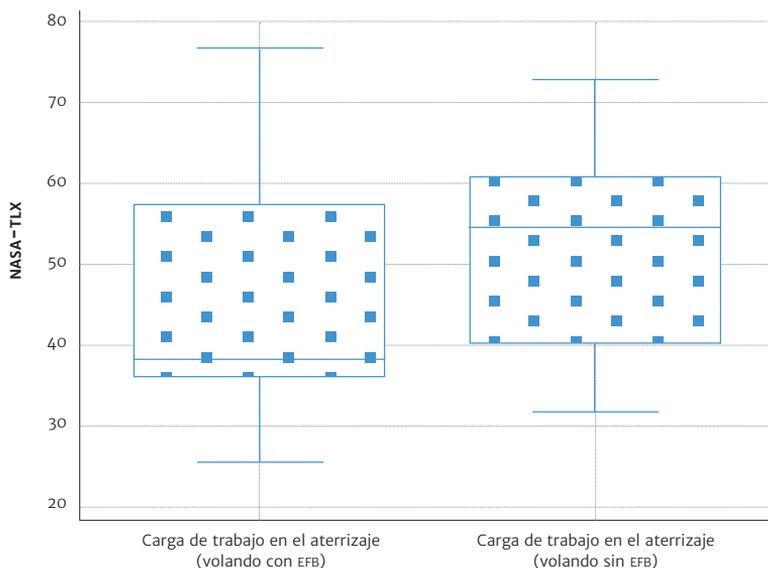
Fuente: elaboración propia.

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	<b>0,0245</b>	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	<b>0,0093</b>	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	<b>0,2769</b>	No hay diferencias significativas
Rendimiento en el aterrizaje piloto volando con y sin EFB	-5	-77,5 - 22	<b>0,7609</b>	No hay diferencias significativas
Esfuerzo durante en el aterrizaje piloto volando con y sin EFB	7.5	-47,5 - 30	<b>0,5995</b>	No hay diferencias significativas
Frustración en el aterrizaje piloto volando con y sin EFB	0	-10 - 25	<b>0,4961</b>	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>  <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.</i></p> <p>(i)App Navegación...plano de aeródromo ajustar(BOTH)                      Plano de aeródromo...chequear(PM)  <i>Informar al PF avance progresivo en el aeródromo</i>                      Chequeo para antes de despegar...completar</p>	Piloto volando (PF) Piloto monitoreando (PM)
Antes del despegue	<p><i>ADVERTENCIA</i>  <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.</i></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)  <i>Incluye procedimiento en caso de abortaje o emergencia</i>                      Chequeo para antes de despegar...completar(BOTH)</p>	Piloto volando (PF) Piloto monitoreando (PM)

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) <i>Verifique realizar chequeos WHOLDS, AAAC, CAT, 6T</i> 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) <i>Verifique chequeo AAAC completo</i> (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

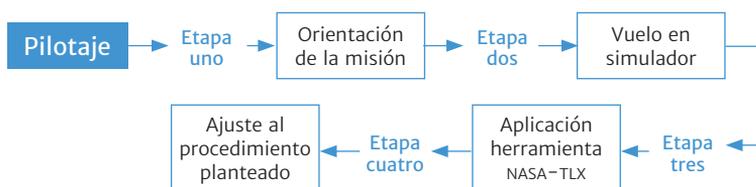
que esta recomendación no había sido tomada en cuenta por la FAC durante la implementación en la cabina del helicóptero Bell 212. Esto último permitió desarrollar el diseño de un procedimiento para el uso del maletín de vuelo electrónico en las fases críticas de vuelo con el objeto de ser aplicado en 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 piernera 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](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](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](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](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](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](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](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](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](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](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](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* (6.ª 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](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.openedition.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](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](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](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](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](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](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](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](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>