

Tecnología e Innovación

Tecnologia e Inovação

Technology and Innovation



SISTEMAS DE ALERTA DE PROXIMIDAD AL TERRENO PARA UH-60, UNA ESTRATEGIA PROACTIVA PARA LA SEGURIDAD OPERACIONAL EN EL EMPLEO DE HELICÓPTEROS DE LA FUERZA PÚBLICA*

SISTEMAS DE ALERTA DE TERRA DE PROXIMIDADE PARA UH-60, UMA ESTRATÉGIA PRÓ-ATIVA PARA SEGURANÇA OPERACIONAL NO USO DE HELICÓPTEROS DA FORÇA PÚBLICA**

PROXIMITY GROUND WARNING SYSTEMS FOR UH-60, A PROACTIVE STRATEGY FOR OPERATIONAL SECURITY IN THE USE OF HELICOPTERS OF THE PUBLIC FORCE***

Carlos Augusto Aljure Cantillo^a
Fuerza Aérea Colombiana. Bogotá, Colombia

CIENCIA Y PODER AÉREO

ISSN 1909-7050 / E- ISSN 2389-9468 / Volumen 12/ Enero-Diciembre de 2017/ Colombia/ Pp. 220-235

Recibido: 14/02/2017

Aprobado: 21/07/2017

Doi: <http://dx.doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.573>



Para citar este artículo:

Aljure, C. A. (2017). Sistemas de alerta de proximidad al terreno para UH-60, una estrategia proactiva para la seguridad operacional en el empleo de helicópteros de la Fuerza Pública. *Ciencia y Poder Aéreo*, 12, 220-235. Doi: <http://dx.doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.573>

¹ Artículo de revisión derivado del trabajo de investigación de la evaluación de viabilidad y presupuesto de adquisición de «Sistemas de alerta de proximidad al terreno para helicópteros UH-60 del CACOM-5» con el fin de evitar accidentes CFIT. El trabajo fue presentado para optar al título de Especialista en Gerencia de Seguridad Operacional.

² Artigo de revisão derivado do trabalho de pesquisa da avaliação de viabilidade e do orçamento de aquisição de "Sistemas de alerta de proximidade para terra helicóptero UH-60 da CACOM-5", a fim de evitar acidentes com CFIT. O trabalho foi apresentado para se qualificar para o título de Especialista em Gestão de Segurança Operacional.

³ Review article derived from the research work of the feasibility assessment and acquisition budget of "Proximity warning systems for helicopter land UH-60 of the CACOM-5" in order to avoid CFIT accidents. The work was presented to qualify for the title of Specialist in Operational Safety Management.

^a Administrador aeronáutico de la Fuerza Aérea Colombiana. Bogotá, Colombia. Subteniente de la Fuerza Aérea Colombiana. Copiloto de UH-60. Instructor de vuelo por instrumentos. Facilitador de Señaladores de Objetivos Militares en Tierra. Ayudante personal de comando del Comando Aéreo de Combate No. 5. CVLAG 0000059512201605151229. Correo electrónico: kaliche_01@hotmail.com.

Resumen: en la actualidad de la aviación mundial existe la preocupación de mejorar el nivel de seguridad operacional, por lo que sus esfuerzos están dirigidos a tres tipos de accidentes que se presentan con frecuencia y que, por lo tanto, significan la mayor pérdida de aeronaves y vidas humanas. En el presente artículo se pretende abordar una de estas clases de accidente: el vuelo controlado hacia el terreno CFIT (Controlled Flight Into Terrain) mediante revisiones documentales del avance histórico y teorías actuales sobre las herramientas existentes para mitigar el riesgo de ocurrencia de estos eventos dentro de la aviación internacional, como también en las aeronaves de la Fuerza Pública. El estudio se enfoca enfocándose en los sistemas de alerta de proximidad al terreno para los helicópteros UH-60, los cuales cumplen con múltiples roles de gran importancia, pues operan en un ambiente complejo y de alto riesgo. Incluyendo sus costos, servirá como base documental para evaluar su adquisición y aportar a la toma de decisiones de los comandantes, contribuyendo a la mejora de la seguridad operacional.

Palabras clave: CFIT, EGPWS, HTAWS, seguridad operacional, UH-60.

Resumo: Atualmente, há uma preocupação da aviação global para melhorar o nível de segurança operacional, razão pela qual seus esforços visam três tipos de acidentes que ocorrem com frequência e, portanto, significam a maior perda de aeronaves e vidas humano O presente artigo pretende abordar um desses tipos de acidentes: vôo controlado para o terreno CFIT (Vôo Controlado em Terrain) através de revisões documentais de progresso histórico e teorias atuais sobre ferramentas existentes para mitigar o risco de ocorrência desses eventos dentro da aviação internacional, bem como na aeronave da Força Pública. O estudo centra-se em focar em sistemas de alerta de proximidade terrestre para helicópteros UH-60, que cumprem múltiplos papéis de grande importância, pois operam em um ambiente complexo e de alto risco. Incluindo seus custos, servirá como base documental para avaliar sua aquisição e contribuir para a tomada de decisão dos comandantes, contribuindo para a melhoria da segurança operacional.

Palavras-chave: CFIT, EGPWS, HTAWS, Segurança operacional, UH-60.

Abstract: Nowadays global aviation is concerned about improving the safety level focusing its biggest efforts in three types of accidents which are present more often than others meaning the highest loss of aircraft and human lives in a catastrophic way. For this reason, this article pretends to approach one of these is the classes of accident controlled flight into terrain (CFIT) through documental reviews of historic advances and current theories about mitigation ways for these events inside the global aviation and Colombian Armed Forces too. Focusing on ground proximity warning systems for the UH-60 Blackhawks helicopters which develops different kinds of missions as an important air asset into an environment full of hazards and risks. Including its costs will serve as a useful documental base in order to support commander's decision making for the improvement of operational safety

Key Words: CFIT, EGPWS, HTAWS, Operational Safety, UH-60.

Introducción

Teniendo en cuenta el objetivo estratégico del Global Air Navigation Plan, por su sigla en inglés GANP, del lapso 2013-2028, de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) –el cual busca mejorar la seguridad operacional de la aviación a nivel mundial (OACI, 2013)–, es pertinente que la Fuerza Pública, como una entidad aeronáutica de aviación de Estado, realice esfuerzos por alinearse con esta política organizacional de carácter internacional. Igualmente, se debe tener claro que un accidente no distingue país, aeronave, ni tipo de misión. Cabe mencionar que se entiende como accidente un suceso durante la utilización de una aeronave debido al cual una persona sufre lesiones mortales o graves; la aeronave sufre daños considerables que significan roturas estructurales, que exigen una reparación importante; la aeronave desaparece y no se puede llegar a ella (OACI, 2006).

En el ámbito internacional, se conoce que, de acuerdo al reporte de seguridad de la OACI 2015 en el que se muestran datos estadísticos de eventos de seguridad y accidentes desde el 2010, se abordan tres categorías de ocurrencia de accidentes de alto riesgo, a saber: pérdida de control en vuelo, eventos relacionados con seguridad en pista y vuelo controlado hacia el terreno, CFIT por sus siglas en inglés (Smith, 2001). Este reporte demostró que los eventos de seguridad en pista fueron los que más sucedieron, con alrededor de 54%, pero sin fatalidades; en segundo lugar, los accidentes de pérdida de control en vuelo fueron los que sobrevinieron con menor frecuencia, un 2%, pero en proporción arrojaron el mayor número de fatalidades con un 31%; y por último, los accidentes CFIT que presentaron una ocurrencia esporádica del 2% y aportaron el 14% de fatalidades (OACI, 2015).

Los tres motivos más relevantes por los cuales se ha concluido que ocurren accidentes tipo CFIT son las condiciones meteorológicas adversas, los errores del control de tránsito aéreo y la pérdida de consciencia situacional de la tripulación (Smith, 2001). Existen varios métodos de reducción y mitigación de estos accidentes que se han generado a lo largo de la historia, uno de ellos es la incorporación de sistemas de alerta de proximidad al terreno a las aeronaves. Por lo tanto, se puede determinar que la ocurrencia de accidentes CFIT es una preocupación real en el entorno de seguridad operacional mundial.

En el año de 1970 se incorporó a la aviación mundial el sistema de alerta de proximidad al terreno –GPWS (Ground Proximity Warning System)– que funcionó como recurso para las tripulaciones para ayudar a prevenir accidentes CFIT (Breen, 1999). Este sistema ha ido evolucionando a nuevas

generaciones, brindando más información a las tripulaciones, por lo que resulta útil en la toma de decisiones y en la conservación de la consciencia situacional aplicada a vuelos de aviación general, así como a los de aviación militar.

Por otra parte, se destaca que la institución de estudio, dentro de su política institucional de seguridad operacional, enmarca el compromiso transversal de la organización para gerenciar y mitigar los riesgos, incorporando la capacitación y el entrenamiento del programa de prevención de accidentes CFIT (FAC, 2015).

En concordancia con lo anterior, el reporte de fiabilidad de la inspección general del año 2015 arrojó que el equipo Black Hawk (UH-60) se clasificó como una de las flotas críticas, pues fue una aeronave que presentó varios eventos de seguridad operacional y elevados costos de reparación (IGEFA, 2016). La mayoría de estos eventos ocurrieron a causa del complejo contexto operacional donde se desenvuelve el equipo. Honor Ranter (2016) hace un recuento, en la base de datos de la página web *Aviation Safety Network*, de 16 accidentes de UH-60 que se presentaron durante el año 2015 en el mundo, de los cuales seis fueron tipo CFIT, dos de ellos se presentaron en Colombia aportando el 33% a esta tasa de accidentalidad (un helicóptero del Ejército y un helicóptero de la Policía).

Con estos antecedentes se hace visible el problema de la ocurrencia de este tipo de accidentes en esta flota de helicópteros de la Fuerza Pública, además se evidencia la existencia de sistemas que ayudan a prevenir la ocurrencia de estos accidentes, teniendo en cuenta las maneras y/o recursos que se pueden emplear para mitigar o reducir estos sucesos. En esta línea surge la pregunta de investigación del presente artículo: ¿Cuál es la viabilidad de adquirir sistemas de alerta de proximidad al terreno para los helicópteros UH-60 de la Fuerza Pública?

Como es ampliamente conocido, la Constitución Política de Colombia, en el artículo 217, establece que la «Nación tendrá para su defensa unas Fuerzas Militares permanentes constituidas por el Ejército, la Armada y la Fuerza Aérea» (Constitución Política, 1991). De igual forma, la misión de la Organización de Estudio establece que tiene el rol de ejercer y mantener el dominio del espacio aéreo, conducir operaciones aéreas para la defensa de la soberanía, la independencia, la integridad del territorio nacional, el orden constitucional y el logro de los fines del estado (FAC, 2013). Además, es una organización insignia con capacidades distintivas y punto de referencia para las demás entidades de la Aviación de Estado, así que se ve en la tarea de realizar una implementación efectiva de un sistema de gestión de



la seguridad operacional que se encuentre alineado con los estándares y evolución de la aviación mundial.

Es por esta razón que se considera valioso abordar una de las problemáticas de interés de seguridad operacional como lo son los accidentes CFIT, los cuales, de acuerdo al documento 9859 de la OACI (OACI, 2013) en su matriz de evaluación de riesgos –entendiéndolos como la probabilidad y severidad de la manifestación de un peligro (OACI, 2009)–, son de probabilidad remota con un índice de severidad catastrófico. Por lo anterior se recomienda que se realice la mitigación de riesgos para garantizar que existan controles preventivos adicionales o mejorados, y así reducir el índice de riesgos a un nivel moderado o bajo, específicamente en helicópteros UH-60, puesto que en la actualidad se encargan de cumplir una gran variedad de misiones en complejos entornos operacionales, que exigen al máximo las habilidades de las tripulaciones. Con este trabajo de investigación se pretende verificar la viabilidad de adquirir sistemas de alerta de proximidad al terreno, en razón a que estos sistemas se han desempeñado a lo largo de las últimas décadas como ayudas de alto valor en cabina para las tripulaciones que se enfrentan a condiciones meteorológicas adversas o que vuelan sobre terrenos irregulares, y gran parte en condiciones de visión nocturna.

Se debe tener claridad en la delimitación de este trabajo de investigación, pues no se llegará al detalle técnico para que el operario de mantenimiento sepa y reciba instrucciones paso a paso de cómo y dónde instalar el sistema en la aeronave, pues será una investigación documental en la cual se revisarán las teorías actuales, verificando su empleo en aeronaves de ala rotatoria. Cabe mencionar que el marco normativo técnico a emplear será el TSO-151 y TSO-194 de la FAA.

Finalmente, cualquier esfuerzo que se realice en aras de contribuir a la seguridad operacional es de alto valor pues tiene el potencial de evitar que se repitan errores del pasado, salvar vidas, conservar aeronaves, e incluso innovar la industria aeronáutica con nuevas tecnologías. Dice Reason (1990) que «[n]o podemos cambiar la condición humana, pero sí las condiciones bajo las cuales los humanos trabajan».

Objetivos

El objetivo general de este artículo de revisión es evaluar la viabilidad de adquirir un sistema de alerta de proximidad al terreno para helicópteros UH-60 de la Organización de Estudio, con el fin de ayudar a prevenir accidentes CFIT. Para lo anterior es necesario, en primer lugar, realizar una revisión histórica de los accidentes tipo CFIT de ala rotatoria más relevantes que se han presentado en la or-

ganización de estudio; en segundo lugar, escribir la evolución de los sistemas de alerta de proximidad al terreno en la industria aeronáutica internacional y su aporte a la seguridad operacional; y, en tercer lugar, revisar y contrastar los distintos sistemas de alerta de proximidad al terreno incorporados por helicópteros civiles, así como también en la industria militar.

Metodología

Esta investigación es, de acuerdo a Hernández (2006), de enfoque cualitativo pues incorpora un proceso inductivo, yendo de lo particular a lo general, mediante la recolección de datos no estandarizados, como registros narrativos de fenómenos por medio de observaciones, como lo son las investigaciones de accidentes CFIT en ala rotatoria de la Organización de Estudio, así las teorías de evolución avance y la aplicación de los sistemas de alerta de proximidad al terreno en aviación (Parada, 2011). También es una estrategia de investigación fundamentada en una depurada y rigurosa descripción contextual del evento, conducta o situación que garantice la máxima objetividad en la captación de la realidad (Anguera, 2008). Bernal (2006), citado por Ana Lilia, C. P., Isidoro, P. R., y Zacarías, T. H. (2013), menciona que la preocupación del enfoque cualitativo no es preponderantemente medir, sino cualificar y describir el fenómeno a partir de sus rasgos determinantes.

El tipo de estudio que se empleará en esta investigación es descriptivo pues se tienen revisiones previas sobre los sistemas de alerta y proximidad al terreno. Además, trata de figurar los aspectos más característicos del tema de interés y se enfocará en estudiar datos que permitan comprender a fondo el porqué de las cosas, como números de accidentes por CFIT, costo de los sistemas TAWS/EGPWS, cantidad de helicópteros que cuentan con estos sistemas instalados (Estrada, 2016). Los instrumentos que se emplearán para lograr obtención y procesamiento de datos e información para la investigación será la observación por medio de diarios, documentos, entrevistas no formales y una encuesta. La muestra seleccionada serán los helicópteros UH-60 de la Organización de Estudio (Briones, 2002). Con la aplicación de la encuesta se establece la protección de información personal que permite a las personas naturales autorizar la protección y privacidad de la información que va a estar dentro de una base de datos. Además, las respuestas que consignen en sus encuestas no serán divulgadas y se mantendrán en reserva (Ley 1581, 2012).

Finalmente se emplearán las bases de datos de la plataforma virtual para acceder al estado del arte y exploración desde diferentes autores y teorías.

Discusión- Fundamentación teórica

La mejora en la seguridad operacional es definitivamente el valor o resultado que pretende dejar este artículo de revisión. Entiéndase por seguridad operacional «el estado en que el riesgo de lesiones a las personas o daños a los bienes se reduce y se mantiene en un nivel aceptable, o por debajo del mismo, por medio de un proceso continuo de identificación de peligros y gestión de riesgos» (UAEAC, 2009). A continuación se abordarán de forma progresiva los conceptos básicos, teorías y estado del arte relacionados con el problema de investigación.

Vuelo controlado hacia el terreno (CFIT)

Según el GASP (2013), el CFIT se define como el impacto contra el suelo sin pérdida de control. También se conoce como un accidente generado cuando una aeronave que se encuentra en condiciones aeronavegables y una tripulación capacitada colisionan inadvertidamente contra el terreno, siendo inconscientes del peligro hasta que es demasiado tarde. Por su parte, la FAA (2003) lo define como cuando una aeronave que se encuentra aeronavegable es volada por un piloto calificado hacia el terreno, agua u obstáculos, con una inadecuada alerta y consciencia situacional por parte del piloto para impedir la colisión.

Así mismo, la FAA, en su *Advisory Circular* (circular de aviso) 61-134 (2003), establece que los accidentes tipo CFIT contribuyen al 17% de fatalidades en los accidentes de aviación. También establece una clasificación de estos tipos de accidentes en tres: Los que son de pilotos sin certificación para volar IFR y se encuentran volando en condiciones visuales marginales, o en condiciones IMC; los pilotos con su licencia IFR en condiciones de vuelo IMC; y finalmente los vuelos que se desarrollan a bajo nivel de altura sobre el terreno.

Según Shappell y Wiegman (1997), citados por la FAA, en su artículo *Studying Human Error Analysis of General Aviation CFIT Accidents* (2003), la investigación y análisis sobre estos accidentes en el ámbito militar existente es escasa; sin embargo, los segmentan en tres factores contribuyentes que provocan estos sucesos catastróficos: la desorientación espacial, las condiciones meteorológicas adversas y el manejo de recursos de cabina. A continuación se explica en detalle cada uno de estos elementos.

Desorientación espacial

La desorientación espacial «es la pérdida de la orientación o la percepción imprecisa de un piloto de su posición real, su actitud y movimiento con relación al centro de la tierra» FAC (2010a).

Por su parte, el Manual de Adiestramiento Aeromédico (Cuartel General del Ejército, 2000) establece que es la incapacidad del individuo de determinar su posición, actitud y altitud con relación a la superficie que lo rodea.

La desorientación espacial está dividida en tres tipos:

- -Tipo 1: Es la no reconocida, el aviador no evidencia que está desorientado además de no observar ninguna indicación anormal, es la más peligrosa pues usualmente resulta en un accidente aéreo fatal.
- -Tipo 2: Reconocida. El piloto está en la capacidad de percibir el problema y darse cuenta de que está desorientado.
- -Tipo 3: Incapacitante, el piloto experimenta una sensación de movimiento tan agobiante que no puede orientarse empleando los instrumentos ni tampoco las indicaciones visuales (Cuartel General del Ejército, 2000).

De acuerdo a la FACH (2016), en su circular de seguridad, existen ciertas recomendaciones para prevenir la desorientación espacial:

- Mantener proeficiencia en el vuelo por instrumentos.
- Creer en las indicaciones observadas por los instrumentos.
- Si se está volando en una aeronave de dos pilotos, entregar los controles al otro piloto; es muy difícil que los dos pilotos experimenten al mismo tiempo la desorientación.

Condiciones meteorológicas adversas

Son las características que tiene el tiempo atmosférico en determinado momento; cuando se habla específicamente de adversas significa que no son favorables para la aviación ni para completar un vuelo, además están asociadas a formaciones meteorológicas de mal tiempo, como precipitaciones, tormentas eléctricas, engelamiento, entre otras. A causa de esto se hace necesario realizar una minuciosa revisión y evaluación de los pronósticos meteorológicos en ruta (Army, 1982).

Condiciones meteorológicas instrumentos imprevistas

De acuerdo al reporte de la ATSB (2005), citado por Camacho (2014), cuando un vuelo que se desarrolla en reglas de vuelo visual (VFR) –es decir que tiene contacto con visual positivo sobre el terreno en el que se encuentra volando– entra inesperadamente en condiciones meteorológicas instrumentos (IMC), no puede observar el terreno donde vuela, el escenario cambia completamente porque el piloto vuela entre las nubes, y el accidente se genera



cuando la nube se encuentra en la parte más alta del terreno y el piloto lo desconoce.

Manejo de recursos de cabina

Se trata de la forma en la que el piloto interactúa y administra los elementos que lo rodean, como el **hardware**, el **software**, el ambiente y las otras personas (FAA, 2012). Wise, Hopkin y Garland (2009) mencionan en su **Manual de factores humanos para aviación** que el manejo de recursos de cabina contribuye a crear un ambiente de seguridad y eficiencia en las operaciones de vuelo. De acuerdo a Sánchez (2010), el factor humano ha sido considerado causa o contribución del 70% al 80% de los accidentes de aviación en el mundo. De esto deriva la valiosa labor de administrar efectivamente los recursos disponibles en cabina contribuyendo a la cultura de seguridad. Para Wiegmann, Zhang, von Thaden, Gibbons y Sharma (2004), la cultura de seguridad permite mejorar el ambiente de seguridad y gestión del riesgo en empresas de aviación.

Sistemas de alerta y proximidad al terreno

A continuación se muestra una breve evolución y descripción de los sistemas de alerta de proximidad al terreno.

Sistema de alerta de proximidad al terreno-GPWS

Es un sistema que emplea sensores y sistemas a bordo de la aeronave, como el radar altímetro, velocidad aérea, actitud y sistema de aterrizaje por instrumentos para evaluar el ambiente actual de la aeronave con respecto a situaciones peligrosas, emitiendo alertas visuales y auditivas (Breen, 1999). Así mismo, la FAA, en su **Advisory Circular 23-18** del año 2000, menciona que el GPWS es un equipo esencial para que los pilotos recuperen altitud rápidamente y eviten lo que se pudo haber convertido en un accidente CFIT. En el contexto europeo, la Asociación Europea de Aviación lo define, en su documento de estandarización de monitoreo de datos de vuelo, como un sistema que provee una fuerte alerta antes de que se presente una colisión con el terreno (EASA, 2013).

Sistema mejorado de alerta y proximidad al terreno-EGPWS

Según Eured (2014), el EGPWS es un sistema de alerta mejorado pues cuenta con una base de datos mundial de información del terreno, y también funciona en conjunto con el GPS de la aeronave. Se debe aclarar que se le conoce como «mejorado» pues corrige falencias que presentó el GPWS inicial, pues este empleaba como fuente primaria de información la indicación de altura absoluta sobre el terreno, proveída por el radar altímetro de la aeronave, pero no daba ninguna información de aviso con respecto a la trayectoria de vuelo horizontal recorrida por la aeronave. De acuerdo con Breen (1999), en su artículo de CFIT y EGPWS, este sistema incorporó una base de datos de elevación del

terreno global en la cual se tomaban como referencias los procedimientos instrumentales de aproximación a los aeropuertos y se generaba un «piso de despeje de terreno», el cual proyectaba la dirección de vuelo de la aeronave y la comparaba con la que tenía cargada para corroborar que la aeronave sí estuviera realizando el procedimiento adecuado y si sentía que la aeronave intentaba descender por debajo de este «piso» emitía las alertas a la tripulación.

Sistema de despeje/evasión y alerta de terreno- TAWS

En el artículo «Guía para el comprador de un TAWS» de Novacek, este establece que dicho sistema representa visualmente por medio de una pantalla digital, con gama de colores en la cabina, la posición de la aeronave con respecto al terreno donde se encuentra volando, dando alertas a la tripulación, y concediéndole al piloto mayor tiempo de reacción para la toma de decisiones y la prevención de un accidente. La FAA (2009), en su libro de aviónica avanzada, dice que un TAWS es un sistema que ofrece características del terreno que rodea la aeronave, así como también proporciona alertas sobre amenazas del terreno que se encuentre cerca.

Revisión histórica de accidentes CFIT en ala rotatoria de la Organización de Estudio

Para iniciar con la revisión histórica de accidentes CFIT de helicópteros en la Organización, es imperativo realizar una parada en el punto histórico donde la Dirección de Seguridad Operacional emprende su tarea de prevención de este tipo de accidentes, con la creación de su programa PREVAC (prevención de accidentes). Acto seguido se describirá un poco sobre la evolución que ha tenido este programa y finalmente se mostrarán los resultados de las investigaciones de accidentes CFIT en ala rotatoria aplicables a este artículo de revisión.

La Organización tiene bajo su uso una gran variedad de equipos, encargados de desempeñar un sinnúmero de misiones distintivas, operados por lo más valioso que es el recurso humano. Por lo anterior, es necesario orientar actividades dentro de ella hacia una gestión efectiva y eficiente de la seguridad operacional, para mantener intacta esta capacidad operacional y, sobretodo, preservar la vida de sus hombres (FAC, 2011). En el Manual de Seguridad para la Organización (FAC, 2011), se menciona que la creación de programas de prevención de accidentes inició en el 2003 con el objetivo de generar actividades y tareas específicas para contribuir con la reducción de accidentalidad y conservación de recursos. También se señala que «la finalidad última de la prevención es evitar que ocurran accidentes aéreos para mantener la capacidad operativa, mediante

la conservación de recursos humanos y materiales» (FAC, 2011, p. 100).

El anexo M de PREVAC CFIT ALA de la FAC (2010b) menciona que desde la década de los ochenta se comenzaron los primeros acercamientos, en la búsqueda de prevención de accidentes CFIT-ALA, ya que el vuelo controlado hacia el terreno (CFIT) ha sido y continúa siendo la razón predominante en los accidentes que involucran fatalidades y pérdida de aeronaves. Por ello, en la década de los noventa encontramos la evolución de estos acercamientos, materializados ya en la conformación de grupos de trabajo CFIT-ALA (por *Flight Safety Foundation*) y recomendaciones de prevención finales para la aviación mundial.

En la Fuerza Aérea Colombiana han ocurrido más de treinta accidentes tipo CFIT-ALA en los últimos años, lo cual requiere del desarrollo de una serie de acciones preventivas y la generación de una sólida cultura de seguridad operacional, en la búsqueda constante de preservación del talento humano y de los recursos aéreos, con el fin primordial de cumplir la misión constitucional.

Asimismo, la FAC (2010b) establece dentro de sus objetivos específicos la adquisición de nuevas tecnologías de alerta temprana para la prevención de CFIT, como EGPWS o TAWS.

La Organización de Estudio genera un documento de consulta y aplicación cuya finalidad es establecer lineamientos a nivel estratégico y táctico para mejorar el nivel de seguridad operacional llamado QRH (Quick Reference Handbook). En las listas de chequeo rápidas que se encuentran dentro de este documento de CFIT y ALAR del año 2015, se señala que estos lineamientos tienen como objetivo específico la capacitación del personal de tripulantes y ATC para reducir factores que contribuyan a la generación de estos accidentes. También se menciona la tarea para la Jefatura encargada de todo el soporte logístico aeronáutico de «adquirir, implementar e instalar tecnologías de alerta temprana de prevención de CFIT en todos los equipos de la Organización» (FAC, 2015).

Helicóptero Hughes 500 - 4260

El 4 de marzo de 1997, un helicóptero liviano Hughes 500, cuya tripulación estaba compuesta por el piloto y el tripulante de vuelo, se encontraba realizando misión de transporte de un apoyo técnico en la ruta Palanquero-Bogotá. Las condiciones meteorológicas de los aeródromos de salida y destino eran favorables; sin embargo, en la entrada a Bogotá por la Sabana se perdió contacto con la aeronave y al día siguiente se encontró siniestrada en una montaña, sin sobrevivientes.

Las conclusiones de este accidente fueron que fue CFIT, pues la tripulación contaba en ese momento con aptitud psicofísica y el helicóptero se encontraba aeronavegable para realizar la misión. La aeronave no estaba certificada para volar en condiciones meteorológicas instrumentales (IMC), pero el piloto perdió contacto con el terreno y continuó volando. Como aprendizajes, este suceso estipuló que se deben mantener condiciones visuales (VMC), fortalecer el manejo de recursos de cabina de la tripulación para que todos los miembros de la tripulación sean parte activa a la hora de evitar que otro caiga en errores críticos (IGEFA, 1999).

Helicóptero Bell 212- 4009

El 5 de abril de 2005 el helicóptero realizaba una misión código Romeo (escolta aérea) a otro helicóptero del ejército en el área general de Ocaña, Norte de Santander. En el área se presentaban condiciones meteorológicas adversas pues había nubosidad tipo cumuliforme y tormentas eléctricas; durante patrón de sostenimiento se instrumentó e impactó con el terreno. La aeronave se destruyó y la tripulación quedó ilesa.

Como conclusiones de la investigación se dijo que la tripulación y la aeronave se encontraban aptas para volar. Se presentó un exceso de confianza por parte de la tripulación pues ya habían realizado dos intentos y además las condiciones meteorológicas estaban excesivamente deterioradas. Se encontraban volando a baja altura en un área montañosa y de alta amenaza. La recomendación de la Dirección de Seguridad Operacional fue que se realizara un análisis de efectividad del programa PREVAC CFIT, ALAR y de CRM debido al alto índice de accidentalidad (IGEFA, 2006).

Helicóptero UH-60-4109

El 6 de mayo de 2006, el helicóptero se encontraba cumpliendo un requerimiento de evacuación aeromédica de un soldado mordido por una serpiente, en condiciones visores, sin iluminación natural ni artificial y con condiciones meteorológicas de lluvia y baja visibilidad. Efectuaron tres intentos de aproximación, pero ninguno fue estabilizado y perdían referencias con el terreno. Finalmente, en el último intento, el piloto se desorientó, perdió velocidad y tenía poca altura; llevaba con control parcial el helicóptero a los árboles. La aeronave quedó destruida y la tripulación evacuó el helicóptero ilesa.

Las conclusiones fueron que la tripulación estaba apta física y psicológicamente, y el helicóptero en plenas condiciones, para volar. La tensión impuesta por la misión de salvar una vida; la nula iluminación y las condiciones meteorológicas adversas dificultaron el desarrollo de la misma. La recomendación más importante fue que se socializara con



los demás pilotos este accidente, así como incrementar el entrenamiento en simulador del planeamiento, ejecución de este tipo de misiones y el manejo efectivo de recursos de cabina (CACOM-5, 1998).

Helicóptero UH-60-4101

Durante una múltiple misión de transporte de armamento y evacuación aeromédica, el helicóptero inició aproximación en condiciones de cero iluminación. Durante el trayecto de aproximación final entró a un banco de niebla, perdió referencias con el terreno y la consciencia situacional y colisionó con los árboles. La aeronave quedó en pérdida total y la tripulación, con heridas leves.

Como conclusiones se arrojó que la tripulación y la aeronave estaban listas y en condiciones para volar. Condiciones de múltiples roles por cumplir en un solo vuelo dispersaron la alerta situacional de la tripulación. No hubo un CRM apropiado durante la fase de descenso. Este accidente se catalogó como un CFIT. Como recomendaciones se estableció que se empleara iluminación artificial para este tipo de misiones, que se mejoraran los programas de prevención CFIT-ALAR en la escuela de tierra, que se mantuviese un cerrado control del entrenamiento y pericia de los pilotos (IGEFA, 2005).

UH-60 BLACK HAWK en Colombia

Un helicóptero es una aeronave más pesada que el aire, la cual es sustentada a través de uno o más rotores impulsados por un motor (Kumar, 2002). El UH-60 está concebido desde su diseño como un helicóptero de transporte táctico de tropas, evacuaciones médicas y apoyo en misiones de desastres naturales (Army, 2016).

A continuación se menciona brevemente la historia y el papel que ha desempeñado este helicóptero en el país. Colombia fue el primer país en Suramérica en adquirir estos helicópteros, el primero llegó en 1987; hasta el 2007 se habían entregado 70 y venían más en camino. Gracias a su gran versatilidad, esta aeronave se ha empleado en múltiples roles, como rescates aeromédicos, transporte táctico de tropa y carga, antinarcóticos y el rol distintivo más importante: de ataque.

Los arpías, que es el nombre que tomó el helicóptero en configuración de ataque en honor al águila arpía –la ave rapaz más poderosa que se encuentra en Colombia–, han ido evolucionando en varias generaciones, incorporando capacidades más avanzadas de empleo de armamento y sistemas de supervivencia (Leoni, 2007).

Al conjunto de hombres y mujeres miembros de las tripulaciones de UH-60 se les conoce en la Fuerza Pública

con el nombre de *halcones valientes*, pues realizan un sin número de misiones complejas y arriesgadas, en áreas recónditas, con alta presencia de amenaza enemiga e incluso en condiciones meteorológicas adversas. En la época de 1998-1999, cuando Colombia vivía el momento más duro en la historia del conflicto armado con las FARC, estas aeronaves representaron un trabajo fundamental en el cumplimiento de las misiones de restablecimiento del orden público.

El TC. Montenegro define el término *halcón valiente* como un ángel que está destinado a volar hacia la oscuridad dentro de los tormentos, donde está la oscura niebla en medio de la nada, donde está el dolor, la angustia, la incertidumbre, buscando los gemidos, las voces de auxilio, de un ser humano herido, enfermo e indefenso, materializando la valentía y arrojo de los soldados del aire.

En la *Figura 1*. se muestra una de las misiones más complejas que realiza el helicóptero, la extensión de incendios, pues se realiza muy cerca al terreno cruzando a poca altitud cables y otros obstáculos, con alta demanda de potencia y pesos brutos que limitan el rendimiento del helicóptero al enfrentarse a estos riesgos.



Figura 1. UH-60 durante misión de Bamby Bucket.

Fuente: elaboración propia.

La información hallada en estos informes de investigación finales de accidentes se obtuvo en el trabajo de campo, a través de las visitas a las instalaciones de la Subdirección de Investigación de Seguridad Operacional, de la entrevista al señor Coronel, Director de Investigación, y de la revisión de los archivos físicos.

Evolución de los sistemas de alerta de proximidad al terreno

En la década de los setenta, en la aviación mundial se presentó un alto pico en la ocurrencia de accidentes CFIT (Breen, 1999). Esta problemática llevó a las empresas y a los entes estatales de aviación a desarrollar ayudas para contribuir a la reducción de la probabilidad de que se den estos eventos catastróficos. Los primeros sistemas de alerta funcionaban con el radar altímetro de la aeronave, dando alarmas de cercanía con el terreno; su falencia era que no tenían forma de ver hacia adelante y proyectar la trayectoria de vuelo de la aeronave, por lo que en puntos donde el terreno cambiaba de elevación seguían ocurriendo accidentes CFIT. Desde 1997, la compañía americana Honeywell desarrolla el sistema mejorado de alerta, de proximidad al terreno, arreglando este defecto, pues incorporó una base de datos de aeropuertos y de elevación del terreno. Luego surge el TAWS o sistema de alerta y evasión de terreno que básicamente es una red en la cual se observa información del terreno que se encuentra en la trayectoria lateral, horizontal y vertical de vuelo de la aeronave, brindando alertas visuales y audibles al piloto (Skybrary, 2016). Conforme a lo consultado en Ecured (2014), el sistema funciona en siete modos:

- Modo 1: Excesivo régimen de hundimiento con respecto al despeje del terreno. En este modo se escucha la alerta aural en cabina «Sinkrate» y conforme la aeronave se acerca el terreno aumenta su frecuencia de repetición. La alerta aural está definida como un sonido discreto, un audio o un mensaje de voz que anuncia una condición situación o evento (FAA, 2000).
- Modo 2: Excesivo régimen de acercamiento al terreno respecto al despeje de la superficie. Se evalúa la cercanía con el terreno, sea por pérdida de altitud de la aeronave o por incremento en la elevación del mismo. El sistema también discrimina en qué fase de vuelo se encuentra. Es decir, si está en vuelo crucero, despegue o aproximación. Emite la señal aural «Terrain terrain» y finalmente «Pull up».
- Modo 3: Excesiva pérdida de altitud después del despegue. Se activa en el momento en que el sistema percibe una altitud inferior a 1000 ft luego de despegar y emite la señal «don't sink».
- Modo 4: Despeje inseguro del terreno con respecto a la fase de vuelo. Este modo informa diferentes elementos. El primero es del aumento de la altura del terreno de forma progresiva y no de forma abrupta, en este caso sonaría en la cabina «Too Low Terrain» y, además, en una aproximación avi-

aría si el tren estuviera arriba diciendo: «Too Low Gear» y en caso de los flaps sería «Too Low Flaps».

- Modo 5: Descenso excesivo por debajo de la senda de planeo. Si se desvía por debajo de la señal de la senda de planeo el sistema emite la alerta «Glideslope».
- Modo 6: Callouts de alertas de altitud y advertencias de actitudes excesivas de banqueo. Indica un exceso del ángulo de alabeo al sonar la alarma «Bank Angle», y cuanto más próximo al terreno más sensible será esta alarma. Las alertas de altitud indican cuántos pies quedan para tocar tierra y también los mínimos de aproximación a pista.
- Modo 7: Detección reactiva de windshear. Se activará la alarma acústica «Windshear» (Ban, 2008).

Tabla 1.

Evolución de sistemas de alerta de proximidad al terreno.

Avance histórico de los sistemas de alerta de proximidad al terreno

Año	Características
1970	MK 1/2, funcionaba con cuatro modos de alerta de proximidad al terreno con tono audible.
1975	MK 1, tenía cinco modos con dos mensajes de voz.
1976	MK 2, nueve mensajes de voz. Aumento en el tiempo de alerta y alta fiabilidad.
1981	MK 3, seis modos de alerta, mejorados los modos 2/3/4, modulación envolvente, interfaz digital, controlado por software, mejoras en las facilidades de mantenimiento.
1987	MK 4, aplicaciones militares, modos de helicóptero, interfaz programable, modos específicos de misión.
1985	MK 5, siete modos de alerta; el modo seis añade callouts de altitud y banqueo, y el modo 7 realiza alertas reactivas a windshear, modulación avanzada de envolvente, e interfaz digital con la aeronave.
1991	MK 6, siete modos, interfaz analógica y digital, guía de recuperación de windshear, interfaz programable, reducción en los tiempos de las alertas, mensajes de voz para mantenimiento.
1996	EGPWS, siete modos, interfaz analógico y digital mejora de los MK 5 y 6, base de datos global con aeropuertos y datos digitales de elevación del terreno (DTED).

Fuente: elaboración propia



A continuación se mostrará un gráfico en el cual se resalta la reducción de ocurrencia de accidentes CFIT en aviación mundial, gracias a la incorporación del GPWS.

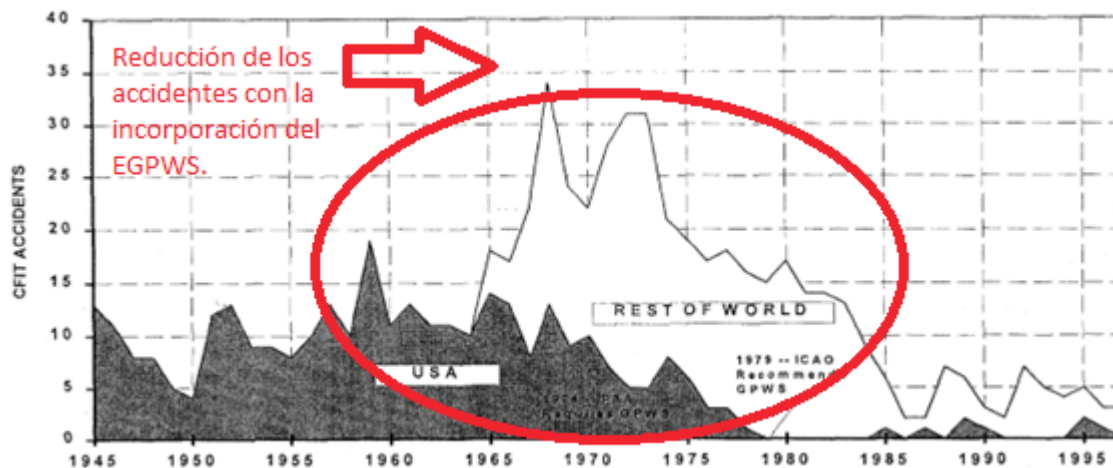


Figura 2. Reducción de Accidentes CFIT 1945- 1995 en aviación general.

Fuente: Tomado y adaptado de Breen (1999, p 20)

Con respecto a la normatividad que ha surgido a lo largo de los años en la comunidad aeronáutica internacional, esta se puede clasificar en tres grupos: La FAA por parte de Estados Unidos, la EASA representando a Europa y la Aeronáutica Civil haciendo lo propio por el territorio nacional.

La OACI (2002) –en el Anexo 6, capítulo 6– establece que las aeronaves con un peso certificado de despegue mayor a 5900 kg o con capacidad de llevar más de nueve pasajeros en adelante, deben tener instalado a bordo un EGPWS. Así mismo, en el *Working Paper* de Senegal establece las políticas operacionales de emplear el equipo TAWS y GPWS como un componente crítico requerido para la certificación de las aeronaves (OACI, 2011). En Estados Unidos, la FAA (1999), con la circular aeronáutica 23-18, enuncia técnicamente qué se debe realizar para certificar un sistema instalado a una aeronave como TAWS y para desarrollar satisfactoriamente las exigencias ordenadas por la orden técnica de servicio 151-C, la cual menciona los requerimientos mínimos que deben cumplir los sistemas de alerta de proximidad al terreno (GPWS-TAWS) para poder ser certificados. Los TAWS clase A deben funcionar con cinco modos y el *callout* de aproximación 500 ft, mientras que el TAWS clase B debe funcionar en tres modos y dar la alerta aural de 500 ft en la aproximación (FAA, 2012).

Por su parte, el continente europeo cuenta con Eurocontrol (Organización Europea para la Seguridad de la Seguridad Aérea), compuesta por 41 estados, la cual determina en su documento «¿Has EGPWS (TAWS) Helped Lower the Flying Risk for Commercial Transport Aircraft?» la

importancia y el impacto que ha realizado la instalación del EGPWS para la seguridad operacional. Asimismo, enseña en un análisis estadístico la reducción de accidentes CFIT en los vuelos de aerolíneas de todo el mundo, y explican cómo el sistema ha contribuido a reducir el riesgo que se presenta en estos eventos, pues incrementa asertivamente la alerta situacional de las tripulaciones, llevando a que tomen acciones inmediatas (Eurocontrol, 2015). En esta línea, la compañía francesa Airbus (2007) indica que para mejorar la alerta situacional sobre el terreno las tripulaciones deben contar con cartas de navegación actualizadas y estar familiarizadas con ellas; realizar un monitoreo constante y cruzado durante el vuelo; efectuar el *briefing* de sobre paso y responder inmediatamente a cualquier advertencia del TAWS.

Finalmente, en el ámbito nacional, la UAEAC (2011) menciona las características solicitadas que deben tener las aeronaves para que se les instalen los TAWS y puedan ser certificados, esto incluye seis modos de funcionamiento y pruebas a realizar, entre otros. Se referencia completamente en las mismas exigencias de la circular 23-18 de la FAA.

OACI	EUROCONTROL	FAA	UAEAC
Anexo 6 2002	Artículo TAWS 2015	Circular de Aviso 23-18 1999	RAC- 4. Guía de operaciones Cap. 16 2011

Figura 3. Entes reguladores de la implementación del sistema.

Fuente: elaboración propia..

Sistemas de Alerta de Proximidad al Terreno en Helicópteros Civiles y Militares

Los sistemas de alerta y proximidad al terreno han evolucionado históricamente en el ámbito de la aviación general, así como también en el sector militar. A continuación se describe de manera concisa su historia en este contexto y su aplicación a las aeronaves de ala rotatoria.

Tecnología de Escape de Colisión al Terreno

Este sistema funciona con entradas de sensores de la aeronave de velocidad, de altura con respecto al terreno, indicaciones del sistema inercial y GPS, produciendo señales y mensajes para el piloto militar, para aumentar la alerta situacional y reducir el riesgo de un accidente. Estos datos son recolectados por medio de una interfaz digital en la cual se extrapola la trayectoria de la aeronave en maniobras como banqueos, ascensos, hundimiento o aceleraciones, y se les compara con los límites de seguridad y la condiciones del terreno, prediciendo la futura posición y generando como resultado uno o varios mensajes de advertencia (Le Borne, 1992).

En el entorno militar se conoce como GCAT (Ground Collision Avoidance Technology), que surge como producto de investigación del Instituto Neil Armstrong de la NASA y del centro de desarrollo de la Fuerza Aérea de Estados Unidos desde principios de 1980. Tiene como objetivo reducir la ocurrencia de accidentes CFIT en jets de combate, pues, a diferencia de la aviación comercial, los pilotos militares se ven enfrentados a dos factores de alta complejidad que muchas veces se desencadenan en eventos catastróficos: la desorientación espacial y la pérdida de consciencia por gravedad (Merlin, 2014). La tecnología quedó lista para pruebas a finales de 1990 y en el 2009 se aplicó a un jet F-16 con resultados satisfactorios; este realizó alrededor de 550 maniobras y 48 vuelos, y la actualización más reciente del estado del arte es el sistema automático que incluye una recuperación de actitudes no usuales o peligrosas cuando el piloto se encuentra incapacitado debido a estar sometido a gravedades, aceleraciones e incluso ilusiones (Jedick, 2015).



Figura 4. Evolución histórica de la GCAT.

Fuente: elaboración propia.

Sistemas de alerta de proximidad al terreno en helicópteros

En primer lugar, el vuelo de las aeronaves de ala rotatoria se desarrolla en ambientes de alta cercanía y riesgos al terreno, pues realizan diversos tipos de misiones como servicios médicos de emergencia, aplicación de la ley, misiones de búsqueda y rescate, despegues y aterrizajes en áreas confinadas en condiciones de baja visibilidad, lo cual aumenta el riesgo potencial de un accidente CFIT (Rockwell, s.f). En segundo lugar, la empresa Honeywell coincide que, en términos de seguridad, la alerta situacional es particularmente importante en las operaciones de helicóptero, dado que pasan gran parte del tiempo volando en bajas altitudes, malas condiciones meteorológicas, terreno montañoso e irregular con el fin de desempeñar misiones críticas, por esto tiene una alta prioridad mejorar la seguridad por parte de los proveedores, fabricantes, operadores, dueños y pilotos (Honeywell, 2014). Finalmente, con estos dos importantes y similares argumentos, se realza la magnitud de mejorar el nivel de seguridad dentro de las operaciones helicópteras.


Helicopter Terrain Avoidance Warning System (HTAWS)

Según el manual del Mark XXII (2004), el HTAWS es un computador de bajo peso y pequeño tamaño que recibe señales del GPS del helicóptero, radar altímetro, indicador de torque, rumbo magnético, actitudes de banqueo y cabeceo, velocidad del terreno, altitud y posición con relación a la senda de planeo. Por su parte, en el artículo Croft (2013), se menciona que este es un dispositivo que da indicaciones en cabina en 2D, a color, de la posición del helicóptero en relación al terreno que lo rodea, obstáculos y cuerdas de energía, brindando alertas audibles y visuales al piloto, las cuales le proveen un tiempo de entre 10 y 20 segundos para reaccionar previo a una colisión con el terreno.


Por otra parte, aunque en la aviación de ala fija se implementó este sistema, por reglamentación, a finales de 1970, la FAA en su Orden de Estandarización Técnica 194 (TSO-194) de 2008 establece los requisitos exigidos para certificar a sus fabricantes con el fin de proporcionar alertas en cabina para reducir el riesgo de accidentes CFIT en helicópteros. Además, incluye las guías básicas de instalación del dispositivo en las aeronaves. Cabe resaltar que no es lo mismo un TAWS para ala fija que para ala rotatoria, pues el entorno de vuelo donde se desarrollan las operaciones es completamente diferente, por lo tanto es necesario contar con un sistema que se adapte al contexto y no genere falsas alarmas que ocasionen cargas y distracciones adicionales a la tripulación, pues puede resultar en que los pilotos desactiven o no crean en las alertas y se accidenten.



En la industria, los HTAWS se han instalado en distintos helicópteros civiles y militares, entre los cuales se destacan el AS-350 B2/B3, Bell 412, AW 139, Sikorsky S-92 y S-76. Estas aeronaves se encargan de cumplir misiones de transporte VIP, misiones fuera de costa (*off-shore*), búsqueda y rescate, entre otras. A continuación se describirá brevemente el rol que cumplen dos aeronaves Sikorsky, que es la casa fabricante del UH-60 que cuenta con el sistema mejorado de alerta de proximidad al terreno instalado.



S-92
Empleado para operaciones:
Off-shore, ejecutivos, presidentes, SAR
Certificados de seguridad FAA/EASA
EGPWS (Honeywell).
FMS.
FLIR.
19-22 Pax.
Baño.
17,7 millones USD.



S-76
30 Años de trayectoria en operaciones
off-shore.
Aproximadamente 1000 modelos
fabricados.
Empleado en misiones:
Off-shore, SAR, servicios de emergencia
médica, transporte ejecutivo.
Costo: 9,9 millones.
EGPWS (Rockwell).
12 pax.

Figura 5: Descripción Helicóptero Sikorsky con EGPWS.

Fuente: Tomado y adaptado de Sikorsky aircraft. S-92 y S-96 D. Helicopter. 2016.

Con lo anterior se demuestra la incorporación, adquisición y empleo de estos sistemas a aeronaves de ala rotatoria, pertenecientes a la misma casa fabricante del helicóptero UH-60, que desarrollan diversos tipos de misiones en complejos contextos operacionales, cumpliendo con los estándares exigidos por las asociaciones de aviación en el mundo e impactando positivamente al mejoramiento de la seguridad operacional.

Ya que se ha descrito el funcionamiento general de los HTAWS, la FAA (2014) propone cinco preguntas para considerar antes de adquirir uno de estos sistemas:

1. ¿Cumple con el TSO-194?
2. ¿Cómo trata las falsas alertas?
3. ¿Tiene el sistema alerta de cuerdas y torres?
4. ¿Qué es requerido para la instalación certificada del sistema?
5. ¿Cuáles compañías lo han instalado y qué resultados han obtenido?

Con lo anterior se podría abstraer, para el caso concreto del UH-60 de la Organización de Estudio que requiere un sistema, primero que se adecue al TSO-194 de la FAA; segundo, que cumpla con la omisión de falsas alarmas para no generar cargas innecesarias en cabina; tercero, que contenga una alerta de cables y torres, además de tener el STC (Supplemental Type Certificate) que avale su instalación y, finalmente, que haya sido incorporado en otros helicópteros militares analizando los resultados alcanzados con su operación. En el artículo de Croft (2013) se determina que existen tres proveedores líderes en el mercado de estos sistemas a nivel global: Honeywell, Sandel y Garmin; cada uno a lo largo de la historia ha desarrollado características distintivas en sus respectivos sistemas, que les brindan ventajas competitivas frente a las demás oportunidades de mercado.

De acuerdo con lo anterior, es relevante describir las características de cada uno de estos sistemas con el fin de evaluarlos y determinar cuál sería el más viable de adquirir para la flota de UH-60 de la organización estudiada.



SANDEL AVIONICS ST3453H

1. Primer HTAWS para helicópteros militares.
2. Base de datos de cables y torres.
3. No emite alertas molestas ni falsas.
4. Modo de baja altitud 150 fts.
5. Resolución 305 fts.
6. Base de datos de aeropuertos proveída por Jeppesen.
7. Compatible con visores.
8. Resistente a condiciones de alto polvo, humedad y bajas temperaturas.
9. Empleado por el S70i.
10. Rango 0.5 mn- 20 mn.
11. GPWS 6 modos.
12. Precio: 47100 USD.

Figura 6: Descripción HTAWS Sandel.

Fuente: Tomada y adaptada de Sandel Avionics Inc (2015).



Honeywell MK XXII

1. Empleado por el S92.
2. 1650 Helicópteros equipados.
3. Diez años de trayectoria.
4. Interfaz 3D.
5. Combinación infraroja.
6. Proveedor pionero en la industria GPWS.
7. Precio 42000 USD.
8. Emite alertas molestas-erróneas.
9. Modo de baja altitud 100 fts.
10. Resolución 612 fts.
12. GPWS 6 modos.

Figura 7: Descripción EGPWS MK XXII de Honeywell.

Fuente: Tomada y adaptada de Honeywell Pilot Guide EGPWS MK XXII (2004).



- Garmin GTN Series HTAWS**
1. Touchscreen.
 2. Resolución 254 ft.
 3. Base de datos de la NASA y Asociación Japonesa Espacial.
 4. No tiene alerta de cables.
 5. Emplea el GPS 430W-530W.
 6. Precio 25.000 USD.
 7. Modo para inhibir alertas molestas.
 8. Empleado por helicópteros civiles.

Figura 8: Descripción HTAWS Garmin.

Fuente: Tomada y adaptada de Garmin Navigation systems (2016).

Resultados

Los resultados obtenidos en el presente artículo de revisión, originado a partir del proyecto de investigación, comprenden un conocimiento actualizado de los sistemas más modernos de alerta de proximidad al terreno, empleados en la industria aeronáutica mundial, específicamente en helicópteros militares. Además, permiten obtener información factual para evaluar la viabilidad de su adquisición para la flota de helicópteros Black Hawk de la organización de estudio de este artículo. Mediante la búsqueda documental en las bases de datos de la biblioteca virtual, se encontraron 400 resultados en las páginas Elibro, Cengage, Scopus, Proquest y Science Direct, los cuales pasaron por una revisión minuciosa para filtrar la información que no era necesaria.

En primera instancia, de acuerdo al problema de investigación abordado por el autor, se tiene como objetivo principal evaluar la viabilidad de adquirir sistemas de alerta de proximidad de terreno para helicópteros UH-60; se determina la muestra con 15 pilotos y copilotos que equivale al 25% de la población total de la planta de UH-60 en la organización estudiada. Además, se emplea como criterio de selección la antigüedad en la planta (volando el equipo), entonces se seleccionan 5 recién llegados, 5 con 1 o 2 años de antigüedad, y otros 5 con más de 2 años en la planta, de modo que se logre obtener una información sin sesgos e imparcialidad sobre el nivel real de conocimiento. El instrumento arroja que el 100% del personal interesado considera que la implementación de un sistema de alerta de proximidad al terreno aporta positivamente al mejoramiento de la seguridad operacional.

En segundo lugar, el presupuesto requerido para adquirir el sistema se describe en la siguiente tabla conforme a los tres proveedores estudiados.

Tabla 2.

Presupuesto HTAWS para UH-60

SISTEMA	Costo Unitario	Costo para flota de estudio (25 aeronaves)
Honeywell Mark XXII	USD42000	USD 1'105.000
Garmin GTN	USD25000	USD 625.000
Sandel ST3453H	USD47100	USD 1'177.500

Fuente: elaboración propia.

En tercer lugar, se realizó una exploración en la base de datos de Aviation Safety Network (2016), en la cual se revisaron los accidentes de UH-60 en el mundo entero, tomando los registros de los tres últimos años. A partir de ellos se encontró que han ocurrido 34 accidentes, de ellos 10 han sido tipo CFIT y 4 sucedieron en Colombia (tres al Ejército y uno a la Policía). Con esta información obtenida es sencillo evidenciar que estos accidentes tienen una constatación de producirse en el progreso de los vuelos de estos helicópteros. En el entorno militar se emplean HTAWS en helicópteros como el Mi-8, Surion Helicopter (servicio aeroespacial coreano) y el S70i de Sikorsky.

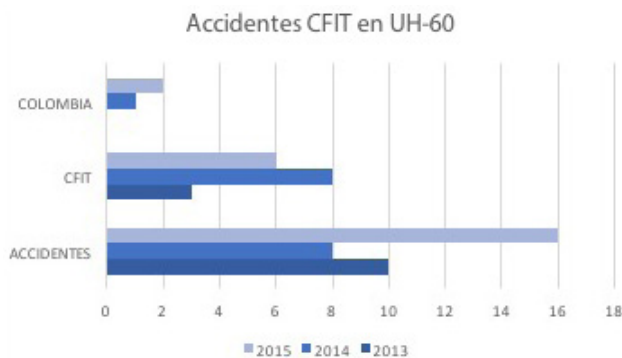


Figura 9: Revisión de accidentes de UH-60 en los últimos tres años.

Fuente: elaboración propia.

Así mismo, se hace la caracterización de los documentos directrices en aviación mundial con relación a la implementación y uso de sistemas de alerta de proximidad al terreno, obteniendo resultados valiosos que convergen hacia los mismos estándares entre FAA y Eurocontrol. De acuerdo con lo anterior, los sistemas, sean europeos o americanos, emiten dos tipos de alertas: las precauciones que dan un tiempo de 20 segundos antes de que se presente un conflicto entre la trayectoria del helicóptero y el terreno que lo rodea, solicitando que el piloto realice una acción con agilidad; y las advertencias, que son alertas que brindan un tiempo de 10 segundos, previo a un riesgo de colisionar con el terreno, y demandan acción inmediata.



por parte de la tripulación. Esta es una de las varias características que comparten estos sistemas, independientemente de la región donde se fabriquen.

En términos de regulaciones, la FAA, con el TSO-151, dicta desde el año 2002 el estándar básico mundial para certificar los equipos de alerta de proximidad al terreno; no obstante, es realmente hasta el año 2008 cuando surge el TSO-194 y se legalizan los requisitos exigidos para estos equipos en el área de ala rotatoria, a pesar del alto número de accidentes que se presentaban y además del complejo contexto operacional donde se ejecutan sus vuelos. De acuerdo a lo anterior, las compañías proveedoras de sistemas de aviónica desarrollan sistemas que cumplen e incluso exceden los requerimientos de estos documentos, buscando ofrecer una valiosa tecnología a los operadores de helicópteros.

Conclusiones

Una vez efectuado el estudio del estado del arte, en este artículo se puede llegar a varias conclusiones.

La primera, es que al realizar la verificación histórica de accidentes de ala rotatoria de la organización estudiada se evidencia que el complejo contexto operacional en el cual se desarrollan las misiones helicoportadas impone altas cargas a los pilotos, dando como resultado la ocurrencia de accidentes. Además, la organización cuenta con un programa de prevención de accidentes CFIT en el cual establece, para la Jefatura de Operaciones Logísticas, la solicitud de adquirir sistemas EGPWS, TAWS o GCAS para todas las aeronaves operativas (FAC, 2015).

Durante la recolección de datos y revisión documental se evidencia que la organización, en su historia, no cuenta con registros de estudios para adquirir sistemas de alerta de proximidad al terreno para ala rotatoria. En la actualidad, en el ámbito militar de ala rotatoria únicamente existe un HTWAS certificado que cumple con los estándares exigidos para el desarrollo de operaciones militares, tales como la compatibilidad con dispositivos de visión nocturna, exposición a condiciones de alta humedad y resistencia ante temperaturas extremas (altas o bajas) y es utilizado en el S70i.

De acuerdo a la revisión teórica que se ha realizado, se puede inferir que el empleo y evolución de los sistemas de alerta de proximidad al terreno para las aeronaves ha reducido la ocurrencia de accidentes tipo CFIT, por lo que ha tenido un impacto positivo en la seguridad operacional.

Considerando las situaciones particulares a las que los *halcones valientes* se ven sujetos a desarrollar día a día y, en

algunos casos, como se expone en este artículo, teniendo en cuenta que se ha visto comprometida la seguridad de la tripulación, es viable considerar la adquisición del sistema de alerta de proximidad al terreno siendo una realidad, el mejoramiento de la seguridad para ellos.

Finalmente, la organización estudiada, como autoridad de aviación de Estado, tiene la responsabilidad de realizar los esfuerzos necesarios para lograr generar un modelo de seguridad proactivo, pensando en la prevención de eventos no deseados, así como también en mitigación de los riesgos propios de las complejas misiones de los *halcones valientes*.

Recomendaciones

Se recomienda establecer contacto con el representante de ventas y con el personal especialista o inspector en aviónica, con el fin de realizar el estudio técnico que determine el tiempo de instalación y STC requerido para los UH-60. También es relevante realizar la revisión necesaria para adquirir un sistema de análisis de datos de vuelo para UH-60 con el fin de crear estrategias proactivas e incluso predictivas en la prevención de accidentes (OACI, 2009). Finalmente, se recomienda continuar con el proceso investigativo en esta tecnología y sistemas innovadores que puedan surgir como herramienta útil para las tripulaciones de la Fuerza Pública.

Referencias

- Ana Lilia, C. P., Isidoro, P. R., y Zacarías, T. H. (2013). Methodological proposal for developing a scientific research in the area of business administration. *Pensamiento & Gestión*, (35) Recuperado de <http://search.proquest.com/docview/1521671778?accountid=143348>
- Airbus. (2007). Operating Environment, Enhancing Terrain Awareness. Cedex Francia.
- Anguera, M. T. (2008). Evaluación de programas desde la metodología cualitativa. *Acción Psicológica*, 5(2), 87-101. Recuperado de [Http://Search.Proquest.Com/Docview/1268718297?Accountid=143348](http://Search.Proquest.Com/Docview/1268718297?Accountid=143348)
- Army Headquarters. (1982). Meteorology for Army Aviators FM 1-230. Washington D.C
- Army Headquarters. (2016). Helicopter Utility Tactical Transport UH-60 TM 1-1520-237-10. *Change 8*. 2-1.
- Ban A. (2008). *EGPWS Modes* [Archivo de video]. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=m-a_2WBgB0o&list=P5L588D452CF63A5273.
- Breen, B. C. (1999). Controlled Flight Into Terrain and the Enhanced Ground Proximity Warning System. *IEEE/AES Systems Magazine*, 19-24.

- Briones, G. (2002). Metodología de la investigación cuantitativa en las ciencias sociales: V.3. Bogotá: Icfes (Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior).
- CACOM-5. (1998). Informe de investigación final FAC 4109. Rio-negro: FAC.
- Camacho D. (2014). *Consideraciones para efectuar vuelos instrumentos en los helicópteros para evitar accidentes CFIT* (Tesis de especialización). Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana, Bogotá.
- Congreso de Colombia. (17 octubre 2012). Ley 1581 de 2012: **Ley estatutaria, disposiciones generales para la protección de datos personales.**
- Constitución Política de Colombia (1991). Artículo 217.
- Croft. (2013). *Getting Helicopter TAWS Right*. Recuperado de <http://aviationweek.com/awin/getting-helicopter-taws-right>
- Cuartel general del ejército. (2000). Manual de adiestramiento aeromédico para aviadores. 9, 1.
- EASA. (2013). *Developing Standardised FDM-based Indicator. Version 1*. 41.
- Ecured. (2014). Obtenido de [http://www.ecured.cu/Enhanced_Ground_Proximity_Warning_Systems_\(EGPWS\)](http://www.ecured.cu/Enhanced_Ground_Proximity_Warning_Systems_(EGPWS))
- Estrada, E. (2016). *Fundamentos de investigación*. Bogotá, Colombia.
- Eurocontrol. (2015). Has EGPWS (TAWS) Helped Lower the Flying Risk for Commercial Transport Aircraft?. *Hindsight*, 22, 25-28.
- FAA. (2000). *Advisory Circular 23-18*. Installation of Terrain Awareness System. p 9.
- FAA. (2003). A Human Error Analysis of General Aviation Controlled Flight into Terrain Accidents Between 1990-1998. Washington. p 16.
- FAA. (2003). Advisory Circular 61-134. p 1.
- FAA. (2008). Technical Service Order 194.
- FAA. (2009). *Advance Avionics Handbook*. United States: Federal Aviation Administration.
- FAA. (2012). *Technical Service Order 151-C*. Washington: Federal Aviation Administration.
- FAA. (Abril 5 de 2012). *The History of CRM* [archivo de video]. Recuperado de <http://www.faa.gov/tv/?mediaid=447>
- FAA. (2014). *Spatial Disorientation*. Recuperado de https://www.faa.gov/news/safety_briefing/2016/media/SE_Topic_16-05.pdf
- FAC. (2010a). *Manual de fisiología de vuelo*. Bogotá: Imprenta/editorial.
- FAC. (2010b). Anexo «M» PREVAC CFIT-ALAR. Bogotá: Imprenta/editorial.
- FAC. (2011). Manual de seguridad operacional (Primera edición). Bogotá: Imprenta publicaciones Fuerzas Militares.
- FAC. (2013). Manual de doctrina básica aérea y espacial (Cuarta edición). Bogotá: Publicaciones FAC.
- FAC., D. d. (2015). Guía rápida de referencia QRH. Bogotá: Publicaciones FAC.
- FACH. (2016). *Conceptos básicos de fisiología de aviación*. Desorientación Espacial. Santiago de Chile.
- Fink, A. (2008). *How to Conduct Survey: A Step-by-Step Guide* (4th Edition). California: Sage Publications.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., y Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill.
- Honeywell Aerospace. (2004). MK XII Helicopter EGPWS. Arizona: Honeywell Aerospace.
- Honeywell. (2014). *Military*. Recuperado de <https://aerospace.honeywell.com/en/platforms/military>
- IGEFA. (1999). *Informe final investigación accidente FAC 4260*. Bogotá: Inspección General de la Fuerza Aérea Colombiana.
- IGEFA. (2005). *Circular nº. 2034 Accidente ocurrido FAC 4101*. Bogotá: Inspección General de la Fuerza Aérea Colombiana.
- IGEFA. (2006). *Informe final investigación accidente FAC 4009*. Bogotá: Inspección General de la Fuerza Aérea Colombiana.
- Jedick, R. (2015). *Theaviationist.com*. Recuperado de <https://theaviationist.com/2015/02/02/f-16-gcat-explained/>
- Kumar, B. (2002). *Illustrated Dictionary of Aviation*. New York: Tab Books.
- Le Borne. (1992). *Ground Collision Avoidance System US 5136512 A*. Ciudad de publicación: Editorial.
- Leoni, R. (2007). *Black Hawk*. Reston: American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Merlin, P. (2014). *NASA website Auto-GCA installed in USAF F-16*. Recuperado de [agregar enlace]
- Novacek, P. (s.f.). *Terrain Avoidance Warning System Buyer's guide*. New York: Pilot's Guide
- OACI. (2002). Anexo 6. *Operación de aeronaves*. Montreal: Autor.
- OACI. (2006). Documento 9859 *Manual de sistema de gestión de seguridad operacional*. Montreal: Autor.
- OACI. (2009). Anexo 19. Gestión de la seguridad operacional. Montreal: Autor.
- OACI. (2011). Aeronautical Communications Panel (acp), Twenty Fifth Meeting of Working Group, Senegal.
- OACI. (2014). *Global Aviation Safety Plan*. Montreal: Autor.
- OACI. (2013). *Global Aviation Navigation Plan*. Montreal: Autor.
- OACI. (2015). *ICAO Safety Report*. Montreal: Autor.
- OACI. (2013). Manual de gestión de la seguridad operacional (SMM). Montreal. Secretario General de la OACI. Organización de Aviación Civil Internacional.
- Parada, J. (2011). *Guía metodológica de investigación*. Bogotá: Instituto Militar Aeronáutico.



- Ranter, H. (2016). *ASN Aviation Safety Database results*. Recuperado de <https://aviation-safety.net/wikibase/dblist.php?AcType=H60&sorteer=datekey&page=3>
- Reason J. (1990). *Human Error*. New York: Cambridge University Press.
- Rockwell. (s,f). *HeliSure™ Helicopter Terrain Awareness and Warning System*. Recuperado de https://www.rockwellcollins.com/Data/Products/Radar_and_Surveillance/Integrated_Hazard_Surveillance/HeliSure_Helicopter_Terrain_Awareness_and_Warning_System.aspx
- Sandel. (2013). *ST3453 Heli Taws Pilot's Guide and Errata*. Sandel Avionics.
- Sánchez, L. (2010). El estudio de factor humano en accidentes de aviación. Derivado de *El factor humano en accidentes de aviación en Colombia: una aproximación sociocultural* (Tesis doctoral), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Skybrary. (2016). *Terrain Avoidance and Warning System (TAWS) - SKYbrary Aviation Safety*. Recuperado de [http://www.skybrary.aero/index.php/Terrain_Avoidance_and_Warning_System_\(TAWS\)](http://www.skybrary.aero/index.php/Terrain_Avoidance_and_Warning_System_(TAWS))
- Smith, D. R. (2001). *Controlling Pilot Error CFIT/CFTT*. Nueva York: McGraw-Hill.
- UAEAC. (2009). RAC 22 *Normas generales para la implantación del sistema de gestión de seguridad*. Bogotá: Aerocivil.
- UAEAC. (2011). *TAWS*. En *Guía de operaciones*. Bogotá: Aerocivil.
- Wiegmann, D., Zhang, H., von Thaden, T., Gibbons, A. y Sharma, G. (2004). *Safety Culture: An Integrative Review*. Illinois: University of Illinois.
- Wise, Hopkin, Garland. (2009). *Handbook of Aviation Human Factors*. Boca Raton: Crew Resource Management