



Peligros de la operación aérea en la Antártida para gestionar la seguridad operacional de la Fuerza Aérea Colombiana*

William A. Tabares^a

Resumen: la actividad aérea en la Antártida es considerada de riesgo, debido a las bajas temperaturas del ambiente y las condiciones topográficas. La Fuerza Aérea Colombiana (FAC) ha realizado operaciones en el territorio antártico desde 2015, y proyecta su incremento en un futuro cercano. Por lo anterior, el objetivo de este artículo fue identificar los peligros de la operación aérea en la Antártida para gestionar la seguridad operacional de la FAC. Para tal fin, se realizó un estudio transversal mixto no experimental durante la misión antártica de la FAC en el verano austral 2019-2020, y se utilizó la metodología de panorama de riesgos operacionales vigente en la FAC. El panorama de riesgos obtenido mostró a la salida de pista el congelamiento y los factores humanos como los de mayor riesgo para la operación, situación que coincide con lo reportado en la literatura. Con la información recolectada se elaboró una herramienta para mitigación del riesgo operacional de la FAC en misiones polares. Finalmente, para la gestión del riesgo de las operaciones aéreas de la FAC en la Antártida, se concluyó que el núcleo fundamental radica en la capacitación permanente del personal involucrado en operaciones polares, las cuales se encuentran entre las de mayor riesgo dentro de la actividad aérea. Además, se recomienda actualizar o revisar el panorama de riesgos al menos una vez cada seis meses, con el fin de investigar las últimas tendencias meteorológicas predominantes en el continente blanco, ya que el calentamiento global y el cambiante clima podrían arrojar fenómenos que no se hayan identificado en el presente estudio.

Palabras clave: Antártida; evaluación de riesgos; panorama de riesgos; seguridad operacional

Recibido: 22/09/2020 **Aceptado:** 20/11/2020 **Disponible en línea:** 7/05/2021

Cómo citar: Tabares, W. A. (2021). Peligros de la operación aérea en la Antártida para gestionar la seguridad operacional de la Fuerza Aérea Colombiana. *Revista de Relaciones Internacionales, Estrategia y Seguridad*, 16(1), 77-109. <https://doi.org/10.18359/ries.5274>

* Artículo de investigación, producto del trabajo realizado para obtener el título de magister en Seguridad Operacional de la Escuela de Posgrados de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC).

^a Mayor, Fuerza Aérea Colombiana (FAC). Bogotá, Colombia. Correo electrónico: andrestabares81@me.com

Dangers of air operation in Antarctica to manage operational safety of the Colombian Air Force

Abstract: air activity in Antarctica is considered risky, due to low ambient temperatures and topographical conditions. The Colombian Air Force (FAC) has been operating in the Antarctic territory since 2015 and is projecting its increase in the near future. Therefore, the objective of this article was to identify the dangers of air operation in Antarctica to manage the operational safety of FAC. To this purpose, a non-experimental mixed cross-sectional study was conducted during FAC'S Antarctic mission in the austral summer 2019-2020, and the operational risk landscape methodology in force in FAC was used. The risk landscape obtained showed at the exit of the runway, freezing and human factors such as the riskiest for the operation, a situation that coincides with what was reported in the literature. With the information collected, a tool was developed to mitigate the operational risk of FAC in polar missions. Finally, for the risk management of FAC'S air operations in Antarctica, it was concluded that the fundamental core lies in the ongoing training of personnel involved in polar operations, which are among the most at risk within air activity. In addition, it is recommended to update or review the risk landscape at least once every six months, in order to research the latest weather trends prevalent on the white continent, such as global warming and changing weather that could lead to phenomena that have not been identified in this study.

Keywords: Antarctica; risk assessment; risk landscape; operational security

Perigos da operação aérea na Antártida para controlar a segurança operacional da Força Aérea Colombiana

Resumo: a atividade aérea na Antártida é considerada de risco devido às baixas temperaturas do ambiente e às condições topográficas. A Força Aérea Colombiana (FAC) vem realizando operações no território antártico desde 2015 e projeta seu aumento num futuro próximo. Por isso, o objetivo deste artigo é identificar os perigos da operação aérea na Antártida para controlar a segurança operacional da FAC. Para isso, foi realizado um estudo transversal misto não experimental durante a missão antártica da FAC no verão austral 2019-2020 e foi utilizada a metodologia de panorama de riscos operacionais vigente na FAC. O panorama de riscos obtido demonstrou o congelamento e os fatores humanos à saída de pista como os de maior risco para a operação, situação que coincide com o relatado na literatura. Com os dados coletados, foi elaborada uma ferramenta para diminuir o risco operacional da FAC em missões polares. Finalmente, para a gestão do risco das operações aéreas da FAC na Antártida, conclui-se que o núcleo fundamental está na capacitação permanente do pessoal envolvido em operações polares, as quais se encontram entre as de maior risco dentro da atividade aérea. Além disso, é recomendado atualizar ou revisar o panorama de riscos pelo menos uma vez a cada seis meses a fim de investigar as últimas tendências meteorológicas predominantes no continente branco, já que o aquecimento global e o oscilante clima poderiam provocar fenômenos que não tenham sido identificados neste estudo.

Palavras-chave: Antártida; avaliação de riscos; panorama de riscos; segurança operacional

Introducción

Colombia ha suscrito compromisos internacionales al crear diversos organismos y al realizar actividades encaminadas a mantener una presencia permanente en la Antártida, destacándose entre estos la adherencia al Tratado Antártico en 1989; la creación de la Comisión Nacional de Asuntos Antárticos en 1990; la firma del Protocolo al Tratado Antártico sobre Protección del Medio Ambiente en la XI Reunión Consultiva del Tratado Antártico (RCTA) en 1991; la Comisión Colombiana del Océano (CCO), que asume su rol como entidad coordinadora y asesora de la institucionalidad nacional en el seno del Comité Técnico Nacional de Asuntos Antárticos (CTN-AA) en 2012; la construcción

de la Agenda Científica Antártica de Colombia 2014-2035 y el establecimiento de los lineamientos de esta Agenda en la Antártida con el Programa Antártico Colombiano (PAC) en 2012, junto con la intención de efectuar la Primera Expedición Científica a la Antártida en 2013 y la realización de la misma en 2014-2015.

Con el propósito de alcanzar los objetivos de Colombia en la Antártida y mantener una presencia permanente en ese continente, se han estructurado cinco etapas dentro del PAC, algunas de las actividades incluidas en estas son acciones transversales que, como tal, se ejecutan de forma permanente y paralela, en cuanto aportan al cumplimiento integral del programa (ver Figura 1).

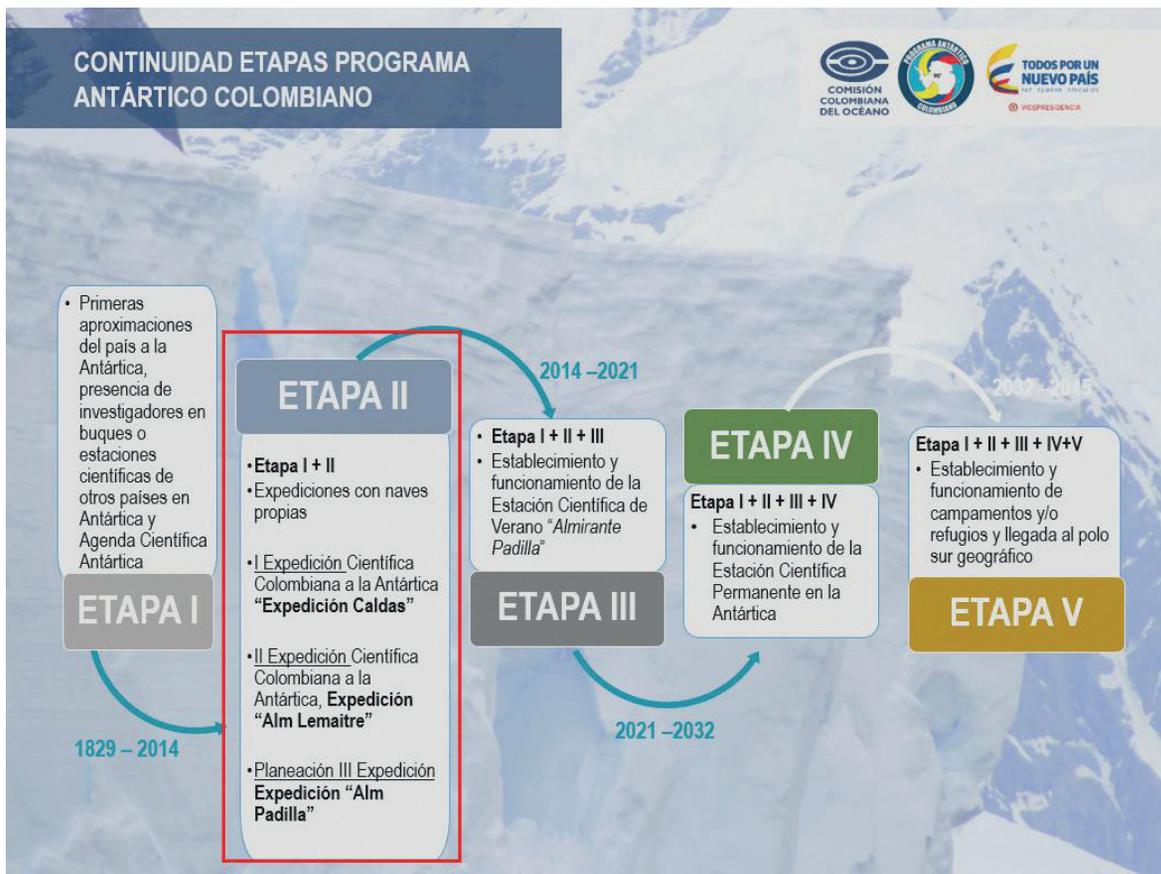


Figura 1. Programa Antártico Colombiano (PAC). Etapas

Fuente: Comité Técnico Nacional de Asuntos Antárticos (ctn-aa), 2015.

El transporte aéreo, sin duda, será fundamental para toda la logística, apoyo y sostenimiento que requiere establecer una base temporal o permanente de Colombia en la Antártida. En el cumplimiento de esa misión, la FAC debe garantizar la seguridad de sus operaciones en todo nivel, en vista del ambiente hostil para la operación aérea dadas las características geográficas y ambientales de este continente, las cuales se constituyen en un riesgo mayor sobre el que se tiene poca documentación referente a su evaluación y definición de estrategias de mitigación (Comité Técnico Nacional de Asuntos Antárticos [CTN-AA], 2015).

Al revisar antecedentes de accidentes aéreos ocurridos en las regiones polares, se puede observar que han sido múltiples las causas asociadas a estos, entre las que se destacan las condiciones climáticas adversas; errores humanos por parte de pilotos que utilizaron de forma equivocada los sistemas o instrumentos de vuelo, o realizaron procesos de aterrizaje a velocidades superiores conociendo el riesgo que este tipo de maniobras ocasiona y el uso inadecuado del sistema de descongelamiento de las alas y fuselaje, que incrementa el peso en la aeronave y lleva a la reducción de la capacidad de sustentación. Esta información es respaldada por la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA, por sus siglas en inglés), que, de acuerdo a las cifras reportadas en el año 2019, sigue manteniendo como principales causales de accidentes la pérdida de los controles de vuelo y los aterrizajes duros, aunque se logró una reducción en la tasa de accidentes aéreos y de víctimas por esta clase de accidentes (Asociación Internacional de Transporte Aéreo [IATA, por sus siglas en inglés], 2019).

Por lo anterior, y teniendo en cuenta que la FAC realiza con más frecuencia operaciones aéreas en la Antártida en el marco del PAC, se realizó el levantamiento de un panorama de riesgos operacionales no solo para conocerlos, sino también para construir procedimientos y estrategias que disminuyan el riesgo de la operación en el entorno polar.

Operaciones aéreas y seguridad operacional

Las operaciones aéreas se asocian con el conjunto de operaciones de aeronaves en actividades de

servicios aéreos comerciales de transporte público de pasajeros, correo o carga, por remuneración, entre otros (Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil [UAEAC] 2018).

Complementando lo dicho, Neira (2010) establece que el éxito de las operaciones aéreas, militares o comerciales se debe a la participación de personas especializadas en actividades de administración y operación. Las primeras se enfocan en las decisiones que hacen posible que la institución o la empresa cumpla la misión para la que fue constituida, las segundas son responsables de que las aeronaves concreten ese objetivo. Para ello, el factor decisivo de la actividad operacional es la seguridad aérea, que comprende capacitación de la tripulación y personal de tierra, mantenimiento de aviones, equipos de comunicaciones y logística, motivo por el que las decisiones administrativas tienen que buscar el equilibrio presupuestal de las áreas involucradas en los procesos administrativos y operacionales, para evitar que surjan las condiciones latentes que pueden ser la causa eficiente de las tragedias.

Consecuentemente, la seguridad operacional es el estado en el que los riesgos asociados a las actividades de aviación relacionadas con la operación de las aeronaves, o que apoyan directamente dicha operación, se reducen y controlan a un nivel aceptable. Dependiendo de la perspectiva que se adopte, el concepto de seguridad operacional de la aviación puede tener diferentes connotaciones, tales como: a) ningún accidente (o incidente grave), opinión que sostiene ampliamente el público viajero; b) ausencia de peligro o riesgos, es decir, de aquellos factores que causan o que probablemente causen perjuicios; c) actitud de los empleados con respecto a actos y condiciones inseguras (que reflejan una cultura “segura” de la empresa); d) grado en que los riesgos inherentes a la aviación son “aceptables”; e) proceso de identificación de peligros y gestión de riesgos y e) control de pérdida accidental (de personas y bienes, y daños al medio ambiente) (Organización de Aviación Civil Internacional, [OACI], 2019).

Si bien la eliminación de accidentes y de incidentes graves es deseable, una seguridad operacional del cien por ciento es un objetivo inalcanzable. De hecho, ocurrirán fallas y errores a pesar de los mejores esfuerzos para evitarlos, puesto que

ninguna actividad humana y ningún sistema hecho por el hombre se puede garantizar como absolutamente seguro, siempre existe un margen de error o de riesgo. En este sentido, la seguridad operacional es una noción relativa, por lo que en un sistema “seguro” los riesgos inherentes son aceptables; motivo por el que cada vez más la seguridad operacional se percibe como una gestión de riesgos (OACI, 2019).

De lo anterior se desprende que el significado de *seguridad operacional* se asocia con el estado en que el riesgo de lesiones a las personas o daños a los bienes se reduzca y se mantenga en un nivel aceptable, o por debajo del mismo, por medio de un proceso continuo de identificación de peligros y gestión de riesgos. Es así que la OACI (2019) establece que dichos parámetros de seguridad operacional se pueden lograr con la mejora de la seguridad alcanzada por cada organización como resultado de la propiedad compartida de los riesgos y las responsabilidades.

En los sistemas es necesario fijar y medir los resultados en términos de eficacia a fin de determinar si funcionan de conformidad con las expectativas, así como identificar el punto en que es necesario aplicar medidas para mejorar los niveles de eficacia y responder así a esas expectativas (OACI, 2019).

La introducción del concepto *nivel aceptable de seguridad operacional* responde a la necesidad de complementar el enfoque que prevalece para la gestión de la seguridad operacional, basado en el cumplimiento de la reglamentación y centrado en la eficacia. En dicho orden, el nivel de desempeño de seguridad operacional es acordado por las autoridades estatales para los sistemas de aviación civil en un Estado, y se expresan en términos de objetivos e indicadores de desempeño de seguridad (OACI, 2019).

Por otra parte, y dados los pronósticos de aumento continuo de las actividades mundiales de la aviación, existe la preocupación de que los métodos tradicionales para reducir los riesgos a un nivel aceptable quizás no sean suficientes. Por consiguiente, están apareciendo nuevos métodos para comprender la seguridad operacional y llevar a cabo su gestión, apoyados en los enfoques tradicionales y modernos. Desde el enfoque tradicional se sabe que, históricamente, la seguridad operacional de la aviación se concentraba en el cumplimiento de requisitos reglamentarios cada vez más complejos. Este enfoque funcionó bien hasta fines del decenio de 1970, cuando la tasa de accidentes acusó un aumento pronunciado. De igual modo, esta perspectiva de seguridad operacional reaccionaba ante dichos sucesos indeseables prescribiendo medidas para impedir que volvieran a ocurrir, en lugar de definir mejores prácticas o los niveles deseados, se procuraba asegurar que se respetaran los niveles mínimos (OACI, 2019). Con una tasa general de accidentes mortales de cerca de diez, es decir, un accidente mortal por millón de vuelos, se tornaba cada vez más difícil lograr nuevas mejoras en la seguridad operacional empleando este enfoque.

Como resultado, y con el fin de mantener los riesgos para la seguridad operacional en un grado aceptable con niveles de actividad más elevados, las prácticas modernas de gestión de la seguridad operacional están dejando de actuar por reacción para actuar de un modo más preventivo. Además de un marco sólido de leyes y requisitos reglamentarios que se hacen cumplir, existen varios factores que se consideran efectivos para la gestión de la seguridad operacional (ver Tabla 1). Cabe destacar que este enfoque complementa o se agrega a las obligaciones de los Estados y otras organizaciones (OACI, 2019).

Tabla 1. Factores a considerar para la efectividad de la gestión en seguridad operacional

1. Aplicación de métodos de gestión de riesgos con base científica.
2. Compromiso de la administración superior respecto a la gestión de la seguridad operacional.
3. Tener una cultura de seguridad operacional en las empresas que fomente las prácticas seguras, aliente las comunicaciones relacionadas con la seguridad operacional y efectúe una gestión activa de la seguridad operacional, poniendo la misma atención en los resultados que en la gestión financiera.
4. Aplicación eficaz de los procedimientos operacionales normalizados, incluido el uso de listas de verificación y sesiones de información.
5. Tener un entorno no punitivo (una cultura de justicia), para fomentar la notificación efectiva de incidentes y peligros.
6. Contar con sistemas para recoger, analizar y compartir datos relacionados con la seguridad operacional provenientes de operaciones normales.
7. Realizar una investigación competente de accidentes e incidentes graves que identifique deficiencias sistémicas respecto a la seguridad operacional (en vez de buscar a quién atribuir la culpa).
8. Proveer integración de la instrucción sobre seguridad operacional (incluidos los factores humanos) para el personal de operaciones; formas de compartir la experiencia adquirida y las mejores prácticas en materia de seguridad operacional por medio de un intercambio activo de información sobre seguridad operacional entre empresas y Estados.
9. Contar con sistemas de vigilancia de la seguridad operacional y supervisión de la eficacia sistemáticos, dirigidos a evaluar la eficacia de la seguridad operacional y a reducir o eliminar nuevos problemas.

Fuente: OACI (2019).

El riesgo es la probabilidad de que una amenaza se convierta en un desastre. La vulnerabilidad o las amenazas por separado no representan un peligro pero si se juntan, se convierten en un riesgo, es decir, en la probabilidad de que ocurra un desastre. Sin embargo, los riesgos pueden reducirse o manejarse. Si se es cuidadoso en la relación con el ambiente y se está consciente de las debilidades y vulnerabilidades frente a las amenazas existentes, se pueden tomar medidas para asegurarse de que las amenazas no se conviertan en desastres (Eche-mendía, 2011).

Por su parte, Cardona (1993) se refiere al riesgo como la probabilidad de exceder un valor específico de consecuencias económicas, sociales o ambientales en un sitio particular y durante un tiempo de exposición determinado. El autor asume que un desastre no solo depende de la cantidad de población humana que puede verse afectada, sino también de su escala en términos ecológicos, económicos y sociales. Por ello, para Chávez (2018) el riesgo abarca más que al hombre como elemento fundamental para que exista un desastre, pues puede producirse uno en el que no se den pérdidas económicas o de vidas humanas.

Modelo de gestión del riesgo operativo

El modelo de gestión del riesgo operativo (MGRO) puede definirse como el proceso de análisis, identificación y evaluación del nivel de riesgo asociado a las posibles líneas de acción que se contemplan en el planeamiento y ejecución de las operaciones y acciones aéreas, para lograr el cumplimiento de la misión con un nivel de riesgo conocido y asumido. Tal como afirma Perales (2010), este concepto no es nuevo. En el planeamiento de las operaciones aéreas siempre se ha tenido presente el riesgo relacionado con estas, aunque su valoración se fundamentaba en la experiencia y en el conocimiento de los medios. La novedad de la gestión del riesgo operativo consiste en aportar un método de trabajo definido y sistemático que permita una mejora en la eficacia de las operaciones, al detectar con anticipación y de manera objetiva todos los riesgos inherentes a las mismas.

En función a lo anterior, existen seis fases de desarrollo en el MGRO, identificación del peligro, valoración, análisis de las medidas de control, toma de decisiones, aplicación de medidas de control y supervisión y revisión (ver Tabla 2).

Tabla 2. Fases del desarrollo MGRO

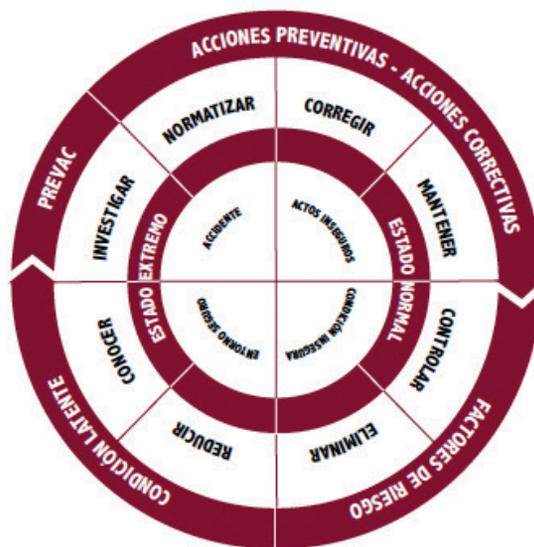
<p>Identificación del peligro: se entiende como peligro asociado a la operación o acción aérea la condición, práctica, contingencia o procedimiento con potencial de producir daños personales o materiales, que disminuye el cumplimiento eficaz de la misión. La identificación de los peligros es la base de todo el proceso MGRO. El esfuerzo realizado en la identificación de los peligros tiene un efecto multiplicador en el resultado del proceso; de allí que las acciones que integran esta fase sean el análisis de la misión, la lista de peligros y la lista de causas (OACI, 2018).</p>
<p>Valoración del riesgo: consiste en determinar el nivel de riesgo asociado a una determinada condición de peligro, mediante el análisis de la probabilidad de ocurrencia, la severidad de las consecuencias y la exposición a dicha condición de peligro (Piñero, 2017).</p>
<p>Decisión sobre las medidas de control: esta tiene dos aspectos fundamentales, la elección de la medida de control y la aceptación del nivel de riesgo residual después de su aplicación. La decisión debe ser tomada por la persona responsable, al nivel adecuado y después de informarse de todas las soluciones posibles. Así mismo, en esta fase las acciones que se contemplan se asocian con seleccionar las medidas de control y tomar la decisión (Aerocivil, 2010).</p>
<p>Análisis de las medidas de control del riesgo: una vez valorado el riesgo, hay que analizar si puede ser asumido como aceptable o, en caso contrario, si puede ser eliminado o reducido con medidas adecuadas de control, que actúen al menos sobre uno de los tres componentes del riesgo, probabilidad, severidad y exposición (Olalla y Herraiz, 2013). Las acciones que componen esta fase son: identificar las medidas de control, determinar los efectos del control y asignar prioridades a las medidas de control.</p>
<p>Aplicación de las medidas de control: corresponde a la serie de medidas de control dispuestas en un plan, que incluye elementos en torno a las medidas, responsabilidad, recursos y calendario de implementación (OACI, 2018). En dicha medida, las acciones que se ejecutan deben establecer las medidas a tomar, las responsabilidades y los requerimientos de apoyo. Este concepto es adaptado del DOC 9859 de oACI (2018), Safety Management Manual.</p>
<p>Supervisión y revisión: la última fase del proceso consiste en determinar la eficacia de las medidas de control de riesgo durante la operación. Las acciones que integran esta fase son: supervisar, revisar e incorporar los datos (Perales, 2010).</p>

Fuente: elaboración propia.

Metodología del panorama de riesgos de la FAC

La metodología para la evaluación del riesgo por parte de la FAC sigue el esquema dispuesto en el Plan Estratégico de Seguridad Aérea 2007-2019 (ver Figura 2).

Figura 2. Modelo de actuación frente a factores de riesgo



Fuente: FAC (2010).

Entre los parámetros o aspectos a considerar en los procesos de evaluación de los factores de riesgo se incluyen las condiciones y actos inseguros. Los actos inseguros son considerados como fallas en las acciones planeadas para alcanzar consecuencias deseadas, por su parte, las condiciones inseguras son las circunstancias que podrían dar paso a la ocurrencia de un accidente, y dependen del ambiente donde se desarrolla la actividad (Maurino *et al.*, 1995).

En este mismo orden, Mon (2016) argumenta que los factores humanos se refieren a factores ambientales, organizativos y de trabajo y a las características humanas e individuales que influyen en el comportamiento dentro del trabajo, de manera que pueden afectar la salud y la seguridad. De esta forma, el elemento humano es la parte más flexible, adaptable y valiosa del sistema en la aviación, pero también es el más vulnerable a las

influencias que pueden afectar negativamente su ejecución. Aproximadamente, entre un 70 % y 80 % de los accidentes son a causa del error humano (Mon, 2016).

Sumado a los elementos anteriormente descritos, Amézcuca (2010) argumenta que existen múltiples elementos que influyen en la capacidad de los pilotos para realizar las operaciones aéreas. Desde dicha perspectiva, el autor plantea que factores físicos como la presencia de enfermedades, lesiones o deficiencias fisiológicas, factores ambientales e individuales pueden generar cambios en las capacidades del piloto, a lo que se suman aspectos que se relacionan con los rasgos de personalidad, como las percepciones, motivaciones, satisfacción en el trabajo, emociones, entre otros (Amézcuca, 2010).

Para determinar el producto entre la frecuencia y la severidad del riesgo, la FAC sigue la matriz de probabilidad y severidad de la Tabla 3.

Tabla 3. Matriz de probabilidad y severidad

PROBABILIDAD	SEVERIDAD DEL RIESGO				
	Catastrófico	Peligroso	Mayor	Menor	Insignificante
	5 (A)	4 (B)	3 (C)	2 (D)	1 (E)
Frecuente (5)	25	20	15	10	5
Ocasional (4)	20	16	12	8	4
Remoto (3)	15	12	9	6	3
Improbable (2)	10	8	6	4	2
Extremadamente Improbable (1)	5	4	3	2	1

Fuente: FAC (2010).

Con la información anterior se establece por cada clasificación la descripción del riesgo y su

aceptación (ver Figura 4). Lo anterior en conjunto con el tiempo de gestión requerido.

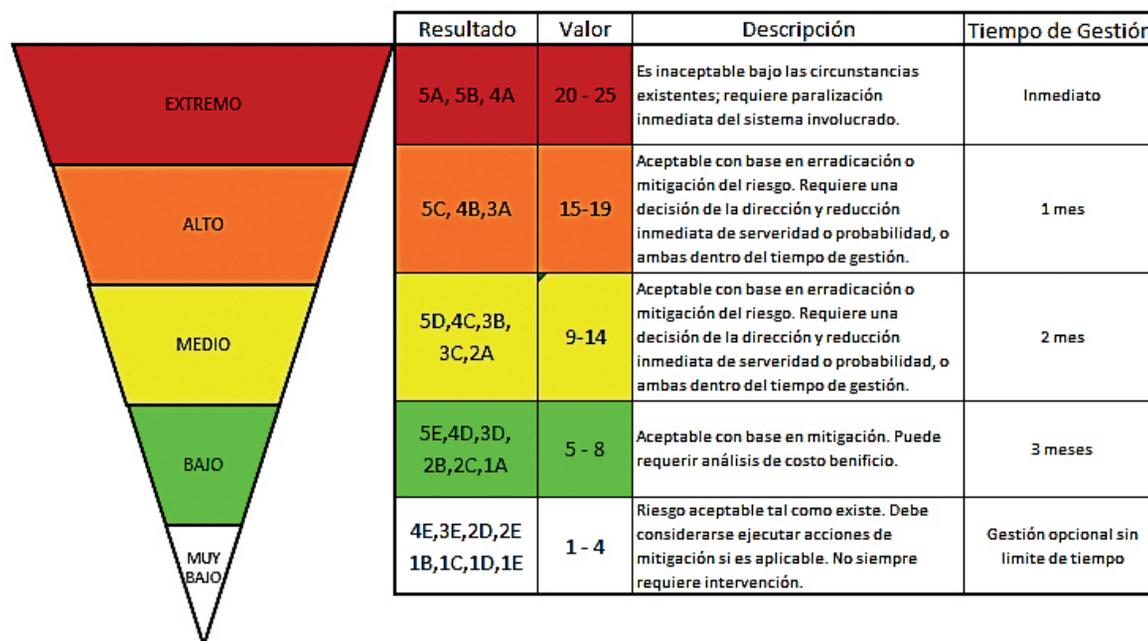


Figura 4. Clasificación del riesgo y gestión

Fuente: FAC (2010).

Por su parte, la guía ISO 9001-2015 (Organismo Internacional de Estandarización (ISO), 2015), que es el estándar internacional para la certificación de sistemas de gestión, ha incorporado como parte de sus procesos el análisis de riesgos. Este es considerado como uno de los pasos más novedosos para la identificación de los posibles problemas que puedan surgir en la organización, que en este contexto corresponde de manera explícita a las operaciones de la FAC en el Antártico. Como parte del proceso de análisis del riesgo, el primer paso para intervenir en los peligros es tenerlos claramente identificados y definidos para que las acciones de prevención estén bien orientadas y tengan un impacto significativo. Esta delineación mostrará a la organización los puntos que deben ser tomados como prioridades en todos los planes de seguridad.

En dicha medida, la identificación del peligro se contempla para su abordaje desde tres perspectivas, factores técnicos, factores humanos y factores naturales (Flight Safety Foundation, 2016).

Los factores técnicos comprenden el conjunto de circunstancias o condiciones que pueden causar un accidente o incidente, por lo que también se les denomina *condiciones inseguras*, aunque en muchos otros escenarios se correlaciona con fallas en

los componentes de las aeronaves. En el campo de la aviación, estos factores se relacionan explícitamente con las condiciones inseguras que propician la ocurrencia de los accidentes o incidentes aéreos. Entre estos tipos de peligros se destacan, pero no se limitan al funcionamiento incorrecto de instrumentos de medición producto de la congelación, a la congelación del combustible que genera pérdida de los motores, la contaminación del combustible, la falla estructural o mecánica, a la pérdida de control en vuelo, al agotamiento de combustible, las condiciones no óptimas de los aeródromos y a la carga incorrecta (Flight Safety Foundation, 2016).

En lo que respecta a los factores humanos, los principales que se pueden asociar con la ocurrencia de incidentes aéreos corresponden a la falta de conocimiento o capacitación en operaciones polares, al desconocimiento de las características geográficas y meteorológicas de la ruta, a la existencia de problemas físicos o mentales, a las salidas de pistas, la desorientación espacial y la fatiga (Flight Safety Foundation, 2016).

En cuanto a los factores medioambientales o de entorno, estos están relacionados con los peligros, se destacan los eventos geofísicos que generan cambios en las características del hielo; las condiciones

geográficas como la presencia de montañas, colinas, entre otras, que representan un peligro en los procesos de acercamiento y despegue de las aeronaves, así como los eventos ambientales comunes en las zonas, como corrientes de aire y frecuentes tormentas (Flight Safety Foundation, 2016).

Operaciones aéreas en zonas polares

La Antártida representa un ambiente hostil para la operación aérea, debido a sus características geográficas y ambientales, lo que constituye un riesgo mayor en el desarrollo de las operaciones aéreas. Sobre estas se tiene poca documentación asociada a la evaluación de riesgos y la definición de estrategias de mitigación.

En el mundo se han reportado diferentes accidentes y eventos no deseados en el campo aeronáutico. La accidentalidad en operación sobre hielo o glaciares representa un riesgo no solo por sus condiciones ambientales, sino también por el alto riesgo de desorientación espacial.

Al revisar antecedentes de accidentes aéreos, se encuentran registros de algunos que han ocurrido en torno a las regiones polares y asociados a la presencia de hielo, estos ocasionaron un gran número de víctimas y cuantiosas pérdidas para sus instituciones y empresas.

De acuerdo a lo anterior, se puede observar que han sido múltiples las causas vinculadas a los accidentes aéreos que se registran en zonas polares o en aquellas regiones donde las condiciones climáticas pueden considerarse como adversas, pero se destaca entre estas fallas el error humano por parte de pilotos que utilizaron de forma errónea los sistemas o instrumentos de vuelo. Aterrizar a velocidades superiores conociendo el riesgo que este tipo de maniobras ocasiona, tal como lo es la fuerza de tracción del tren de aterrizaje con la pista, se disminuye como respuesta a la reducción del coeficiente de fricción con las llantas y, no menos importante, al uso inadecuado del sistema de descongelamiento de las alas y del fuselaje, que incrementa el peso en la aeronave y conlleva a la reducción de la capacidad de sustentación.

Al analizar la literatura, tesis, blogs y demás se evidenció que en materia de expediciones a la Antártica, Argentina, Chile y Rusia son para la humanidad un destacado referente para el estudio de las operaciones antárticas. Seguidos por EE.UU., Australia y Reino Unido, quienes siguen haciendo un gran esfuerzo por realizar sus expediciones en el continente Austral. Algunos de los demás países tienen una baja actividad en el desarrollo de expediciones y estudios que provienen de estas.

En el Manual polar de la Fuerza Naval de Estados Unidos (U.S.Navy) se definen algunos parámetros asociados con recomendaciones en temas operacionales en las regiones árticas y antárticas. Entre estos se describen los relacionados con la vestimenta, la selección del personal, criterios de fisiología, higiene, nutrición, sanidad, características del transporte, entre otros (Hedblom, 1965).

Por su parte, Ryan (2014) aborda otro tipo de riesgo propio de la aviación que no se asocia propiamente con las operaciones en el Ártico. En su proceso investigativo se revisan diferentes estudios hechos por la Marina australiana, la Marina de los Estados Unidos, la Marina Real Canadiense (RCN, por sus siglas en inglés) y el Sector Civil Marítimo, enfocados en investigaciones evaluativas de incidentes. De acuerdo con la autora, uno de los elementos precursores de las problemáticas asociadas con los incidentes se encuentra en el descanso de la tripulación. Los estudios de medición del sueño en operaciones navales indican la presencia de falta de sueño generalizado que promueve una reducción del rendimiento individual y, a su vez, reduce la resistencia de la tripulación, aspecto que se considera como inaceptable desde el campo y vista operacional.

Por el motivo anteriormente descrito, la autora plantea la necesidad de fortalecer los sistemas de gestión del riesgo, en el que se considere no solo las fuentes de riesgos operativas y locativas, sino del personal en el que se incluye la fatiga como factor que determina el rendimiento del personal (Ryan, 2014).

Por su parte, Perales (2010) considera que la seguridad de vuelo en el Ejército del Aire de España tiene como propósito potenciar al máximo

la capacidad operativa de las unidades aéreas, y evitar, a su vez, la pérdida de vidas humanas y de material. Bajo esta premisa, el objetivo se logra mediante la identificación, evaluación y gestión de todos los riesgos inherentes al desarrollo de las operaciones aéreas, así como con el apoyo a las mismas en todas sus fases.

En dicha medida, las actividades asociadas con la seguridad de los vuelos deben enfocarse en la adopción de medidas de prevención que garanticen que el riesgo es, en todo momento, conocido, controlado y aceptado. Ahora, para gestionar este riesgo se ha identificado, en los últimos años, una herramienta fundamental, conocida como gestión del riesgo operativo.

Metodología

Se realizó una investigación con enfoque mixto de tipo no experimental transversal (Hernández, Fernández, y Baptista, 2014). Desde el aspecto cuantitativo, se realizó el análisis del riesgo en relación con cada uno de los factores, y se definió su probabilidad y severidad. Desde el ámbito cualitativo, se analizaron y evaluaron los elementos bibliográficos vinculados a las principales causas de los accidentes e incidentes aéreos, elementos que retroalimentan los niveles de probabilidad para la evaluación de los riesgos.

El universo de investigación correspondió a las operaciones aéreas llevadas a cabo por la FAC y por la población en los vuelos de la Fuerza que realiza operaciones en la Antártida. Correspondió a un muestreo no probabilístico por conveniencia, compuesto por los diferentes estudios que realizó la FAC en el marco de la VI Campaña Antártica FAC 2020, y por las visitas de campo, que fueron realizadas durante el mes de enero del año 2020.

Instrumentos

Durante el desarrollo investigativo se utilizaron las siguientes herramientas: a) matriz de caracterización del panorama de riesgos, siguiendo el procedimiento establecido por la FAC para el levantamiento de panoramas de riesgos en sus unidades militares (FAC, 2010) y b) uso del dron Phantom 4 (propiedad FAC) para el estudio mediante

fotografías aéreas de los aeródromos, lo anterior con previa autorización.

Procedimiento

La investigación se realizó en las siguientes etapas: primero, el análisis de eventos y accidentes aéreos ocurridos en la Antártida durante el periodo de 1949 a 2019, estos se obtuvieron de varias fuentes, como la National Transportation Safety Board, la Fundación Marambio, entre otros (ver Anexo 1); segundo, la caracterización de los riesgos operacionales en la Antártida que se obtuvieron a partir de la revisión bibliográfica y de las organizaciones enfocadas en operaciones aéreas, aspectos que se complementaron través de visita de campo y tercera, la estructuración de acciones de mitigación.

Para la caracterización del riesgo en la Antártida, dos miembros del equipo investigador abordaron una aeronave Hércules C-130 de matrícula FAC 1005, destinada a realizar la VI expedición del PAC entre el 17 y el 26 de enero de 2020. Con dicha caracterización se pudo establecer algunos factores del entorno que pueden influir en las operaciones aéreas.

Para el caso de los factores humanos y técnicos, fueron considerados los elementos descritos en las diferentes investigaciones y los emitidos por los organismos enfocados en actividades de seguridad aérea. A esto se sumó el análisis de las causas asociadas con la revisión de los accidentes aéreos registrados en el periodo de 1949 a 2019, en torno a actividades polares (ver Anexo 1).

Para esta recolección de datos se utilizó una aeronave remotamente tripulada de la FAC, además, se realizaron las listas de chequeo para el estudio y análisis del riesgo siguiendo la metodología establecida por la Dirección de Seguridad Operacional en el Manual de técnicas y procedimientos para vuelos a territorio Antártico en el equipo C-130H.

El dron presentó una alerta que impidió el vuelo, ya que tenía activo el bloqueo de las zonas geo, la cual restringe la operación de drones en inmediaciones de aeródromos. Para esto fue necesario elevar una solicitud ante la casa fabricante del Phantom 4, para que autorizara un desbloqueo temporal por los cinco días en que se realizarían los trabajos en la Antártida.

Los datos recolectados fueron analizados de acuerdo con las metodologías que establece la Dirección de Seguridad Operacional de la Fuerza Aérea en torno a la cuantificación de los riesgos. Esta fue descrita en el marco teórico para los diferentes programas de prevención de accidentes, como vuelo controlado por el terreno (CFIT, por sus siglas en inglés), Foreign Object Damage (FOD), GAP, Runaway Incurcion Prevention (RIP), Mid Air Collition (MAC), conforme a lo establecido en el Manual de técnicas y procedimientos para vuelos a territorio Antártico en el equipo C-130H.

Adicionalmente, a través del análisis de los eventos y accidentes aéreos que se incluye en el Anexo 1, se determinó cuáles fueron las principales características que propiciaron su ocurrencia, se establecieron las causas y se relacionaron con posibles riesgos. Posteriormente, en la caracterización de los riesgos operacionales, se establecieron aquellos existentes en torno al desarrollo de las

operaciones aéreas, para lo que se realizó un análisis de las investigaciones desarrolladas alrededor del tema. Por último, a través de la estructuración de acciones de mitigación, se propusieron estrategias que permitan la reducción de la posible ocurrencia de los eventos y sus impactos.

Análisis de datos

Para el análisis de la información obtenida a partir de la implementación de los instrumentos, se utilizaron rejillas de evaluación, a través de estas se valoró cada uno de los factores los niveles de riesgo.

Resultados

A partir de la implementación de la matriz de evaluación de riesgos basados en la probabilidad y severidad, se determinaron un conjunto de factores promotores de la problemática en torno a los riesgos de las operaciones polares. Se clasificaron como medio, alto y extremo (ver Tabla 4).

Tabla 4. Descripción de principales factores de riesgo

Factor de riesgo	Descripción del riesgo	Causas del riesgo	Puntaje del riesgo	Nivel del riesgo
Técnico	Funcionamiento incorrecto de instrumentos de medición	Se divide en dos. Primero: - Congelamiento de los instrumentos - No uso de los sistemas de descongelamiento - Desconocimiento de los sistemas de soporte para evitar el congelamiento - Ausencia de seguimiento los protocolos dispuestos ante esta serie de fallos - Falta de entrenamiento de la tripulación - Falta de seguimiento al desempeño operativo de la tripulación - Actividades de seguimiento de desempeño superficiales - En el seguimiento de desempeño no se evalúa la forma como actúa la tripulación ante este tipo de eventos Segundo: - Daños de la instrumentación - Incorrecto mantenimiento de la instrumentación - Los protocolos de mantenimiento son deficientes - Falta de implementación de mantenimientos preventivos basados en recomendaciones de los fabricantes y análisis de fallos	12	Medio
Técnico	Congelamiento del combustible	- No uso de los sistemas de descongelamiento - Desconocimiento de los sistemas de soporte para evitar el congelamiento - Falta de seguimiento a los protocolos dispuestos ante esta serie de fallos - Falta de entrenamiento de la tripulación - Ausencia del seguimiento al desempeño operativo de la tripulación - Actividades de seguimiento de desempeño superficiales - En el seguimiento de desempeño no se evalúa la forma como actúa la tripulación ante este tipo de eventos	10	Medio

Factor de riesgo	Descripción del riesgo	Causas del riesgo	Puntaje del riesgo	Nivel del riesgo
Técnico	Pérdida de control de vuelo	<p>Se divide en dos. Primero:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Falta de armonización de la tripulación con los diferentes sistemas de automatización de las aeronaves - Deficiencias en los procesos de capacitación del personal en relación con el manejo de la instrumentación y sistema de navegación - Falta de análisis de las necesidades de capacitación de las tripulaciones a partir de evaluaciones de seguimiento y desempeño - Falta de política organizacional en torno al recurso humano <p>Segundo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Condiciones ambientales adversas y extremas que imposibilitan controlar el avión - No se siguen recomendaciones acerca del ajuste de las trayectorias en función de las condiciones meteorológicas de la ruta - Desconocimiento de las condiciones ambientales y meteorológicas por parte de la tripulación - Deficiencias en los procesos de planeación de vuelo en términos de evaluación de condiciones de ruta 	12	Medio
Técnico	Condiciones no óptimas de aeródromos	<p>Se divide en cuatro. Primero:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pistas en mal estado - Mal funcionamiento de los sistemas de drenaje - Señalización no existente o en mal estado - Deficiencias en los procesos de retiro de nieve y otros elementos de las pistas - Falta de mantenimiento de las pistas - Falta de evaluación periódica de las condiciones estructurales de las pistas - Ausencia de criterios en torno a la operabilidad de las pistas <p>Segundo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Presencia de aves en alrededores de las pistas - Presencia de fuentes de agua y de comida para las aves en inmediaciones de los aeródromos - No contar con un sistema de mitigación de presencia de aves en inmediaciones de los aeródromos - Falta de vigilancia a las condiciones de operación en términos de presencia de aves <p>Tercero:</p> <ul style="list-style-type: none"> - No se cuenta con las áreas requeridas para la operación de los aeródromos - Áreas dispuestas con mala señalización y demarcación - Incumplimiento de los requerimientos mínimos para la operación del aeródromo en términos de estructura - Hangares en mal estado y sin protección de aeronaves <p>Cuarto:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Limitaciones en los recursos de navegación por parte del aeródromo - Pistas sin sistemas de señalización o ayuda para facilitar los procesos de aterrizaje - Falta de gestión de recursos 	12	Medio
Técnico	Manejo incorrecto de carga que genera pérdida del control del avión	<ul style="list-style-type: none"> - Mal cálculo del peso de la carga - Disposición incorrecta de la carga en la aeronave que puede cambiar el centro de gravedad de la misma - Mal anclaje de la carga - Deficiencias en la formación y capacitación del personal encargado del manejo de la carga 	10	Medio

Factor de riesgo	Descripción del riesgo	Causas del riesgo	Puntaje del riesgo	Nivel del riesgo
Humano	Salidas de pistas	<ul style="list-style-type: none"> - Incumplimiento de los requerimientos de las pistas en términos dimensionales - Deficiencias en las actividades de mantenimiento de los aeródromos - Desconocimiento de las características de la pista donde se aterrizará - Desconocimientos de las condiciones meteorológicas del aeródromo donde se aterrizará - Deficiencia en la planeación del vuelo - Falta de pistas compensadas 	25	Extremo
Humano	Configuración errónea de los sistemas de navegación	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de familiarización de los pilotos con el sistema de navegación - Falta de experiencia de los pilotos con el tipo de aeronave y sus instrumentos - Falta de capacitación del personal en los sistemas de navegación - Deficiencias en los programas de capacitación y formación - Desconcentración del personal - Falta de seguimiento de los lineamientos de cabina estéril 	10	Medio
Natural	Choques contra montañas y colinas aledañas	<ul style="list-style-type: none"> - Desconocimiento de las características geográficas - Falta de capacitación del personal en operaciones polares - Deficiencias en la planeación de las rutas de vuelo y características geográficas - Desconocimiento de los características de los aeródromos - Falta de capacitación y fortalecimiento de destrezas de las tripulaciones 	25	Extremo
Natural	Corrientes de aire que generan pérdida de control de la aeronave	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de capacitación del personal en operaciones polares - Deficiencias en la planeación de las rutas de vuelo y de las condiciones meteorológicas a afrontar - Desconocimiento de los factores climatológicos que pueden influir en las operaciones polares y en el rendimiento y funcionamiento de la instrumentación y aeronave - Falta de capacitación y fortalecimiento de destrezas de las tripulaciones 	15	Alto
Natural	Presencia de tormentas que generan pérdida de control de la aeronave	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de capacitación del personal en operaciones polares - Deficiencias en la planeación de las rutas de vuelo y de las condiciones meteorológicas a afrontar - Desconocimiento de los factores climatológicos que pueden influir en las operaciones polares y en el rendimiento y funcionamiento de la instrumentación y aeronave - Falta de capacitación y fortalecimiento de destrezas de las tripulaciones 	15	Alto

Fuente: elaboración propia

A partir de la determinación de los factores de riesgo y peligros asociados, se reconstruyó la matriz de riesgos, para ello se definieron las posibles causas, la probabilidad, la consecuencia y el nivel del riesgo.

Se pudo establecer que son múltiples los factores relacionados con los riesgos operacionales aéreos en la Antártida. En la clasificación de dichos riesgos se consideraron los factores naturales, humanos y técnicos. Los últimos se relacionaron con el conjunto de circunstancias y condiciones que pueden generar un accidente o incidente, desatándose entre ellos el funcionamiento incorrecto

de los instrumentos de medición, la congelación del combustible y contaminación. Debe mencionarse que fueron obtenidos a partir de la revisión bibliográfica y de la determinación de las causas de accidentalidad, definidas en el Anexo 1.

En lo que respecta a los factores humanos, se destacan el conocimiento o capacitación en operaciones polares, el desconocimiento de las características geográficas, la existencia de problemas físicos o mentales y las salidas de pistas. En relación con los factores naturales, los principales elementos relacionados incluyen los eventos geofísicos, las condiciones geográficas y los eventos ambientales.

El análisis de riesgo permite determinar vulnerabilidades de las operaciones polares y, en este caso puntual, las relacionadas con las operaciones aéreas en la Antártida. En dicha medida, la evaluación de los riesgos y su caracterización se convierten en acciones preventivas que posibilitan conocer no solo los peligros a los que se expone la operación, sino también la probabilidad de ocurrencia o materialización (accidente) y el impacto o consecuencias.

Los riesgos de mayor relevancia o con consideración extrema correspondieron a las salidas de pistas que pueden tener diferentes causas, como el incumplimiento de los requerimientos de las pistas en términos dimensionales, las deficiencias en las actividades de mantenimiento de los aeródromos, el desconocimiento de los pilotos respecto a las características de las pistas. Lo anterior como parte de la deficiencia en la planeación del vuelo.

Otro de los riesgos de mayor relevancia fue el accidente contra las montañas y colinas aledañas, especialmente durante los procesos de aterrizaje y despegue. Entre las principales causas asociadas se incluyó el desconocimiento de los pilotos respecto a las características geográficas del terreno, así como la falta de capacitación del personal en operaciones polares, las deficiencias en la planeación del vuelo, el desconocimiento de las características de los aeródromos y la falta de capacitación y fortalecimiento de destreza de las tripulaciones. Estas deficiencias están caracterizadas a partir de la revisión bibliográfica en el que se expusieron las principales fuentes de riesgos.

Ante esto, existe una serie de herramientas de control de riesgo enfocadas en la inspección de los aeródromos, la evaluación del lugar de aterrizaje, el uso de pistas compensadas y la evaluación de los reportes meteorológicos de destino, como dirección y velocidad del viento, presión barométrica, temperatura, visibilidad y altura de la base de las nubes. Debe mencionarse que dichas herramientas corresponden a elementos dispuestos en la actualidad por la FAC, y que son implementadas con el fin de mitigar los riesgos de accidentes e incidentes.

De igual forma, fue necesario definir unos requisitos de personal en relación con las características de la tripulación, y a partir de la revisión

sistemática de recomendaciones de organismos como la Fuerza Aérea Estadounidense. Entre esta se contempla un número de pilotos, copilotos, años de experiencia, ingenieros de vuelo y maestros de carga. A esto se suman los inspectores de mantenimiento, los especialistas requeridos y los kits de repuestos calientes.

En lo que respecta a los procesos de gestión del riesgo, estos parten de la detección de los posibles peligros a los que se exponen, y así adoptar medidas oportunas e implementar los procesos indispensables para reducir o eliminar los peligros. Dichas acciones de mitigación generalmente se logran a través de actividades de supervisión, adopción de políticas y estructura para el control de los riesgos.

Discusión

Al analizar la literatura y los resultados del levantamiento del panorama de riesgos dispuestos en la Tabla 4, se pudo observar que un factor constante en los eventos de seguridad y factores de riesgo del entorno antártico son las condiciones meteorológicas adversas, debido a las muy bajas temperaturas, a la presencia de corrientes de aire y a los cambios bruscos en las condiciones ambientales, lo que puede arriesgar la seguridad de la logística y las actividades científicas programadas (Rivera, *et al.*, 2005; Fultz y Ashley, 2016).

Debe mencionarse en este punto que aunque no existen estadísticas claras en torno a los incidentes relacionados con las condiciones meteorológicas y las operaciones polares de forma explícita, la revisión y análisis de las causas de accidentes en condiciones meteorológicas adversas, y donde el frío es un predominante, permite evidenciar que se ha consolidado como un factor predominante de evaluación.

Por lo anterior, uno de los factores que representa un grave riesgo es la congelación de los instrumentos y parte de la estructura de la aeronave, principalmente en los planos, lo que puede llevar a una caída del desempeño de esta, que se relacionada con una disminución de la eficacia de las hélices, la merma de la altura que limita la respuesta aerodinámica del aparato y, con ello, la capacidad propulsora como lo mencionan Cao *et al.*, (2018).

Sumado al elemento anteriormente descrito, se incluyó como parte del análisis e identificación de riesgos (ver Anexo 2) los vinculados al incorrecto funcionamiento de la instrumentación, en el que las causas de los riesgos se asociaron a daños en el mismo, a saber: el incorrecto mantenimiento de los sistemas, la implementación de protocolos de mantenimientos deficientes y la falta de implementación de programas de mantenimientos fundamentado en las recomendaciones de los fabricantes y el análisis de fallos.

En lo que respecta a la pérdida de control de vuelo, fueron dos los elementos que se enlazaron con el riesgo, por una parte, se destacó la falta de armonización de la tripulación con los múltiples sistemas de automatización de las aeronaves, deficiencias de los procesos de capacitación de personal, la falla del análisis de necesidades de capacitación de los tripulantes a partir del estudio de desempeño y la falta de políticas organizacionales respecto al recurso humano. La segunda se relaciona con la existencia de condiciones meteorológicas adversas y extremas que imposibilitan el control de la aeronave, el no seguir las recomendaciones respecto al ajuste de las trayectorias de acuerdo con las condiciones de la ruta, el desconocimiento de las condiciones ambientales y meteorológicas por parte de la tripulación y, en sí, las deficiencias en los procesos de planeación de vuelo en términos de evaluación de las condiciones de la ruta. Existen otros riesgos de naturaleza técnica que no son descritos, dado que sólo se mencionan los catalogados como medios, altos o extremos, no obstante, son explicados en el Anexo 2.

Respecto a los elementos promotores de formación de hielo o las condiciones sobre las que se forma, se destaca el vuelo a través de agua visible en forma de lluvia o nube, así como la temperatura de gotas menores a 0°C que chocan contra el avión (OACI, 2018; Cao, *et al.*, 2018).

La congelación de hielo no solo puede provocar un deterioro en las condiciones de operabilidad y maniobrabilidad de la aeronave, sino que genera un consumo extra de combustible que debe considerar la tripulación al momento de planificar el vuelo. Sumado a lo anterior, se puede presentar la formación de hielo en el carburador que lleva al

bloqueo gradual del venturi, lo que cambia la proporción combustible/aire y provoca una pérdida progresiva y lenta de la potencia del avión. Otro riesgo asociado a las bajas temperaturas es la presentación de fallas estructurales o mecánicas en operaciones polares. No ocurre con frecuencia, pero la exposición prolongada a dichas temperaturas puede afectar la estructura, lo que desemboca en la pérdida del control de la aeronave y con ello, un accidente (Flight Safety Foundation, 2016).

Bajo ciertas circunstancias, las acciones de la tripulación pueden acarrear que la aeronave, de manera accidental, quede fuera del área normal de vuelo o de la trayectoria de vuelo prevista. Sumado a la acumulación de hielo, esto lleva a la pérdida del control del avión, incluso a que el sensor de aviso de pérdida no genere ningún tipo de advertencia de la formación de hielo. Para el caso de aeronaves de hélices, la acumulación de hielo en hélices sin protección conduce a la pérdida de empuje, que puede llegar a ser tan importante como para que la aeronave no pueda ascender por encima de la zona donde se dan las condiciones de formación de hielo, o aun imposibilita el mantenimiento de la altitud (European General Aviation Safety Team [EGAST], 2018a; 2018b; 2018c). Toda la información relacionada con la obtención de dicho análisis surgió a partir de la reconstrucción de la matriz de riesgo que se dispone en la Tabla 4, y que se muestra a su vez de forma más compleja en el Anexo 2. Dicha matriz se reconstruyó considerando los causales de los accidentes aéreos dispuestos en el Anexo 1, y contemplando los elementos bibliográficos en los que se ratifican las principales fuentes de riesgos, como lo dispone, por ejemplo, Flight Safety Foundation (2016).

Las condiciones no óptimas de los aeródromos pueden generar incidentes graves durante las actividades de aproximación, aterrizaje y despegue. En consecuencia, se pueden generar, entre otros, daños en el tren de aterrizaje y causar que la aeronave se estrelle o salga de la pista.

La determinación incorrecta del peso de la carga y de pasajeros se convierte en un factor que puede desembocar en un accidente aéreo. En dicha medida, se establece una relación directa entre el peso y la capacidad de balanceo de las aeronaves,

razón por el que el sobrepeso o un error en los cálculos en dicha relación desemboca en la pérdida de control y el desplome de las aeronaves, especialmente durante el momento de despegue (Administración Nacional de Aviación Civil Argentina [ANAC], 1995).

Una de las principales causas relacionadas con el acontecimiento de accidentes aéreos son los errores humanos y otros factores, como la desorientación espacial y la pérdida de la conciencia situacional. Por tanto, llevar a cabo operaciones polares requiere de un mayor entrenamiento de los pilotos en relación con los posibles escenarios a los que se exponen, las características del terreno y otros aspectos, como el rendimiento y la capacidad de vuelo (Flight Safety Foundation, 2016).

Una inadecuada condición psicofísica puede hacer que los pilotos tomen decisiones erróneas en las operaciones aéreas polares que ponen en riesgo los vuelos (Flight Safety Foundation, 2016). En dicho orden, es fundamental que se siga un control en las horas de vuelo, la evaluación del estado mental de los pilotos y su influencia en la eficiencia en vuelo, así como los cambios derivados del ciclo del sueño, ya que en las operaciones aéreas de verano austral no hay noche, y para aquellas tripulaciones que vienen del trópico, como Colombia, este cambio en el ciclo sueño-vigilia puede poner en riesgo la conciencia situacional (ANAC, 1995).

Otro riesgo encontrado es la salida de pista, aunque puede asociarse con un factor operacional, el cual es descrito como parte del factor humano, puesto que existe una responsabilidad en relación con la decisión de efectuar el proceso de aterrizaje. Las salidas de pistas en las zonas polares pueden relacionarse especialmente con deficiencias en las condiciones de los aeródromos, el desconocimiento de las características de estos por parte del piloto, así como de las condiciones meteorológicas. Estos hallazgos del panorama de riesgo, que son descritos en la Tabla 4 y en el Anexo 2, coinciden con lo reportado en manuales de vuelo de las Fuerzas Militares de EE.UU. y en el Manual de vuelo informativo antártico (Flight Safety Foundation, 2016; Consejo de Administradores de Programas Nacionales Antárticos [Comnap, por sus siglas en inglés], 2018).

Propuesta

A continuación se describe la propuesta de implementación de una serie de herramientas enfocadas en mitigar o controlar los riesgos operacionales encontrados. Muchas de estas son implementadas por la FAC en la actualidad, y otras son descritas por organismos dedicados a la evaluación y gestión del riesgo en aviación, como lo es Flight Safety Foundation (2016), Comnap, entre otros.

Salidas de pista

- Inspecciones a los aeródromos. Estos se deben someter a una revisión operativa anual hecha por especialistas competentes en aviación y en operaciones aéreas polares, en la que no solo se evalúen las inspecciones reglamentarias, sino que se contemplen elementos propios de las operaciones en este tipo de regiones.
- Evaluaciones del lugar de aterrizaje. Antes de iniciar las operaciones aéreas polares, es necesario que los operadores realicen una evaluación del lugar de aterrizaje. A partir de esta se pueden determinar riesgos operativos relacionados con las condiciones climatológicas, topográficas, así como de las características de la pista, ancho, largo, material, agarre, entre otras.
- Pista compensada. Para el caso de las aeronaves multimotor, estas deben dar solvencia a los requisitos de pista compensada, de manera que, si se presenta una falla en el motor al momento del despegue, la aeronave tenga la capacidad para detenerse en el restante de la pista y en la zona de frenado.
- Reporte meteorológico de destino. En todos los casos es necesario comunicar a las aeronaves de llegada el siguiente conjunto de elementos a través del Sistema Automático de Observación Meteorológica (AWOS por sus siglas en inglés), dirección y velocidad del viento, presión barométrica, temperatura y visibilidad y altura de la base de las nubes.

Requisitos de personal

Considerando las operaciones con aviones tipo C-130H de la FAC, la tripulación en las operaciones

antárticas debe estar compuesta por un piloto instructor, uno o dos pilotos operacionales, uno o dos copilotos, uno o dos navegantes, todos ellos con experiencia en el equipo, así mismo, uno o dos ingenieros de vuelo, uno o dos maestros de carga 1 y uno o dos maestros de carga 2 (FAC, 2010).

Respecto al personal de mantenimiento y logística, lo integra un inspector de mantenimiento, un especialista hidráulico, un especialista en motores y hélices, un especialista eléctrico, un especialista en aviónica y un especialista en electrónica, además, un kit de repuestos calientes (kit para vuelos internacionales, rueda tren principal y de nariz, y un winche). Teniendo en cuenta que las condiciones del terreno y del clima frío extremo se convierten en un factor que promueve riesgos e incide en posibles sucesos de accidentes e incidentes, la FAC ha establecido que las tripulaciones deben efectuar entrenamiento en despegues y aterrizajes de máximo esfuerzo antes de que las misiones lleguen a estos lugares.

En relación con el personal, como pilotos y copilotos, es necesario fortalecer y hacer seguimiento a las condiciones psicológicas y físicas, al realizar un análisis respecto a su acondicionamiento físico y a su idoneidad para el desarrollo de operaciones polares, así como a su capacidad de actuación y el control sobre la carga en términos de horas de vuelo, para asegurar que no exista una carga laboral alta y se mantenga la capacidad psicomotriz al momento de la operación con las aeronaves.

Desde los procesos de formación, es necesario que los pilotos cuenten con un programa de fortalecimiento de sus capacidades, que se deben adaptar a las diferentes circunstancias de vuelo, especialmente a las operaciones polares, en las que las condiciones meteorológicas suelen ser muy distintas a las que se enfrentan con mayor regularidad. Es importante en este aspecto fortalecer dichas capacidades a través de los simuladores de vuelo.

Características de las pistas

Para el avión tipo C-130H de la FAC se establecieron los siguientes requisitos en relación con la pista:

- El ancho de calle de rodajes debe tener 9 metros.
- El ancho de pista en operaciones normales debe ser de 25 m.
- El ancho de pista en operaciones tácticas debe tener 19 m.
- El largo largo de pista en despegue normal debe ser según el critical field length.
- El largo de pista en aterrizaje normal debe ser desde 50 ft.
- El despegue máximo esfuerzo debe ser según el minimum field length.
- El aterrizaje máximo esfuerzo debe ser según el ground roll + 500 ft.

Requerimientos de combustible

La FAC definió el mínimo combustible a usar durante la operación a la isla Rey Jorge considerando el crucero de ida y vuelta y el sostenimiento de una hora sobre los trayectos, bajo el escenario de condiciones meteorológicas adversas, y de acuerdo con los tramos. Así mismo, hizo las siguientes recomendaciones sobre el manejo del combustible, al igual que de su gestión:

- Chequeo del combustible. Este se refiere a contar con procedimientos para que el piloto se asegure de que cuenta con la cantidad requerida de combustible antes de cada vuelo.
- Datos meteorológicos del plan de vuelo. En este se menciona que se debe acceder a la información meteorológica.
- Plan de vuelo. Este se refiere a que es fundamental seguir el plan de vuelo de acuerdo con las normas de vuelo por instrumentos (IFR, por sus siglas en inglés) o de acuerdo con las normas de vuelo visual (VFR, por sus siglas en inglés).
- Plan de combustible de las IFR. Este menciona que además de los requisitos de reserva operativa de combustible, las cargas de combustible ser necesarias para la puesta en marcha de taxi, en ruta, la aproximación y el desvío al alterno.
- Plan de combustible VFR. En este deben contemplarse las cargas de combustible de la ruta planificada, y contar con reservas variables adicionales del 10 % del combustible usado en el recorrido y media hora como reserva fija.
- Pruebas de combustible. Se refiere a que se debe analizar el suministro de combustible a través

de cápsulas detectoras de agua o a un equivalente que posibilite detectar la presencia de agua en suspensión.

- Filtración de combustible. Este menciona que los sistemas de suministro de combustible, incluidos los portátiles, deben contar con filtración por bloqueo de agua del tipo “pasa o no pasa”. Así mismo, los cartuchos del filtro se deben marcar con la fecha del próximo cambio e inspección.
- Almacenamiento de combustible. Este se refiere a que es fundamental realizar seguimiento a las condiciones del almacenamiento del combustible y las estructuras asociadas con el proceso de abastecimiento, de manera que se reduzca la probabilidad de contaminación del mismo.

Pérdidas de control de vuelo

Entre los controles relacionados con la pérdida de control de vuelo, se destacan los siguientes:

- La política de automatización menciona que se debe asegurar que las aeronaves cuenten con sistemas automáticos de control de vuelo, y que exista una política de automatización que asegure el uso adecuado de esta en la gestión de las cargas.
- Las operaciones con tripulación múltiple se refieren a que el operador debe definir procedimientos sobre los deberes y responsabilidades de cada uno de los miembros cuando se lleven a cabo operaciones con tripulación múltiple.
- En el entrenamiento del personal se menciona que deben seguirse rigurosamente los lineamientos dispuestos para tal fin.

Carga incorrecta

El manejo incorrecto de la carga se convierte en un elemento de alto riesgo en las operaciones aéreas, puesto que influye en la estabilización de la aeronave y la capacidad de sustentación de la misma. Entre los controles dispuestos se incluyen los siguientes:

- La evaluación del peso real de los pasajeros. En esta se debe incluir el peso del equipaje de mano, especialmente en aeronaves con menos de treinta asientos. Para aviones con mayor número de

asientos, se puede utilizar los pesos normales fundamentados en los promedios estacionales.

- La carga y peso de la carga. Este control indica que se debe pesar el equipaje y la carga, y se debe considerar durante el proceso de planificación del vuelo. Así mismo, garantizar el aseguramiento con redes y correas, sin que exista obstrucción de las salidas normales y de emergencia.
- Cálculo de peso y balance. Se refiere a que antes del despegue, es necesario garantizar que se cumplan los requerimientos de combustible y aceite, basados en la determinación de los límites de peso y centro de gravedad.
- Transporte de carga peligrosa. Este control menciona que se deben cumplir las directrices de la Asociación de Transporte Aéreo Internacional (IATA, por sus siglas en inglés) respecto al manejo de mercancías peligrosas. Así mismo, asegurarse de que el operador conozca los procedimientos y cuente con personal capacitado para tal situación.

Colisión en tierra

Mientras la aeronave se encuentra en tierra, pueden generarse algunos escenarios que desencadenan accidentes, por esto, es necesario que se reformulen algunos controles, entre los que se encuentran los siguientes:

- Área de pasajeros. Este menciona que para los pasajeros se requiere un área de espera con seguridad, servicios básicos y protección contra los elementos ambientales, separada del área de movimiento de aeronaves.
- Área de carga. Esta se refiere a que debe existir un área de carga segura que ofrezca un entorno controlado y alejado del área de movimiento de aeronaves.
- Control de pasajeros. Este menciona que es fundamental designar personal para el control de pasajeros y su desplazamiento desde y hacia el área de movimiento de las aeronaves.
- Piloto al mando. Este control se refiere a que siempre debe haber un piloto al mando, aún en actividades de reabastecimiento, ajuste de carga o gestión de pasajeros.

- Control de aeródromos. Este menciona que se debe contar con un personal encargado de administrar y supervisar los aeródromos.

Colisión en el aire

La colisión en aire es otro de los riesgos que se afrontan en todo tipo de operación aérea, entre los controles a implementar están los siguientes:

- Altitudes de crucero. Se refiere a que se debe dar cumplimiento a las altitudes de crucero para vuelos VFR e IFR, excepto cuando las circunstancias climáticas exijan modificarlas. En el caso de que se identifiquen rutas de aves migratorias, se deben tomar las medidas para planificar altitudes de crucero superiores a los 3 000 pies sobre el nivel del suelo.
- Espacio aéreo controlado por radar. Este menciona que se debe considerar el uso del espacio aéreo controlado por medio del radar, con el cual se determinan las altitudes de crucero.
- Control de aves en aeródromo. Este control se refiere a que se debe realizar un control activo de aves bajo la titularidad y operación de la compañía cuando sea indispensable, de la misma manera, se debe reducir la presencia de gramíneas, desechos a cielo abierto y estanques de agua para evitar la atracción de aves.
- Luces estroboscópicas de alta densidad. Este control menciona que es necesario contar con luces estroboscópicas de alta intensidad o luces de pulsos cuando se opera en espacios aéreos sin cobertura de radar y con un elevado tráfico.

Fallas mecánicas o estructurales

Entre las herramientas de control, están las siguientes:

- Las aeronaves monomotor. Esta herramienta de control se refiere a que este tipo de aeronaves solo debe usarse para vuelos en entornos no hostiles y con condiciones visuales diurnas.
- Abastecimiento de repuestos. Se refiere a contar con una lista de proveedores autorizados que estén incluidos en el Programa de aseguramiento de la calidad para garantizar que las partes recibidas cumplan con los datos de diseño aprobados

por la Administración Federal de Aviación (FAA, por sus siglas en inglés), y que estén en condiciones para la operación segura.

- Hangares. Se refiere a que las operaciones de campo a largo plazo deben tener instalaciones techadas para el servicio programado y no programado de aeronaves de campo, especialmente en entornos con lluvias intensas, árticos o desérticos.
- Tareas esenciales de mantenimiento (CMT, por sus siglas en inglés). Se refiere a que las tareas de mantenimiento que impliquen montar o alterar cualquier sistema que pueda afectar la trayectoria de vuelo, la altitud o la fuerza propulsora que pondría en peligro el funcionamiento seguro de la aeronave, deberán considerarse como CMT.

Clima

Es uno de los escenarios más recurrentes para el riesgo en las operaciones en la Antártida, por ello, los controles dispuestos se asocian con lo siguiente:

- Definición de política de clima adverso. Esta menciona que se deben establecer restricciones en función de elementos, tales como la velocidad de los vientos y condiciones visuales, entre otros.
- Técnicas para evadir tormentas eléctricas. Se refiere a que los pilotos deben conocer técnicas para eludir con éxito las tormentas eléctricas, como el rodear la tormenta eléctrica para reducir la turbulencia y el granizo, mantenerse aislados de las nubes de tormenta a 20 millas náuticas, estar actualizando y revisando las rutas de vuelo para evitarlas. Interpretación de los equipos de abordó.
- Radar meteorológico. Este menciona que las aeronaves que operan por IFR o durante la noche deben contar con el soporte del radar meteorológico. En el caso de las aeronaves en condiciones meteorológicas por instrumentos, no se deben permitir que operen de noche sin un radar.
- Microrráfagas y fenómenos cortantes. Esta se refiere a que la tripulación debe ser entrenada permanentemente para la operación en esta clase de escenarios, especialmente durante el aterrizaje y el despegue.
- Entrenamiento en clima frío. Se refiere a que el personal que opera en climas fríos debe ser

capacitado anualmente sobre temas, tales como inspecciones antes del despegue; antihielo y deshielo, incluida la aplicación del tiempo máximo de efectividad (*holdover time tables*); formación de hielo durante el vuelo y riesgos inherentes; despegue, aproximación y aterrizaje operativos en clima frío, y consideraciones de visibilidad, contaminación y desempeño en pista.

Otros requisitos

Además de los elementos anteriormente dispuestos, se debe considerar una serie de requisitos y restricciones, que la FAC define de forma clara. Entre estos se destacan los siguientes:

- Cuando la superficie de la pista esté contaminada, debe haber una base de hielo con 3 cm de nieve para que se genere la fricción necesaria para frenar la aeronave.
- Es importante considerar los obstáculos naturales y artificiales durante el aterrizaje y tráfico.
- El largo y ancho de la pista debe ser de 1 290 m por 30 m. Cuando haya nieve acumulada a los lados de la pista, el ancho debe ser de al menos 46 m.
- El peso máximo de aterrizaje en la isla Rey Jorge debe ser de 130 000 lb, mientras que durante el despegue dicho valor se reduce a 120 000 lb.
- El máximo componente de viento cruzado debe ser de 18 kts.
- Es fundamental considerar las limitaciones para el *acceleration check time*, +3 seg y +3 kts.
- Es indispensable realizar la prueba del *anti-skid* al salir de Punta Arenas, dado que no se puede aterrizar con este sistema en la isla Rey Jorge.
- Se debe aterrizar en los primeros 100 m de la pista, de lo contrario, es necesario abortar el aterrizaje.
- Antes del aterrizaje, las unidades de aire acondicionado deben estar completamente frías.
- En tierra y cuando se observen condiciones de viento y nieve se deben cubrir los motores, las entradas de aire, tubos de escape y tubos pitot.
- Se deben posicionar los *flaps* completamente arriba cuando la aeronave pernocta.
- Cuando se apaguen los motores, las válvulas bleed de los mismos deben permanecer abiertas, al igual que las crossfeed de los tanques de combustible y la separadora de planos.
- En la lista de chequeo *before starting engines*, y antes de utilizar el freno de parqueo se debe presionar en más de cuatro ocasiones los pedales para que el líquido hidráulico fluya por las líneas del sistema.
- Cuando se enciendan los motores se debe asegurar que la temperatura del aceite alcance al menos los 40 °C antes de iniciar el rodaje.
- No se deben esforzar los motores a altas hasta que se inicie el rodaje.
- El maestro de carga 1 siempre debe chequear la rotación de los neumáticos.
- Todos los despegues y aterrizajes se deben efectuar con las engine bleed air en *off/closed* y master air conditioning en *off*.
- Durante el despegue es fundamental ajustar el torque a 18 000 lb, con el fin de evitar sobretorque. El ingeniero de vuelo dará el *callout* de 5 000, 10 000 y 15 000 hasta ajustar 18 000 lbs de torque.
- Durante el despegue se debe efectuar un ciclo completo del tren de aterrizaje para evitar congelamiento por contaminación de nieve, hielo o barro, así como asegurar que el tren de aterrizaje opere normalmente en el próximo aterrizaje.
- Durante el vuelo se debe tener en cuenta la temperatura externa con respecto al punto de englamamiento del combustible utilizado por la aeronave (Comando Fuerza Aérea Colombiana, 2015).

Carta de aproximación (Navegación de área, [RNAV, por sus siglas en inglés]) y ortofotografía

Se realizó un trabajo de aerofotogrametría con una aeronave remotamente tripulada (Phantom 4, tipo dron de la FAC), de la cual se obtuvo imágenes que se sometieron a triangulación georreferenciada para lograr una nube de puntos densa, lo que permitió contar con una malla real en 3D. A partir de la esta se extrajeron los siguientes productos:

- Un ortofotomosaico del área de estudio (aeródromo Teniente Rodolfo Marsh).

- Un modelo digital de superficie (Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales, [DSM, por sus siglas en inglés]) para terreno y construcciones.
- Un modelo digital de terreno (Deutsche Tourenwagen Masters [DTM]). Las imágenes con resolución espacial de 0.03 m (cada píxel de 3 centímetros) aportaron una realidad virtual casi perfecta y detallada del área, con una precisión óptima para el estudio del terreno y un posible escenario virtual en simuladores de vuelo para el entrenamiento de las tripulaciones, lo que llevó al diseño de una carta de aproximación Required Navigation Performance (RNAV, por sus siglas en inglés) (GPS) a la pista 11 del aeródromo Teniente Rodolfo Marsh. Esto facilitará el acceso de todas las aeronaves que cuenten con este tipo de tecnología de navegación, y aumentará las capacidades del aeródromo para asegurar la aproximación segura.

Conclusiones

A partir de la implementación del análisis sobre los factores de riesgos asociados a las operaciones polares, se pudo establecer que:

1. Los principales factores de riesgos técnicos que influyen en las operaciones aéreas polares corresponden al funcionamiento incorrecto de los instrumentos de medida, congelación y contaminación del combustible, falla estructural o mecánica, pérdida de control en vuelo, agotamiento de combustible, condiciones no óptimas de los aeródromos y disposición incorrecta de la carga. Estos se derivan de las condiciones adversas meteorológicas propias de la Antártida o de fallas en los procedimientos de mantenimiento de las aeronaves.
2. Los factores humanos que ponen en riesgo la operación aérea en la Antártida son principalmente la falta de conocimiento de las operaciones polares y la poca capacitación en las mismas, especialmente en las características geográficas y meteorológicas de la ruta. Adicionalmente, problemas físicos o mentales y el riesgo de desorientación espacial por las particularidades topográficas y de luminosidad del terreno. Así mismo, los eventos climáticos como tormentas y corrientes de aire pueden desencadenar en la reducción de la visión y la pérdida momentánea del control de la aeronave.
3. Entre los factores de riesgo extremo que se detectaron por medio de la implementación de la metodología de clasificación de la matriz de riesgo, se encontraron las salidas de pista. Este riesgo se relacionó con el incumplimiento de los requerimientos de las pistas en términos dimensionales, deficiencias en las actividades de mantenimiento, desconocimiento de las características de la pista y de las condiciones meteorológicas del aeródromo de destino, así como la deficiencia en la planeación del vuelo y la falta de pistas compensadas.
4. Se evidenció un riesgo elevado entorno a la posibilidad de colisión de las aeronaves contra las montañas y colinas aledañas, asociado con el desconocimiento de las características geográficas, la falta de capacitación del personal en operaciones polares, deficiencias en la planeación de las rutas de vuelo y características geográficas, desconocimiento de las características de los aeródromos y falta de capacitación y fortalecimiento de destrezas de las tripulaciones.
5. Es fundamental la implementación de herramientas de control para la reducción de la probabilidad de salidas de pistas. En estas herramientas se incluye la inspección a los aeródromos, las evaluaciones del lugar de aterrizaje, el uso de pistas compensadas y la evaluación del reporte meteorológico en el aeropuerto de destino. Adicionalmente, para la reducción de una posible colisión de la aeronave con elementos geográficos y propios del entorno, se definieron elementos, tal como el uso del espacio aéreo soportado por sistemas de radar y de luces estroboscópicas de alta densidad.
6. Para la gestión del riesgo de las operaciones aéreas de la FAC en la Antártida, el núcleo fundamental radica en la capacitación permanente del personal involucrado en operaciones polares, las cuales se encuentran entre las de mayor riesgo dentro de la actividad aérea. Es necesario fortalecer y hacer seguimiento a las condiciones psicológicas y físicas, al realizar un análisis respecto a su acondicionamiento físico y a su idoneidad para el desarrollo de operaciones polares, así mismo, analizar su capacidad de actuación,

al igual que el control sobre la carga en términos de horas de vuelo, con el fin de asegurar que no exista una carga laboral alta, y se mantenga la capacidad psicomotriz en la operación de las aeronaves. Desde los procesos de formación, es necesario que los pilotos cuenten con un programa de fortalecimiento de sus capacidades, las cuales deben adaptarse a las diferentes circunstancias de vuelo, especialmente a las operaciones polares. En estas las condiciones meteorológicas suelen ser muy distintas a las que se enfrentan con mayor regularidad. Es importante en este aspecto fortalecer dichas capacidades a través de los simuladores de vuelo.

7. Se recomienda crear un Departamento de Asuntos Antárticos en la FAC, con el fin de proyectar las acciones pertinentes que requiere la Fuerza para sus diferentes misiones expedicionarias, valiéndose de la ingeniería de operaciones para que constantemente actualice los diferentes acontecimientos y protocolos relacionados con las operaciones aéreas en la Antártida. Se considera dado que algunas naciones ya han implementado estas estrategias como elemento que fortalece las operaciones aéreas en condiciones de alta complejidad.
8. Se sugiere llevar una bitácora de sucesos por medio de una red de pilotos antárticos que enriquezca la doctrina de las operaciones aéreas y las contingencias que se presenten continuamente, esto con el fin de fortalecer los procesos de gestión de riesgo basados en las experiencias, puesto que gran parte del levantamiento de estos elementos surgen únicamente a partir de los accidentes aéreos, y como respuesta a condiciones que son conocidas con anterioridad por los pilotos.
9. Se sugiere establecer alianzas con otras fuerzas aéreas y aerolíneas comerciales de vuelos antárticos, con el propósito de realizar planeamientos combinados simulados, y de actualizar constantemente a las tripulaciones antárticas colombianas.
10. Se sugiere actualizar o revisar el panorama de riesgos al menos una vez cada seis meses, con el fin de investigar las últimas tendencias meteorológicas predominantes en el continente blanco, ya que el calentamiento global y el cambiante clima

podrían arrojar fenómenos que no se hayan identificado en el presente estudio.

Referencias

- Administración Nacional de Aviación Civil Argentina (ANAC). (1995). Control de peso y balanceo en las aeronaves. https://www.anac.gov.ar/anac/web/uploads/normativa/circ_as/ca-120-27b.pdf
- Aerocivil. (2010). *Manual guía del plan operativo o plan de operaciones aeroportuaria*. <https://www.aerocivil.gov.co/normatividad/CIRCULARES%20AGA/CI%20027%20-%20V3.pdf>
- Amézcuca, O. (2010). *Factores humanos en aviación*. <https://es.calameo.com/read/005827693ac9266982f43>
- Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA, por sus siglas en inglés). (2019). *Informe de seguridad de IATA*. <https://www.iata.org/contentassets/928a418fc-f4c420fa62e198df1d39335/2019-02-21-01-sp.pdf>
- Cao, Y., Tan, W. y Wu, Z. (2018). Aircraft Icing: An ongoing threat to aviation safety. *Aerospace Science and Technology*, 75, 353-385. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2017.12.028>
- Cardona, O. (1993). Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo: elementos para el Ordenamiento y la Planeación del Desarrollo. En Maskrey A. (Compilador), *Los Desastres No son Naturales* (pp. 51-74). La RED/Tercer Mundo Editores.
- Chávez, S. (2018). El concepto de riesgo. *Recursos Naturales y Sociedad*, 4(1) 32-52. 10.18846 renaysoc.2018.04.04.01.0003.
- Comando Fuerza Aérea Colombiana. (2015). *Manual de técnicas y procedimientos para vuelos a territorio antártico en el equipo C-130H*.
- Comisión Colombiana del Océano. (18 de febrero de 2015). <http://www.cco.gov.co/cco/nosotros/la-comision.html>
- Comité Técnico Nacional de Asuntos Antárticos (CTN-AA). (2015). *Programa Antártico Colombiano*. <https://cecoldodigital.dimar.mil.co/66/>
- Consejo de Administradores de Programas Nacionales Antárticos (Comnap, por sus siglas en inglés). (2018). *Antarctic Flight Information Manual*. <https://atslib.omeka.net/items/show/9122>
- Echemendía, B. (2011). Definiciones acerca del riesgo y sus implicaciones. *Rev Cubana Hig Epidemiol*, 49(3), 470-481. <http://scielo.sld.cu/pdf/hie/v49n3/hie14311.pdf>
- European General Aviation Safety Team (EGAST). (2018). *Formación de hielo en motores en pistón*. <https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/GA05-Forma->

- ción%20de%20hielo%20en%20motores%20de%20pistón-Final_AESA.pdf
- Flight Safety Foundation. (2016). *Norma Básica de Riesgos en Aviación: Operaciones de las Aeronaves Contratadas*. https://flightsafety.org/wp-content/uploads/2017/04/FSF-Spanish-BAR-Standard-v6_WEB_spreads.pdf
- Fuerza Aérea Colombiana (FAC). (2010). *Manual de gestión de seguridad operacional para la Fuerza Aérea Colombiana, Manual FAC 3-007*. (1era ed.) Imprenta y publicaciones Militares.
- Fultz, A. y Ashley, W. (2016). Fatal weather-related general aviation accidents in the United States. *Physical Geography*, 37(5), 291-312. <http://dx.doi.org/10.1080/02723646.2016.1211854>
- FundaciónMarambio.(2019).*ProtocoloalTratadoAntártico sobre la protección del Medio Ambiente*. <http://www.marambio.aq/protocolomedioambiente.html>
- Hedblom, E. E. (1965). *Polar manual: Arctic and antarctic living conditions, personnel selection, hygiene and sanitation, clothing, nutrition, supplies, and equipment, ... injuries, first aid, safety, and survival*. Dept. of Cold Weather Medicine, u.s. Naval Medical School, National Naval Medical Center.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista P. (2014). *Metodología de la Investigación*. (6ª ed.) Mc Graw Hill Education.
- Maurino, D., Reason, J., Johnston, N. y Lee, R. (1995). *Beyond Aviation Human Factors: Safety In High Technology Systems*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315261652>
- Mon, R. (2016). *Psicología y factores humanos de la aviación* [Trabajo de grado, Universidad Autónoma de Barcelona (UAB)]. <https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/169886/MonLecinaRoberto-TFGAa2015-16.pdf>
- Olalla, E. y Herraiz, E. (2013). *Evaluación de riesgos de seguridad operacional: el punto de vista del regulador*. <https://studylib.es/doc/4797818/evaluación-de-riesgos-de-seguridad-operacional>
- Organización Internacional de Normalización (iso). (2015). iso 9001:2015. *Sistemas de gestión de la calidad - Requisitos*. http://www.cucsur.udg.mx/sites/default/files/iso_9001_2015_esp_rev.pdf
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2018). *Peligros y Riesgos*. [https://www.icao.int/SAM/Documents/2018-SSP7/Peligros%20y%20Riesgos%20\[Read-Only\].pdf](https://www.icao.int/SAM/Documents/2018-SSP7/Peligros%20y%20Riesgos%20[Read-Only].pdf)
- Organización de Aviación Civil Internacional. (2018). *DOC 9859. Manual de gestión de la seguridad operacional*. https://portal.mtc.gov.pe/transportes/aeronautica_civil/sistema_gestion/documentos/SMS/9859_cons_es.pdf
- Organización de Aviación Civil Internacional. (OACI). (2019). *Conceptos básicos de Gestión de la Seguridad Operacional*. <https://www.icao.int/NACC/Documents/Meetings/2019/SMSANSP/SMSxANSP-P01-SP.pdf>
- Perales, P. (2010). La gestión del riesgo operativo. *Revista de Aeronáutica y Astronáutica*, (799), 1050-1057. https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/R/E/REVISTAS_PDF2044.pdf
- Piñero, F. (2017). *Metodología para valoración de riesgo operacional en aerolíneas: inclusión del costo potencial de eventoso peligros*. Universidad Nacional de Colombia.
- Rivera, A., Casassa, G., Thomas, R., Rignot, E., Zamora, R., Antuñez, D., Acuña, C. y Ordenes, F. (2005). Glacier wastage on southern Adelaide Island, Antarctica, and its. *Annals of Glaciology*, 41, 57- 62. <https://doi.org/10.3189/172756405781813401>
- Ryan, K. (2014). *Fatigue Mitigation And Crew Endurance Management In The Royal Australian Navy And The U.S. Navy: A Review Of Recent Efforts And A Collaborative Path Forward* [Tesis de maestría]. <http://hdl.handle.net/10945/44656>
- Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. (2016). *Reglamentos aeronauticos de Colombia*.

Anexos

Anexo 1. Historial de accidentes aéreos

País	Año	Zona	Aeronave	Tipo de evento	Tipo vuelo	Pasajeros/ Fallecidos/ Heridos	Hallazgos
Ártico	1949	Isachsen	USAF Douglas C-47	Accidente aéreo	Vuelo comercial	Sin dato	El avión no pudo despegar dado a una sobrecarga, acumulación de nieve en las alas y fuselaje, viento cruzado y acumulación de 10 cm de nieve en la pista
Alaska	1965	Isla Umnak	Douglas C-47A-DK (DC-3)	Accidente aéreo	Vuelo comercial	8/0/0	Repentino viento cruzado de 28 nudos generó el despegue prematuro del avión que se chocó contra una colina cercana
Argentina	1972	Mendoza Argentina	Fairchild Hiller 227	Accidente aéreo	Militar/ Fuerza Aérea Uruguaya (FAU)	45/29/16	El mal tiempo en los Andes relacionado con el incremento de los vientos generó la reducción de la velocidad de crucero.
Alaska	1975	montaña Sevuokuk	Fairchild F-278	Accidente aéreo	Vuelo Doméstico	32/10/21	Inapropiada operación de los instrumentos de vuelo, deficiencia en la aplicación de los conocimientos previos de los instrumentos en el momento de aterrizar
Antártida	1976	isla Livingston	Lockheed SP-2E Neptune (MNS 0644)	Accidente aéreo	Militar/ Armada de la República Argentina (ARA)	11/11/0	Causas sin establecer, se presume mal tiempo
Antártica	1979	Monte Erebus, Isla Ross	McDonnell Douglas DC-10-30	Accidente aéreo	Vuelo comercial	257/257/0	Error del piloto
Alaska	1980	Shaktoolik	avioneta Indilot	Accidente aéreo	Vuelo doméstico	1/1/0	Perdida de hidropatín, lo que imposible controlar el aparato
Suecia	1991	Gottröra (Suecia)	McDonnell Douglas MD-81	Accidente aéreo	Vuelo comercial	129/0/92	Formación de hielo claro en los planos
Estados Unidos	1994	Roselawn, Indiana	ATR 72-212	Accidente aéreo	Vuelo comercial	68/68/0	Uso inadecuado del sistema de deshielo
Antártida	2003	No se especifica	Helicoptero	Accidente aéreo	Vuelo comercial	2/0/2	Causas desconocidas
Canadá	2011	Ártico Nuvavut	Boeing 737-200	Accidente aéreo	Vuelo charter	15/12/3	Causas desconocidas
Antártida	2014	isla Rey Jorge	avión Hércules C-130	Accidente aéreo durante el aterrizaje	Militar/ Armada Brasileña	27/11/14	El avión se salió de la pista dada la velocidad al momento de aterrizar y la poca fuerza de tracción de las llantas

Anexo 1, continuación

País	Año	Zona	Aeronave	Tipo de evento	Tipo vuelo	Pasajeros/ Fallecidos/ Heridos	Hallazgos
Rusia	2018	Ramenski	Antónov AN-148	Accidente aéreo	Vuelo Comercial	71/71/0	Congelación de los tubos de pitot
Rusia	2019	Olenegorsk	bombardero supersónico Tupolev Tu-22M	Accidente aéreo	Militar/ Armada de Rusia	4/3/1	Baja visibilidad al momento de aterrizar

Fuente:elaborción propia.

Anexo 2. Matriz de riesgos

ID	Factor de riesgo	Descripción del riesgo	Causas del riesgo	Probabilidad	Consecuencia	Puntaje del riesgo	Nivel del riesgo
1	Técnico	Funcionamiento incorrecto de instrumentos de medición	<p>Se divide en dos. Primero:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Congelamiento de los instrumentos - No uso de los sistemas de descongelamiento - Desconocimiento de los sistemas de soporte para evitar el congelamiento - Falta de seguimiento de los protocolos dispuestos a esta serie de fallos - Falta de entrenamiento de la tripulación - No se realiza seguimiento al desempeño operativo de la tripulación - Actividades de seguimiento de desempeño superficiales - En el seguimiento de desempeño no se evalúa la forma como actúa la tripulación ante este tipo de eventos <p>Segundo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Daños de la instrumentación - Incorrecto mantenimiento de la instrumentación -Protocolos de mantenimiento deficientes - Falta de implementación de mantenimientos preventivos basados en recomendaciones de los fabricantes y análisis de fallos 	Ocasional	Mayor	12	Medio

Anexo 2, continuación

ID	Factor de riesgo	Descripción del riesgo	Causas del riesgo	Probabilidad	Consecuencia	Puntaje del riesgo	Nivel del riesgo
2	Técnico	Congelamiento del combustible	<ul style="list-style-type: none"> - No uso de los sistemas de descongelamiento - Desconocimiento de los sistemas de soporte para evitar el congelamiento. - No se siguen los protocolos dispuesto ante esta serie de fallos - Falta de entrenamiento de la tripulación - No se realiza seguimiento al desempeño operativo de la tripulación - Actividades de seguimiento de desempeño son superficiales - En el seguimiento de desempeño no se evalúa la forma como actúa la tripulación ante este tipo de eventos. 	improbable	catastrófico	10	medio
3	Técnico	Contaminación del combustible	<ul style="list-style-type: none"> - Manejo inadecuado del combustible durante el proceso de abastecimiento - Almacenamiento inadecuado del combustible por parte de la compañía encargada de suministrar el recurso - Daños en los sistemas de almacenamiento - Ausencia de herramientas de análisis asociadas a la evaluación de la calidad de combustible - Falta de control por parte de la compañía suministradora del recurso 	Extremadamente improbable	Catastrófico	5	Bajo

Anexo 2, continuación

ID	Factor de riesgo	Descripción del riesgo	Causas del riesgo	Probabilidad	Consecuencia	Puntaje del riesgo	Nivel del riesgo
4	Técnico	Falla estructural	<ul style="list-style-type: none"> - Prolongación de las aeronaves en condiciones extremas que generan daños en la estructura - Falta de control en torno al desgaste o deterioro estructural de las aeronaves en condiciones de operaciones polares - Falta de herramientas de control más exhaustivas y que se adapten a los diferentes tipos de entornos - Deficiencia en las actividades de mantenimiento de las aeronaves - Falta de control en torno al manejo de repuestos y calidad de los mismos - Deficiencias en los protocolos de mantenimiento - Falta de alineación de los protocolos de mantenimiento de las aeronaves en función a las recomendaciones de los fabricantes de las piezas y las condiciones de operación 	Extremadamente improbable	Catastrófico	5	Bajo

Anexo 2, continuación

ID	Factor de riesgo	Descripción del riesgo	Causas del riesgo	Probabilidad	Consecuencia	Puntaje del riesgo	Nivel del riesgo
5	Técnico	Pérdida de control de vuelo	<p>Se divide en dos. Primero:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Falta de armonización de la tripulación con los diferentes sistemas de automatización de las aeronaves - Deficiencias en los procesos de capacitación del personal en torno al manejo de la instrumentación y sistema de navegación - Falta de análisis de necesidades de capacitación de las tripulaciones a partir de evaluaciones de seguimiento y desempeño - Falta de política organizacional en torno al recurso humano <p>Segundo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Condiciones ambientales adversas y extremas que imposibilitan controlar el avión - No se siguen recomendaciones sobre el ajuste de las trayectorias en función de las condiciones meteorológicas de la ruta - Desconocimiento de las condiciones ambientales y meteorológicas por parte de la tripulación - Deficiencias en los procesos de planeación de vuelo en términos de evaluación de condiciones de ruta 	Ocasional	Mayor	12	Medio
6	Técnico	Agotamiento del combustible	<ul style="list-style-type: none"> - Cálculo erróneo de la cantidad de combustible requerido - Ausencia de evaluación de los diferentes factores que influyen en la determinación del combustible necesario - Desconocimiento de fenómenos físicos y meteorológicos que pueden influir en la tasa de consumo de combustible - Falencias en los procesos de capacitación de la tripulación 	Extremadamente improbable	Catastrófico	5	Bajo

Anexo 2, continuación

ID	Factor de riesgo	Descripción del riesgo	Causas del riesgo	Probabilidad	Consecuencia	Puntaje del riesgo	Nivel del riesgo
7	Técnico	Condiciones no óptimas de aeródromos	<p>Se divide en cuatro. Primero:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pistas en mal estado - Mal funcionamiento de los sistemas de drenaje - Señalización no existente o en mal estado - Deficiencias en los procesos de retiro de nieve y otros elementos de las pistas - Falta de mantenimiento de las pistas - Falta de evaluación periódica de las condiciones estructurales de las pistas - Ausencia de criterios en torno a la operabilidad de las pistas <p>Segundo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Presencia de aves cerca a las pistas - Presencia de fuentes de agua y de comida para las aves en inmediaciones de los aeródromos - No contar con un sistema de mitigación de presencia de aves en inmediaciones de los aeródromos - Falta de vigilancia a las condiciones de operación en términos de presencia de aves <p>Tercero:</p> <ul style="list-style-type: none"> - No se cuenta con las áreas requeridas para la operación de los aeródromos - Áreas dispuestas con mala señalización y demarcación - No cumplimiento de los requerimientos mínimos para la operación del aeródromo en términos de estructura - Hangares en mal estado y sin protección de aeronaves <p>Cuarto:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Limitaciones en los recursos de navegación por parte del aeródromo - Pistas sin sistemas de señalización o ayuda para facilitar los procesos de aterrizaje - Falta de gestión de recursos 	Ocasional	Mayor	12	Medio

Anexo 2, continuación

ID	Factor de riesgo	Descripción del riesgo	Causas del riesgo	Probabilidad	Consecuencia	Puntaje del riesgo	Nivel del riesgo
8	Técnico	Manejo incorrecta de carga que genera pérdida de control del avión	<ul style="list-style-type: none"> - Mal cálculo del peso de la carga - Disposición incorrecta de la carga en la aeronave que puede cambiar el centro de gravedad de la misma - Mal anclaje de la carga - Deficiencias en la formación y capacitación del personal encargado del manejo de la carga 	Improbable	Catastrófico	10	Medio
9	Humano	Desconocimiento en operaciones polares que influyen en la operabilidad de la nave	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de capacitación del personal en operaciones polares - Deficiencias en la planeación de las rutas de vuelo y de las condiciones meteorológicas a afrontar - Desconocimiento de los factores climatológicos que pueden influir en las operaciones polares y en el rendimiento y funcionamiento de la instrumentación y aeronave - Falta de capacitación y fortalecimiento de destrezas de las tripulaciones 	Ocasional	Menor	8	Bajo
10	Humano	Desconocimiento de características geográficas que influyen en los procesos de despegue y aterrizaje	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de capacitación del personal en operaciones polares - Deficiencias en la planeación de las rutas de vuelo y características geográficas - Desconocimiento de las características de los aeródromos - Falta de capacitación y fortalecimiento de destrezas de las tripulaciones 	Remoto	Menor	6	Bajo
11	Humano	Problemas físicos o mentales	<ul style="list-style-type: none"> - Estrés laboral - Sobrecarga de trabajo - Falta de descanso de la tripulación - Problemas personales - Exposición a condiciones de operabilidad que repercute en la salud de los tripulantes - Falta de seguimiento periódico a las condiciones físicas y psicológicas de los tripulantes 	Ocasional	Menor	8	Bajo

Anexo 2, continuación

ID	Factor de riesgo	Descripción del riesgo	Causas del riesgo	Probabilidad	Consecuencia	Puntaje del riesgo	Nivel del riesgo
12	Humano	Salidas de pistas	<ul style="list-style-type: none"> - Incumplimiento a los requerimientos de las pistas en términos dimensionales - Deficiencias en las actividades de mantenimiento de los aeródromos - Desconocimiento de las características de la pista donde se aterrizará - Desconocimiento de las condiciones meteorológicas del aeródromo donde se aterrizará - Deficiencia en la planeación del vuelo - Falta de pistas compensadas 	Frecuente	Catastrófico	25	Extremo
13	Humano	Configuración errónea de los sistemas de navegación	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de familiarización de los pilotos con el sistema de navegación - Falta de experiencia de los pilotos con el tipo de aeronave y sus instrumentos - Falta de capacitación del personal en los sistemas de navegación - Deficiencias en los programas de capacitación y formación - Desconcentración del personal - No se siguen los lineamientos de cabina estéril 	Improbable	Catastrófico	10	Medio
14	Natural	Daños en la pista durante el aterrizaje o despegue	<ul style="list-style-type: none"> - Eventos geofísicos que generan cambios en las características del hielo - Falta de seguimiento a las características de las pistas y daños relacionados - Falta de criterios de aceptabilidad en torno a las características operacionales de las pistas 	Extremadamente improbable	Peligroso	4	Muy bajo
15	Natural	Choques contra montañas y colinas aledañas	<ul style="list-style-type: none"> - Desconocimiento de las características geográficas - Falta de capacitación del personal en operaciones polares - Deficiencias en la planeación de las rutas de vuelo y características geográficas - Desconocimiento de los características de los aeródromos - Falta de capacitación y fortalecimiento de destrezas de las tripulaciones 	Frecuente	Catastrófico	25	Extremo

Anexo 2, continuación

ID	Factor de riesgo	Descripción del riesgo	Causas del riesgo	Probabilidad	Consecuencia	Puntaje del riesgo	Nivel del riesgo
16	Natural	Corrientes de aire que generan pérdida de control de la aeronave	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de capacitación del personal en operaciones polares - Deficiencias en la planeación de las rutas de vuelo y de las condiciones meteorológicas a afrontar - Desconocimiento de los factores climatológicos que pueden influir en las operaciones polares y en el rendimiento y funcionamiento de la instrumentación y aeronave - Falta de capacitación y fortalecimiento de destrezas de las tripulaciones 	Frecuente	Mayor	15	ALTO
17	Natural	Presencia de tormentas que generan pérdida de control de la aeronave	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de capacitación del personal en operaciones polares. - Deficiencias en la planeación de las rutas de vuelo y de las condiciones meteorológicas ha afrontar - Desconocimiento de los factores climatológicos que pueden influir en las operaciones polares y en el rendimiento y funcionamiento de la instrumentación y aeronave - Falta de capacitación y fortalecimiento de destrezas de las tripulaciones 	Frecuente	Mayor	15	Alto

Fuente: elaboración propia.

