

Modelo Gerencial de Mantenimiento Basado en el Análisis y Gestión de Riesgos para el Tren de
Aterrizaje Delantero y Principal del Avión Piper PA-34- 200T Seneca II

Carlos Andrés Robles Rodríguez

Trabajo de Grado para Optar al Título de Magister en Gerencia de Mantenimiento

Director

Carlos Borrás Pinilla

PhD en Ingeniería Mecánica

Universidad Industrial de Santander UIS

Escuela de Ingeniería Mecánica

Comité de Postgrados Escuela de Ingeniería Mecánica

Maestría en Gerencia de Mantenimiento

Bucaramanga - Santander

2022

Dedicatoria y Agradecimientos

Agradezco en primera instancia a Dios, porque es quien me da día a día los medios que me permiten crecer personal y profesionalmente, así mismo, a cada una de las personas que él ha puesto en mi camino, porque con su confianza, me mantienen motivado en la conquista de las alturas que espero llegar, y desde la cuales, sé que podré guiar a otras personas que comienzan.

Lo que espero alcanzar con este trabajo, no es solamente ampliar mis conocimientos profesionales, sino que, a través de él, contribuir en la reducción de accidentes letales de aviación asociados al modelo en estudio, por lo que agradezco también a la Aeronáutica Civil y operadores aéreos, por permitirme realizar este modelo de mejora, al profesor Ph D Carlos Borrás por su guía y asesoría en la consecución de los objetivos de este proyecto de grado.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	13
Planteamiento del problema.....	14
Justificación	16
1. Objetivos	19
1.1 Objetivo general	19
1.2 Objetivos específicos	19
2. Avión Piper PA-34-200T SENECA II.....	20
2.1 Descripción y Funcionamiento del Tren de Aterrizaje	21
2.2 Programa de Mantenimiento Aeronave Piper PA-34-200T Seneca II.....	25
2.3 Programa de Mantenimiento Conjunto Tren de Aterrizaje Piper PA-34-200T	27
2.4 Consideraciones operacionales conjunto Tren de Aterrizaje Piper PA-34-200T	28
3. Gestión de riesgos	31
3.1 Norma 31000:2018	31
3.2 Norma 31010:2020	36
3.3 Metodología de Análisis de Corbatín, Bowtie	38
4. Evaluación de riesgos.....	43
4.1 Evaluación de la Probabilidad del Riesgo.....	43

4.2 Evaluación de la Severidad del Riesgo	44
4.3 Tolerabilidad del riesgo.....	46
5. Construyendo el Bowtie	48
5.1 Categoría de la Barrera.....	52
5.1.1 Eliminación de la Amenaza	52
5.1.2 Previene Evento Top	53
5.1.3 Controla la Consecuencia.....	53
5.1.4 Reduce el Impacto de la Consecuencia.....	54
5.2 Tipo de Barrera	54
5.2.1 De Reglamentación	54
5.2.2 De competencias	55
5.2.3 Tecnológica	55
5.3 Efectividad de la Barrera.....	56
5.3.1 Desconocida	56
5.3.2 Buena	57
5.3.3 Pobre	57
5.4 Caracterización de las amenazas	58
5.4.1 Por error humano.....	58
5.4.2 Por falla mecánica	59
5.4.3 Externa o ambiental	59

5.4.4 Por operación concurrente.....	59
6. Evaluación Financiera	75
6.1 Costos de investigación.....	75
6.2 Actualización y capacitación	78
6.3 Costo de Inspección	78
6.3.1 Costo de mantenimiento programado mensual.....	79
6.4 Ingresos por horas de vuelo mensuales.....	79
6.5 Flujo de caja	79
7. Análisis de resultados.....	83
8. Conclusiones	85
9. Recomendaciones.....	88
Referencias Bibliográficas	90
Apéndices.....	93

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Características y rendimientos Piper PA-34-200T	21
Tabla 2. Mantenimiento Piper PA-34-200T	26
Tabla 3. Mantenimiento conjunto trenes de aterrizaje Piper PA-34-200T	27
Tabla 4. Configuración de velocidad operacional para despegue y aterrizaje.....	28
Tabla 5. Configuración lista de chequeo despegue y aterrizaje.....	29
Tabla 6. Características de las Técnicas ISO 31010:2020.....	37
Tabla 7. Aplicabilidad de las Técnicas al Proceso con la NTC-ISO 31000	38
Tabla 8. Clasificación de la Probabilidad	44
Tabla 9. Clasificación de la Severidad.....	45
Tabla 10. Matriz de Calor de Riesgo	46
Tabla 11. Tolerabilidad del Riesgo.....	47
Tabla 12. Caracterización de Amenazas y Barreras en Diagrama Bowtie	60
Tabla 13. Clasificación Barrera según Categoría	65
Tabla 14. Clasificación de Barrera según Tipo.....	65
Tabla 15. Clasificación de Barrera según Efectividad.....	66

Tabla 16. Calificación Barreras Primer Escenario Bowtie	67
Tabla 17. Tareas y Calificación de Barreras Adicionales Segundo Escenario Bowtie	69
Tabla 18. Actividades de Factor de Escalamiento para Barreras Preventivas	71
Tabla 19. Actividades de Factor de Escalamiento para Barreras Reactivas	72
Tabla 20. Presupuesto de Investigación del Proyecto.....	77
Tabla 21. Costos de Reparación Post Accidente	80
Tabla 22. Flujo de Caja - Primer Escenario BowTie	81
Tabla 23. Flujo de Caja – Segundo Escenario BowTie	82
Tabla 24. Numero de tareas y/o actividades en barreras preventivas adicionales	83
Tabla 25. Número de tareas y/o actividades en barreras de recuperación adicionales	84

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Piper PA-34-200T SENECA II	20
Figura 2. Conjunto Tren de Nariz de Aterrizaje NLG	23
Figura 3. Conjunto Tren Principal de aterrizaje MLG.....	24
Figura 4. Conceptos Principales en la Gestión de Riesgos	32
Figura 5. Principios de la Gestión de Riesgos	33
Figura 6. Fases de la Evaluación de Riesgos	34
Figura 7. Tratamiento del Riesgo.....	35
Figura 8. Metáfora Queso Suizo de James Reason.....	40
Figura 9. Diagrama General Metodología de Análisis de Corbatín, Bowtie	42
Figura 10. Numero de Fallas o Mal Funcionamiento por Marca de Aeronave	49
Figura 11. Número de Fallas o Mal Funcionamiento en Piper PA-34-200T.....	50
Figura 12. Función de la Barrera	51
Figura 13. Categoría de barrera de eliminación de la amenaza	52
Figura 14. Categoría de barrera de prevención del evento top	53
Figura 15. Categoría de barrea que controla la consecuencia.....	53

Figura 16. Categoría de barrera que reduce el impacto de la consecuencia	54
Figura 17. Tipo de Barrera de Reglamentación	54
Figura 18. Tipo de Barrera de Competencias	55
Figura 19. Tipo de Barrera Tecnológica	56
Figura 20. Efectividad desconocida de la barrera	56
Figura 21. Efectividad buena de la barrera	57
Figura 22. Efectividad pobre de la barrera.....	57
Figura 23. Caracterización de la amenaza por error humano	58
Figura 24. Caracterización de la amenaza generada por falla mecánica	59
Figura 25. Caracterización de la amenaza por causa externa o ambiental.....	59
Figura 26. Caracterización de la amenaza generada por la operación concurrente	59
Figura 27. Bowtie escenario 1 Falla / Mal funcionamiento Conjunto Tren de Aterrizaje	62
Figura 28. Índice de Riesgo Inherente y Residual del Evento Top y una Consecuencia .	64
Figura 29. Factor de Escalamiento de una Barrera	64
Figura 30. Bowtie escenario 2 Falla / Mal Funcionamiento Conjunto Tren de Aterrizaje	74

Lista de Apéndices

Apéndice 1. Diagrama de flujo metodología Bowtie.....	93
Apéndice 2. Inspecciones de 50 horas Conjunto Trenes de Aterrizaje PA-34-200T	94
Apéndice 3. Inspecciones de 100 horas Conjunto Trenes de Aterrizaje PA-34-200T	95
Apéndice 4. Reportes de Falla o Mal Funcionamiento Piper PA-34-200T	98

Resumen

Título: Modelo Gerencial de Mantenimiento Basado en el Análisis y Gestión de Riesgos para el Tren de Aterrizaje Delantero y Principal del Avión Piper PA-34- 200T Seneca II.*

Autor: Carlos Andres Robles Rodriguez.**

Palabras clave: Piper PA-34-200T, ATA 32 Conjunto tren de aterrizaje, ISO 31000:2018, ISO 31010:2020, gestión de riesgos, metodología Bowtie.

Descripción: De acuerdo con las estadísticas llevada por la Dirección de Investigación de Accidentes de la Aeronáutica Civil de Colombia, en los últimos años la aeronave Piper PA34-200T Seneca II, ha sido una de las aeronaves que más eventos de incidentes ha presentado a causa de las fallas o mal funcionamiento del Conjunto de Trenes de Aterrizaje, razón por la cual genera una alta incertidumbre tanto para operadores de la aeronave como para la Autoridad Aeronáutica por el riesgo inherente presente. En la búsqueda del entendimiento de la situación presentada, el autor hace necesario investigar y analizar las posibles causas que desata este evento, por lo que acude seguir los lineamientos establecidos de la norma ISO 3100:2018 el cual brinda directrices para realizar la gestión de riesgos, así mismo, en apoyo de la norma ISO 31010:2020 elegir la metodología de análisis de corbatín (Bowtie) como la técnica de gestión del riesgo que mejor se ajusta al alcance, criterio y contexto operacional aeronáutico, el cual facilita comprender a profundidad las causas e impactos asociados a un riesgo ya conocido. Con la implementación y desarrollo del Bowtie, se prioriza plantear diferentes barreras de control tanto preventivas como de recuperación y con base en su categoría, tipo y efectividad, permite el accionar en la mitigación del riesgo presente en el sistema, así mismo, analizar los eventos contribuyentes para que cada barrera no logre degradarse en su efectividad. Con lo planteado en este trabajo de grado, permitirá a los operadores aéreos utilizar la metodología de Bowtie, como modelo gerencial basado en el análisis y gestión de riesgos, con el fin de desarrollar nuevas actividades operacionales y de mantenimiento, con el objetivo de controlar y evitar la materialización de fallas o mal funcionamiento en el conjunto de tren de aterrizaje en la aeronave Piper PA34-200T.

* Trabajo de Grado

** Escuela de Ingeniería Mecánica. Comité de Postgrados Escuela Ingeniería Mecánica. Maestría en Gerencia de Mantenimiento. Director: Carlos Borrás Pinilla PhD Ingeniería Mecánica.

Abstract

Title: Maintenance Management Model Based on Risk Analysis and Management for the Forward and Main Landing Gear of the Piper PA-34-200T Seneca II Aircraft.*

Author: Carlos Andres Robles Rodriguez**

Key Words: Piper PA-34-200T, ATA 32 Landing Gear Assembly, ISO 31000:2018, ISO 31010:2020, Risk Management, Methodology Bowtie

Description: According to the statistics kept by the Colombian Civil Aeronautics Accident Investigation Directorate, in recent years the Piper PA34-200T Seneca II aircraft has been one of the aircraft that has presented the most incident events due to failures or malfunctions of the Landing Gear Set, which is why it generates high uncertainty for both aircraft operators and the Aeronautical Authority due to the inherent risk present. In the search for an understanding of the situation presented, the author makes it necessary to investigate and analyze the possible causes that this event unleashes, for which he follows the established guidelines of the ISO 3100: 2018 standard, which provides guidelines for risk management. Likewise, in support of the ISO 31010: 2020 standard, choose the bowtie analysis methodology as the risk management technique that best fits the scope, criteria and aeronautical operational context, which facilitates an in-depth understanding of the causes and impacts associated with a known risk. With the implementation and development of the Bowtie, it is prioritized to propose different control barriers, both preventive and recovery, and based on their category, type and effectiveness, allow action to mitigate the risk present in the system, as well as analyze the events taxpayers so that each barrier does not degrade in its effectiveness. With what is proposed in this degree work, it will allow air operators to use the Bowtie methodology, as a management model based on risk analysis and management, in order to develop new operational and maintenance activities, with the aim of controlling and avoid the materialization of faults or malfunctions in the landing gear assembly in the Piper PA34-200T aircraft.

* Degree Work

** Escuela de Ingeniería Mecánica. Comité de Postgrados Escuela Ingeniería Mecánica. Maestría en Gerencia de Mantenimiento. Director: Carlos Borrás Pinilla PhD Ingeniería Mecánica.

Introducción

Durante los últimos años, la identificación, el análisis y la gestión de riesgos han sido indispensables para lograr entender los peligros a los que se encuentran expuestas las diferentes industrias, principalmente, la del sector aéreo, lo que ha posibilitado en cierta manera, mantener unos buenos índices de confiabilidad y disponibilidad durante la vida útil de operación de los equipos.

La (Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), 2020) establece que el mantenimiento aeronáutico, debe ser ejecutado con un estándar de calidad bajo los lineamientos establecidos por los fabricantes de aeronaves y componentes aeronáuticos, por lo que le ha permitido ser un referente tanto para otras industrias como en su misma actividad operacional, debido a que demanda tareas de control, seguimiento y vigilancia continua tanto por los mismos operadores de las aeronaves como por las diferentes Autoridades Aeronáuticas, las cuales verifican continuamente la ejecución de procedimientos de mantenimiento establecidos y aseguran su validación de acuerdo con lo establecido por el fabricante (Reglamentos Aeronáuticos de Colombia (RAC) 43 Mantenimiento, 2019),

Es por ello, que los diferentes operadores en cabeza de sus gerentes responsables deben disponer de recursos que gestionen la continua actualización de datos de mantenimiento, competencia, entrenamiento del personal aeronáutico y la correcta ejecución de mantenimiento en Organizaciones de Mantenimiento Autorizadas (OMA).

No obstante, durante el seguimiento y verificación de la gestión de mantenimiento de la aeronavegabilidad a través de auditorías a los diferentes operadores del avión Piper PA-34- 200T Seneca II por parte de la Autoridad de Aviación Civil Colombiana, se han identificado varios

escenarios y situaciones que podrían incidir directa e indirectamente en que el avión presente problemas de falla o mal funcionamiento en el sistema conjunto de trenes de aterrizaje ATA 32, el cual, varios de ellos, han culminado en incidentes y accidentes, generando incertidumbre para los operadores y más aún en la Autoridad Aeronáutica Civil Colombiana por la cantidad de variables y situaciones que han conllevado a escenarios no deseables en este tipo de aeronave, el cual son materia de estudio en este proyecto.

En atención a lo anterior, el presente trabajo de grado busca a través de un modelo gerencial de mantenimiento bajo el criterio y evaluación de las directrices de gestión de riesgos descritos en la ISO 31000:2018 y categorización de técnicas y herramientas de gestión de riesgos brindadas y explicadas en la ISO 31010:2020, identificar las relaciones causales para lograr la mitigación de los problemas presentados en los trenes de aterrizaje del avión Piper PA-34- 200T Seneca II, y con la evaluación y análisis de las diferentes metodología de gestión de riesgo bajo el contexto aeronáutico, seleccionar la técnica apropiada que comprenda la incertidumbre y gestione el riesgo, así mismo, contribuir para que los diferentes operadores aéreos de aviones de menos de 5700 Kg de PBMO conozcan y establezcan la metodología de gestión de riesgo análisis de corbatín (Bowtie) como una herramienta útil y funcional en su operación diaria ante la presencia de dificultades de eventos de falla o mal funcionamiento en los diferentes sistemas del avión.

Planteamiento del problema

En los últimos años, la operación de la aeronave Piper PA-34-200T Seneca II ha originado inconvenientes por la cantidad de eventos de accidentes, incidentes y notificación de fallas o mal funcionamiento del tren de aterrizaje ATA 32, lo anterior, de acuerdo con estadística

histórica y publicada por la Dirección Técnica de Investigación de Accidentes de la Aeronáutica Civil de Colombia (Aeronáutica Civil de Colombia, 2022) que desde el año 2018 una de las aeronaves con PBMO menos de 5700 Kg ha sido el Piper PA-34-200T Seneca II, arrojando 26 eventos de los cuales 13 han sido únicamente relacionado con el conjunto del tren de aterrizaje, equivalente a un 50% del total de eventos presentados en la flota.

Teniendo en cuenta que el PA-34-200T Seneca II es un equipo de fabricación antigua con un poco más de 40 años de servicio, al ser un avión muy utilizado en diferentes modalidades (uso particular, taxi y ambulancia aérea dentro del territorio Colombiano), y al acumular horas y ciclos de vuelo, genera gran incertidumbre tanto para el área de mantenimiento de las diferentes empresas como para la Autoridad Aeronáutica, por los posibles cambios que puedan sufrir los materiales de la estructura del conjunto del tren de aterrizaje ATA 32, debido a las diferentes cargas operacionales por la utilización y los cambios en el entorno ambiental donde se opere, generado posible presencia de corrosión, grietas y/o tensión, como también, posibles evidencias de malas prácticas de mantenimiento en las OMA y discrepancias en procedimientos operacionales por parte de los operadores.

Lo anterior, obligaría a los interesados a tener un mayor seguimiento y atención al respecto, dejando al descubierto que existen problemas identificados y dificultades tanto de mantenimiento como operacionales y que el cumplimiento de las actividades propuestas por el fabricante a través del programa de mantenimiento y procedimientos operacionales ejecutados por los operadores, no siempre son lo suficientemente efectivas para que el sistema opere de manera segura.

Teniendo en cuenta el riesgo identificado en el sistema de trenes de aterrizaje, se da la necesidad de evaluar y analizar en un entorno macro operacional, las causas y amenazas presentadas de las posibles fallas, haciendo uso de alguna metodología y/o herramienta de gestión efectiva y funcional para este tipo de escenarios de alto riesgo; y a través de ella, consolidar las causas, el evento y consecuencias del mal funcionamiento del sistema de una manera discriminada, que permita mejorar la toma de decisiones, establecer planes, y mantener un control detallado de cada uno de ellos, teniendo en cuenta que muchos de los riesgos pueden conllevar a impactos económicos para una organización.

Con base en lo anterior, se origina la inquietud de cuál sería el reto final del trabajo de grado. ¿Implementando la metodología de gestión de riesgos de análisis de corbatín (Bowtie) podemos obtener un modelo gerencial de mantenimiento eficaz que nos permita la mitigación de problemas en los trenes de aterrizaje del Piper PA-34-200T Seneca II?

A partir de la técnica de gestión de riesgo utilizada dentro del presente proyecto, se pretende dar respuesta a esta pregunta a través del desarrollo de una metodología confiable y entendible para este tipo de escenarios, así mismo, pensando en que no solamente pueda ser manejado para el modelo en estudio, sino que este pueda extenderse en el estudio de otros sistemas que presenten problemas y que se encuentren identificados por patrones de incidencias y alertas de falla que son reportadas por los mismos operadores y las plasmadas en la estadísticas de la Aeronáutica Civil Colombiana.

Justificación

De acuerdo con la estadística publicada por la Autoridad Colombiana (Aeronáutica Civil de Colombia, 2022), durante los últimos cinco años se han presentado 23 eventos los cuales 13

han sido incidentes graves y siete accidentes únicamente relacionados con el sistema de trenes de aterrizaje del avión PA-34-200T Seneca II, en particular con el tren de nariz de la aeronave, por lo que es evidente el riesgo y problema inminente del sistema, en consecuencia, genera la necesidad de evaluar y contextualizar los orígenes de la falla con la ayuda de alguna metodología de gestión efectiva de riesgos y utilizada para escenarios de alto riesgo; al tener toda esta información consolidada, será posible medir si los planes y actividades de mantenimiento y operativas que se han ejecutado, son suficientes para su mitigación, o por el contrario se está cayendo en un mismo error en distintas ocasiones por la falta de control de estos históricos.

El evaluar el riesgo bajo la técnica de análisis de corbatín (Bowtie) presentado en el Sistema de Trenes de Aterrizaje, el cual es lo que más ha impactado a este tipo de aeronaves, permitirá a los operadores tener una mejor gestión de seguridad operacional y un seguimiento mucho más efectivo referente al mantenimiento y operación del sistema, permitiendo identificar cuáles son las amenazas presentadas y gestión de las mismas dentro de su contexto operacional. Teniendo en cuenta lo anterior y en consideración de diferentes técnicas de gestión de riesgo conocidas y ofrecidas por la norma, se formulan las siguientes preguntas:

- ¿Si hay diferentes técnicas de gestión de riesgo, qué hace que la técnica análisis de corbatín (Bowtie) sea la escogida para esta investigación?
- ¿Por qué emplear la técnica de gestión de riesgo análisis de corbatín (Bowtie) para este tipo de problemas presentes en el conjunto del tren de aterrizaje?

Las directrices para gestionar el riesgo establecido en la norma ISO 31000:2018 (Organización Internacional de Normalización [ISO], 2018) manifiesta que todo riesgo al que se enfrenta la organizaciones debe evaluarse de manera precisa dentro de un alcance, contexto y

criterio, el cual permita identificar, analizar y valorar el riesgo, con el fin de dar un tratamiento correspondiente bajo una técnica y metodología establecida en que la norma ISO 31010:2020 dentro del contexto de la problemática del conjunto de los trenes de aterrizaje del Piper PA-34-200T Seneca II permita gestionar los diferentes riesgos presentes y facilitar la toma de decisiones a todos los niveles de la organización.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Desarrollar la metodología de riesgos Bowtie para el ATA 32 sistema de aterrizaje del tren delantero y principal del avión Piper PA-34-200T Seneca II, con el fin de obtener un modelo gerencial de mantenimiento, que garantice la fiabilidad del sistema.

1.2 Objetivos específicos

- Evaluar el funcionamiento y operación del sistema de tren de aterrizaje en la aeronave Piper PA-34-200T Seneca II.
- Evaluar y analizar diferentes incidentes, accidentes y modos de fallas presentados en los últimos cinco años relacionados con el ATA 32 de la aeronave Piper PA-34-200T Seneca II.
- Demostrar con la metodología basada en riesgos Bowtie, las relaciones causales que pueda tener el sistema del tren de aterrizaje con el fin de determinar y analizar el origen de las fallas y proponer barreras de control para la mitigación de estas.
- Diseñar y proponer actividades de mantenimiento y operacionales adicionales a los establecidos por el fabricante, con el fin de garantizar la fiabilidad operacional del sistema.

2. Avión Piper PA-34-200T SENECA II

El Piper PA-34-200T, conocido comúnmente como Seneca II es una aeronave ligera de origen estadounidense, equipada con dos motores de combustión interna, fabricada y certificada por Piper Aircraft desde 1974 e introducida en 1975, El sufijo “T” del modelo corresponde al cambio a motores de seis cilindros turbocargados con respecto a la anterior versión Seneca I, el cual aumenta su desempeño particularmente a grandes altitudes, Piper Aircraft construyó alrededor de 2588 Senecas II; en Colombia esta aeronave es operada desde hace un poco más de 40 años, principalmente para transporte de uso privado, taxi y ambulancia aérea; actualmente en el país según aplicativos de control operacional hay un aproximado 105 aeronaves Seneca II en estado aeronavegable, es decir, en operación. Su versatilidad y buen rendimiento operacional hace que esta aeronave sea utilizada para trayectos cortos y largos, así mismo utilizada en aeródromos no preparados con longitudes cortas.

Figura 1

Piper PA-34-200T SENECA II



Nota. Piper PA-34-SENECA II, Reproducida de Airpingstone (2005).

De acuerdo con (Aircraft Piper, 1976) y (Department of Transportation Federal Aviation Administration FAA, 2019) algunas de sus principales características operacionales se relacionan a continuación:

Tabla 1

Características y rendimientos Piper PA-34-200T

Envergadura	12 m
Longitud	8.72 m
Velocidad de crucero	305 km/h
Máximo rango	1.534 km
Máximo techo de operación	25.000 pies
Tipo de motor	Motor de combustión interna, Lycoming Continental TSIO- 360-EB
Capacidad de combustible	93 gal
Máxima longitud de pista para despegue	500 a 650 m
Peso Bruto Máximo de Operación PBMO	2073 kg
Numero de sillas	7
Capacidad de carga en bodegas	90.72 Kg

2.1 Descripción y Funcionamiento del Tren de Aterrizaje

En los siguientes párrafos se da una explicación del funcionamiento operacional del conjunto del tren de aterrizaje, el cual (Aircraft Piper, 2019) dice:

El conjunto del tren de aterrizaje del avión PA-34-200T Seneca II está equipado con un tren de aterrizaje retráctil tipo triciclo, cuyo control de extensión y retracción se efectúa mediante un sistema hidráulico por una bomba reversible accionada eléctricamente, cuyo mando y control se realiza a través de una palanca selectora de dos posiciones ubicada en el panel de instrumentos, para seleccionar posición en marcha arriba o abajo de los trenes de aterrizaje.

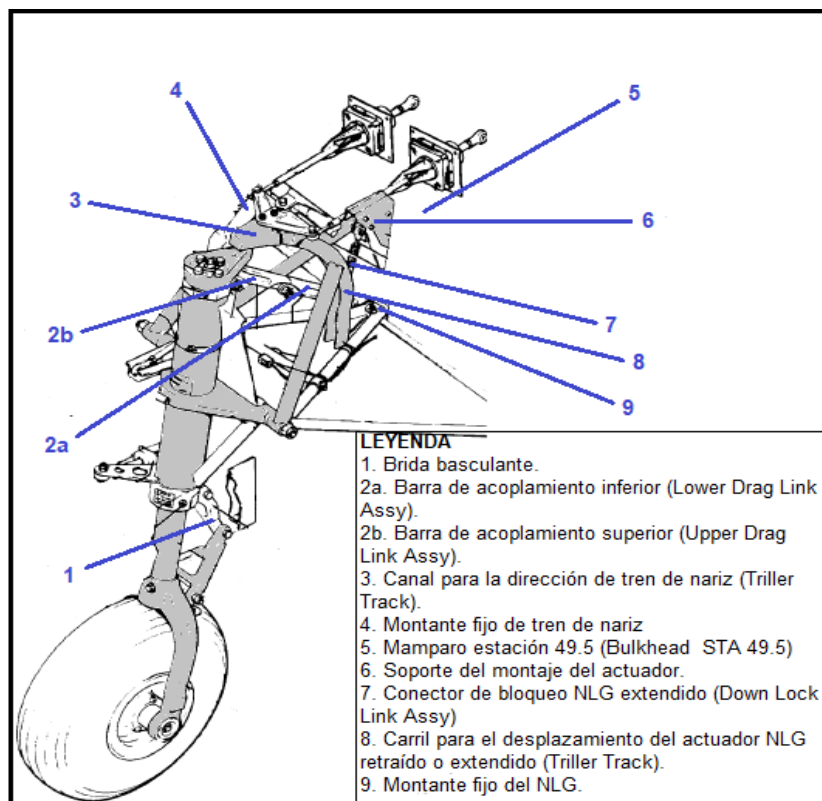
Las diferentes posiciones que toma los trenes son censadas por varios microswiches ubicados en cada uno de los anidamientos de los trenes de aterrizaje y cuando está en proceso de extensión y asegurado se indica en panel de instrumentos en cabina con tres luces verdes y cuando su marcha no es segura lo indica con una luz roja. La activación de los tres microswiches una vez extendido y asegurado el conjunto de los trenes de aterrizaje apagará la bomba hidráulica, en el recorrido de extensión la indicación de las tres luces verdes se va atenuando en cabina.

A medida que la presión del colector hidráulico cae por debajo de 6.9 psi y si el tren de aterrizaje no ha extendido, un interruptor activará una bocina de advertencia el cual le indica al piloto que el tren de aterrizaje aun está en posición arriba; esta dejará de sonar hasta que el tren de aterrizaje se encuentre en posición abajo y asegurado, momento para que las tres luces del panel de control se enciendan. En caso de falla hidráulica o mecánica, el conjunto del tren de aterrizaje se podrá extender accionado la válvula de caída libre, lo que permite que el sistema se desasegure y por acción de la fuerza de gravedad caiga y se extienda el mecanismo. Una vez abajo se asegura el mecanismo a través de unos resortes extendidos el cual mantienen la presión hasta que sean liberados nuevamente por la presión hidráulica del sistema.

En la figura 2, se muestra los principales componentes del mecanismo cuando se extiende y se retrae el tren de nariz de aterrizaje NLG.

Figura 2

Conjunto Tren de Nariz de Aterrizaje NLG



Nota: Adaptado de Aircraft Piper (2019, p.1J16)

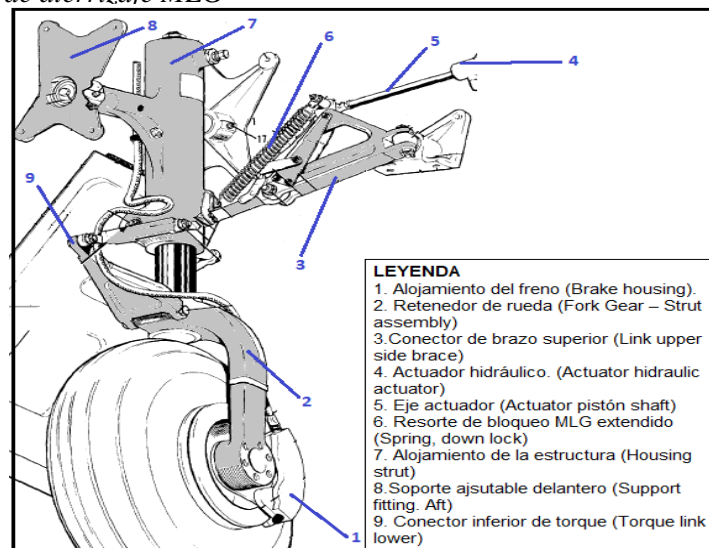
Una vez en tierra la retracción del tren de aterrizaje se ve imposibilitada por un interruptor de seguridad (squat switch) ubicado en el tren de aterrizaje principal MLG lado izquierdo, se activa al comprimirse el amortiguador (después del aterrizaje); este interruptor no permite el suministro de energía eléctrica a la bomba electrohidráulica, previendo la retracción del tren ante una selección errónea de la palanca cuando el avión se encuentra en tierra, el interruptor de seguridad volverá a desactivarse una vez el avión ya en vuelo tenga una presión

hidráulica mayor a 6.9 psi capaz de subir de nuevo el conjunto de trenes de aterrizaje. El tren de aterrizaje de nariz NLG es dirigido mediante el accionamiento de los pedales del timón, a medida que el tren se retrae cumpliendo el ciclo, las barras conectoras de la dirección se separa del tren, de tal manera que cuando el NLG se encuentre en marcha hacia arriba, no obstaculice la operación e interacción del mecanismo. Un mecanismo de resorte de centrado de rueda está incorporado en el mecanismo de dirección del NLG.

Los MLG están equipados con frenos hidráulicos de un solo disco autoajustables que son accionados por cilindros de freno individuales montados en los pedales del timón, los cilindros reciben fluido hidráulico de un depósito ubicado en la parte delantera del mamparo principal de la cabina. También tiene incorporado un freno de estacionamiento de manija, el cual se acciona halando de ella hacia atrás. En la figura 3, se muestra los principales componentes en parte de los trenes principales MLG

Figura 3

Conjunto Tren Principal de aterrizaje MLG



Nota: Adaptado de Aircraft Piper (2019, p.1J16)

2.2 Programa de Mantenimiento Aeronave Piper PA-34-200T Seneca II

Así como lo establece los (Reglamentos Aeronáuticos de Colombia (RAC) 43 Mantenimiento, 2019), todo operador en el desarrollo y aplicabilidad de un programa de mantenimiento aeronáutico, debe ser tomado como referencia del fabricante de la aeronave, con el fin de dar cumplimiento a las inspecciones, tareas y limitaciones de aeronavegabilidad allí descritas, para este caso, se toma la última enmienda del fabricante aplicable el cual corresponde al Piper Seneca II Service Manual PA-34-200T, P/N 761-590 de fecha 31 de octubre de 2019. (Aircraft Piper, 2019).

El manual de mantenimiento también debe ser utilizado de manera conjunta con los manuales de fabricante de los motores, hélices y componentes según sean aplicables, así mismo, dar cumplimiento a las Directivas de Aeronavegabilidad AD y boletines de servicio SB los cuales son de cumplimiento obligatorio y son emitidas por la autoridad del Estado de diseño de la aeronave, así como las establecidas por la Autoridad aeronáutica local, en cumplimiento de los RAC.

Según el (Aircraft Piper, 2019) describe la siguiente periodicidad de servicios de mantenimiento rutinarios o programado, de lubricación y especiales, el cual el fabricante las define por horas de vuelo y/o tiempo calendario. Los operadores de esta aeronave deberán dar cumplimiento a lo primero que se cumpla de acuerdo con sus horas de vuelo acumuladas y tiempo transcurrido.

Tabla 2*Mantenimiento Piper PA-34-200T*

Clase de mantenimiento	Frecuencia	
	Horas	Calendario
Rutinarios	50	N/A
	100	N/A
Lubricación	50	N/A
	100	N/A
	500	N/A
Especiales*	10	30 días
	200	90 días
	500	12 meses
	1000	2 años
	1500	5 años
	1800	6 años
	2000	7 años
	2400	8 años
	2500	10 años
	N/A	12 años
N/A	20 años	

Nota: El contenido de las tareas de inspección y mantenimiento se encuentran descritas en el Piper Seneca II Service Manual PA-34-200T, P/N 761-590.

Cada operador comercial de esta aeronave deberá desarrollar formatos y guías de cada una de las frecuencias de mantenimiento anteriormente descritas, para que sean evaluadas y aprobadas por la Autoridad Aeronáutica y mínimo deberá cumplir con un servicio de mantenimiento rutinario de 100 h cada año calendario, así la aeronave vuele menos de estas

horas, independientemente de los servicios de mantenimiento con frecuencias especiales por calendario que se darán cumplimiento a través del tiempo.

2.3 Programa de Mantenimiento Conjunto Tren de Aterrizaje Piper PA-34-200T

Dentro del cumplimiento de cada una de las frecuencias de mantenimiento aplicable al conjunto de trenes de aterrizaje, el fabricante establece en el (Aircraft Piper, 2019) lo siguiente el cual se relaciona en la tabla 3:

Tabla 3

Mantenimiento conjunto trenes de aterrizaje Piper PA-34-200T

Clase de mantenimiento	Servicios mantenimiento / Inspección	Frecuencia Horas (h)
Rutinario	4 inspecciones	50
Rutinario	41 inspecciones	100
Especial	Inspección a los trunnion de los trenes principales si estos no tienen instalado unos P/N especificados por el fabricante	10
Especial	Inspección por evidencia de rajaduras	1000
Operaciones de alto polvo o alta polución ambiental	Antes de cada vuelo limpiar el amortiguador hidráulico e inspeccionar los rodamientos de las ruedas	50
Operaciones en terrenos blandos o inusuales	Inspeccionar el sistema por rajaduras, juntas y daños, inspeccionar los rines por rajaduras, daños, estado de rodamientos y corrosión, inspeccionar las ruedas por cortaduras y deformaciones.	100
Operaciones en ambientes de alta salinidad o ambiente húmedo	inspeccionar el tren de aterrizaje por evidencia de corrosión	200

Las inspecciones y servicios de mantenimiento de 100 h o servicio anual, corresponde al cumplimiento de 41 inspecciones, este es el más completo de los items a inspeccionar incluyendo hasta pruebas funcionales operacionales de extensión y retracción de los trenes de aterrizaje.

2.4 Consideraciones operacionales conjunto Tren de Aterrizaje Piper PA-34-200T

Para la operación en vuelo del conjunto se debe seguir los lineamientos establecidos por el fabricante a través del manual Pilot's Operating Handbook POH Seneca II en su última versión, el cual puede variar procedimentalmente de acuerdo a las alteraciones de instrumentos de navegación que cada operador tenga instalado en las aeronaves, no obstante, este manual establece entre varios, procedimientos para configuración de aterrizaje que es lo que nos enfocaremos para efectos de este trabajo de grado el cual nos será útil como referencia para analizar las practicas operacionales que se ejecutan al interior de las organizaciones, como datos operacionales en la que la tabla 4 se referencia algunas velocidades que se deben tener en cuenta al momento de despegue y aterrizaje del avión.

Tabla 4

Configuración de velocidad operacional para despegue y aterrizaje

Configuración Operacional	Nudos (Kn)
Máxima velocidad permitida para extender el conjunto de tren de aterrizaje	129
Máxima velocidad permitida para extender los flaps	107
Máxima velocidad permitida para retraer el conjunto de tren de aterrizaje	107
Mínima velocidad para control de la aeronave con un solo motor operativo sin operación de flaps	69

Mejor rata de ascenso para un solo motor	90
---	----

Nota: Valores operacionales obtenidos del manual POH Seneca II, última revisión.

En la tabla 5, se referencia la lista de chequeo operacional, el cual la tripulación debe realizar al momento de despegue y aterrizaje.

Tabla 5

Configuración lista de chequeo despegue y aterrizaje

Lista de Chequeo Despegue	Lista de Chequeo Aterrizaje
Selectoras de combustible. On	Respaldo de sillas asegurados
Bomba auxiliar de combustible. Off	Cinturones de seguridad
Alternadores. On	Selectoras de combustible. On
Chequeo de Indicadores de motores	Aletas de enfriamiento. Set
Mezcla Set	Mezcla rica
Helices Set	Bomba auxiliar de combustible. Off
Alt. Aire Off	Helices Set
Aletas de enfriamiento. Abiertas	Tren de aterrizaje abajo
Respaldo de sillas asegurados	Flap Set - 107 Kn Max
Configuración de Flaps. Set	Aire acondicionado. Off
Trim set (Stab & Rudder)	
Cinturones de seguridad	
Libertad de movimiento de controles	
Puertas aseguradas	
Aire acondicionado. Off	

Nota: Listado de configuración de chequeo operacional obtenido del manual POH Seneca II, última revisión.

En el POH también indica que dentro de un procedimiento de sobrepaso (Go Around), los flaps deben ser retractados antes de subirse el tren de aterrizaje, en cambio para un aterrizaje completo, los flaps deben ser retractados después de abandonar la pista de aterrizaje.

Adicionalmente indica que este procedimiento previene que los pilotos accidentalmente accionen la palanca del conjunto del tren en lugar de la palanca del flap.

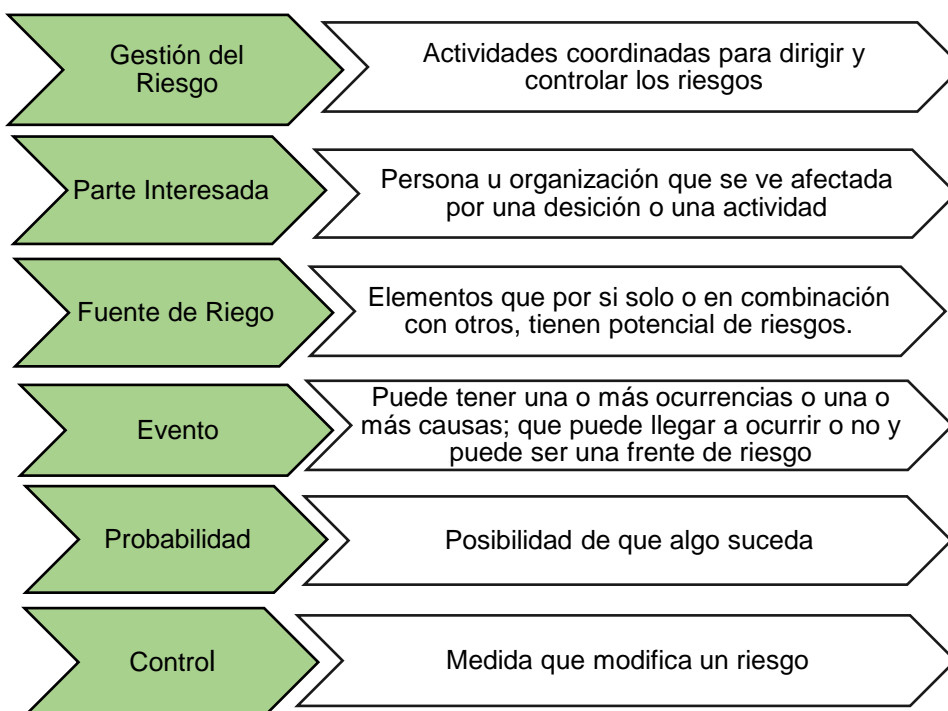
3. Gestión de riesgos

Así como es importante el contexto funcional del modelo de avión sobre el cual se desarrolla este proyecto de grado, se hace necesario evaluar el contexto del escenario operacional el cual permita la gestión de los riesgos relacionados e inherentes con el fin de obtener herramientas para el planteamiento de un modelo gerencial aplicable con el objetivo de mitigar los mismos, a continuación, se relacionan las normas tomadas como referencia para la gestión de riesgos y las herramientas y técnicas que pueden ser usadas en el desarrollo de este.

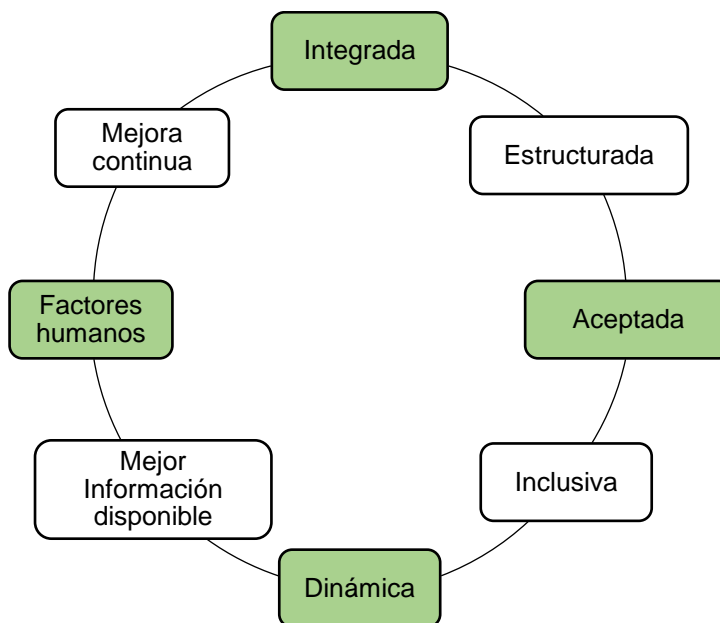
3.1 Norma 31000:2018

Para el manejo y gestión del riesgo como concepto podemos referirnos a la norma ISO 31000:2018, el cual proporciona directrices relacionadas con la Gestión de riesgos, esta es una norma genérica que puede adaptarse a cualquier tipo de organización y su contexto, ofreciendo un enfoque común para gestionar cualquier tipo de riesgo y no específico de una industria o un sector, dicha norma no es un estándar certificable.(ICONTEC, 2018).

Esta norma nos define RIESGO como “El efecto de la incertidumbre en el logro de los objetivos” (ICONTEC, 2018) el cual se puede categorizar entre dos extremos que son: la certeza total el cual es algo conocido (determinístico) y la incertidumbre total el cual es desconocido. La gestión de riesgos según esta norma relaciona los siguientes términos:

Figura 4*Conceptos Principales en la Gestión de Riesgos*

Adicional a estos conceptos, la gestión de riesgos contempla en particular ocho principios que conllevarán a que la gestión de riesgos se realice de una manera eficiente, ya que permitirán: un enfoque estructurado, resultados comparables, adaptabilidad, participación de los interesados, planes de respuesta ante la dinámica de los riesgos, consulta de históricos por la disponibilidad de la información y mejora continua por el aprendizaje que se puede tomar de cada uno, estos conceptos son referenciados en la figura 5.

Figura 5*Principios de la Gestión de Riesgos*

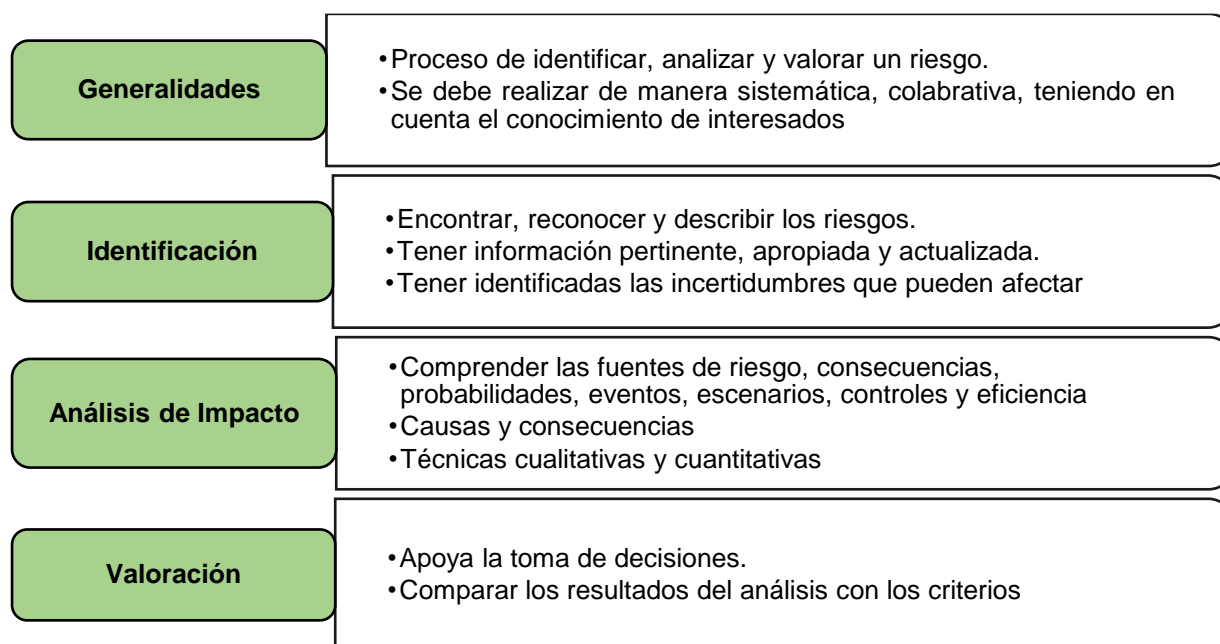
Nota: Adaptada de NTC-ISO 31000 (2018, p.3).

Para que la gestión de riesgos se realice de manera efectiva, se hace necesario que cada uno de los interesados realice un análisis a profundidad de los factores que pueden afectar sus procesos, este análisis involucra tanto factores externos (sociales, culturales, políticos, reglamentarios, financieros, tecnológicos, económicos, ambientales, regionales, locales, gubernamentales, tendencias, valores, relaciones contractuales, compromisos, redes, entre otras dependencias), como factores internos (visión, misión, valores, gobernanza, estructura organizacional, roles, estrategia, objetivos, políticas, cultura organizacional, normas, directrices, modelos, capacidades, datos, sistemas, flujos de información, relación interna entre interesados, independencias, entre otros).

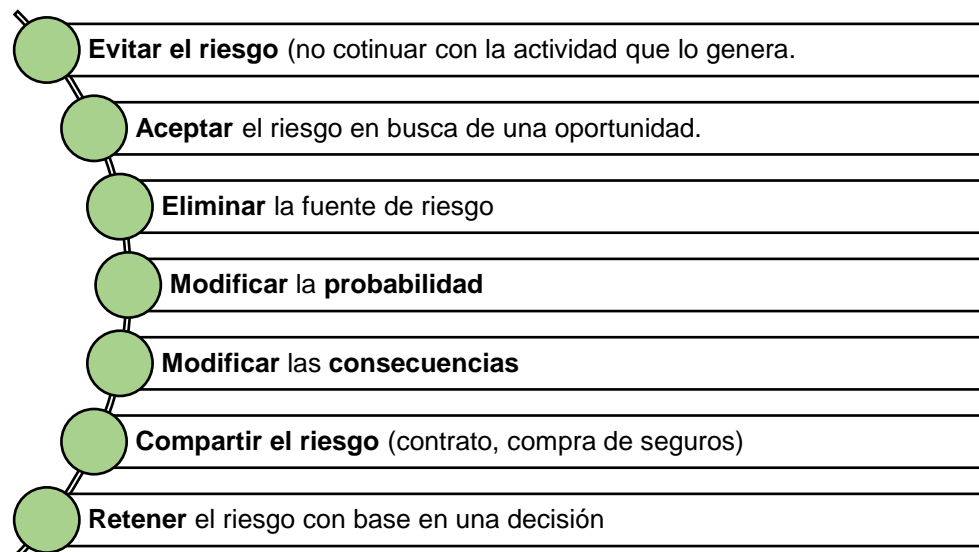
Sin embargo, de nada sirve para una organización que se tengan identificados todos los riesgos asociados al proceso, si no se tiene una valoración constante sobre los planes de acción que pretenden evitar que se materialicen aquellos que tienen impacto negativo; como parte de esta, es importante realizar la evaluación de riesgos, tomando como referencia las fases mostradas en la figura 6.

Figura 6

Fases de la Evaluación de Riesgos



Una vez se logre poder identificar todos aquellos riesgos que nos pueden llegar a afectar la operación/organización, es importante establecer la manera como los vamos a tratar, y es por ello, que en la figura 7 la norma nos sigue teniendo en cuenta las siguientes variables para tratar el riesgo.

Figura 7*Tratamiento del Riesgo*

Los posibles caminos que tomemos para el tratamiento de los mismos, dependerá de los objetivos de la organización, los criterios de aceptación de riesgo que se tengan aprobados y los recursos que se tengan disponibles; sin embargo, la norma recalca la importancia de involucrar a todos los afectados en ese análisis de riesgos, partiendo de que al realizar un plan de acción sobre los riesgos puede llegar a ocurrir que no se logren los resultados esperados, y deba re-plantear las acciones a ejecutar, por lo cual, se podrán activar riesgos residuales, que deban tenerse en cuenta durante el análisis y seguimiento, en cada una de las etapas del proceso.

Como resultado de la gestión de riesgos, es indispensable que se lleve un registro / informe del proceso; este documento debe contener: las actividades de la gestión realizada, los resultados que se obtuvieron, la información para la toma de decisiones, las mejoras en las actividades planteadas, los interesados, los responsables y las obligaciones para rendir cuentas de las actividades.

3.2 Norma 31010:2020

La norma ISO 31010:2020, Técnicas de evaluación del riesgo, tampoco es una norma certificable, porque no referencia requisitos para implementar la gestión de riesgos en las organizaciones, sino que orienta sobre la selección y aplicación de técnicas para evaluar el riesgo. (ICONTEC, 2020)

Las técnicas de evaluación de riesgo que se informan en esta norma son usadas:

- Cuando se requiere una mayor comprensión de los riesgos existentes o acerca de un riesgo particular.
- Dentro de un proceso de gestión de riesgos que conduzca a acciones para tratar el riesgo.
- Con respecto a una decisión, cuando es necesario comparar u optimizar una serie de opciones que implican riesgos”,

Pero... ¿cómo saber qué técnica seleccionar? pues bien, aunque la norma relaciona 42 diferentes técnicas, es necesario tener en cuenta a la hora de seleccionar: la complejidad, el nivel de conocimiento y comprensión que se tiene de los riesgos, para lo cual, pueden existir dos (2) situaciones:

- El primer caso, no se tiene nada nuevo o inusual en una situación, y se tiene comprendido el riesgo, no se tienen implicaciones o consecuencias significativas para las partes interesadas, por lo que es posible decidir las acciones basado en reglas, procedimientos establecidos.
- El segundo caso, se tienen cuestiones muy novedosas, complejas y con gran incertidumbre y poca experiencia; así mismo, no se logra llegar a un acuerdo entre los interesados por sus distintos puntos de vista.

Con base en lo anterior, y teniendo en cuenta que, para el desarrollo de este proyecto de grado, ya se tiene identificado el riesgo y se cuenta con el conocimiento necesario sobre este (primer caso) y de acuerdo con las diferentes variables de características y técnicas ofrecidas por la norma mostradas, en la tabla 6 y 7 se hizo la evaluación y verificación de la aplicabilidad de la técnica que más se ajustara, partiendo de la información y contexto del riesgo a gestionar.

Tabla 6

Características de las Técnicas ISO 31010:2020

Características	Descripción	Detalles
Aplicación	Como se usa la técnica en la evaluación de riesgo	Obtener puntos de vista, identificar, analizar causas, analizar controles
Alcance	Se aplica el riesgo a nivel organizacional, departamental o de proyectos o de los procesos individuales o nivel de equipos.	Organización (1) Proyecto / departamento (2) Equipo/ proceso (3)
Horizonte de tiempo	Considere el riesgo a corto, mediano o largo plazo o es aplicable a cualquier horizonte de tiempo.	A corto, mediano, largo plazo o cualquiera.
Nivel de decisión	Se aplica el riesgo a nivel estratégico, táctico u operacional	Estratégico (1), táctico (2), operacional (3)
Información inicial / necesidades de datos	El nivel de información inicial o las necesidades de datos	Alto, medio, bajo.
Conocimiento y experiencia especializados	Nivel de conocimiento y de experiencia requeridos para el uso correcto.	Bajo: intuitivo o capacitación de uno o dos días. Moderado: Capacitación de más de dos días. Alto: requiere conocimientos y experiencia especializados
Cualitativo cuantitativo	Si el método s cualitativo, semicuantitativo o cuantitativo	Cuantitativo (cuant.) Cualitativo (cual) Semicuantitativo Se puede usar cualitativa cuantitativamente
Esfuerzo requerido	Tiempo y costo requeridos para aplicar la técnica	Alto, medio, bajo.

Nota: La tabla muestra las diferentes características a ser evaluadas dentro de las técnicas ofrecidas en la ISO 31010:2020 (ICONTEC, 2020.p.30-40)

Así mismo, se verifica la aplicabilidad de las diferentes técnicas, comparando y evaluando sus fortalezas dentro de proceso de evaluación y gestión del riesgo con la NTC-ISO 31000.

Tabla 7

Aplicabilidad de las Técnicas al Proceso con la NTC-ISO 31000

Herramientas y técnicas	Proceso de evaluación del riesgo				
	Identificación del riesgo	Análisis del riesgo			Valoración del riesgo
		Consecuencia	Probabilidad	Nivel de riesgo	
AMEF	SA	SA	NA	NA	NA
BOWTIE	A	SA	A	A	A
HAZOP	SA	A	NA	NA	NA
Ishikawa (espina de pescado)	SA	A	NA	NA	NA

Nota: La tabla muestra la fortaleza de la técnica Bowtie en términos del proceso de evaluación del riesgo frente algunas técnicas, en donde, A: Aplicable, SA: Considerablemente aplicable y NA: No aplicable, (ICONTEC, 2020. p. 42)

Una vez evaluadas las anteriores consideraciones, aplicabilidad e información inicial obtenida, se concluye dentro del contexto aeronáutico y una vez identificado el riesgo desde un principio, la herramienta más apropiada para realizar la gestión es la metodología de análisis de corbatín Bowtie, con la cual lograremos el objetivo esperado.

3.3 Metodología de Análisis de Corbatín, Bowtie

El método de análisis de corbatín también conocido como Bowtie, es un método de evaluación de riesgos, que, a través de una representación gráfica en una hoja, indica la trayectoria desde las causas de un evento hasta sus consecuencias, utilizado para analizar y demostrar las relaciones de escenarios de alto riesgo y sus causas. (ICONTEC, 2020)

Su origen data desde la década de los años 70 en la Universidad de Queensland Australia durante el desarrollo de una conferencia sobre análisis de peligros, tomando como referencia el análisis de árbol de fallas (al analizar la causa de un evento) y de un árbol de eventos (al analizar las consecuencias) que al conectarlos dan origen a la metodología de Bowtie. El método lleva su nombre debido a la forma del diagrama en el que se crea, el cual se parece a un corbatín de un hombre o “moño”.

La grafica de Bowtie principalmente hace dos cosas; en primer lugar, da una mirada global de todos los escenarios de accidentes o amenazas posibles que pudieran existir en torno a un determinado peligro y, en segundo lugar, mediante la identificación de las medidas de control o barreras como las llamaremos para el desarrollo de este trabajo de grado, hace que una organización las despliegue para controlar esos escenarios de riesgos intolerables.

Sin embargo, esto es sólo el principio, una vez que se identifican las barreras, la metodología Bowtie lo lleva un paso más allá e identifica los factores en que estas barreras pueden fallar; estos factores o condiciones se denominan factores de escalamiento los cuales tienen un efecto indirecto pero crucial sobre el peligro. Al visualizar la interacción entre las barreras y sus factores de escalamiento se puede ver cómo el sistema global se debilita cuando las barreras tienen factores de escalamiento.

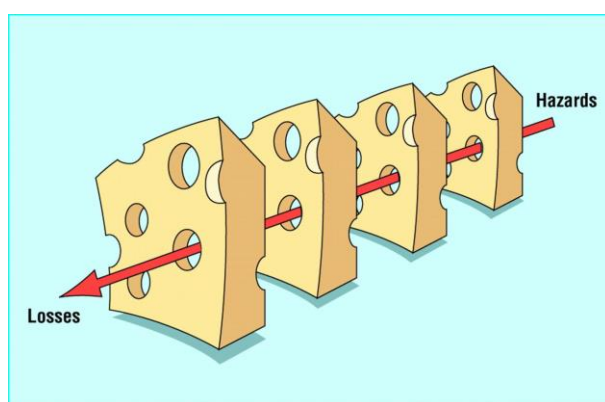
Además del diagrama básico del Bowtie, los sistemas de gestión también deben ser considerados e integrados con la metodología para dar una visión general de qué actividades llevan un control de trabajo y quién es responsable de un determinado control. La integración del sistema de gestión en Bowtie demuestra cómo los peligros son gestionados por una organización buscando

que los riesgos sean gestionados a niveles aceptables o tan bajo como sea razonablemente factible (ALARP).

El modelo de aplicación del Bowtie está basado en el concepto de barreras, concepto popularizado en los años 80 con la introducción de la metáfora del queso suizo del profesor James Reason.

Figura 8

Metáfora Queso Suizo de James Reason



Nota: Adaptada de concepto de causalidad de accidente, por Liderazgo para el cambio (2022).

El concepto bien conocido en la industria de la aviación se aplica considerando las barreras como rebanadas de queso suizo que tienen agujeros en ellos, mostrando que las pérdidas o causalidad de accidentes se genera por las múltiples penetraciones sucesivas a las defensas o barreras del sistema. La (Organización de Aviación Civil Internacional, 2018), a través del Doc. 9859 afirma que:

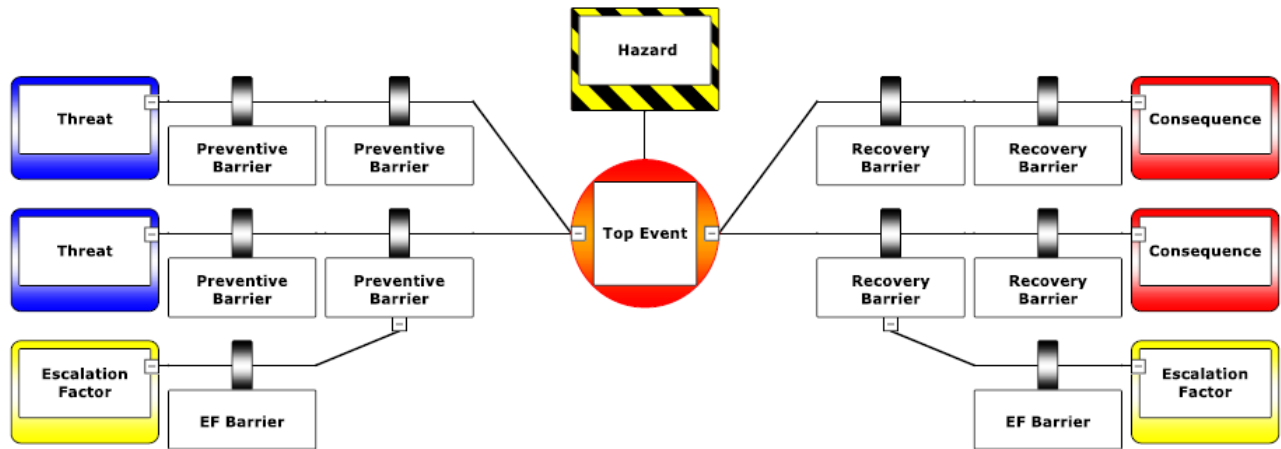
Estas penetraciones pueden generarse por muchos factores como fallas de los equipos o errores operacionales. El modelo del queso suizo sostiene que los sistemas complejos, como los de la aviación, están muy bien protegidos con capas de defensas (conocidas

también como “barreras”). Las fallas de un solo punto rara vez traen consecuencias. Las brechas en las defensas de seguridad pueden ser una consecuencia atrasada de las decisiones tomadas en los niveles más altos de la organización, las que pueden permanecer latentes hasta que sus efectos o potencial de daño se activen por determinadas condiciones operacionales (conocidas como condiciones latentes). Bajo dichas circunstancias, las fallas humanas (o “fallas activas”), a nivel operacional actúan para violar las capas finales de la defensa de seguridad. El modelo de Reason propone que todos los accidentes incluyen una combinación de fallas activas y condiciones latentes. (p.2-6)

Los incidentes solo ocurren cuando todos los agujeros en las barreras se alinean y permiten que la amenaza pase a través de todos ellos, es decir, todas las barreras relevantes fallan simultáneamente. Materializando el modelo de Reason, combinando la contribución de las fortalezas de varias técnicas de seguridad y los factores humanos y organizacionales, los diagramas Bowtie facilitan la comprensión de cómo la fuerza de trabajo está expuesta a los peligros y cómo los gestiona según el propio rol que le compete. A continuación, en la figura 9 se muestra de manera gráfica y general simplificada la ubicación de cada uno de los componentes que hacen parte de la metodología Bowtie.

Figura 9

Diagrama General Metodología de Análisis de Corbatín, Bowtie



Nota: Muestra general de componentes de metodología Bowtie. Reproducida de Software BowTie XP, CGE Risk Manangement Solution, 2022.

4. Evaluación de riesgos

Para poder proteger los activos y mitigar o eliminar los escenarios indeseables, se hace necesario realizar una evaluación de riesgo de las consecuencias identificadas, esta evaluación se hace a través de una matriz de evaluación de riesgos, que para efectos de este trabajo de grado se utiliza la propuesta de la Organización de Aviación Civil Internacional en su documento Doc. 9859 Manual de Gestión de Seguridad Operacional Tabla 8, en ella, se obtiene un índice a través de un valor alfanumérico mediante la combinación de resultados de las evaluaciones, es decir, el número de veces que ha ocurrido el evento en un determinado tiempo *vs* la severidad y/o consecuencias del mismo. Dicha matriz se aplica para determinar la tolerabilidad del riesgo el cual es definida en la Tabla 11.

4.1 Evaluación de la Probabilidad del Riesgo

La probabilidad del riesgo se define como la posibilidad de que un evento pueda suceder, es decir, que ocurra una consecuencia. Para efectos del trabajo se plantea las siguientes preguntas el cual ayudara a facilitar a determinar dicha probabilidad.

- ¿Existe un historial de sucesos similares al que se ha considerado o este es un suceso aislado?
- ¿Qué otros equipos o componentes del mismo tipo presentan problemas similares?
- ¿Cuántos miembros del personal siguen los procedimientos en cuestión, o están sujetos a ellos?
- ¿Durante que porcentaje de la operación se utiliza el equipo o se realiza la actividad?

En la tabla 8 muestra la clasificación de probabilidad de riesgos utilizada para la evaluación, la tabla incluye cinco categorías para denotar la probabilidad relacionada con un evento o consecuencia, la descripción de cada categoría y valor asignado a cada una.

Tabla 8*Clasificación de la Probabilidad*

Probabilidad	Significado	Valor
Frecuente	Ocurre cada 1000 aterrizajes (ha ocurrido frecuentemente)	5
Ocasional	Ocurre cada 10.000 aterrizajes (ha ocurrido con poca frecuencia)	4
Remoto	Ocurre cada 100.000 aterrizajes, es poco probable que ocurra, pero no imposible (rara vez ha ocurrido)	3
Improbable	Ocurre cada 1`000.000 aterrizajes, es muy poco probable que ocurra (no se sabe que haya ocurrido)	2
Sumamente Improbable	Ocurre cas 10`000.0000 aterrizajes Es casi inconcebible que el suceso ocurra	1

4.2 Evaluación de la Severidad del Riesgo

Una vez contemplada la evaluación de la probabilidad de riesgo, sigue evaluar la severidad del riesgo, teniendo en cuenta las posibles consecuencias relacionadas con el peligro y evento seleccionado. La severidad del riesgo se define como el grado de daño que puede tener la consecuencia o posibles resultados una vez materializado el evento principal del peligro identificado. La evaluación de la severidad considera los peores escenarios de todas las posibles consecuencias relacionadas con el peligro en términos de muertes o lesiones y afectación o daños en la aeronave que podrían ocurrir.

En la tabla 9 muestra la clasificación de severidad, la descripción de cada categoría y valor asignado a cada una.

Tabla 9*Clasificación de la Severidad*

Severidad	Significado	Valor
Catastrófico	<ul style="list-style-type: none"> • Aeronave o equipos destruidos. • Varias muertes. 	A
Peligroso	<ul style="list-style-type: none"> • Gran reducción de los márgenes de seguridad operacional, estrés físico o una carga de trabajo tal que ya no se pueda confiar en que el personal de operaciones realice sus tareas con precisión o por completo. • Lesiones Graves. • Daños importantes al equipo. 	B
Importante	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción importante de los márgenes de seguridad operacional, reducción en la capacidad del personal de operaciones para tolerar condiciones de operaciones adversas, como resultado de un aumento de la carga de trabajo o como resultado de condiciones que afecten su eficiencia. • Incidente grave. • Lesiones a las personas. • Sanciones 	C
Leve	<ul style="list-style-type: none"> • Molestias. • Limitaciones operacionales. • Uso de procedimientos de emergencias. • Incidente leve 	D
Insignificante	<ul style="list-style-type: none"> • Pocas consecuencias. 	E

El nivel de detalle y complejidad de las tablas y matrices debe adaptarse a las necesidades y complejidades particulares de cada organización. También se debe tener presente que las organizaciones pueden incluir criterios tanto cualitativos como cuantitativos.

4.3 Tolerabilidad del riesgo

El índice de riesgo se crea mediante la combinación de resultados de las evaluaciones de probabilidad y severidad que dan como resultado un valor alfanumérico. Las respectivas combinaciones de probabilidad/severidad se muestran en la matriz de riesgo tabla 10, en donde dicha matriz se aplica para determinar la tolerabilidad del riesgo a consideración.

Tabla 10

Matriz de Calor de Riesgo

<i>Probabilidad del riesgo</i>	<i>Severidad del Riesgo</i>				
	<i>Catastrófico A</i>	<i>Peligroso B</i>	<i>Importante C</i>	<i>Leve D</i>	<i>Insignificante E</i>
Frecuente 5	5A	5B	5C	5D	5E
Ocasional 4	4A	4B	4C	4D	4E
Remoto 3	3A	3B	3C	3D	3E
Improbable 2	2A	2B	2C	2D	2E
Sumamente Improbable 1	1A	1B	1C	1D	1E

Los riesgos son evaluados en conceptos de aceptables, tolerables o intolerables. Los riesgos evaluados desde un principio identificados en la región intolerable (roja) resultan inaceptables desde todo punto de vista. La probabilidad o severidad de las consecuencias de los peligros tienen tal magnitud y sus posibles daños representan una amenaza a la operación el cual requiere una medida de mitigación inmediata o la cancelación de la operación.

Tabla 11

Tolerabilidad del Riesgo

<i>Rango de índice del riesgo</i>	<i>Descripción del Riesgo</i>	<i>Medida recomendada</i>
5A, 4B, 5C, 4A, 4B, 3A	INTOLERABLE	Tomar medidas inmediatas para mitigar el riesgo o suspender actividad. Realizar la mitigación de riesgos prioritaria para garantizar que haya controles preventivos o adicionales o mejorados para reducir el índice de riesgo al rango tolerable. Responsabilidad del Gerente General
5D, 5E, 4C, 4D, 4E, 3B, 3C, 3D, 2A, 2B, 2C, 1A	TOLERABLE	Puede tolerarse sobre la base de la mitigación de riesgos. Puede necesitar una decisión de gestión para aceptar el riesgo. Responsabilidad del Director o coordinador de área
3E, 2D, 2E, 1B, 1C, 1D, 1E	ACEPTABLE	Aceptable tal cual. No necesita una mitigación de riesgos posterior.

5. Construyendo el Bowtie

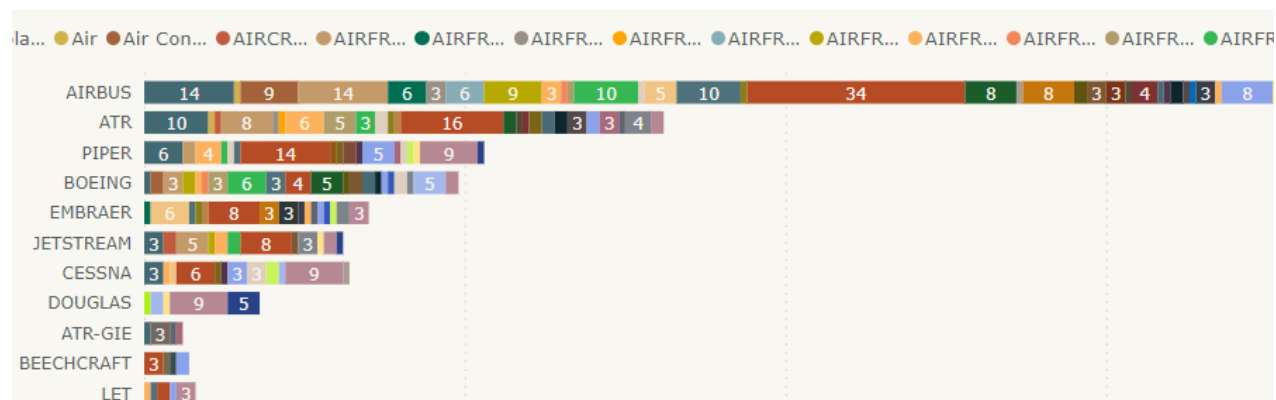
Para dar aplicabilidad y uso de la herramienta de gestión del riesgo análisis del corbatín Bowtie, no hay lineamientos que nos indique el medio para plantearlo y desarrollarlo, puede plantearse de una forma manual gráfica, en una hoja de cálculo excel o hasta utilizar diferentes softwares especializados que se ofrecen hoy en día en el mercado, el cual han desarrollado la ejecución de esta herramienta de una manera mucho más clara, concisa y amigable, facilitando el análisis de causalidad del riesgo a tratar, para el desarrollo del proyecto de grado se utilizará el software BowTie XP el cual es de propiedad de la compañía neerlandesa CGE Risk Management Solution versión 10.4.3. el cual para acceder a los servicios y soporte se tendrá que disponer de una licencia paga.

La construcción del Bowtie se inicia con la identificación del evento top, que normalmente están determinados con los riesgos más altos definidos a partir de la identificación de peligros y evaluación del riesgo en términos de consecuencia y severidad, para ello, utilizando la metodología de identificación de peligros reactiva, el cual involucra el análisis de resultados o sucesos pasados (Organización de Aviación Civil Internacional, 2018) y junto con la Dirección Técnica de Investigación de Accidentes de la (Aeronáutica Civil de Colombia, 2022) se realiza la verificación y validación de informes e históricos de incidentes y accidentes, también reportes de falla o mal funcionamiento a través de los informes estadísticos de reporte MF, datos reportados por la Industria aeronáutica de Colombia (Aeronáutica Civil de Colombia, 2022) , que ha tenido una aeronave de PBMO de menos de 5700 Kg, así mismo, apoyado también en informes de diferentes Autoridades de Aviación Civil en la región.

Luego de verificar la información tal como se observan en algunos apartes en las Figuras 10 y 11, se obtiene que desde el año 2018, una de las marcas y modelo de aeronave que más ha presentado reportes de falla o mal funcionamiento en aeronaves de menos de 5700 Kg de PBMO ha sido el Piper PA-34-200T Seneca II, arrojando 26 eventos de los cuales 13 han sido únicamente relacionado con el conjunto del tren de aterrizaje, equivalente a un 50% del total de eventos presentados, razón por la cual se hace importante la elección de esta sistema en esta aeronave para desarrollo se este proyecto de grado con el fin de evaluar y mitigar el riesgo existente.

Figura 10

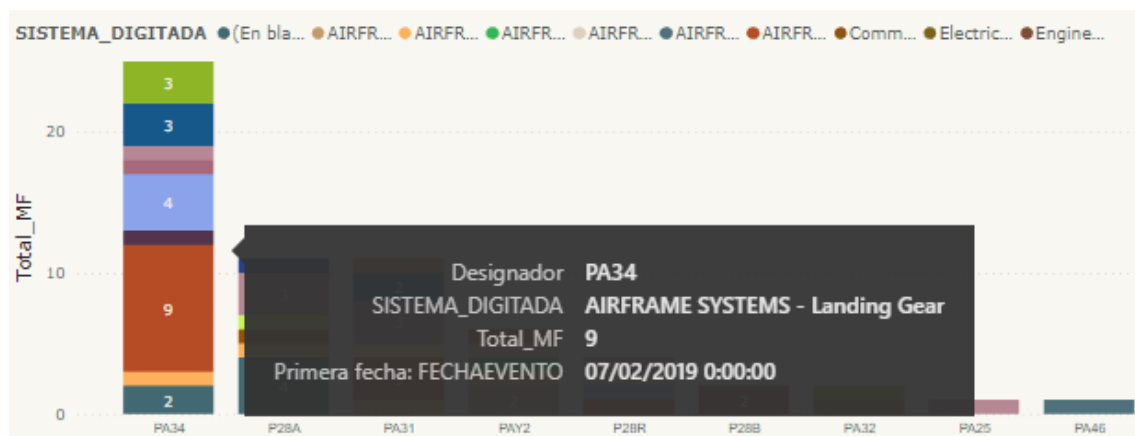
Numero de Fallas o Mal Funcionamiento por Marca de Aeronave



Nota: Adaptada de informes estadísticos de reporte MF, datos reportados por la industria aeronáutica de Colombia desde 2018, por Aeronáutica Civil de Colombia (2022), <https://powerbi.aerocivil.gov.co/reportspbi/powerbi/GPA/MF>.

Figura 11

Número de Fallas o Mal Funcionamiento en Piper PA-34-200T



Nota: Adaptada de informes estadísticos de reporte MF, datos reportados por la industria aeronáutica de Colombia desde 2018, por Aeronáutica Civil de Colombia (2022), <https://powerbi.aerocivil.gov.co/reportspbi/powerbi/GPA/MF>

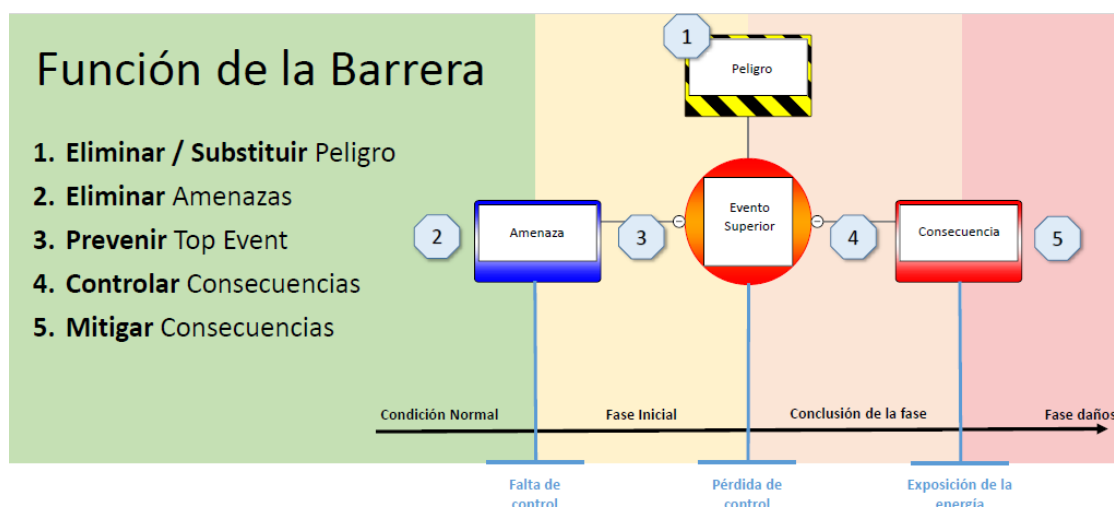
En complemento a la información obtenida por la Dirección Técnica de Investigación de Accidentes, también se obtiene información de reportes que se han originado durante la operación diaria de la aeronave de operadores que tienen en servicio más de una aeronave de este modelo y con horas de vuelo que superen las 60 h/mes, reportes que se encuentran listados en el apéndice 4.

Una vez seleccionado el evento de interés para aplicar la metodología de gestión de riesgo Bowtie se procede a discriminar las causas inmediatas o amenazas que pueden llegar a desatar o liberar el peligro asociado al evento top (falla / mal funcionamiento del conjunto tren de aterrizaje) y tengan consecuencias no deseables, determinando las consecuencias que dicho evento tendrá sobre las áreas a diferentes niveles de interés de una organización de aviación civil como son en personas, activos, imagen, etc ver figura 27 construcción del Bowtie.

Con las amenazas y consecuencias definidas frente al evento top, se procederá con la validación de diferentes barreras las cuales pueden ser preventivas que eviten la presencia o generación de la amenaza y reactivas que reducirán el impacto de la consecuencia generado por la materialización del evento top, lo anterior, conlleva a que dichas barreras sean caracterizadas en su estructura y valoradas para determinar si son suficientes en la función de prevenir las causas y mitigar las consecuencias, en la figura 12 se muestra la funcionalidad que desempeña la barrera dependiendo de la ubicación dentro del esquema de la metodología Bowtie

Figura 12

Función de la Barrera



Nota: Función de la Barrera, Reproducida de cstconcultoria (2021).

Con las barreras se desarrollará la gestión asociada al evento top ya definido, los cuales podrán determinar indicadores de desempeño, efectividad, confiabilidad, etc.; con el objetivo de medir su eficiencia y eficacia y poder determinar si son suficientes para llevar los riesgos asociados a niveles tolerables (ALARP) o por el contrario deben reforzarse los controles sobre dichas barreras.

Para iniciar con el proceso de gestión, se deberá hacer la pregunta ¿Qué tenemos establecido para asegurarnos de que esto no suceda? Debido a la particularidad de la actividad que corresponde a aterrizar una aeronave, es imposible pensar en una eliminación o sustitución del peligro, ya que el peligro establecido es una actividad de rutina, normal e inherente de una aeronave cuando realiza un vuelo que es despegar volver aterrizar, por lo que el criterio estará enfocado en barreras que eliminen la amenaza, prevengan el evento top, controlen o mitiguen la consecuencia cuando el evento top se materialice, es decir, que exista como tal una falla o mal funcionamiento del conjunto del tren de aterrizaje del avión Piper PA-34-200T Seneca II.

De acuerdo con lo anterior, se propone caracterizar cada una de las barreras y dependiendo de su función que desempeñen dentro de la gestión del riesgo, estarán diferenciadas por la categoría, tipo y efectividad; en las siguientes descripciones dadas a cada una de las barreras se muestra la figura de cómo fueron creadas y caracterizadas, así mismo, como las muestra el software Bowtie XP.

5.1 Categoría de la Barrera

Con la categorización de la barrera se busca determinar la ubicación correcta dentro del Bowtie y el destino de su acción, estas son y se representan en el Bowtie de la siguiente manera:

5.1.1 Eliminación de la Amenaza

Figura 13

Categoría de barrera de eliminación de la amenaza

Code	B-EA	
Name	Eliminacion de la amenaza	
Description	Esta barrera actua sobre la amenaza y la elimina (editar en ventana pop up)	
Colors and pattern		

5.1.2 Previene Evento Top

Figura 14

Categoría de barrera de prevención del evento top

Code	B-PET	
Name	Previene Evento Top	
Description	Esta barrera evita que el evento Top Suceda (Una vez la amenaza ocurra) (editar en ventana pop up)	
Colors and pattern		

5.1.3 Controla la Consecuencia.

Figura 15

Categoría de barrea que controla la consecuencia

Code	B-CC	
Name	Barrera Controla la Consecuencia	
Description	Esta barrera controla la consecuencia (editar en ventana pop up)	
Colors and pattern		

5.1.4 Reduce el Impacto de la Consecuencia.

Figura 16

Categoría de barrera que reduce el impacto de la consecuencia

Code	B-MIC		
Name	Barrera Mitiga el Impacto de la Consecuencia		
Description	Esta barrera reduce el impacto de la consecuencia		
(editar en ventana pop up)			
Colors and pattern		Choose...	

Con las categorías de las barreras se pueden determinar si su ubicación en el Bowtie es correcta y el destino de su acción.

5.2 Tipo de Barrera

Otra caracterización de una barrera va a ser el tipo de barrera, con la cual se interpretará la forma en que se detecta, decide y actúa frente a los eventos no deseados, estas barreras son y se representan en el Bowtie de la siguiente manera:

5.2.1 De Reglamentación

Este tipo de barrera es requerida cuando sea necesario implementar procedimientos y guías administrativas, operacionales y de mantenimiento aplicables, en cumplimiento de requisitos establecidos en la norma aeronáutica, fabricante de aeronaves y componentes como propias de la operación.

Figura 17

Tipo de Barrera de Reglamentación

Código	REGL	
Nombre	Reglamentacion	
Descripcion	Este tipo de barrera es requerida cuando sea necesario implementar procedimientos y guías administrativas, operacionales y de mantenimiento aplicables, en cumplimiento de requisitos	
(editar en ventana pop up)		
Colors and pattern		

5.2.2 De competencias

Este tipo de barrera es requerida cuando una persona que ejecute una actividad operacional o de mantenimiento tenga la combinación de pericia, conocimientos y actitudes para desempeñar una tarea ajustándose a una norma y/o procedimiento prescrito.

Figura 18

Tipo de Barrera de Competencias

Código	COMP	
Nombre	Competencia	
Descripcion	Este tipo de barrera es requerida cuando una persona que ejecute una actividad operacional o de mantenimiento tenga la combinación de pericia, conocimientos y actitudes para	
(editar en ventana pop up)		
Colors and pattern		

5.2.3 Tecnológica

Este tipo de barreras es requerido para facilitar de una forma más efectiva y eficiente el trabajo y ejecución de una actividad operacional y/o mantenimiento con la ayuda de equipos, herramientas y materiales.

Figura 19*Tipo de Barrera Tecnológica*

Código	<input type="text" value="TECH"/>	
Nombre	<input type="text" value="Tecnologica"/>	
Descripcion	<input type="text" value="Este tipo de barreras es requerida para facilitar de una forma más efectiva y eficiente el trabajo y ejecución de una actividad operacional y/o mantenimiento con la ayuda de equipos y"/>	
	(editar en ventana pop up)	
Colors and pattern	<input type="color" value="#0000FF"/> <input type="text" value="Example Text"/> <input type="button" value="Choose..."/>	

5.3 Efectividad de la Barrera

Por último y como caso particular para el presente plan de gestión de riesgo, se determina la característica de la efectividad de la barrera, el cual estará dada en términos de efectividad desconocida, buena y pobre.

5.3.1 Desconocida

La barrera establecida es incierta generando incertidumbre de cómo va a actuar de acuerdo con el comportamiento y acciones de los diferentes entes que actúan sobre la misma.

Figura 20*Efectividad desconocida de la barrera*

Codigo	<input "="" type="text" value="?"/>	
Nombre	<input type="text" value="Desconocida"/>	
Descripcion	<input type="text" value=""/>	
	(editar en ventana pop up)	
Colors and pattern	<input type="color" value="#FFFF00"/> <input type="text" value="Example Text"/> <input type="button" value="Choose..."/>	

5.3.2 Buena

La barrera establecida ayuda a controlar y se comporta bien evitando que la amenaza continúe la materialización del evento top.

Figura 21

Efectividad buena de la barrera

The screenshot shows a web form for configuring a barrier. The form fields are:

- Codigo:** +
- Nombre:** Buena
- Descripcion:** (empty text area with a scroll bar and a link [\(editar en ventana pop up\)](#))
- Colors and pattern:** A color selection area with a green swatch, the text 'Example Text', and a 'Choose...' button.

 To the right of the form is a diagram of a barrier. It consists of a horizontal line with a green vertical bar on top. Below this is a rectangular box labeled 'Nuevo/a Barrier' with a black bar at the bottom left corner.

5.3.3 Pobre

La barrera establecida no controla en gran parte la amenaza existente, siendo poca efectiva para evitar para que la amenaza continúe hasta materializar el evento top.

Figura 22

Efectividad pobre de la barrera

The screenshot shows a web form for configuring a barrier. The form fields are:

- Codigo:** -
- Nombre:** Pobre
- Descripcion:** (empty text area with a scroll bar and a link [\(editar en ventana pop up\)](#))
- Colors and pattern:** A color selection area with an orange swatch, the text 'Example Text', and a 'Choose...' button.

 To the right of the form is a diagram of a barrier. It consists of a horizontal line with an orange vertical bar on top. Below this is a rectangular box labeled 'Nuevo/a Barrier' with a black bar at the bottom left corner.

Una vez definidos los criterios de caracterización de la Barreras, es necesario definir el criterio de requerimientos para barreras, las cuales deben estar alineadas con las categorías de las amenazas, riesgos asociados al Evento Top y los riesgos de las Consecuencias inmediatas a los eventos Top.

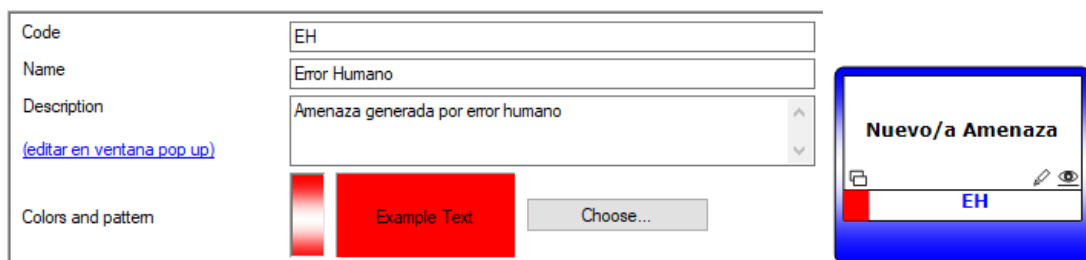
5.4 Caracterización de las amenazas


La caracterización de las barreras estará dada, para efectos de este análisis, de la proveniencia de la Amenaza, la cual puede ser de un Error Humano, una Falla Mecánica, un evento externo o Ambiental y operación concurrente

5.4.1 Por error humano

Figura 23

Caracterización de la amenaza por error humano



Code	EH
Name	Error Humano
Description	Amenaza generada por error humano
(editar en ventana pop up)	
Colors and pattern	 Example Text <input type="button" value="Choose..."/>

Nuevo/a Amenaza

EH

5.4.2 Por falla mecánica

Figura 24

Caracterización de la amenaza generada por falla mecánica

Código	FM
Nombre	Falla Mecanica
Descripción	Amenaza generada por una falla mecanica
	(editar en ventana pop up)
Colors and pattern	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: yellow; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Example Text</div> <div style="margin-left: 10px; border: 1px solid gray; padding: 2px;">Choose...</div> </div>

Nuevo/a Amenaza

FM

5.4.3 Externa o ambiental

Figura 25

Caracterización de la amenaza por causa externa o ambiental

Código	EA
Nombre	Amenaza externa o ambiental
Descripción	Amenaza generada por un ente externo o ambiental
	(editar en ventana pop up)
Colors and pattern	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: orange; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Example Text</div> <div style="margin-left: 10px; border: 1px solid gray; padding: 2px;">Choose...</div> </div>

Nuevo/a Amenaza

EA

5.4.4 Por operación concurrente

Figura 26

Caracterización de la amenaza generada por la operación concurrente

Código	OC
Nombre	Operacion Concurrente
Descripción	Amenaza generada por la operacion concurrente
	(editar en ventana pop up)
Colors and pattern	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: gray; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Example Text</div> <div style="margin-left: 10px; border: 1px solid gray; padding: 2px;">Choose...</div> </div>

Nuevo/a Amenaza

OC

A continuación, en la tabla 12 se muestra de manera resumida la caracterización dada a las amenazas y barreras, con su respectivo color convencional definido, el cual se refleja en el diagrama de Bowtie:

Tabla 12

Caracterización de Amenazas y Barreras en Diagrama Bowtie

COMPONENTE	CARACTERIZACION	
AMENAZAS	Por error Humano (EH)	
	Por falla mecánica (FM)	
	Externa o ambiental (EA)	
	Por operación concurrente (OC)	
BARRERAS	CATEGORIA	Eliminación de la Amenaza (B-EA)
		Previene el Evento Top (B-PT)
		Controla la Consecuencia (B-CC)
		Reduce el impacto de la Consecuencia (B-MIC)
	TIPO	De Reglamentación (REGL)
		De Competencias (COMP)
		Tecnológica (TECH)
	EFFECTIVIDAD	Desconocida (?)
		Buenas (+)
		Pobre (-)

Con lo anteriormente expuesto y con el apoyo de una herramienta y metodología ya definida que es la del Bowtie, se puede dar cumplimiento a las directrices establecidas en la norma ISO 31000 y gestionar adecuadamente los riesgos asociados a las fallas o mal funcionamiento del tren de aterrizaje del Piper PA-34-200T.

El objetivo principal de la evaluación y gestión de riesgos es poder identificar la idoneidad del tipo de barreras existentes (Competencia, Reglamentación y Tecnológicas) e identificar, donde son necesarias barreras adicionales, es por ello, que para evaluar y verificar las barreras existentes y/o adicionales requeridas para prevenir el evento principal, se considera dos escenarios, catalogados como un antes (primer escenario) y un después (segundo escenario):

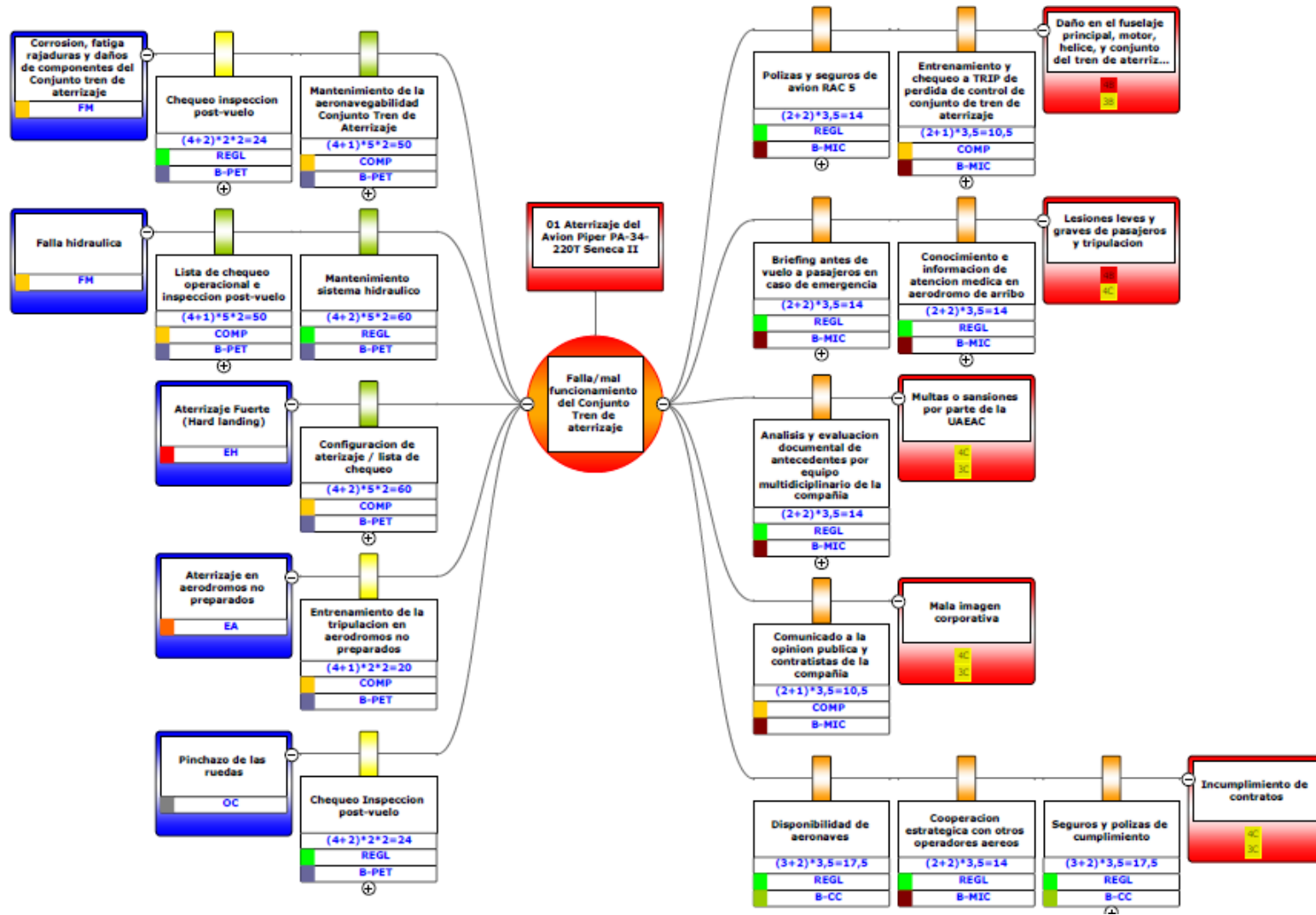
- Primer escenario: Verificación inicial de amenazas, barreras existentes y sus consecuencias sometidas a una calificación de barreras preventivas y reactivas como de evaluación de riesgos, en los diferentes operadores de aeronaves Piper PA-34-200T Seneca II en su operación habitual, es decir, lo que inicialmente se identificó en los operadores. Figura 27.
- Segundo escenario: Evaluación y análisis de las amenazas presentes, como de las barreras adicionales, requeridas y aplicables a las ya identificadas del primer escenario según criterios de calificación con su respectivo factor de escalación aplicable y sus consecuencias sometidas a una evaluación de riesgos, en los operadores de aeronaves Piper PA-34-200T Seneca II.

Figura 30

En el apéndice 1, muestra el diagrama de flujo establecido para plantear y desarrollar la metodología de análisis Bowtie.

Figura 27

Bowtie escenario 1 Falla / Mal funcionamiento Conjunto Tren de Aterrizaje



Dentro del ejercicio de analizar la prevención de que ocurran ciertos eventos se hace necesario plantear preguntas como:

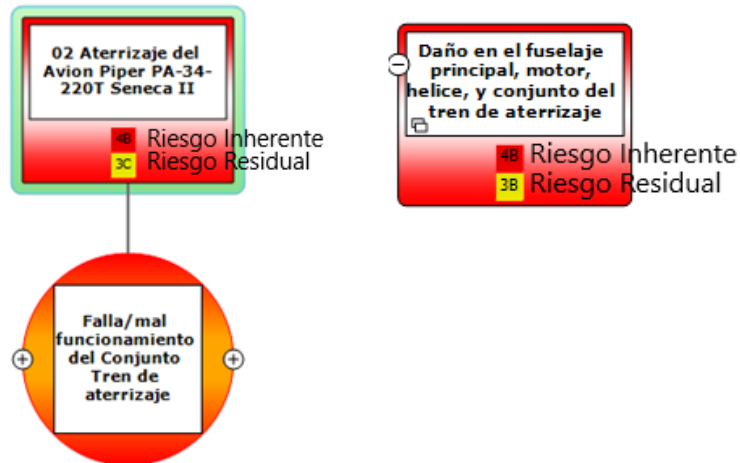
- ¿Se pueden eliminar las causas?
- ¿Cuáles son las amenazas que puede materializar el evento principal?
- ¿Hay una mejor manera?
- ¿Cómo se puede prevenir el Evento principal?
- ¿Qué tan efectivas son las barreras?

Con estos cuestionamientos y con la caracterización de barreras, amenazas y consecuencias sometidas a una evaluación de riesgos, se hace consecuente actualizar el BowTie del primer escenario. Figura 27 y verificar si se deben generar mejoras en las barreras o no y determinar el criterio de mejora de ser necesario.

Como resultado de la evaluación de riesgos del evento principal y de cada una de las consecuencias de los dos escenarios presentes se tienen como resultado un riesgo inherente, el cual corresponde a la no consideración de barreras o defensas para su materialización y un riesgo residual, que corresponde a la evaluación de la inclusión de barreras o defensas que impidan la eliminación o mitigación de su materialización.

Figura 28

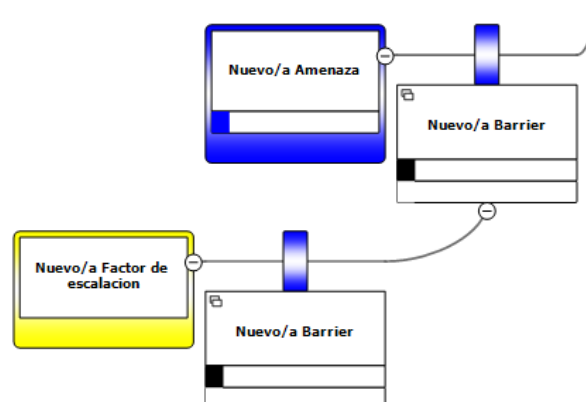
Índice de Riesgo Inherente y Residual del Evento Top y una Consecuencia



Los valores del riesgo residual deberían llegar a valores aceptables o tolerables, pero en algunos casos se observa que no se reduce lo suficiente, lo anterior, obedece principalmente a dos motivos, en primer lugar, que las barreras existentes no sean suficientes para la reducción del riesgo esperado, y en segundo lugar, que las barreras tengan deficiencias en la forma como se esperan que actúan, generando degradación en su acción. Esta degradación de las barreras se conoce como factores de escalamiento.

Figura 29

Factor de Escalamiento de una Barrera



Al identificar características que debiliten una barrera se determinaran como factores de escalamiento, no obstante, estos factores de escalamiento pueden y deben tener medidas para no degradar la barrera, por lo que deberán generarse acciones pertinentes para que no se mitiguen esos efectos de debilitamiento. Para este caso específico, se determina una valoración numérica de las barreras, aun manteniendo el concepto cualitativo, pero con el objetivo de facilitar la determinación del criterio de control mínimo necesario para reducir los riesgos a través de la barrera. En las tablas 13, 14 y 15, se muestra la valoración numérica de las barreras según su categoría, tipo y efectividad.

Tabla 13

Clasificación Barrera según Categoría

Categoría de la Barrera	Valoración Preventiva	Valoración Mitigación
Eliminación de la Amenaza	5	N/A
Previene el Evento Top	4	N/A
Controla la Consecuencia	N/A	3
Reduce el impacto de la Consecuencia	N/A	2

Tabla 14

Clasificación de Barrera según Tipo

Tipo de Barrera	Valoración Preventiva	Valoración Mitigación
De Tecnología	3	3
De Reglamentación	2	2
De competencia	1	1

Tabla 15*Clasificación de Barrera según Efectividad*

Efectividad de la Barrera	Valoración Preventiva	Valoración Mitigación
Desconocida	2	2
Pobre	3,5	3,5
Buena	5	5

La valorización de la barrera se obtiene sumando la calificación de la categoría con el tipo y multiplicándola por la efectividad de la barrera. Si la barrera es preventiva, es decir evita la amenaza o previene el evento top, tendrá un factor adicional de 2,

Realizando el cálculo aritmético, y como guía para evaluar todas las barreras, se tiene que para la barrera preventiva establecida en el primer escenario Bowtie (Chequeo Inspección post-vuelo) se tiene $(4+2)*2*2=24$; donde 4 corresponde a la clasificación de la barrera el cual es prevenir el evento top, sumado a 2 el cual corresponde al tipo de barrera que es de reglamentación, multiplicándola por 2 el cual corresponde a la efectividad desconocida de la barrera, como la barrera que se evalúa en este caso es preventiva tendrá un factor adicional de 2.

Una vez calculadas las calificaciones de las barreras por cada brazo del Bowite primer escenario, se verificará que alcance la siguiente puntuación, para el control preventivo del evento top una calificación mínima de 80 puntos y para el control de mitigación del evento top una calificación mínima de 35 puntos, de lo contrario será necesario reevaluar adicionando barreras o mejorar su categoría, tipo y/o efectividad.

Con los criterios definidos para la necesidad de barreras, enfocados en la reducción de riesgos no tolerables, se califica cada barrera y se vuelve a evaluar el riesgo residual. De esta actividad se identificaron los brazos que requieren reforzar o incrementar más barreras. En la tabla 16 se muestra los resultados de evaluación por cada brazo de las amenazas como de las consecuencias del Bowtie primer escenario, con su respectiva calificación faltante de acuerdo con criterio de puntuación mínima.

Tabla 16

Calificación Barreras Primer Escenario Bowtie

Riesgo Primer Escenario	Riesgo Inherente	Riesgo Residual	Categoría Amenaza	Calificación Barreras 1er Escenario Bowtie	Calificación Faltante
Falla/ Mal funcionamiento del Conjunto Tren de Aterrizaje	4B	3C			
AME. Corrosión, fatiga, rajaduras y daños de componentes del conjunto tren de aterrizaje			FM	74	6
AME. Falla Hidráulica			FM	110	
AME. Aterrizaje Fuerte (Hard Landing)			EH	60	20
AME. Aterrizaje en aeródromos no preparados			EA	20	60
AME. Pinchazo de las ruedas			OC	24	56
CONS. Daño en el fuselaje principal, motor, hélice, y conjunto del tren de aterrizaje.	4B	3B		24,5	10,5
CONS. Lesiones leves y graves de pasajeros y tripulación.	4B	4C		28	7
CONS. Multas o Sanciones por la UAEAC	4C	3C		14	21
CONS. Mala imagen corporativa	4C	3C		10,5	24,5
CONS. Incumplimiento de contratos	4C	3E		49	

Nota: AME (Amenaza), CONS (Consecuencia)

De acuerdo a la calificación de cada uno de los brazos tanto de las barreras preventivas como de las barreras reactivas del primer escenario del Bowtie figura 27, se identificaron ocho riesgos de amenazas y consecuencias sujetos a refuerzos de barreras, dichos refuerzos se realizan bien sea modificando su caracterización o adicionando barreras a las ya existentes; en la tabla 17, se evalúa y determinan tareas y actividades por hacer con el objetivo de definir la mejor alternativa para que se logre la mitigación del riesgo a niveles tolerables a fin de volver a valorar la puntuación y alcance la mínima calificación deseada según sea su criterio.

A las calificaciones realizadas en los diferentes brazos de barreras pueden presentarse que no alcance la calificación mínima a falta de algunos puntos como lo muestra la tabla 16. Aun así, por estar tan cercano de la puntuación mínima del criterio es permitido hasta máximo 5 puntos de la calificación mínima, no obstante, dicho riesgo y barreras son sometidas a seguimiento por parte de la organización con el fin de verificar la efectividad de las barreras planteadas.

Tabla 17*Tareas y Calificación de Barreras Adicionales Segundo Escenario Bowtie*

Riesgos AME (Amenazas) CONS (Consecuencia)	Riesgo Inherente	Riesgo Residual	Categoría Amenaza	Calificación Barreras 1er Escenario Bowtie	Calificación Faltante	Calificación Barreras 2do Escenario Bowtie	Tarea
Falla/ Mal funcionamiento del Conjunto Tren de Aterrizaje	4B	3C					
AME. Corrosión, fatiga, rajaduras y daños de componentes del conjunto tren de aterrizaje			FM	74	6	116	Si bien la calificación faltante no se encuentra alejada del mínimo requerido, es considerable agregar la actividad de control y seguimiento de reportes que se han originado en el Conjunto tren de aterrizaje (incrementa 42 pts), esto nos ayudara a establecer y coleccionar información de modos de fallas de acuerdo con la operación, esta nueva actividad es solicitada incluso por reglamento (análisis y vigilancias continua) de acuerdo con RAC. Así mismo se considera modificación (antelación) de algunas frecuencias de inspección a 50 h al conjunto (apéndice 2), como de realización de inspección NDT (tintas penetrantes y partículas magnéticas)
AME. Aterrizaje Fuerte (Hard Landing)			EH	60	20	104	<ol style="list-style-type: none"> 1. Establecer a nivel operacional unas SOP (Procedimientos estándares operacionales) en relación con condiciones de aeródromos, condiciones climáticas y vientos de aeródromo de destino (incremento 24 pts). 2. Se considera a través de la dirección de operaciones establecer comunicado a todas las tripulaciones de la empresa en razón a comunicar a la dirección de mantenimiento el evento de presentar un aterrizaje fuerte en cualquier aeródromo, para posterior verificación detallada por parte del personal técnico. (incremento 60 pts).

AME. Aterrizaje en aeródromos no preparados			EA	20	60	104	<ol style="list-style-type: none"> 1. Establecer a nivel operacional unas SOP (Procedimientos estándares operacionales) en relación con condiciones y estado de superficie en aeródromos no preparados (incremento 24 pts). 2. Establecer una evaluación y análisis de riesgos asociados en aeródromos de llegada, teniendo en cuenta, seguridad, cerramiento, longitud, condiciones climáticas y de superficie y FOD (Foreing Objets Damage) (incremento 60 pts)
AME. Pinchazo de las ruedas			OC	24	56	83	<ol style="list-style-type: none"> 1. A través de entrenamiento y calificación operacional enfatizar a la tripulación sobre la importancia de evitar aterrizajes fuertes, corregir maniobras como sean necesarias a cargo de los instructores. (incremento 35 pts). 2. Llevar un control estadístico de números de aterrizaje vs tripulación asignada vs aeródromo, con el fin de identificar y determinar tendencias en aeronaves que tienen temprano cambio de ruedas. (incremento 24 pts).
CONS. Daño en el fuselaje principal, motor, hélice, y conjunto del tren de aterrizaje.	4B	3B		24,5	10,5	42	Modificación de programa de entrenamiento a tripulaciones con el fin de establecer en sesión de entrenamiento chequeo de emergencia en condiciones de aterrizajes atípicas en simulador (incremento 17,5 pts)
CONS. Lesiones leves y graves de pasajeros y tripulación.	4B	4C		28	7	38,5	Entrenamiento a la tripulación en primeros auxilios y condiciones críticas. (incremento 10,5 pts)
CONS. Multas o Sanciones por la UAEAC	4C	3C		14	21	35	<ol style="list-style-type: none"> 1. De ser necesario contratación externa de equipo técnico y jurídico para atender las posibles sanciones de la UAEAC. (incremento 10,5 pts) 2. En caso de sanción acogerse a sanción anticipada para obtener beneficios de pagos. (Incremento 14 pts)
CONS. Mala imagen corporativa	4C	3C		10,5	24,5	28	Propaganda y promoción de operación y buenas prácticas de mantenimiento por redes sociales (Incremento 17,5 pts) Pendiente de posterior evaluación de efectividad de la barrera.

Las tareas buscaran que las calificaciones de las barreras brinden la seguridad necesaria para alcanzar el riesgo aceptable, sin embargo, las barreras al tener un factor de escalamiento pueden perder efectividad, por lo que se hace necesario considerar dichos factores de escalamiento. En nuestro análisis del segundo escenario Bowtie, se plantea 18 factores de escalamiento principales en las diferentes barreras planteadas por lo que se determina actividades pertinentes con el objetivo de la no incidencia en la degradación de las barreras planteadas.

Tabla 18

Actividades de Factor de Escalamiento para Barreras Preventivas

Riesgo	Barrera	Factor de Escalamiento	Actividad
AME. Corrosión, fatiga, rajaduras y daños de componentes del conjunto tren de aterrizaje	Chequeo Inspección post- vuelo	No legalización en libro de vuelo Insp Post- vuelo	Verificación diaria de legalización en libro de vuelo el cumplimiento de la Insp post-vuelo.
		Difícil acceso a componentes del NLG y MLG	1. Entrenamiento en verificación de elementos críticos del conjunto tren de aterrizaje. 2. Insp. usando espejos de extensión y evidencia fotográfica (Boroscopio) al NLG y MLG
	Mantenimiento de la aeronavegabilidad Conjunto Tren de Aterrizaje	No cumplimiento de servicios de mantenimiento bajo un estándar de calidad	1. Creación de un área o persona asignada para el control de producción y planeación de mantenimiento. 2. Verificar personal TMA licenciado competente. 3. Asegurarse que los datos técnicos de mantenimiento del fabricante estén actualizados 4. Tener buenas facilidades de instalaciones (hangar), bancos de trabajo, control de iluminación, ventilación y humedad. 5. Contar con Herramientas y materiales aeronáuticos de acuerdo con fabricante.
AME Falla hidráulica	Lista de chequeo operacional e inspección post-vuelo	Omisión de chequeo cruzado operacional	Verificar fugas de hidráulico e instrumentos de indicación de presión hidráulica por parte de la tripulación en lista de chequeo para vuelo.

	Mantenimiento sistema hidráulico	Mantenimiento sistema hidráulico	Cumplir con las inspección y servicios de mantenimiento referente al sistema hidráulico
AME. Aterrizaje Fuerte (Hard landing)	Configuración de aterrizaje / lista de chequeo	Omisión de ítems lista de chequeo establecido en el AFM	Cumplimiento por parte de la tripulación de lista de chequeo cruzado. Instalación de cámaras en cabinas de pilotos.
	SOP (Procedimiento estándar operacional)	No consideración y actualización en SOP para aterrazes fuertes	1. Revisión periódica de SOP de acuerdo con operación. 2. Conciencia situacional de la tripulación
	Aviso a mantenimiento por evento de aterrizaje fuerte	No cumplimiento de inspección preliminar y daños ocultos	Cumplimiento de inspección en progreso mantenimiento no rutinario
AME. Aterrizaje en aeródromos no preparados	SOP (Procedimientos estándares operacionales)	No consideración y actualización en SOP para aterrizaje en aeródromos no preparados	Revisión periódica de aeródromos de acuerdo con operación
	Evaluación y análisis de riesgos asociados en aeródromo de llegada	Aterrizaje en aeródromos en malas condiciones	Verificación de certificación por UAEAC del aeródromo de llegada
AME Pinchazo de las ruedas	Evitar aterrizajes fuertes	Ausencia de chequeos operacionales periódicos	Realizar chequeos operacionales con presencia de instructores, con el fin de mejora de actividades de maniobra.
	Chequeo Inspección post-vuelo	No verificación de estado de ruedas y frenos	Entrenamiento sobre ruedas y frenos al personal técnico.

Nota: En la tabla solo se listan las barreras que se le otorgan factor de escalamiento

Tabla 19

Actividades de Factor de Escalamiento para Barreras Reactivas

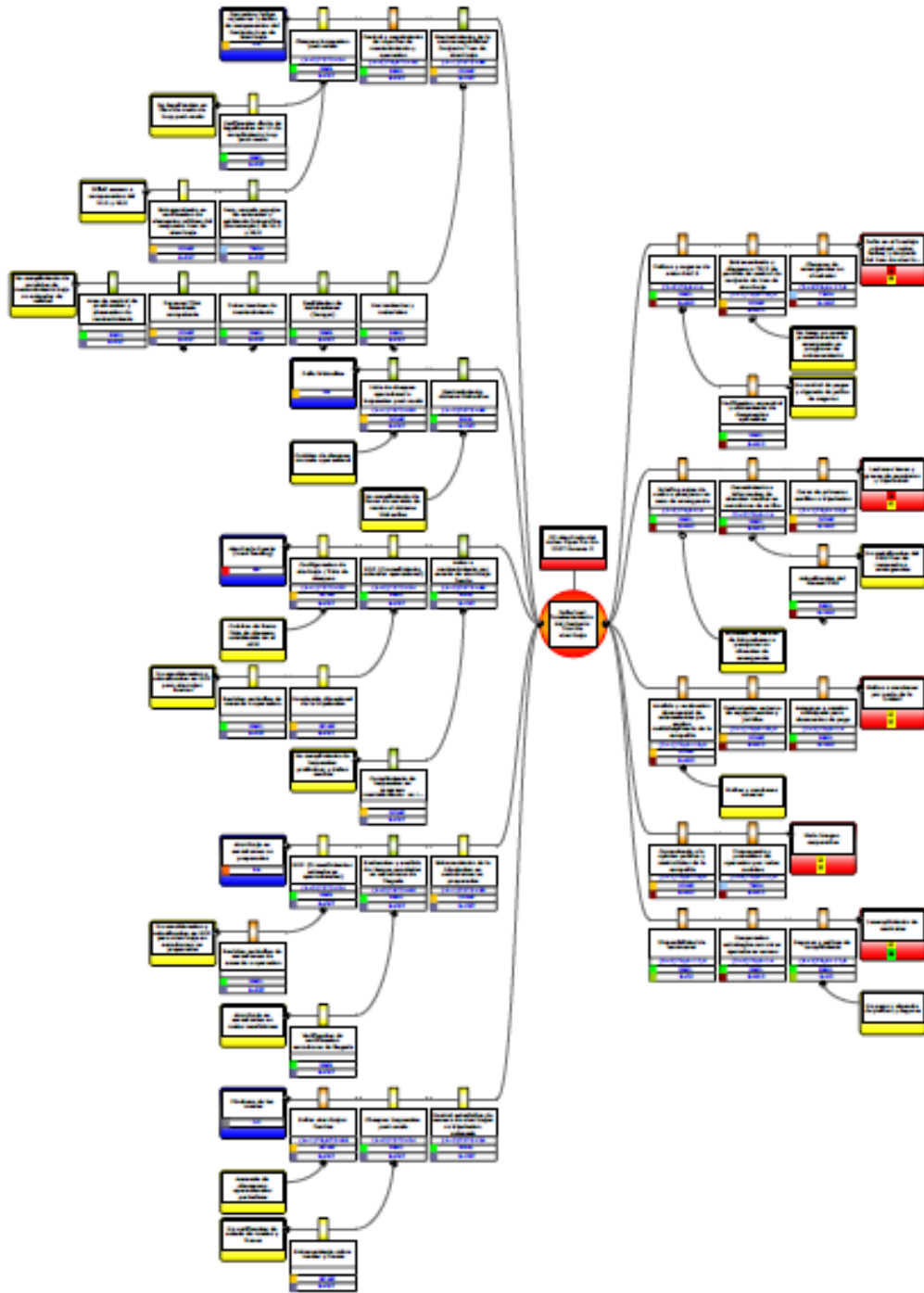
Riesgo	Barrera	Factor de Escalamiento	Actividad
Daño en el fuselaje principal, motor, hélice, y conjunto del tren de aterrizaje	Pólizas y seguros de avión RAC 5	No control de pagos y vigencia de póliza de seguros	Verificación semestral y alistamiento de documentos aplicables

	Entrenamiento y chequeo a TRIP de pérdida de control de conjunto de tren de aterrizaje	No tener en cuenta procedimientos de emergencia en programa de entrenamiento	Verificar en manual de entrenamiento, descripción de situaciones llevadas a simulador de pérdida de control del conjunto de tren de aterrizaje
Lesiones leves y graves de pasajeros y tripulación	Briefing antes de vuelo a pasajeros en caso de emergencia	Ausencia de cartilla de instrucciones a pasajeros en situación de emergencia	Realizar el respectivo briefing a pasajeros para situaciones de emergencia.
	Conocimiento e información de atención medica en aeródromo de arribo	No socialización del PRE (Plan de respuesta a emergencias)	Actualización del Manual PRE de acuerdo con escenarios operacionales
Multas o sanciones por parte de la UAEAC	Análisis y evaluación documental de antecedentes por equipo multidisciplinario de la compañía	Multas y sanciones severas	Auditar el cumplimiento de los servicios de mantenimiento de acuerdo al Manual Programa de Mantenimiento aprobado por la UAEAC
Incumplimiento de contratos	Seguros y pólizas de cumplimiento	No pago y vigencia de pólizas y seguros	Verificar periódicamente la vigencia de las pólizas y seguros y alcances de protección en caso de incumplimientos.

En la figura 30 se muestra el planteamiento del Bowtie del segundo escenario, el cual contiene la actualización de la información y barreras adicionales con los factores de escalamiento aplicables, quedando así disponible para las correspondientes actualizaciones sobre las tareas y actividades a ejecutar, el cual a través de auditorías programadas por el área de aseguramiento de la calidad de la organización verificara la funcionalidad y efectividad de las barreras y poder identificar deficiencias presentadas o acciones de mejora continua en la organización, cerrando así el ciclo Deming (PHVA) con el objetivo de gestionar el riesgo presentado en el conjunto del tren de aterrizaje del Piper PA-34-200T Seneca II.

Figura 30

Bowtie escenario 2 Falla / Mal Funcionamiento Conjunto Tren de Aterrizaje



6. Evaluación Financiera

Con la implementación de este modelo gerencial utilizando la metodología Bowtie en el conjunto del tren de aterrizaje del Piper PA-34-200T, se implementarán barreras preventivas con el objetivo de controlar las causas y no se desate el evento top de falla o mal funcionamiento, es por ello, que en esta evaluación financiera se evaluó y comparó los costos iniciales (primer escenario Bowtie), es decir, las barreras preventivas que inicialmente se identificaron dentro de la investigación del promedio de empresas que operan este tipo de aeronaves vs los costos de la implementación de las nuevas barreras preventivas implementadas (segundo escenario Bowtie), con el objetivo de garantizar la fiabilidad del sistema; así mismo, consideración de ingreso promedio por operación de la aeronave no recibido en las organizaciones, a casusa de la materialización del evento top obtenido por falla o mal funcionamiento del tren de aterrizaje con consecuencias de un incidente o accidente en la aeronave.

6.1 Costos de investigación

Por este concepto se tiene en cuenta la investigación y análisis de información realizada. Para determinar el valor salarial correspondiente se toma como referencia las tarifas de contratación de servicios profesionales de ingeniería establecidas por la Asociación Colombia de Ingenieros (ACIEM), el cual establece que la dirección de un ingeniero escalafón 3 con experiencia no menor a ocho años de ejercicio profesional y cinco años de experiencia en el área, se valora con sueldo equivalente a 13 Salarios Mínimos Mensuales Legales Mensuales Vigentes (SMMLV) el cual por su asesoría se estimó 40 horas y el salario correspondiente al estudiante que realiza la investigación se valora en ocho (SMMLV), ahora bien, el (SMMLV) para el año

2022 es de \$ 1.000.000 que para efectos de cálculos de este proyecto, se realizó desde septiembre de 2021 hasta julio de 2022.

En la tabla 20 se muestra desglosado el presupuesto de investigación de proyecto desde septiembre de 2021 hasta julio 2022 periodo en que se realizó este trabajo de grado, así mismo, los rubros segmentados con su correspondiente fuente de financiación.

Tabla 20

Presupuesto de Investigación del Proyecto

Rubro	2021 (Sep a Dic)		2022 (Ene a Jul)		Costo Real del Proyecto	Fuente de Financiación		
	Planeado	Real	Planeado	Real		UIS	IP	UAEAC
Recurso Humano					\$ 42.133.334			
Director de Proyecto	\$ 3.000.000	\$ 2.166.667	\$ 2.500.000	\$ 2.166.667	\$ 4.333.334	x		
Investigador Principal	\$ 18.000.000	\$ 15.750.000	\$ 22.500.000	\$ 22.050.000	\$ 37.800.000			x
Gastos de Oficina					\$ 780.000			
Papelería y útiles de escritorio	\$ 100.000	\$ 50.000	\$ 100.000	\$ 50.000	\$ 100.000			x
Horas de computador	\$ 300.000	\$ 200.000	\$ 200.000	\$ 180.000	\$ 380.000		x	
Libros, periódicos y revistas	\$ 400.000	\$ 300.000	\$ -	\$ -	\$ 300.000	x		
Viáticos					\$ 1.900.000			
Transporte	\$ 1.600.000	\$ 1.200.000	\$ 700.000	\$ 700.000	\$ 1.900.000			x
Inversión equipos					\$ 8.850.000			
Equipo de cómputo	\$ 2.350.000	\$ 2.350.000	\$ -	\$ -	\$ 2.350.000		x	
Licencia BowTie XP	\$ -	\$ -	\$ 8.000.000	\$ 6.500.000	\$ 6.500.000			x
Capacitación	\$ 410.000	\$ 410.000	\$ 410.000	\$ 410.000	\$ 820.000			x
Imprevistos (15%)			\$ 8.049.500		\$ -			
Costo Total del Proyecto	\$ 26.160.000	\$ 22.426.667	\$ 42.459.500	\$ 32.056.667	\$ 53.663.334			

Nota: Se consideran 3 fuentes de financiación UIS (Universidad Industrial de Santander), IP (Investigador Principal) y UAEAC

(Unidad Administrativa Especial Aeronáutica Civil)

6.2 Actualización y capacitación

Cada operador cuenta con un programa de mantenimiento exigido por la Autoridad Aeronáutica, sin embargo, se evidenció que este no contempla el entrenamiento basado en competencias lo que genera actualizar y reforzar el entrenamiento en las partes críticas del conjunto tren de aterrizaje, para mejorar y actualizar el conocimiento del Técnico de Mantenimiento Aeronáutico TMA, se tiene estimado realizar una inversión de (\$4.000.000), y un entrenamiento de la tripulación por un costo de (\$15.000.000), los cuales se cubrirán al inicio de la ejecución de la implementación de las barreras sugeridas en el desarrollo del proyecto; esta actividad será ejecutada por un Centro de Instrucción autorizado por la Aeronáutica Civil.

6.3 Costo de Inspección

Con el fin de asegurar el correcto funcionamiento del tren de aterrizaje del avión, dentro de las barreras propuestas se estima realizar una inspección post-vuelo (cada vez que el avión aterrice) más detallada de los componentes que pueden ocasionar problemas en el tren de aterrizaje. Teniendo en cuenta que el promedio de vuelo diario de esta aeronave es de 2,7 horas, se parte del supuesto que este tiempo de vuelo corresponda a 2 vuelos diarios, por lo que la inspección post-vuelo se realizará 2 veces al día, conllevando a 80 h/mes.

Con base en lo anterior, se contemplará dentro del costo de inspección tanto el esfuerzo que le toma al TMA (\$18.519) realizar esta actividad, como los que se incurrían en el control de reportes por parte del Ingeniero de un Aeronavegabilidad (\$16.667), los costos de la validación de la lista de chequeo operacional que ejecuta la tripulación (\$26.227), y los costos del control estadístico de aterrizaje vs. tripulación, que ejecuta un Ingeniero de Aeronavegabilidad (\$8.333), cabe aclarar que los costos diarios anteriormente referenciados de las diferentes actividades

ejecutadas por el personal aeronáutico, corresponde a los establecidos en el mercado de las empresas que operaran este tipo de aeronaves.

6.3.1 Costo de mantenimiento programado mensual

En cumplimiento del programa de mantenimiento aprobado por la Autoridad Aeronáutica para esta aeronave, se debe dar cumplimiento de servicios de mantenimiento de 50 h con un costo asociado aproximado de \$ 3.500.00 y servicio de 100 h con un costo asociado aproximado de \$ 4.700.000, teniendo en cuenta que la aeronave opera en promedio 80 h/mes, en los meses 1, 2 y 4 se cumplirían servicios de 50 h y en los meses 2, 3 y 4 se cumpliría los servicios de 100 h, en este último, independiente al cumplimiento de los ítems correspondiente del servicio, se plantea la realización de inspecciones NDT (no destructivas) de tintas de penetrantes y partículas magnéticas en algunos componentes críticos del conjunto del tren de aterrizaje, con un valor aproximado de \$ 630.000.

6.4 Ingresos por horas de vuelo mensuales

El valor de la hora de vuelo es de \$ 3.500.000, en un (1) mes opera en promedio 80 h, con lo que en un (1) mes seria \$ 280.000.000.

6.5 Flujo de caja

Para propósitos de este proyecto, se realizaron dos flujos de caja, el primer flujo de caja, Tabla 21, corresponde al primer escenario Bowtie, relacionando los costos de las tareas de las barreras inicialmente identificadas y el segundo flujo. Tabla 22, corresponde al segundo escenario Bowtie relacionando los costos de tareas y actividades adicionales de las barreras implementadas según criterio evaluado.

Cada uno de los flujos de caja se proyectan a 4 meses, que, en el peor de los escenarios, es el tiempo promedio que emplea un operador en realizar actividades de compras, importación, reparación, mantenimiento y trámites administrativos con la Autoridad Aeronáutica en poner la aeronave de nuevo operativa y aeronavegable en caso de ocurrir un incidente/accidente aéreo relacionado con la falla del conjunto del tren de aterrizaje.

En la tabla 21, se referencia las actividades y costos promedios mínimos que un operador debe incurrir después de tener un incidente/accidente relacionado con el conjunto del tren de aterrizaje.

Tabla 21

Costos de Reparación Post Accidente

Actividades post-accidente	Costos
Inspección por parada subita de los motores.	\$ 40.000.000
Reparación estructural de fuselaje seccion delantera y planos	\$ 20.000.000
Helices nuevas importadas	\$ 120.000.000
Cumplimiento de servicios de mantenimiento 100 h	\$ 4.700.000
TOTAL	\$ 184.700.000

Nota: Los costos relacionados con cada una de las actividades post-accidente pueden variar de acuerdo con el daño sufrido en la aeronave.

En caso de presentarse un accidente con la aeronave y teniendo en cuenta que el tiempo promedio inoperativo es de cuatro meses, el operador tendrá un lucro cesante aproximado de \$1.120.000.000, en contraste, con la inversión de actividades de post accidente con un valor mínimo de \$184.700.000.

Tabla 22*Flujo de Caja - Primer Escenario BowTie*

	Actividad	Rol / Perfil	Costo Diario	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	
Corrosion, fatiga rajaduras y daños de componentes del tren de aterrizaje	Chequeo inspección post-vuelo	TMA	\$ 9.259	\$ 277.778	\$ 277.778	\$ 277.778	\$ 277.778	
	Matenimiento conjunto-tren Aterrizaje	OMA	\$ 350.000	\$ 350.000	\$ 1.410.000	\$ 1.410.000	\$ 1.410.000	
Falla hidraulica	Chequeo inspección post-vuelo	TMA	\$ 9.259	\$ 277.778	\$ 277.778	\$ 277.778	\$ 277.778	
	Lista de chequeo operacional	Tripulación	\$ 7.111	\$ 213.333	\$ 213.333	\$ 213.333	\$ 213.333	
	Mantenimiento Sistema hidráulico	TMA	\$ 350.000	\$ 350.000	\$ 1.410.000	\$ 1.410.000	\$ 1.410.000	
Aterrizaje Fuerte (Hard landing)	Configuracion aterrizaje / lista de chequeo	Tripulación	\$ 7.111	\$ 213.333	\$ 213.333	\$ 213.333	\$ 213.333	
Aterrizaje en aerodromos no preparados	Entrenamiento de la tripulacion	CIAC	\$ 10.000.000	\$ 10.000.000	\$ -	\$ -	\$ -	
Pinchazo de las ruedas	Chequeo Inspeccion post-vuelo	TMA	\$ 9.259	\$ 277.778	\$ 277.778	\$ 277.778	\$ 277.778	
	Auditoría de procesos	Auditor	\$ -	\$ 700.000	\$ -	\$ -	\$ -	
	Entrenamiento Técnico	CIAC	\$ -	\$ 3.000.000	\$ -	\$ -	\$ -	
Total			\$ 10.742.000	\$ 15.660.000	\$ 4.080.000	\$ 4.080.000	\$ 4.080.000	\$ 27.900.000

Nota: Los roles / perfil que se mencionan en la tabla son TMA (Técnico de Mantenimiento Aeronáutico); OMA (Organización de Mantenimiento Aprobada); Tripulación (Pilotos); CIAC (Centro de Instrucción Aeronáutico)

Tabla 23*Flujo de Caja – Segundo Escenario BowTie*

	Actividad	Rol / Perfil	Costo Diario	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	
Corrosion, fatiga rajaduras y daños de componentes del tren de aterrizaje	Chequeo inspección post-vuelo	TMA	\$ 9.259	\$ 277.778	\$ 277.778	\$ 277.778	\$ 277.778	
	Control y seguimiento de reportes	Ing. AIR	\$ 16.667	\$ 500.000	\$ 500.000	\$ 500.000	\$ 500.000	
	Mantenimiento conjunto-tren Aterrizaje	OMA	\$ 350.000	\$ 350.000	\$ 1.410.000	\$ 1.410.000	\$ 1.410.000	
Falla hidraulica	Chequeo inspección post-vuelo	TMA	\$ 9.259	\$ 277.778	\$ 277.778	\$ 277.778	\$ 277.778	
	Lista de chequeo operacional	Tripulación	\$ 7.111	\$ 213.333	\$ 213.333	\$ 213.333	\$ 213.333	
	Mantenimiento Sistema hidráulico	TMA	\$ 350.000	\$ 350.000	\$ 1.410.000	\$ 1.410.000	\$ 1.410.000	
Aterrizaje Fuerte (Hard landing)	Configuracion aterrizaje / lista de chequeo	Tripulación	\$ 7.111	\$ 213.333	\$ 213.333	\$ 213.333	\$ 213.333	
	SOP(Procedimientos estándares Operacion)	Ing de OPE	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000	\$ -	\$ -	\$ -	
	Aviso a mantenimiento aterrizaje fuerte	OMA	\$ 1.410.000	\$ 1.410.000	\$ 1.410.000	\$ 1.410.000	\$ 1.410.000	
Aterrizaje en aerodromos no preparados	SOP(Procedimientos estándares Operacion)	Ing de OPE	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	
	Evaluacion y analisis riesgos aerodromo de llegada	Ing. SMS	\$ 50.000	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000	\$ 1.500.000	
	Entrenamiento de la tripulacion	CIAC	\$ 25.000.000	\$ 25.000.000	\$ -	\$ -	\$ -	
Pinchazo de las ruedas	Chequeo Inspeccion post-vuelo	TMA	\$ 9.259	\$ 277.778	\$ 277.778	\$ 277.778	\$ 277.778	
	Control estadistico aterrizajes vs tripulacion	Ing. AIR	\$ 5.500	\$ 165.000	\$ 250.000	\$ 250.000	\$ 250.000	
	Evitar aterrizajes fuertes	OMA	\$ 350.000	\$ 350.000	\$ 1.410.000	\$ 1.410.000	\$ 1.410.000	
Entrenamientos/ Inspecciones	Auditoría de procesos	Auditor	\$ -	\$ 1.200.000	\$ -	\$ 1.200.000	\$ -	
	Entrenamiento Técnico	CIAC	\$ -	\$ 4.000.000	\$ -	\$ -	\$ -	
	Inspecciones no destructivas (tintas y partículas magnéticas)	OMA	\$ -	\$ -	\$ 630.000	\$ 630.000	\$ 630.000	
Total			\$ 29.074.167	\$ 37.585.000	\$ 9.780.000	\$ 10.980.000	\$ 9.780.000	\$ 68.125.000

Nota: Los roles / perfil que se mencionan en la tabla son TMA (Técnico de Mantenimiento Aeronáutico); Ing. AIR (Ingeniero de Aeronavegabilidad); OMA (Organización de Mantenimiento Aprobada); Tripulación (Pilotos), Ing. OPE (Ingeniero de Operaciones); Ing. SMS (Ingeniero de Gestión de Seguridad Operacional); CIAC (Centro de Instrucción Aeronáutica)

7. Análisis de resultados

Con el desarrollo de la metodología de BowTie para el riesgo presente en el conjunto de tren de aterrizaje del Piper PA-43-200T Seneca II en los diferentes operadores, se pudo determinar que ocho escenarios en general, asociados al evento de interés no tiene un suficiente control para prevenir y controlar las amenazas y las consecuencias asociadas al evento top, por lo que se vio la necesidad de implementar tareas y actividades para mejorar o reforzar las barreras incrementando su efectividad y/o incrementando el número de barreras para reducir la probabilidad de ocurrencia o severidad de las consecuencias, en las tablas 24 y 25 se muestra la cantidad de tareas y/o actividades que se proponen como adicionales en las diferentes áreas de mantenimiento, operaciones y administrativas con el fin de alcanzar el mínimo puntaje requerido.

Tabla 24

Numero de tareas y/o actividades en barreras preventivas adicionales

Amenazas	Tareas y/o actividades preventivas			
	Mantenimiento	Operacionales	Administrativos	
Corrosión, fatiga, rajaduras y daños de componentes del conjunto tren de aterrizaje	3	0	0	
Aterrizaje Fuerte (Hard Landing)	0	1	1	
Aterrizaje en aeródromos no preparados	0	2	0	
Pinchazo de las ruedas	1	1	0	
Total	4	4	1	9

Tabla 25

Número de tareas y/o actividades en barreras de recuperación adicionales

Consecuencias	Tareas y/o actividades recuperadoras			
	Mantenimiento	Operacionales	Administrativos	
Daño en el fuselaje principal, motor, hélice, y conjunto del tren de aterrizaje.	0	1	0	
Lesiones leves y graves de pasajeros y tripulación.	0	1	1	
Multas o Sanciones por la UAEAC	0	0	2	
Mala imagen corporativa	0	0	1	
Total	0	2	4	6

Así mismo, se pudo determinar que los controles o barreras existentes pueden tener factores que debiliten su efectividad (Factores de Escalamiento) otorgando una falsa seguridad a la barrera planteada, permitiendo que se genere la metáfora del queso suizo (modelo de Reason), por lo que se determina originar acciones sobre dichas barreras que presentan factores de escalamiento y al mismo tiempo ser auditadas para verificar su cumplimiento.

8. Conclusiones

- Al analizar y evaluar las diferentes técnicas de gestión de riesgo ofrecidas en la norma ISO 31010:2020, la metodología Bowtie no es una técnica para la identificación de riesgos, por el contrario, es una herramienta funcional que permite aumentar la conciencia situacional y comprensión en profundidad de riesgos críticos ya conocidos, el cual facilita un análisis detallado de las causas e impactos asociadas al riesgo.
- Una vez evaluados y analizados los accidentes e incidentes presentados con relación al conjunto de trenes de aterrizaje de la aeronave Piper PA-34-200T Seneca II, se evidencio que varios operadores no toman referencia y conciencia de lo ocurrido para implementar como lecciones aprendidas en sus diferentes niveles organizacionales y recomendaciones de seguridad operacional.
- Al evaluar inicialmente la metodología Bowtie es probable perder el foco del riesgo que se desea gestionar, es decir, analizar muchas causas y consecuencias no relacionadas y que dentro del ejercicio de evaluación y análisis se busque abarcar muchos escenarios (causas y consecuencias) no aplicables obviando los principales, haciendo más difícil su análisis y objetivo.
- Operadores de la aeronave Piper PA-34-200T Seneca II, requieren implementar como sea necesario nuevas barreras de prevención en las áreas mantenimiento, operacional y administrativos, con el fin de tener un mayor control de los riesgos asociados al conjunto del tren de aterrizaje para que sean llevados a niveles aceptables (ALARP).

- Dentro del proceso y avance investigativo del mantenimiento y operación del conjunto del tren de aterrizaje del avión Piper PA-34-200T Seneca II en diferentes operadores, se evidencio falta de instrucción técnica (mantenimiento) inicial y continua para lograr niveles aceptables de competencia, también se evidencio falta de creación y utilización documental técnica y estándar operacional (SOP), por lo que muchas de las anteriores actividades por evaluar se establecen como factores de escalamiento el cual pueden incidir en el debilitamiento o degradación de algunas barreras propuestas.
- Varias de las tareas propuestas de controles de mantenimiento y operacionales inciden sobre la prevención de riesgos tipo administrativo (Aplicación de programas de mantenimiento, procedimientos e instrucción), esto debido a que la ejecución de la mayoría de las actividades dependen principalmente de la competencia y el factor humano del personal en las organizaciones.
- Al evaluar las consecuencias una vez materializado el evento top, se concluye que los daños sufridos en los equipos de la aeronave por lo general son inminentes, es decir, siempre se valoran como consecuencias peligrosas, por lo que se hace necesario enfocar los esfuerzos en las barreras preventivas con el objetivo de bajar la probabilidad de ocurrencia por lo menos a niveles improbables.
- Al identificar que varias de las causas de las fallas o mal funcionamiento en el conjunto de tren de aterrizaje es por omisión de actividades de inspección post-vuelo y por operaciones en aeródromos no preparados, haciendo que el mecanismo del sistema presente problemas

potenciales con el transcurrir de los aterrizajes, aprovechando que hay una parada de operaciones por cumplimiento de servicio de mantenimiento cada 50 h, se hace necesario modificar las frecuencias antecediendo nueve inspecciones de mantenimiento y cumplimiento de la AD 2005-13-16 que son propuestas por el fabricante y estado de diseño cada 100 h, con el objetivo de tener un seguimiento más detallado y pausado por parte del personal técnico TMA a los diferentes componentes críticos del conjunto.

- En primera instancia, económicamente el proyecto no es atractivo, por causa de la inversión inicial de tareas y actividades de inspección, mantenimiento, entrenamiento y operación, pero es importante tener en cuenta que el modelo gerencial se desarrolla a mediano plazo y que a futuro se verá reflejado en la disminución de tareas de mantenimiento correctivas diarias como está ocurriendo, aumento en la disponibilidad de las aeronaves y sobre todo correcto funcionamiento del conjunto del tren de aterrizaje. Además de los beneficios no cuantificables, radica en una buena imagen corporativa a pasajeros y contratistas.

9. Recomendaciones

- Registrar y llevar una estadística de análisis de vigilancia continua de aquellos componentes y situaciones operacionales que son considerados como amenazas para el buen funcionamiento del conjunto del tren de aterrizaje en el Piper PA-34-200T, con el objetivo de tener una información mucho más amplia y específica a la hora de identificar amenazas (causas) al volver a revisar la metodología Bowtie aplicable al presente riesgo.
- En cumplimiento del ciclo de Deming (PHVA) es necesario llevar a cabo el seguimiento a las barreras y factores de escalamiento establecidas a través de auditorías de calidad y operacionales programadas, esto ayudaría a evidenciar si las actividades de gestión y puntos de control propuestos están siendo o no ejecutadas de manera efectiva.
- No se recomienda usar la metodología Bowtie cuando hay riesgos emergentes, o riesgos bajos o medios, o pocos conocidos a razón de la relación costo-beneficio, el cual se traduce en tiempo y propuestas de actividades que no ayudan a gestionar y/o mitigar el riesgo presente.
- De acuerdo con lo evidenciado e inspeccionado en los diferentes servicios de mantenimiento, con el fin de verificar posibles grietas en la superficie de algunas barras conectoras del mecanismo del conjunto del tren de aterrizaje, se recomienda a los operadores establecer en el Programa de Mantenimiento aprobado por la Autoridad Aeronáutica Civil, que cada 100 h junto con el mantenimiento rutinario, realizar inspecciones no destructivas (NDT) a las barra de sujeción y soporte con tintas penetrantes, tipo I (penetrante

fluorescente), método A (Lavable con agua), sensibilidad 3, forma D (Revelador no acuoso), bajo la norma ASTM E1417 (Prácticas estándar) y ASTM-E-165 (Requisitos para la inspección), así mismo inspección con partículas magnéticas a los pernos de unión y sujeción bajo la norma ASTM-E-1444 (Prácticas estándar) y ASTM A275/A275 M-96 (Procedimientos), con el fin de identificar discontinuidades, defectos o anomalías de una manera mucho más acertada y confiable.

Referencias Bibliográficas

ACIEM. (2015). *Manual de Referencia de Tarifas de Ingeniería (Contratación de Servicios Profesionales)*. (Tercera Edición).

Aeronáutica Civil de Colombia. (2022). *Dirección Técnica de Investigación de Accidentes*.

<https://www.aerocivil.gov.co/autoridad-de-la-aviacion-civil/investigacion/Pages/DIACC.aspx>

Aeronáutica Civil de Colombia. (2022). *Informe estadístico de reportes MF, Datos reportados por la Industria Aeronáutica de Colombia*.

<https://powerbi.aerocivil.gov.co/reportspbi/powerbi/GPA/MF>

Aircraft Piper. (1976). *Pilot's Operating Handbook Seneca II*. Piper Aircraft Corporation.

Aircraft Piper. (2019). *Piper Seneca II Service Manual PA-34-200T* (PR191031 ed.). Piper Aircraft, Inc.

Aircraft Piper. (2022). *Piper Service Bulletin No 1123D, PA-34 Series Aircraft Nose Gear Inspection and Product Improvements*. Piper Aircraft, Inc.

ASTM International. (2021). *Standard Practice for Liquid Penetrant Testing E1417/1417M*.

https://compass.astm.org/document/?contentCode=ASTM%7CE1417_E1417M-21E01%7Cen-US

CGE Risk (2022). *BowTieXP Software Manual*. (Revision 46).

<https://www.bowtiexp.com/downloads/bowtiexp/docs/BowTieXP%20Software%20Manual%20-%20For%20Release%2011.0.pdf>

CGE Risk (2014). *Manual de Inicio Rápido para BowtieXP Version 6.0 y superior.*

[https://www.bowtiexp.com/downloads/bowtiexp/docs/BowTieXP%206.0%20and%20up%20Quick%20Start%20Manual%20\(es\).pdf](https://www.bowtiexp.com/downloads/bowtiexp/docs/BowTieXP%206.0%20and%20up%20Quick%20Start%20Manual%20(es).pdf)

Department of Transportation Federal Aviation Administration FAA. (2019). *Type Certificate Data Sheet TC No. A7SO_R24* (pp. 3–5).

Department of Transportation Federal Aviation Administration FAA (2005). AD 2005-13-16.

<https://drs.faa.gov/browse/doctypeDetails>

ICONTEC. (2018). *Gestión del riesgo. Directrices (NTC-ISO 31000:2018)*. <https://ecollection-icontec-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/normavw.aspx?ID=74790>

ICONTEC. (2020). *Gestión del riesgo. Técnicas de Evaluación del Riesgo (NTC-IEC-ISO 31010:2020)*. <https://ecollection-icontec-org.bibliotecavirtual.uis.edu.co/normavw.aspx?ID=79234>

Liliana Buchtik. (2021). *Secretos para Dominar la Gestión de Riesgos en Proyectos* (Cuarta Edición).

Organización de Aviación Civil Internacional. (2018). *Doc. 9859 Manual de Gestión de la Seguridad Operacional* (Cuarta Edición).

Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2020). *Doc. 9760 Manual de Aeronavegabilidad. 4.*

Reglamentos Aeronáuticos de Colombia (2019) *RAC 43 Mantenimiento*, (Enmienda 1).

Reglamentos Aeronáuticos de Colombia (2021) *RAC 91 Reglas Generales de Vuelo y de Operación* (Enmienda 5)

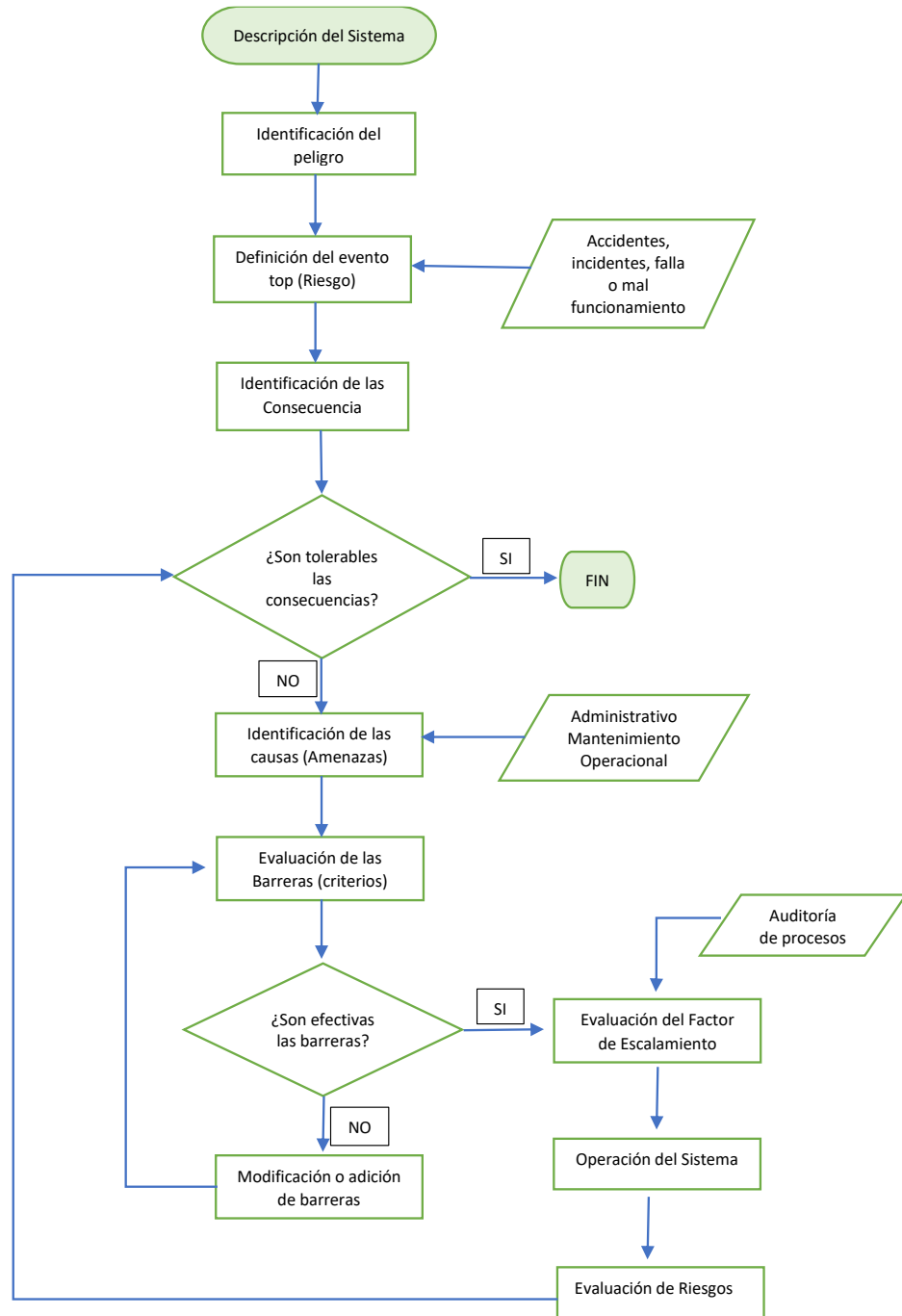
Reglamentos Aeronáuticos de Colombia (2020) *RAC 145 Organizaciones de Mantenimiento Aprobadas* (Enmienda 2)

Risktec (2022) *Lesson Learned from Real World Application of the Bow-Tie Method.*

<https://risktec.tuv.com/risktec-knowledge-bank/bowtie-risk-management/lessons-learned-from-the-real-world-application-of-the-bow-tie-method/#:~:text=Ownership%20%E2%80%93%20Bow%20Dtie%20workshops%20stimulate,is%20critical%20for%20risk%20control>

Apéndices

Apéndice 1 Diagrama de flujo metodología Bowtie



Apéndice 2 Inspecciones de 50 horas Conjunto Trenes de Aterrizaje PA-34-200T

Landing Gear Group			
Description		Technician	Inspector
NOTE: The following inspections incorporate the requirements of Piper Service Bulletin (PSB) No. 1123D. Any later revisions to PSB No. 1123D must be complied with separately. See also AD 2005-13-16.			
1.	Put airplane on jacks, per Section II		
2.	Inspect main gear trunnion assembly for condition.		
3.	Check oleo struts for proper extension and evidence of fluid leakage. See oleo Struts. Section II		
4.	Check tire pressure. Section II, Table II-I		
5.	Inspect brake linings and discs for condition and wear. (Refer to paragraph 7-52 from SM PA 34 200T, P/N 761 590).		
6.	Lubricate per lubrication Chart, Section II.		
7.	Inspect nose gear steering control and travel. See Nose Landing Gear, Alignment, Section VII.		
8.	Inspect nose and main gear struts, attachments, torque links, retraction links, bolts, and bushings for condition and security.		
9.	Inspect nose gear upper drag link AN7-35 attach bolt or the alternate NAS6207-50D bolt per Nose Landing Gear, Upper Drag Link Attach Bolt Inspection, Section VII.		
10.	Inspect the nose gear retraction link retention spring (P/N 96178-0) for damage, distortion, or corrosion.		
11.	Remove triangular shaped, nose gear strut servicing access panel located in the forward baggage compartment:		
	a. Inspect nose tiller roller, steering arm channel and tiller track for condition		
	b. Examine the tiller, tiller roller, steering arm channel and turn-stop bosses for damage caused by exceeding nose wheel turn limits when towing with power equipment		
	c. Inspect the AN4-10A bolts attaching the P/N 95393-00 arm to the steering channel for proper torque (50-70 in. lbs). If found loose, replace bolts and re-torque		
10.	Inspect the nose gear drag link center pivot and attachment bolts for condition and security. Replace as required.		
WARNING: DO NOT REMOVE JACKS UNTIL IT HAS BEEN DETERMINED THAT THE LANDING GEAR IS DOWN AND LOCKED.			
11	Remove airplane from jacks		

Apéndice 3 Inspecciones de 100 horas Conjunto Trenes de Aterrizaje PA-34-200T

Landing Gear Group		
Description	Technician	Inspector
<p>NOTE: The following inspections incorporate the requirements of Piper Service Bulletin (PSB) No. 1123D. Any later revisions to PSB No. 1123 must be complied with separately. See also AD 2005-13-16.</p>		
1.	Inspect main gear trunnion assembly for condition. Note: For airplanes which have not installed new main landing gear trunnion assemblies P/N's 67926-030, 67926-032, 67926-040, or 67926-042 (Left) and 67926-031, 67926-033, 67926-041, or 67926-043 (Right) (each embossed with forging number 02599-2); and, have accumulated 500 hours' time-in-service on one or both of the installed main landing gear trunnion assemblies: perform Main Gear Trunnion Assembly Dye-Penetrant Inspection (see paragraph 7-1ab from SM PA 34 200T, P/N 761 590) on one or both trunnion assemblies, as required.	
2.	Check oleo struts for proper extension and evidence of fluid leakage. See oleo Struts. Section II	
3.	Inspect wheel alignment, if required.	
4.	Put airplane on jacks, per Section II	
5.	Inspect tires for cuts, uneven or excessive wear and slippage	
6.	Remove wheel, clean, check and repack bearings	
7.	Inspect wheels for cracks, corrosion and broken bolts. Yes _____ or no _____ there are cracks.	
8.	Check tire pressure. Section II, Table II-I _____	
9.	Inspect brake linings and discs for condition and wear. (Refer to paragraph 7-52 from SM PA 34 200T, P/N 761 590).	
10.	Inspect brake backing plates	
11.	Inspect brake lines and retaining clamps	
12.	Inspect condition of nose gear centering spring and bungees	
13.	Inspect gear forks for damage	
14.	Inspect nose and main gear actuators	
15.	Inspect main gear trunnion pin. Replace, if necessary	

Landing Gear Group			
	Description	Technician	Inspector
16.	Inspect Hydraulic lines, electrical leads, and attaching parts for condition and security (i.e. –routing, chafing, damage, wear,etc.)		
17.	Inspect drag and side brace link bolts. Replace as required.		
18.	Inspect gear doors and attachments for condition and security		
19.	Inspect gear warning horn and light for operation.		
20.	Retract gear-check operation		
21.	Retract gear - inspect doors for clearance and operation		
22.	With gear retracted, check “Free Fall” valve operation.		
23.	Inspect operation of squat switch		
24.	Inspect down locks for operation and adjustment		
25.	Check downlocks for operation and adjustment NOTE: In the following inspections, refer to Nose Landing Gear; Inspection; Section VII.		
26.	Inspect nose gear steering control and travel. See Nose Landing Gear, Alignment, Section VII.		
27.	Inspect nose and main gear struts, attachments, torque links, retraction links, bolts, and bushings for condition and security. Note: For airplanes which have not complied with Part II of Piper Service Bulletin No. 956 or completed the hardware replacement, according to Piper PA-34-200T service Manual, paragraph 7-24b from SM PA 34 200T, P/N 761 590, page 1K18A, each 100 hours time-in-service, inspect the Main Landing Gear Trunnion Attach Fittings Hardware per paragraph 7-24a from SM PA 34 200T, P/N 761 590. CAUTION: if time-in-service for main gear trunnion assemblies other than p/n’s 67926-030, 67926-032, 67926-040, or 67926-042 (left) and 67926-031, 67926-033, 67926-041 or 67926-043 (right) (each embossed with forging number 02599-2) cannot be determined, then those main gear trunnion assemblies must be replaced before further flight.		
28.	Inspect nose gear upper drag link AN7-35 attach bolt or the alternate NAS6207-50D bolt per Nose Landing Gear, 100 Hour Upper Drag Link Attach Bolt Inspection ,Section VII.		
29.	Inspect the nose gear retraction link retention spring (P/N 96178-0) for damage, distortion, or corrosion.		

Landing Gear Group		
Description	Technician	Inspector
30.	Remove triangular shaped, nose gear strut servicing access panel located in the forward baggage compartment: a. Inspect nose tiller roller, steering arm channel and tiller track for condition b. Examine the tiller, tiller roller, steering arm channel and turn-stop bosses for damage caused by exceeding nose wheel turn limits when towing with power equipment c. Inspect the AN4-10A bolts attaching the P/N 95393-00 arm to the steering channel for proper torque (50-70 in. lbs). If found loose, replace bolts and re-torque	
31.	Inspect the nose gear drag link center pivot and attachment bolts for condition and security. Replace as required.	
32.	Inspect the nose gear down lock link assembly for binding, worn spring retention pin, and any noticeable elongation of the hole associated with the spring retention pin. Inspect the down lock spring for damage, distortion, or corrosion. Clean and lubricate using MIL-PRF-7870C oil. Note: Verify compliance with Piper Service Bulletin No. 1113.	
33.	Inspect the actuator mounting bracket per Nose Landing Gear, 100 Hour Actuator Mount Bracket Inspection, Section VII.	
34.	Inspect the bolt and bushing associated with the attachment of the P/N 95712-004 retraction link assembly to the actuator mounting bracket. Replace if "wear grooves" are noted in either the bolt or bushing.	
35.	Inspect the AN23-25 stop bolt in the actuator mounting bracket for condition and security	
36.	Lubricate per lubrication chart, Section II.	
37.	Verify proper adjustment of nose gear down lock link by rigging per Nose Landing Gear, Installation and Rigging. Section VII.	
38.	Inspect the Tunnel Bracket (P/N 95554-000) installation per Nose Landing Gear, 100 Hour Tunnel Bracket Installation Inspection. Section II.	
WARNING: DO NOT REMOVE JACKS UNTIL IT HAS BEEN DETERMINED THAT THE LANDING GEAR IS DOWN AND LOCKED.		
39.	Remove airplane from jacks	

Nota: Descripción de inspecciones del conjunto de tren de aterrizaje el cual se encuentran descritas en el Piper Seneca II Service Manual PA-34-200T, P/N 761-590.

Apéndice 4 Reportes de Falla o Mal Funcionamiento Piper PA-34-200T

REPORTES DE FALLA O MAL FUNCIONAMIENTO PIPER PA-34-200T ATA 32						
ATA	SUB-ATA	REPORTE	FECHA	LUGAR	CONTROL	CORRECCION
32	10	2021.01.20_15:00_Linea: tren se demora mucho en subir. Se cree que es power pack, actuadores y preasure switch	24/01/2021	GYM	INC-21020059	2021.01.24_15:00_Linea: Se instala power pack del 5079 BGA, se hace servicio al pressure switch. Se prueba aeornave en gatos con tripulación dando resultados satisfactorios.
32	00	2021.02.05_10:30_Linea: Se requiere purga de frenos porque están un poco largos	5/02/2021	CLO	INC-21020021	2021.02.06_07:00_Linea: Luis Orlando realiza purga de trenos previo a inicio de operación.
32	60	2021.02.05_10:30_Linea: Alarma de uno de los trenes no está funcionando	5/02/2021	CLO	INC-21020022	2021.02.11_17:00_Linea: Pruebas en gatos con 0° y 20° flap quedando operativo el sistema. 2021.02.10_17:00_Linea: Se hace reglaje al micro del tren. Pendiente pruebas
32	40	2021.02.25_08:30_Linea: durante svc pre vuelo, se evidencia rueda ppal lado LH con desgaste	25/02/2021	CLO	INC-21020135	2021.02.26_18:00_Linea: se realiza cambio de rueda y neumático Pendiente tren ppal lado LH.
32	00	2021.02.27_09:15_Servicio: manguera corta tren LH (extensión) presenta fuga	27/02/2021	GYM	INC-21030007	2021.02.27_09:15_Linea: se efectúa cambio de manguera de extensión tren ppal LH. PN: 350-4-0170
32	00	2021.02.27_10:00_Linea: se recomienda reemplazar manguera de retracción tren ppal LH	27/02/2021	GYM	INC-21030008	2021.03.16_10:00_Linea: Se realiza cambio de manguera durante el servicio. 2021.03.01_14:15_Linea: se reemplazará en el próximo servicio de 100 hrs, fecha estimada de cumplimiento: mar-11. El elemento se encuentra en stock base GYM
32	00	2021.02.27_10:00_Linea: realizar seguimiento de cambio de pastillas de frenos LH & RH	27/02/2021	GYM	INC-21030009	2021.03.08_14:21_Linea: se realiza cambio de pastillas de frenos LH & RH. 2021.03.01_14:15_Linea: se realizará cambio de pastillas en las próximas 20 hrs (fecha est: 05-mar)

32	00	2021.02.27_14:15_Linea: reemplazar actuadores trenes principales y nariz	27/02/2021	GYM	NC-21030016	2021.03.15_14:00_Linea: Se decidió que los actuadores montados están trabajando bien, por lo cual se van a dejar en esa misma condición hasta el próximo servicio de 100 Hrs. 2021.03.01_14:15_Linea: se deben reemplazar los tres
32	00	2021.03.04_07:00_AOG: La powerpack instalada que venia con el avión tiene las escobillas rotas y requiere cambio.	3/03/2021	GYM	INC-21030047	2021.03.08_09:00_Linea: se realiza instalación de power pack removida del 2946. Pruebas operacionales satisfactorias. PN REMOVIDO: 105476, SN REMOVIDO: 609969 PN INSTALADO: HYC5005, SN INSTALADO: HY192
32	00	2021.03.04_09:00_Linea: realizar cambio de switch de presión	4/03/2021	GYM	NC-21030053	2021.03.04_10:36_Linea: se realiza cambio del switch de presión PN REMOVIDO: 2HC243-12; SN REMOVIDO: NO LEGIBLE
32	00	2021.03.24_12:35_AOG: se reporta golpeo en tren de nariz durante taxeo y en proceso de decolaje	4/03/2021	CLO	INC-21030108	2021.04.01_19:30_Linea: se realiza reemplazo de buje en punto de sujeción del tren al shimmy damper. Resultados satisfactorios
32	00	2021.03.17_17:00_Linea: Juego en las partes externas de las tijeras del tren de nariz	7/03/2021	GYM	INC-21030094	2021.04.30_13:00_Linea: se realizó cambio de bujes. Pendiente cambio de pernos y tuercas, se monta REQ-0163. 2021.03.17_17:00_Linea: se realizará cambio de bujes en el próximo svc de 100H
32	00	2021.03.11_18:00_Linea: durante post vuelo, se evidencia desgaste rueda tren ppal LH	11/03/2021	BGA	INC-21030062	2021.03.18_17:49_Linea: se realiza cambio de rueda. Pendiente PN INSTALADO: 606C81B1; SN INSTALADO: 90822427
32	00	2021.03.15_09:08_AOG: durante aterrizaje y en proceso de carreteo, se retrae tren de nariz	15/03/2021	EOH	INC-21030069	2021.09.29_10:06_Linea: se recibe copia del sticker de cumplimiento de los trabajos ejecutados por SIALAS.
32	00	2021.03.19_17:04_Linea: realizar purga de frenos	19/03/2021	CLO	INC-21030085	2021.03.19_18:30_Linea: se realiza purga de frenos.
32	00	2021.03.22_17:30_Linea: se evidencia rueda tren ppal RH con desgaste	22/03/2021	CLO	INC-21030092	2021.03.23_08:45_Linea: se realiza cambio de rueda y neumático. PN INSTALADO: 606C81B1; SN INSTALADO: 90445862
32	00	2021.03.22_11:57_Linea: Se evidencia juego y desajuste en tren de nariz	22/03/2021	BGA	INC-21030134	2021.03.27_10:00_Linea: se instalan tijeras con bujes reemplazado (se asocia

						cumplimiento del reporte con INC-21030086)
32	00	2021.04.02_11:37_Linea: reportan nuevamente golpeteo en tren de nariz durante taxeo	2/04/2021	GYM	INC-21040005	2021.06.04_13:00_Linea: se realiza cambio de empaquetadura tren de nariz por AVP bajo la OT COLCH-21219 2021.05.12_09:30_Linea: continúa el ruido en el tren, se va
32	00	2021.04.06_18:59_Linea: rueda ppal LH lisa	6/04/2021	CLO	INC-21040026	2021.04.07_16:30_Linea: se realiza cambio de rueda ppal LH. PN INSTALADO: 606C81B1; SN INSTALADO: 90822486
32	00	2021.04.23_09:23_Linea: rueda ppal RH próxima para cambio	23/04/2021	CLO	INC-21040087	2021.04.28_07:57_Linea: se realiza cambio de rueda ppal lado RH por el taller SIALAS. PN INSTALADO: 600-6; SN INSTALADO: 93195793
32	00	2021.05.05_09:57_Linea: efectuar cambio de pernos y tuercas de las tijeras de tren de nariz	5/05/2021	GYM	INC-21050020	2021.06.04_11:00_Linea: se efectuó cambio de quincallería a tijeras de tren de nariz 2021.05.05_12:00_Linea: se monta REQ-0163, se programa cambio para el próximo servicio
32	00	2021.05.16_13:00_Linea: se debe reemplazar cilindro de frenos del pedal derecho del copiloto por mal funcionamiento (reporte generado durante el svc)	16/05/2021	BGA	NC-21050052	2021.08.24_16:40_Linea: se efectuó cambio de empaquetadura de cilindro, se efectuó instalación, pruebas y sangrado del sistema con resultados satisfactorios, no se evidencian fugas.
32	00	2021.05.27_09:08_Linea: falta control direccional en tierra	27/05/2021	GYM	INC-21050103	2021.06.04_10:00_Linea: se realiza ajuste a los bungee assembly del tren de nariz, dejando más ángulo de giro. Así mismo, se realizó cambio de bujes al arm - steering. 2021.05.28_14:00_Linea: se revisará y corregirá el reporte
32	00	2021.05.31_14:15_Linea: rueda ppal LH muy baja de presión, al realizar inspección se evidencia hueco en hombro interior de la rueda	31/05/2021	PEI	INC-21050106	2021.06.01_12:00_Linea: al aterrizar en CLO, la rueda llega completamente pinchada, se solicita apoyo al taller para instalar una rueda provisional y retirar la aeronave de la pista. Se remolca avión hasta el taller y se procede con el cambio de la rueda. Al remover la rueda, se evidencia que
32	00	2021.06.03_13:00_Linea: realizar cambio de pastillas de frenos LH & RH	3/06/2021	GYM	INC-21060005	2021.06.25_09:30_Linea: se efectuó cambio de pastillas de frenos Pendiente rueda LH & RH

32	60	2021.06.15_09:18_Linea: luz de tren de asegurado lado LH inoperativa	15/06/2021	GYM	INC-21060071	2021.06.15_12:27_Linea: se efectuó cambio de switch assy tren ppal. LH. Pruebas funcionales satisfactorias PN INSTALADO: CA67411-008 2021.06.15_09:53_Linea: AVP realiza pruebas bajo la OT
32	00	2021.06.21_14:41_Linea: pérdida de hidráulico en el conjunto de freno RH	21/06/2021	GYM	INC-21060078	2021.06.24_16:30_Linea: se efectuó cambio de empaquetadura a ambas mordazas de frenos LH RH. PN: MS28775-222
32	00	2021.06.21_14:41_Linea: reemplazar rueda ppal RH por desgaste	21/06/2021	GYM	INC-21060082	2021.06.26_17:00_Linea: se efectuó cambio de rueda ppal RH por la Academia. PN INSTALADO: 606C81B1, SN INSTALADO: 90882051 2021.06.25_09:00_Linea: se le da bote a la rueda, Hacer
32	00	2021.06.28_17:00_Linea: se debe realizar cambio de caliper y back plate frenos LH & RH	28/06/2021	GYM	INC-21070035	2021.08.06_12:00_Linea: se efectuó cambio de caliper, shim insulator y empaques de pistones de frenos rueda ppal lado RH. Adicional se efectuó cambio de shim insulator freno rueda ppal LH.
32	00	2021.07.02_17:05_AOG: al momento de efectuar lista de chequeo para antes de aterrizar, se evidencia falta de luz de tren ppal LH	2/07/2021	GYM	INC-21070003	2021.07.03_12:02_Linea: se efectuó revisión de cableado eléctrico encontrando cables en mal estado. Se reparan conexiones, se gatea la aeronave y se realizaron pruebas operacionales con resultados satisfactorios.
32	00	2021.07.06_14:26_Linea: efectuar cambio de rueda ppal LH	6/07/2021	GYM	INC-21070038	2021.07.07_08:00_Linea: se efectuó cambio de rueda ppal LH.
32	00	2021.08.30_06:34_AOG: reemplazo de rueda ppal RH	30/08/2021	GYM	INC-21080152	2021.08.30_08:11_Linea: se efectuó cambio de rueda ppal RH (se desmonta rueda RH del 5020 para auxiliar el avión)
32	00	2021.08.31_16:03_AOG: rueda ppal RH desgastada	31/08/2021	CLO	INC-21080161	2021.08.31_19:00_Linea: se realizó cambio de rueda ppal RH
32	00	2021.09.14_15:00_Linea: Brazo retracción del tren principal LH	14/09/2021	GYM	INC-21090060	2021.09.24_12:00_Linea: Entregan el brazo con el buje corregido de manera satisfactoria por parte de Jorge franco 2021.09.16_13:40_Linea: Se envía a fabricar el buje y cambiar la balinera del Brazo de retracción del tren principal
32	40	2021.09.22_09:07_Linea: rueda ppal RH presenta desgaste en hombro exterior	22/09/2021	VVC	INC-21090078	2021.09.23_17:00_Linea: se efectuó cambio de rueda y neumático tren ppal RH. PN

						INSTALADO: 606C81B1, SN INSTALADO: 90415615
32	00	2021.04.10_16:11_AOG: luces de indicación de trenes asegurado intermitente y en vuelo GPI-CLO, CB de 5 amp se salta y el tren no sube	4/10/2021	CLO	INC-21100009	2021.04.10_20:00_Linea: se efectuó revisión de cableado del micro principal y se evidencia que el cableado se encuentra estado muy regular y estaba generando contacto con el avión. Se realizó reparación provisional aislando los cables y colocando un grommet evitando el roce de los cables
32	10	2021.10.15_18:30_AOG: Se remueve perno de la compuerta del tren principal RH para auxiliar el HK5020 P/N: AN3H-12A	15/10/2021	GYM	INC-21100057	2021.11.02_12:30_Linea: Se efectúan pruebas operacionales de trenes con resultados satisfactorios 2021.10.23_11:30_AOG: Se instala perno que nos suministro John Cediel pendiente pruebas de trenes el día lunes
32	00	2021.10.15_07:00_Linea: golpeteo tren de nariz durante carreteo	15/10/2021	GYM	INC-21100038	2021.10.27_11:20_Linea: se revisó ajuste de terminales de los Pendiente brazos de las compuertas y se verificó shimmy damper encontrándose ajustados y en buenas condiciones.
32	00	2021.10.25_17:00_Linea: efectuar rotación de ruedas ppales	25/10/2021	CLO	INC-21100078	2021.10.28_17:00_Linea: se efectuó rotación de ruedas ppales y cambio de pastillas
32	00	2021.10.25_18:00_Linea: durante post vuelos efectuados en CLO, se evidencia juego en las tijeras del tren de nariz	25/10/2021	CLO	INC-21100082	2021.10.28_16:30_Linea: se efectuó cambio de bujes y ajuste a pernos de tijeras del tren de nariz.
32	00	2021.11.17_08:00_Linea: efectuar cambio de ruedas ppales LH & RH por desgaste	17/11/2021	GYM	NC-21110101	2021.11.17_17:00_Linea: se efectuó cambio de ruedas ppales LH & RH.
32	00	2021.11.19_14:06_AOG: durante presentación física anual, se evidencia golpeteo en el tren de nariz en carreteo, la aeronave debe retornar a GYM para la corrección del reporte	19/11/2021	BGA	INC-21110104	2021.11.20_10:00_Linea: Se remueve el tren de nariz y se realiza Pendiente ajuste. Pendiente solicitar separador.
32	00	2021.11.22_18:03_Linea: durante post vuelo, se evidencia nuevamente ruido en el trunnion del tren de nariz	22/11/2021	CLO	INC-21110112	2021.11.27_17:04_Linea: se efectuó instalación de tren de nariz con rueda proveniente del HK-4699. Se efectuaron pruebas de carreteo con resultados satisfactorios. Se cierra reporte con la incidencia INC- 21110142.
32	10	2021.11.23_14:00_AOG: En el servicio de 50 hs se encuentra el eje de la rueda del oil-strut tren principal Izquierdo torcido, se requiere conseguir el repuesto ya que es muy evidente que esta doblado	23/11/2021	GYM	INC-21110120	2021.11.27_10:00_Linea: Se reemplazó el eje del strut. 2021.11.26_19:00_AOG: El día de mañana se tiene planeado realizar pruebas operacionales en el gear strut para culminar el servicio 50 hs. 2021.11.26_09:35_AOG: Bajo

		y es critica la operacion de la aeronave con ese reporte.				la OT Colch 21438 se lleva a NDT a Inspecciones Aeronáuticas
32	00	2021.11.24_11:03_Linea: efectuar cambio de rueda de nariz ya que presenta desgaste	24/11/2021	GYM	INC-21040115	2021.11.27_17:04_Linea: el reporte se cierra con la incidencia INC- 21110142 (cambio de trunion tren de nariz). 2021.11.27_11:18_Linea: se va a remover la rueda del HK-4699 por corrección del reporte del tren nariz para instalarla
32	00	2021.11.26_08:00_AOG: realizar traslado a GYM por reporte de trunion y reportes motores	25/11/2021	GYM	INC-21110142	2021.11.27_17:04_Linea: se efectuó instalación de tren de nariz con rueda proveniente del HK-4699. Se efectuaron pruebas de carreteo con resultados satisfactorios
32	20	2021.11.26_08:00_AOG: Se pasó el trunion del NLG al HK 2946 para poder desvarar este ultimo.	26/11/2021	GYM	INC-21110153	2021.12.04_11:00_Linea: Se instaló NLG con resultados conformes. 2021.12.02_11:00_AOG: Se hicieron pruebas NDT con resultados satisfactorios. El lunes se termina de instalar el tren.
32	20	2021.11.27_11:18_AOG: efectuar remoción de tren de nariz para ser instalado en el HK-2946	27/11/2021	GYM	INC-21110144	2021.12.04_10:00_Linea: Se culminó instalación del NLG. 2021.12.02_17:00_AOG: Se culmina la instalación el Lunes por lo que Aviopartes no trabaja mañana ni fin de semana por despedida de fin de año que tienen agendada previamente.
32	00	2021.12.10_12:35_Linea: durante svc, se evidencia medidas del down lock pin fuera de limites	10/12/2021	GYM	INC-21120058	2021.12.11_12:04_Linea: se efectuó cambio de down lock link, se efectuó reglaje y se realizaron pruebas operacionales a los trenes por condición normal y por emergencia con resultados finales OK.
32	00	2021.12.24_08:00_Linea: se remueve switch de presión y manguera para auxiliar HK-5020	24/12/2021	GYM	INC-21120099	2022.02.19_09:00_Linea: Se instala switch con resultados Pendiente satisfactorios.
32	00	2022.01.04_08:23_Linea: rotación de rueda ppal RH	4/01/2022	GYM	INC-22010042	2022.01.04_19:17_Linea: se efectuó cambio de rueda ppal RH por rueda del HK-4699. PN REMOVIDO: 606C81B1, SN REMOVIDO: 90415615 PN INSTALADO: 606C81B1, SN INSTALADO: 93392344

32	00	2022.01.06_12:21_AOG: tren de nariz se retracta abandonando pista en EOH para dirigirse al hangar	6/01/2022	EOH	INC-22010032	2022.03.28_16:58_AOG: Se recibe cotización para la inspección del Mount Assy por NDT, se realiza requisición para la autorización del trabajo.
32	00	2022.01.07_14:40_Linea: durante la revisión del SB 1123C, se evidencia que el down lock link assy de tren de nariz se encuentra fuera de tolerancia	7/01/2022	GYM	INC-22010035	2022.01.08_15:00_Linea: se efectuaron pruebas operacionales de trenes con resultados satisfactorios. 2022.01.07_14:40_Linea: se tomará el down lock link del HK-4699 para ser instalado en el HK-5020. Pendiente pruebas
32	00	2022.01.17_09:00_Linea: realizar cambio de rueda tren ppal LH & RH y cambio de disco de freno rueda ppal RH	17/01/2022	CLO	NC-22010073	2022.01.20_16:20_Linea: se efectuó cambio de rueda ppal lado LH Pendiente & RH y cambio de disco de freno rueda RH
32	00	2022.01.23_18:30_Linea: vibración en tren de nariz cuando el avión vira hacia la derecha	23/01/2022	CLO	INC-22010080	2022.01.24_11:45_Linea: se remolca la aeronave al taller (Academia) para realizar inspección visual al tren de nariz. Se gateó el avión y se verificó mecanismos y todo lo que conforma el tren. No se encontraron novedades. Sin embargo, al revisar la rueda de nariz.
32	40	2022.03.03_10:00_Linea: Rueda RH está lisa y requiere cambio.	3/02/2022	GYM	INC-22030012	2022.03.04_17:00_Linea: Se instaló rueda RH con P/N: 606C81B1, S/N: 12505388 con resultados satisfactorios. 2022.03.03_12:00_Linea: Se solicitó una llanta y su neumático bajo la REQ-0112-HK4699, la cuál se espera instalar el día de mañana.
32	40	2022.03.03_10:00_Linea: La llanta del NLG está lisa.	3/02/2022	GYM	INC-22030013	2022.03.04_17:00_Linea: Se efectuó cambio de la rueda NLG con Pendiente P/N: 606C81B1, S/N: 12505388 con resultados satisfactorios.
32	00	2022.02.09_06:40_AOG: durante inspección pre vuelo se evidencia escape de fluido hidráulico por actuador tren ppal LH	9/02/2022	CLO	INC-22020027	2022.02.09_06:40_Linea: se anula incidencia ya que no corresponde al avión
32	00	2022.02.21_16:30_AOG: En el carreteo durante las pruebas operacionales se trabó el Nose Gear steering.	21/02/2022	GYM	INC-22020068	2022.02.22_10:30_Linea: Se inspeccionó el NLG por uniones y Pendiente soldaduras con resultados satisfactorios.

32	00	2022.02.21_16:57_Linea: durante inspección a trenes, se evidencia chapas tren ppal LH con bastante juego	21/02/2022	CLO	INC-22020065	2022.02.23_15:30_Linea: se efectuó instalación de chapas y tijeras tren de nariz 2022.02.21_16:57_Linea: se remueven chapas para mandar embujar
32	00	2022.02.21_08:00_Linea: efectuar cambio de perno de acoplamiento tren de nariz (500H)	21/02/2022	CLO	INC-22020057	2022.03.02_12:00_Linea: Se realiza cambio del perno de acoplamiento de tren de nariz controlado cada 500 Hrs. Se realizaron pruebas operacionales de trenes con resultados satisfactorios.
32	40	2022.03.03_10:00_Linea: Durante la ejecución del servicio de 100 hs se encontró que las pastillas de frenos LH y RH requieren cambio por condición.	3/03/2022	GYM	INC-22030035	2022.03.05_18:00_Linea: Se efectuó reemplazo de las pastillas de Pendiente freno con P/N: 066-06200 a ll conjunto de frenos LH y RH con resultados satisfactorios.
32	13	2022.03.03_15:00_Linea: Durante la ejecución del servicio de 100 hs se encontró que los remaches de los portazapatras del conjunto de frenos LH requieren cambio por condición.	3/03/2022	GYM	INC-22030036	2022.03.04_16:00_Linea: Se efectuó inspección, y reemplazo de remaches portazapatras en el conjunto de frenos LH con P/N: RA177-00300 con resultados satisfactorios.
32	00	2022.03.10_18:00_AOG: Reemplazo llanta tren principal RH	10/03/2022	CLO	NC-22030040	2022.03.10_18:00_LINEA: Se efectuó reemplazo Llanta tren principal RH
32	40	2022.03.10_17:30_AOG: Se presenta desgaste excesivo con lonas visibles llanta MLG RH. requiere reemplazo	10/03/2022	CLO	INC-22030041	2022.03.10_14:00_ILINEA: Se efectuó reemplazo de la llanta LH
32	00	2021.03.14_19:13_Linea: revisar amortiguador tren de nariz (está muy alta)	14/03/2022	GYM	NC-21030072	2021.03.17_16:00_Linea: Se realizó recargar de nitrógeno y cambio Pendiente de liquido hidráulico dejando el tren de nariz en condiciones normales.
32	00	2022.03.15_16:07_Servicio: Llanta tren MLG LH con lonas visibles	15/03/2022	CLO	INC-22030051	2022.03.16_16:07_Linea: Llanta tren MLG LH con lonas visibles
32	00	2022.03.25_14:39_Linea: Tren de aterrizaje tiene golpeteo al momento de aterrizar.	25/03/2022	CLO	INC-22030081	22.03.31_17:20_Linea: Está pendiente cotización de reparación de soporte por parte del estructurista. En la mañana informara el precio. 22.03.31_11:56_Linea: se encontraron pernos de la chapa
32	60	2022.03.25_14:39_Linea: alarma de tren de aterrizaje inoperativo.	25/03/2022	CLO	INC-22030087	
32	20	2022.03.30_10:45_Linea: Rozamiento de la llanta del tren de aterrizaje de nariz contra la compuerta del lado RH.	30/03/2022	GYM	INC-22030103	2022.03.30_10:50_Linea: Reporte a ser revisado durante el servicio Pendiente de 100 horas de la

						aeronave proyectado para iniciar el 04-04-2022.
32	00	2022.03.30_11:07_Linea: Tren de nariz con sonido fuerte al realizar ciclado	30/03/2022	CLO	INC-22030108	

Nota: Reportes en línea generados por operador únicamente del conjunto de tren de aterrizaje Piper PA-34-200T