

Modelo para Evaluar Financieramente la Viabilidad Operativa de las Aeronaves c-337
sky Master

María Inés Araujo Moran

Monografía de Grado Presentada como Requisito para Optar el Título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director:
Héctor Orduz Prada

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingeniería físico-mecánicas
Escuela de Ingeniería mecánica
Especialización en gerencia de mantenimiento
Bucaramanga
2019

Dedicatoria

Dedico este proyecto a mi madre
que ha sido el mi motivador e inspiración para ser mejor cada día.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por guiarme en este nuevo reto, el cual afianzo mi confianza y profesión, a mi familia por su apoyo incondicional cuando he luchado por la opción de ir en busca de mi Leyenda personal, especialmente a mi madre por enseñarme a no conformarme con lo bueno sino buscar lo extraordinario en cada acción de mi vida.

Tabla de Contenido

Introducción	12
1. Generalidades del Proyecto.....	14
2. Justificación	16
3. Objetivos.....	17
3.1 Objetivo General.....	17
3.2 Objetivos Específicos.....	17
4. Marco Teórico.....	18
4.1 Análisis de Fallas	18
4.2 Sistema Propulsor en las aeronaves C-337	19
4.3 Cargas eléctricas de la aeronave	19
4.4 Evaluación económica y comparación de alternativas	21
5. Formulación Viabilidad Operacional.....	22
5.1 Análisis situación equipo C-337	22
5.2 Análisis cargas eléctricas reales.....	26
6. Planteamiento de Alternativas	30
6.1 Remoción sistema FLIR Star Safire II y desinstalación consola navegante.....	31
6.2 Modificación modelo alternadores	31

6.3	Estandarización de las aeronaves en la Unidad Aérea.....	32
7.	Resultados	33
7.1	Evaluación económica para el planteamiento de alternativas.....	33
7.2	Discusión.....	35
8.	Conclusiones	36
	Referencias Bibliográficas	37

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Datos Generales de las Aeronaves C-337</i>	15
Tabla 2. <i>Cargas Eléctricas SKY MASTER</i>	20
Tabla 3. <i>Especificaciones Meta de Servicio Flota C337</i>	22
Tabla 4. <i>Sistema Críticos de la Flota C-337</i>	24
Tabla 5. <i>Cargas Electricas Consumo Real componentes SKY MASTER</i>	26
Tabla 6. <i>Analisis beneficios alternativas</i>	34

Lista de Figuras

<i>Figura 1. Aeronave SKY MASTER C-337.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2. Resultados de Confiabilidad Flota FAC año 2018</i>	<i>23</i>
<i>Figura 3. Índice de Fallas por año Aeronave FAC 5201.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 4. Índice de Fallas por año Aeronave FAC 5205.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 5. Cargas Eléctricas Durante Fase de Taxeo.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 6. Cargas Eléctricas Durante Fase Despegue.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 7. Cargas Eléctricas Durante Fase Aproximación y Aterrizaje</i>	<i>30</i>

RESUMEN

TÍTULO: MODELO PARA EVALUAR FINANCIERAMENTE LA VIABILIDAD OPERATIVA DE LAS AERONAVES C-337 SKY MASTER

AUTOR: MARÍA INÉS ARAUJO MORAN

PALABRAS CLAVES: MODO DE FALLA, VIABILIDAD OPERATIVA, AERONAVES.

DESCRIPCIÓN:

El presente proyecto tiene como objeto realizar una evaluación financiera para continuar con la operación de las aeronaves C-337 SKY MASTER de la Fuerza Aérea Colombiana.

La metodología empleada para realizar la evaluación de la flota que actualmente presenta fallas recurrentes y cancelaciones en las ordenes de vuelo, fue mediante el análisis de las fallas y la formulación de posibles proyectos de modificación como alternativas de solución al sistema o componente. Este resultado se organizó de acuerdo al modelo de causa raíz, obtenido de los avisos de mantenimiento que se generaron a lo largo de los últimos años en el sistema integrado de información de la FAC.

Se presentan posibles alternativas a consideración para mejorar el rendimiento de las aeronaves y poder cumplir con las diferentes misiones que tiene la institución, previendo los posibles costos de operación y mantenimiento que involucre la realización de estos proyectos.

Este trabajo se formula como una herramienta en la guía para la toma de decisiones donde se evalúe la viabilidad para continuar con una flota que lleva al servicio de la institución muchos años y de la cual tiene características a considerar por su antigua fabricación.

SUMMARY

TITLE: MODEL FOR FINANCIAL EVALUATING THE OPERATIONAL VIABILITY OF AIRCRAFT C-337 SKY MASTER.

AUTHORS: MARÍA INÉS ARAUJO MORAN

KEYWORDS: FAILURE MODE, OPERATING VIABILITY, AIRCRAFT.

DESCRIPTION:

The objective of this project is to perform a financial evaluation to continue the operation of the C-337 SKY MASTER aircraft of the Colombian Air Force.

The methodology implemented to perform the evaluation of the fleet that currently presents recurrent failures and cancellations in flight orders, through the analysis of the failures and the formulation of possible modification projects as alternative solutions to the systems or components. This result was organized according to the root cause model, obtained from the maintenance notices that were generated over the last years in the integrated information system of the FAC.

Possible alternatives to consideration are presented to improve aircraft performance and to be able to fulfill the different missions that the institution has, anticipating the possible operation and maintenance costs that involve the realization of these projects.

This work is formulated as a tool in the decision-making guide where the viability is evaluated to continue with a fleet that has been at the service of the institution for many years and of which it has characteristics to consider for its old manufacture.

Introducción

La Fuerza Aérea Colombiana cuenta con una flota de dos aviones C-337 SKY MASTER fabricados por la compañía CESSNA en el año de 1977 y 1978, poseen alrededor de 14.000 horas de vuelo equivalente al 49% de su vida útil con un tiempo de servicio de 40 años. Por lo anterior los sistemas y componentes por su envejecimiento ha conllevado que se presenten fallas recurrentes, disminuyendo a lo largo de los años la confiabilidad y la disponibilidad de las aeronaves para el cumplimiento de misiones de transporte, vigilancia, instrucción y demás requerimientos que disponga la institución.

Así mismo, actualmente no se cuentan con los recursos necesarios para el soporte logístico que requiere el área de mantenimiento para solucionar en el menor tiempo posible todas las fallas que se han presentado de manera recurrente en el ultimo año. Surge la necesidad de desarrollar un análisis de la situación técnica y plantear posibles escenarios para mejorar la confiabilidad de la flota y continuar con su operación, realizando posibles inversiones a proyectos de modificación que reduzcan considerablemente las fallas en los sistemas y por consiguiente la cancelación en las ordenes de vuelo.

Sin embargo, se debe analizar si es viable realizar una inversión a estas aeronaves o por el contrario, el costo beneficio seria mínimo, que llevaría a plantearse discontinuar con la operación de esta flota y buscar invertir los recursos en otro proyecto de estandarización de otro tipo de aeronave como es el GRAND CARAVAN C-208B, también de la casa fabricante CESSNA; de los cuales la Fuerza Aérea Colombiana en la Unidad del Grupo Aéreo del Casanare

cuenta con la asignación logística de un total de 17 aviones, teniendo la disposición de soportar logísticamente los requerimientos que resulten del mantenimiento de la compra adicional de una aeronave adicional C-208B que cumpla con los actuales requerimientos que tiene la institución y la población del Yopal.

1. Generalidades del Proyecto

1.1 Características de la aeronave C-337 Sky Master

La aeronave Cessna C-337 Skymaster es un avión bimotor, construido en una configuración mixta tracción y empuje. Esta configuración fue diseñada instalando los motores, uno en la parte delantera y el otro en la parte trasera del fuselaje, obteniendo con esta combinación un sonido característico por la configuración de tracción y empuje.

La tripulación de la aeronave en la Fuerza Aérea Colombiana incluye piloto y técnico de vuelo, también en la configuración de inteligencia incluye a un navegante, persona que trabaja con el sistema FLIR Star SAFIRE II sistema de vigilancia aérea giroestabilizado de alta definición y largo alcance para el cumplimiento de misiones de vigilancia, reconocimiento y atención en zonas especiales, en la cual se realiza vigilancia del oleoducto Bicentenario, oleoducto Caño Limón, pozos petroleros, gasoductos y vías en el área de jurisdicción de la base aérea del Grupo Aéreo del Casanare, Arauca, Boyacá y Casanare.

Así mismo se cumplen misiones de Vigilancia y reconocimiento técnico de acuerdo a los requerimientos solicitado por el Escuadrón de Inteligencia de la Unidad; igualmente se cuenta con la capacidad de realizar misiones de transporte, controlador aéreo avanzado y reconocimiento visual.



Figura 1. Aeronave SKY MASTER C-337

Las aeronaves C-337 se encuentran diseñadas con una configuración de plano alto, bimotores de cilindros opuestos CONTINENTAL IO-360-G que utiliza combustible AVGAS 100/130, con un techo máximo de operación de 18.000 pies y una autonomía aproximada de 6 a 8 horas.

Tabla 1.

Datos Generales de las Aeronaves C-337

Marca	Modelo	Serie	Matricula	Año Fabricación	Horas totales
CESSNA	C-337H	33701823	FAC 5201	1978	14.900
CESSNA	C-337G	33701792	FAC 5205	1977	9.600

2. Justificación

Las aeronaves C-337 cumplen con la misión de realizar vigilancia aérea en el área del Casanare, Arauca y Boyacá; por lo cual la empresa les ha asignado un total de 456 horas de vuelo anuales para el año 2019, con un promedio de 60 horas mensuales que deben ser voladas entre las dos aeronaves.

Sin embargo, por factores técnicos se han presentado en repetidas ocasiones incumplimientos en las ordenes de vuelo, que representan un costo adicional no programado por factor del mantenimiento imprevisto, así como el uso de componentes adicionales, pago de horas/hombre para corregir las anotaciones de la falla, la cancelación de la misión y reprogramación con otras aeronaves.

Por lo anterior, se plantea inicialmente realizar por medio del método causa raíz, las fallas más repetitivas a lo largo de los últimos tres años, así mismo se verificará la existencia de alguna propuesta técnica que mejore la condición actual de las aeronaves, así como la evaluación económica de los costos actuales que acarrea mantener esta flota vs las rentabilidades que producirá si se determina iniciar un proceso de mejora, planteando un panorama con la mejor alternativa.

De esta manera, se determinará si la empresa debería continuar con la operación de la flota C-337 SKY MASTER o dar inicio a un proceso de baja que finaliza en la destrucción física de las dos aeronaves.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Formular un modelo que permita evaluar financieramente la viabilidad operativa de las aeronaves C-337 SKY MASTER.

3.2 Objetivos Específicos

3.2.1 Realizar un análisis de falla de las dos aeronaves C-337 en los últimos 3 años.

3.2.2 Plantear las alternativas para mejorar la confiabilidad basada en la metodología de causa raíz.

3.2.3 Determinar los costos de inversión de las alternativas planteadas.

3.2.4 Calcular los beneficios y costos de operación, administración y mantenimiento de las posibles alternativas de solución.

3.2.5 Elaborar un análisis de valoración económica de las distintas alternativas en un horizonte de vida útil.

4. Marco Teórico

4.1 Análisis de Fallas

El análisis Causa raíz (RCA) se fundamenta en el método causa-efecto, este método consiste en la teoría que un evento de falla siempre tiene una causa y ésta otra causa superior. Usualmente cuando ocurre una falla, esta se manifiesta de diferentes maneras y provocan diversos síntomas en el funcionamiento de la maquina, sin embargo, generalmente no es la causa de la falla.

Lo anterior, lleva al área del mantenimiento en muchas oportunidades a actuar sobre las consecuencias y no sobre la raíz del problema, consiguiendo que la falla vuelva a presentarse en numerosas oportunidades.

En tanto el sistema sea más complejo, existirá una mayor dificultad para identificar el origen o raíz de la falla, el cual es fundamental en este análisis; pero solo de por sí, no resuelve el problema, en conjunto a la localización de la falla debe ir un estudio de las distintas acciones correctivas y un proceso de deducciones lógicas que permite graficar las relaciones causa-efecto, con el fin de descubrir la causa raíz, preguntándose ¿Cómo? Es la forma que pueda ocurrir la falla, ¿Por qué? O ¿Cuales? Son las causas de la misma y deben ser respaldados mediante observación directa, documentación y deducción científica (Chaparro & Ovalle, 2017).

Altmann (2006) refiere que para realizar un adecuado análisis de causa raíz, se utilizan varias técnicas y su selección depende del tipo de problema, datos disponibles, análisis causa-efecto, diagrama de espina de pescado, árbol de fallo, así mismo, se debe tener en cuentas los siguientes niveles del análisis de causa raíz:

Causas Raíces Físicas: Son las causas que provocan directamente los equipos, están relacionadas con fallas de componentes físicos del equipo o con otros sistemas como lubricación, refrigeración, etc.

Causas Raíces Humanas: Son el efecto que llevo a las causas raíces físicas y ocasionadas por la intervención inapropiada del factor humano (Error humano), errores u omisiones como descuidos o equivocaciones del operador.

Causas Raíces Latentes: Son el origen de las causas raíces humanas y tiene que ver directamente con el sistema organizacional o administrativo. Se refiere a la no utilización de procedimientos, falla de programas de mantenimiento, etc.

4.2 Sistema Propulsor en las aeronaves C-337

El sistema propulsor de las aeronaves C-337 SKY MASTER cuenta con dos motores ubicados en la parte delantera y trasera de la aeronave, el tipo de motor utilizado es de la casa fabricante CONTINENTAL IO-360-G, de 6 cilindros horizontales-opuestos que operan a 2800 r.p.m. Estos motores son de características similares, exceptuando las hélices que producen empuje en direcciones opuestas (tracción para motor delantero y empuje para el motor trasero) para alcanzar una velocidad máxima de operación de 165 nudos; en cuanto a la corriente entregada por los dos alternadores instalados P/N 633962, se produce un total de 76 Amperios para ser utilizada por los diferentes sistemas y componentes que conforman la aeronave (CESSNA,2012).

4.3 Cargas eléctricas de la aeronave

En referencia al manual de mantenimiento de la aeronave C-337 D2560-8-13 SECTION 15 ELECTRICAL SYSTEMS (ELECTRICAL LOAD ANALYSIS CHART), se obtienen los

consumos de corriente para cada componente que conforman los subsistemas del avión, así mismo, se realizó la verificación con los descritos en los DATASHEET de acuerdo al fabricante.

Se obtiene la siguiente tabla de consumos de cargas eléctricas teóricas.

Tabla 2.

Cargas Eléctricas SKY MASTER

EQUIPO ESTANDAR	Voltaje (VDC)	Amp. Max	TREN Amp. Req	FLAPS	FLIR	N. OPE
Strobe lights	27,5	3	3	3	3	3
pitot heat	27,5	2,9	*	*	*	*
Stall warning heat	27,5	2,9	*	*	*	*
Post lighting (maximo usage)	27,5	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Wing Flaps	27,5	10	*	10	*	*
Landind and taxi lights	27,5	7,2	*	7,2	7,2	7,2
Fuel boost pumps	27,5	3	*	*	*	*
Cowl flaps	27,5	4,4	*	*	*	*
Courtesy light	27,5	0,2	*	*	*	*
Electric trim	27,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Electohydraulic power pack (landing gear)	27,5	30	30	*	*	*
Ice detector light	27,5	1,5	*	*	*	*
CONSUMO TOTAL EQUIPO ESTANDAR		78,74	46,19	33,39	23,39	23,39
AVIONICA	Voltaje (VDC)	Amp. Max	TREN Amp. Req	FLAPS	FLIR	N. OPE
KX 165 NAV/COM1	27,5	6	0,4	0,4	0,4	0,4
KX 165 NAV/COM2	27,5	6	0,4	0,4	0,4	0,4
KM 24H Caja de audio	27,5	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
GPS KLN 94	27,5	3	3	3	3	3
KMD 550 PANTALLA	27,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
KCS 55	27,5	1,73	0,27	0,27	0,27	0,27
KNI 582 RMI	11-33	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Transponder KT-71	27,5	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27
Fuel Flow	27,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Horizont Electric	27,5	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82
KR 87 ADF	11-33	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
Marker Beacom KR 22	28	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
FL 212	28	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
TM 200 (RMP) X Instrument Setup	28	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
KY 96	27,5	5	0,4	0,4	0,4	0,4
AVR 18140-14	28	0,2	*	0,2	0,2	0,2

PRC 930	28	1,4	*	1,4	1,4	1,4
GPS consola 196 MAC	28	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
KVG 350	27,5	0,076	0,076	0,076	0,076	0,076
Avalex Monitor PIL	28	2,5	*	2,5	2,5	2,5
StarSafire II	28	13	13	13	13	13
Avalex Monitor NAV	28	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Ipad	12	2,4				
TOTAL CONSUMO AVIÓNICA		51,246	27,486	31,586	31,586	31,586
TOTAL CONSUMO AERONAVE		129,986	73,676	64,976	54,976	54,976
<i>Nota: Los valores en cada columna representan la demanda de consumo de corriente en la aeronave para cada una de las configuraciones críticas. TREN (despliegue del tren de aterrizaje), FLAPS (con uso de flaps), FLIR (uso sistema FLIR SSII), N.OPE (uso de cargas en operación normal)</i>						

4.4 Evaluación económica y comparación de alternativas

En la evaluación económica de proyectos se busca identificar las ventajas y desventajas que se encuentran inmersas en una inversión e implementación de un proyecto, existen en el marco de ingeniería económica dos subconjuntos que dividen el objeto final de la comparación de alternativas, alternativas que producen el mismo servicio y alternativas que producen diferente servicio. Para el caso particular del análisis de la presente monografía, las alternativas existentes tienen beneficios iguales en el contexto operacional.

O sea todas aquellas situaciones en las cuales los beneficios (salida, ingresos, producción, conversión, purificación, tonelaje) generados por las alternativas son exactamente los mismos. Serían los casos de comparar diseños diferentes de bombas capaces de manejar el mismo caudal y producir la misma cabeza; el comparar materiales de aislamiento que permitan ahorrar la misma cantidad de calor; comparar reactores químicos en los cuales, por sus diseños y condiciones de operación es posible lograr la misma conversión; comparar sistemas de purificación, cuyos refinados poseen el mismo grado de contaminación, o comparar entre comprar y arrendar una misma casa, etc. (Varela, citado por Orduz, 2019,p.44)

No en todos los casos en la evaluación de un proyecto, los beneficios están representados de manera cuantitativa o monetaria, ya que presentan servicios o salidas iguales resulta con un grado mayor de dificultad evaluarlos, por lo tanto la toma de decisiones debe estar determinada por otros factores como es el costo de los insumos, impacto social, cumplimiento de la misión de la empresa, valor del mercado de los productos, etc.

Ordúz (2019) refiere que en este tipo de evaluaciones no es significativo realizar un análisis por tasa de retorno a cada alternativa, lo anterior por no disponer de todos los ingresos, sin embargo es pertinente analizar el incremento de la inversión mediante una tasa de retorno y determinar si es justificable la inversión, en base a los ahorros que se obtendrían en el área operacional, mantenimiento, administración, costos de instrucción, etc.

5. Formulación Viabilidad Operacional

5.1 Análisis situación equipo C-337

En la actualidad la flota C-337 está integrada por dos aeronaves con matrícula FAC 5201 y FAC 5205, las cuales presentan actualmente las siguientes características de operación.

Tabla 3.

Especificaciones Meta de Servicio Flota C337

No. Matrícula	Meta de Servicio (hrs de vuelo)	Hrs de operación actuales	Horas de operación remanentes
FAC 5201	30.000	14.900	15.100
FAC 5205	30.000	9.700	20.300

Para la situación de este equipo, según las horas de vuelo proyectados por la casa fabricante CESSNA para completar la meta de servicio, las aeronaves en promedio tendrían que volar más del 50% de horas requeridas para llegar a su máximo límite estructural; conforme a lo anterior el tiempo proyectado de acuerdo a las horas asignadas por la Fuerza Aérea Colombiana

es de aproximadamente 50 años, en razón a la asignación anual por cada aeronave de 300 horas. Sin embargo, se presentan cancelaciones de las ordenes de vuelo a causa de las fallas recurrentes.

De acuerdo a informe de confiabilidad del año 2018 (FAC, 2018). La flota C-337 SKY MASTER se encuentra entre los mas bajos alistamientos de todas las aeronaves de la Fuerza Aérea, teniendo un nivel de confiabilidad del 52,9% para el año 2018, la cual ha sido catalogada en intervención media por no alcanzar la meta planteada por la subdirección y requerir intervención para mejorar el desempeño y comportamiento en el alistamiento.

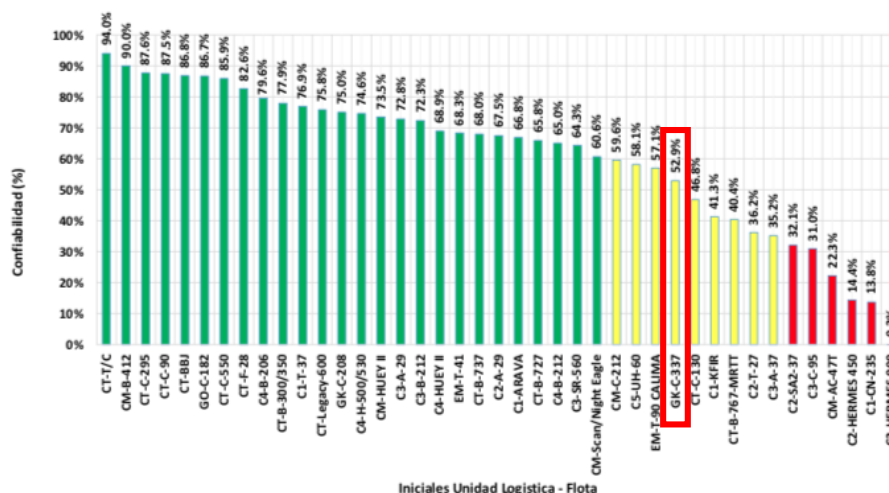


Figura 2. Resultados de Confiabilidad Flota FAC año 2018

Fuente: Informe confiabilidad año 2018, Subdirección de Ingeniería y Mantenimiento

Se realiza una verificación de los sistemas que mas fallas se encuentran reportadas en el sistema de información SAP durante los últimos años, de esta manera intervenir aquellos componentes o sistemas que presenten novedades puntuales en su funcionamiento o diseño, por lo anterior, se analizan los cinco sistemas mas críticos de la aeronave, como se representa en la siguiente tabla.

Tabla 4.

Sistema Críticos de la Flota C-337

Equipo	ATA	Descripción sistema	Cant. Fallas	Hrs Voladas	MTBF (hrs)	Confiabilidad	Horas
C-337	24	Electrical Power	17	513	30.2	83%	53
C-337	34	Navigation	10	513	51.3	90.2%	53
C-337	72	Engine	7	513	73.2	93%	53
C-337	33	Light	3	513	170.9	97%	53
C-337	77	Engine indication	3	513	170.9	97%	53

De acuerdo al comportamiento de las fallas y del MTBF a nivel de sistemas durante los últimos años, se evidencia que el sistema de generación eléctrica ATA 24, presenta un desempeño bajo, de igual manera, con el modelo de análisis causa raíz se determina que la falla esta originada por el componente Alternador, este comportamiento es independiente del número de matrícula de la aeronave, descartando modos de falla particulares de la aeronave.

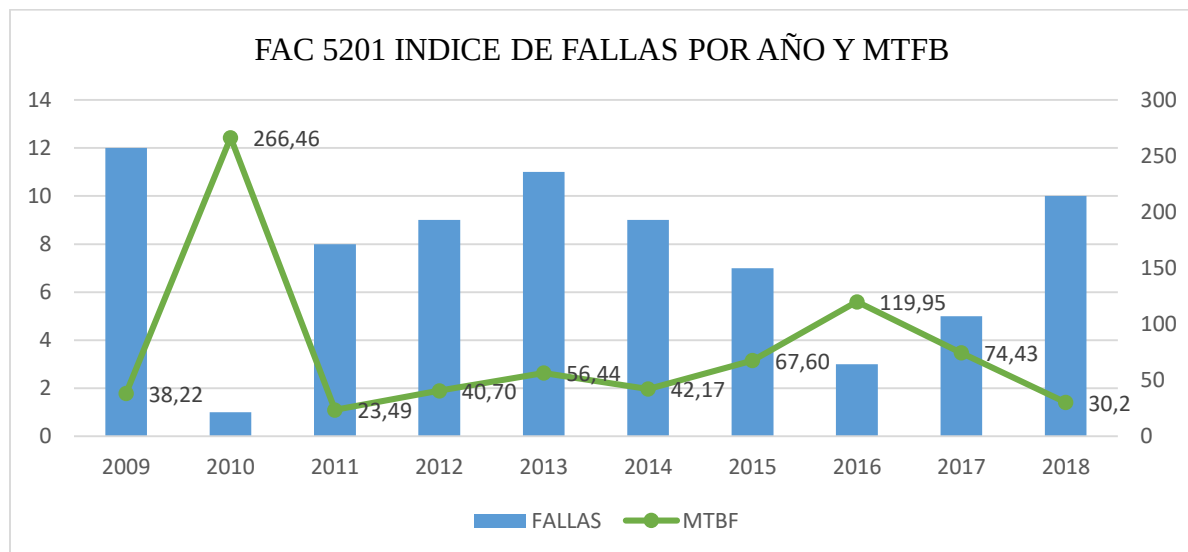


Figura 3. Índice de Fallas por año Aeronave FAC 5201

Fuente: Fallas reportadas en el sistema SAP (avisos)

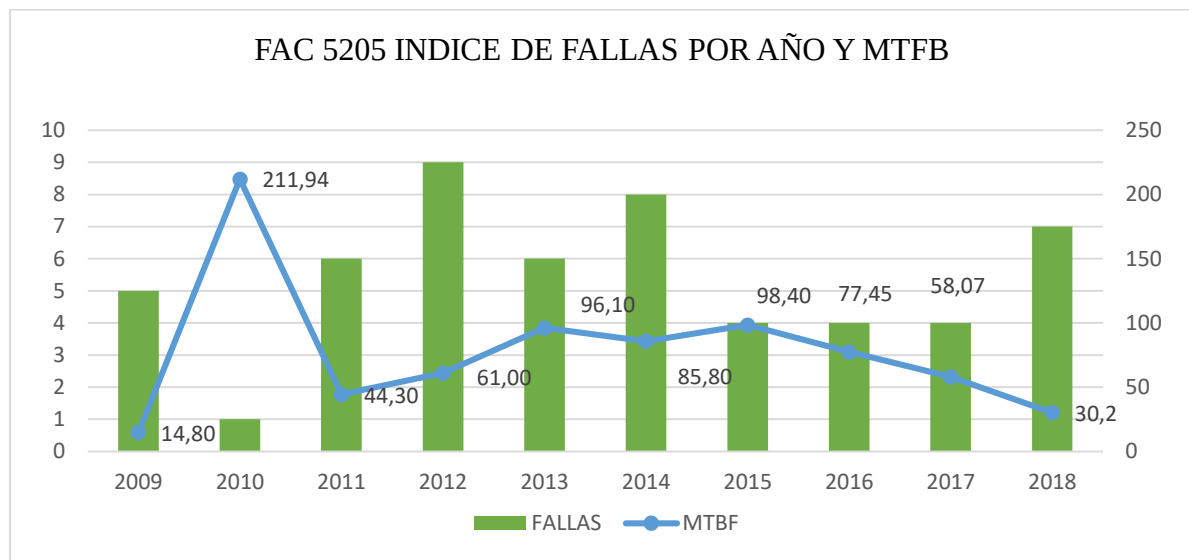


Figura 4. Índice de Fallas por año Aeronave FAC 5205

Fuente: Fallas reportadas en el sistema SAP (avisos)

Consecuencia de la falla de los Alternadores, esta la situación de la carga eléctrica que deben soportar estos componentes, que de acuerdo a lo establecido por el manual de mantenimiento de la aeronave para un funcionamiento optimo, el consumo de todos los sistemas no debe exceder al 80% del total de la corriente producida (76 Amp) (CESSNA,2012). Consumo que oscila entre el 96% y 98% del amperaje total.

Los fabricantes de estos componentes e incluso el manual de mantenimiento de la aeronave recomienda trabajar con un limite de seguridad de eficiencia eléctrica de máximo 65% al 70% (teoría básica de maquinas eléctricas). Nunca se debe trabajar al límite por tiempos prolongados ya que puede causar un daño constante y progresivo a los alternadores.

Para su operación el sistema FLIR consume el 24% del amperaje total de la aeronave y este opera en todas las fases de vuelo, de manera que conlleva a que los alternadores y otros

componentes adyacentes del sistema eléctrico como cableado, acoples y tarjetas sufran un deterioro progresivo, causando las fallas presentadas anteriormente.

Debido a que los alternadores están operando casi a su máximo rendimiento, no tienen la capacidad excedente que les permita contrarrestar la pérdida probable de uno de ellos, lo cual se ha determinado a realizar ajustes a las listas de chequeo con restricción de la operación de algunos componentes para evitar la sobre carga del sistema.

5.2 Análisis cargas eléctricas reales

Al realizar la verificación de los componentes y sistemas directamente en las aeronaves, existen diferencias en los valores reales de la carga que requieren cada uno de estos; se realizó el análisis de cargas eléctricas reales, mediante la utilización de una pinza amperimétrica DC, en el cual se energiza la aeronave y se encienden los sistemas para simular las cargas en vuelo. La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos para los componentes que se utilizan en la operación normal de vuelo.

Tabla 5.

Cargas Electricas Consumo Real componentes SKY MASTER

FASE	ITEM	SISTEMAS	FAC5201		FAC5205	
			CONSUMO PARCIAL	CONSUMO MAX	CONSUMO PARCIAL	CONSUMO MAX
TAXEO Y VUELO	1	Consumo básico energizado	5,1	5,1	3,4	3,4
	2	1+ Luces Cabina, Nav, Taxi+ Aviónica+ Consola	5,6	18,8	3,4	20,6
			7,4		5,2	
			10,8		10,4	
			17,4		20,2	
			18,8		20,6	
	3	2+ BNC	25,5	25,5	26,8	26,8
	4	3+ Storbe (oscilante)	30	30	30,1	30,1
	5	2+ Consola Full	20,9	20,9	21,8	21,8
DESPEGUE	6	1+ Luces cabina, Nav, Landing + aviónica + Consola Full	5,1	23,4	3,4	27,5
			5,4		3,5	

				7,3		3,5	
				14,1		16,1	
				20,3		24,5	
				23,4		27,5	
	7	6+BCN		28,9	28,9	33,6	33,6
	8	7+ Strobe		33,1	33,1	36,4	36,4
	9	8+Operación Tren	Operación Tren Pico 1	95	95	83	83
Operación Tren Pico 2			110	110	123	123	
Estabilización			42,9	42,9	48	48	
APROX Y ATZ	10	1+ Luces de Cabina		5	17,07	3,5	16,8
				5,5		3,5	
				7,2		5,4	
				13,6		13,8	
				17,07		16,8	
	11	10+BCN		24,2	24,2	23,7	23,7
	12	11+Strobe		28,8	28,8	26,7	26,7
	13	12+Operación Flaps		30	30	30	30
	14	13+Operación Tren	Operación Tren Pico 1	95	95	83	83
			Operación Tren Pico 2	110	110	123	123
			Estabilización	42,9	42,9	48	48
	15	14+Luces Landing	Landing Pico 1	128	128	118	118
			Landing Pico 2	129	129	118	118
			Estabilización	49,5	49,5	60	60
	16	15+BCN+Strobe	Strobe Pico 1	114	114	98	98
			Strobe Pico 2	117	117	115	115
			Estabilización	52,4	52,4	68	68
Nota: Se toma como base el amperaje máximo entregado por los alternadores, el cual es de 76 Amp.							

Estos resultados corroboran la actual operación de los alternadores, los cuales se encuentran operando con una sobrecarga del sistema, el cual le exige que mucha mas carga en momentos de la fase de vuelo con la operación de algunos componentes que son necesarios y básicos en la aeronave. De igual manera, se verificó el concepto técnico del taller de reparación de los alternadores donde el Señor T2. JARAMILLO DIAZ CESAR es el encargado de la reparación y mantenimiento de esta clase de componentes. JARAMILLO (2019) afirma:

La única novedad encontrada y que se ha convertido de manera recurrente en los alternadores del SKY MASTER cuando llegan de la Unidad de Yopal, es que la corona de diodos la cual realiza la labor de rectificación de la corriente, está llegando con la soldadura levantada junto con los diodos sueltos. La reparación en el taller consiste en cambiar los diodos dañados, corregir o reparar la soldadura en mal estado y en algunos casos se ha tenido que cambiar la corona de diodos completa, debido al mal estado de este elemento. (p.7)

Jaramillo (2019) explica que los alternadores en una aeronave funcionan como una central eléctrica de auto-generación que produce electricidad. Se convierte la corriente alterna (AC) en corriente continua (DC) a través de un puente rectificador de diodos. El alternador suministra la energía eléctrica necesaria a todos los accesorios y componentes de la aeronave satisfaciendo las necesidades precisas de demanda eléctrica. Para entender las posibles causas se debe entender que la corriente eléctrica se distribuye a demanda, quiere decir que el alternador tratará de suministrar en todo momento la corriente para los accesorios y componentes eléctricos de la aeronave.

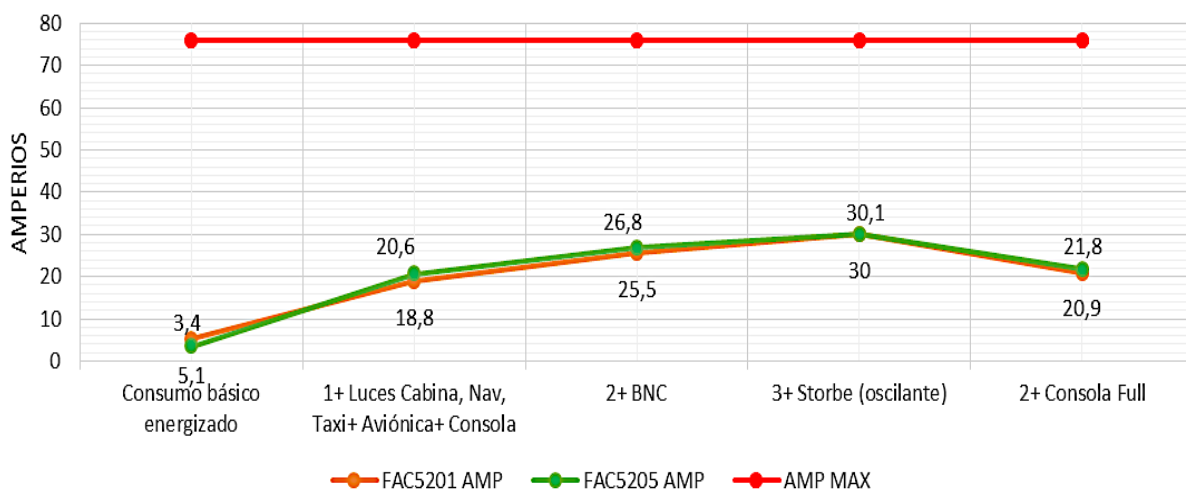


Figura 5. Cargas Eléctricas Durante Fase de Taxeo

Se realizó el análisis de cargas igualmente para la fase de taxeo, trayecto desde la posición de encendido hasta el punto de inicio para carrera de despegue, en esta fase la aeronave se encuentra con el menor régimen de requerimiento de corriente por parte de los componentes, ya que su utilización es mínima, por ello los datos evidenciados en la prueba indican un mínimo de carga requerida para los alternadores.

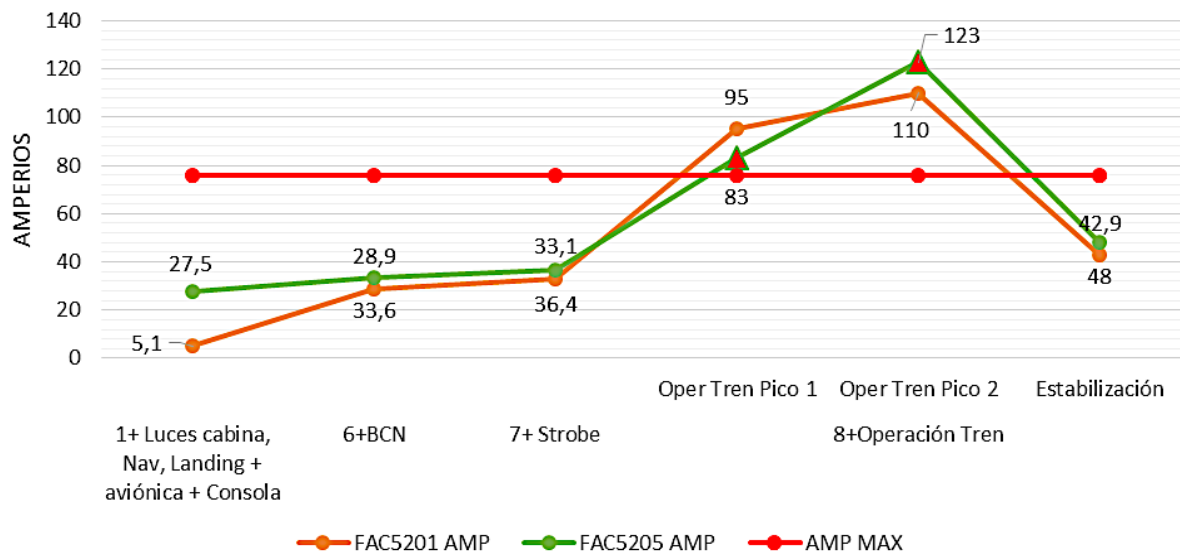


Figura 6. Cargas Eléctricas Durante Fase Despegue

Durante el despegue de la aeronave, los alternadores sufren las máximas cargas eléctricas, teniendo como consideración que en el momento de requerir una operación del tren de aterrizaje, esté durante su encendido tiene picos de amperaje que exceden la carga máxima entregada por los alternadores.

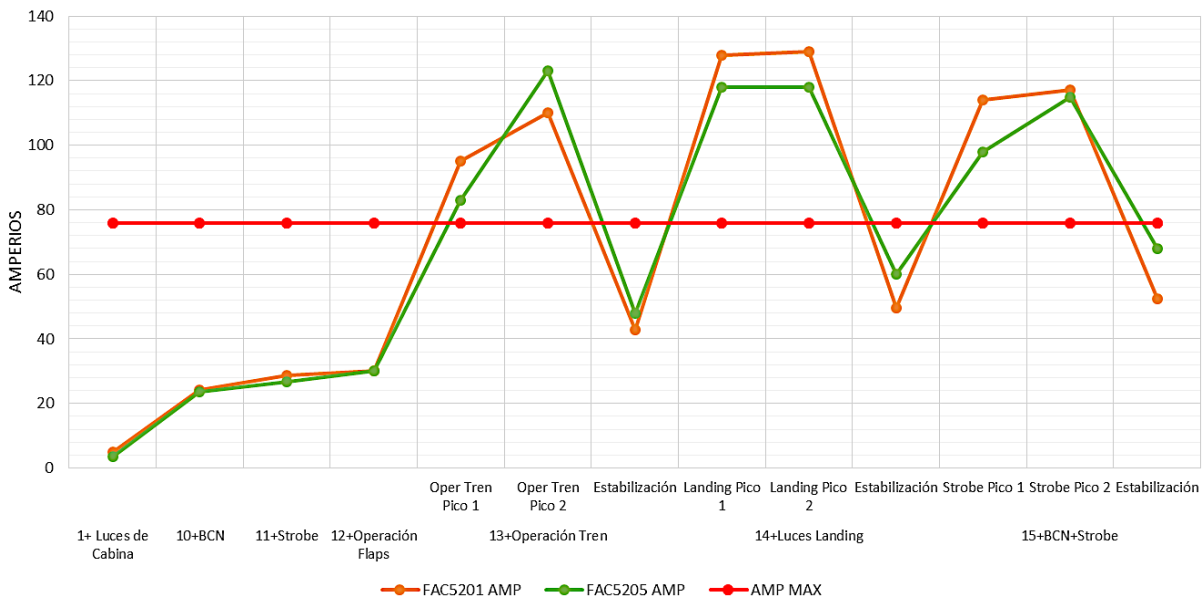


Figura 7. Cargas Eléctricas Durante Fase Aproximación y Aterrizaje

Cabe resaltar que existen misiones de vuelo que debe cumplir la aeronave donde se debe desplegar y retraer el tren de aterrizaje varias veces, produciendo una sobrecarga en los alternadores. Cuando un componente electromecánico trabaja en el rango de mayor esfuerzo durante un tiempo prolongado, este se deberá apagar y dejar enfriar, de lo contrario las soldaduras con las que están unidas las conexiones eléctricas y los diodos se pueden soltar, en el peor de los casos derretir causando fallas constantes en el elemento y sus componentes asociados.

6. Planteamiento de Alternativas

Al ser una aeronave liviana la cual tiene la capacidad de despegar y aterrizar en pistas cortas o no preparadas (terrenos irregulares), le da la ventaja y versatilidad que requiere la Unidad para el cumplimiento de diferentes misiones, así mismo sus motores recíprocos que utilizan para su

operación combustible AVGAS (100/130) es mas económico que el utilizado por las otras aeronaves, no obstante, su disponibilidad se encuentra limitada a pocas Unidades Aéreas y aeródromos nacionales, siendo una dificultad para las coordinaciones en el teatro de operación.

6.1 Remoción sistema FLIR Star Safire II y desinstalación consola navegante

Considerando que estas aeronaves son de inteligencia y cumplen misiones de vigilancia y reconocimiento, gracias al sistema FLIR incorporado, sin embargo, su operación se limita a una altura de 3.500 pies a 4.00 pies, en razón a la baja calidad de las imágenes que registra la cámara integrada, de una tecnología limitada por su desactualización y la no adaptación a las necesidades actuales de las misiones que requiere la Unidad.

Esta flota se considera inadecuada para realizar misiones de inteligencia aérea, ya que no es una aeronave silenciosa, dado que este tipo de vuelos es necesario que los aviones utilizados no sean detectados, sin embargo, se pueden cumplir misiones de transporte de carga o personal con una capacidad de 4 pasajeros, así como el reconocimiento visual del sector de oleoductos y terrenos del área de responsabilidad de la Unidad y control aéreo avanzado.

Esta modificación tiene un costo aproximado de \$35 millones de pesos y se realizaría durante una intervención de mantenimiento mayor para no incurrir en paradas técnicas adicionales.

6.2 Modificación modelo alternadores

Se encuentra disponible en el mercado un modelo de alternadores los cuales cuentan con una mayor capacidad para generar el amperaje requerido por los otros componentes. Sin embargo, para la incorporación de estos elementos se requiere desarrollar una orden de ingeniería para su instalación, en razón a que no se encuentra disponible un STC (Supplemental Type Certificate) que contemple la integración entre el nuevo modelo y los componentes instalados actualmente en las aeronaves.

Así mismo, se deberá realizar la adquisición de los elementos para dicha modificación en las dos aeronaves C-337. Esta modificación tendría un costo aproximado de \$360 millones de pesos para las dos aeronaves.

6.3 Estandarización de las aeronaves en la Unidad Aérea

La estandarización de las aeronaves que pertenecen logísticamente a la Unidad del Grupo Aéreo del Casanare, de las cuales tiene responsabilidad como unidad encargada de realizar el mantenimiento para las 17 aeronaves, se realizaría mediante el retiro de la operación de las dos aeronaves C-337 SKY MASTER y la adquisición de una aeronave GRAND CARAVAN C-208 con sistema de aviónica GARMIN 1000, esto permitirá que se tenga un mayor nivel de operatividad en los lugares más remotos de Colombia, ya que este tipo de aeronaves tiene la capacidad de despegar y aterrizar en pistas no preparadas o de corta distancia, así como la versatilidad en los diferentes tipos operación.

Entre las ventajas de tener una estandarización de la flota es la optimización de los recursos asignados, contando actualmente con talleres y almacenes que disponen de

componentes para este tipo de aviones, aumento de las capacidades operativas de la Unidad Aérea para el cumplimiento de misiones donde involucre el transporte de personal, cargo o inteligencia Aérea. Así mismo, se incrementará la confiabilidad y el porcentaje de alistamiento; indicador de calidad utilizado en la Fuerza Aérea Colombiana para el control y disponibilidad de las aeronaves en los requerimientos a nivel nacional.

Por otro lado, el mantenimiento aeronáutico tendrá una disminución de costos en la realización de trabajos especializados y reducción en la adquisición de componentes debido a que se efectuaría un soporte logístico en economía de escala desde un mismo proveedor.

Igualmente, para el área de mantenimiento, al tener una flota estandarizada las curvas de aprendizaje del personal técnico serían más rápidas y con mayor especialización en sus labores de inspecciones y corrección de fallas, obteniendo una optimización en la instrucción y entrenamiento del área operativa y técnica.

7. Resultados

7.1 Evaluación económica para el planteamiento de alternativas

Para esta evaluación de la viabilidad de las alternativas planteadas anteriormente, se realiza mediante la comparación de los beneficios brindados a la institución y cumplimiento de la misión. Lo anterior, a que las alternativas producen salida de datos (beneficios) iguales.

Cabe resaltar que la alternativa o proyecto de la “remoción sistema FLIR STAR SAFIRE II y desinstalación consola navegante”, no se tuvo en cuenta por los resultados obtenidos en el análisis de cargas eléctricas reales, los cuales determinaron que en la operación normal y sin el

funcionamiento de este sistema, las aeronaves C-337 SKY MASTER siguen presentando una sobre carga en los alternadores, por consiguiente no es viable ejecutar este proyecto desde ninguna perspectiva operacional o de mantenimiento.

Tabla 6.

Analisis beneficios alternativas

BENEFICIOS No cuantitativos	Modificación sistema Alternadores	Estandarización Flota GRAN CARAVAN C-208B
No. Personas a transportar	4	11
Costo hora de vuelo x persona	\$259.916	\$103.276
Cumplimiento de misiones multipropósito	2	4
Actualización sistemas de navegación	NO APLICA, SISTEMA ANÁLOGO	RNAV, GARMIN 1000

Teniendo en cuenta el entorno donde operan las aeronaves C-337 tendrían una recuperación de la inversión mínima si realiza la ejecución de proyecto enfocados a esta flota, ya que el costo de hora de vuelo se encuentra alrededor de \$1.039.667 COP por pasajero y de las cuales solo podría llevar un máximo de 4 personas, mientras que la adquisición de una aeronave tipo GRAND CARAVAN C-208B puede cumplir misiones de transporte con una capacidad de 11 pasajeros y vigilancia o reconocimiento con un costo en la hora de vuelo alrededor de \$1.136.037, es decir, que el costo por pasajero seria un 60% menor con la adquisición de una nueva aeronave que cumpla las misiones correspondientes que la flota SKY MASTER ha cancelado a causa de las fallas.

Así mismo, mantener una flota con sistemas que no cuentan con las ultimas actualizaciones no representa un costo-beneficio a mediano o largo plazo, ya que no es recomendable técnica y económicamente tener un soporte logístico para solo dos aviones, así

como las restricciones que tiene por la condición en sus sistemas de aviónica y navegación. De igual manera, en aras reducir los costos en el área de mantenimiento, hay mejor utilización de los recursos del Estado si se estandariza la flota que tiene la Unidad del Grupo Aéreo del Casanare, con aeronaves GRAND CARAVAN C-208B.

7.2 Discusión

En el análisis realizado anteriormente, en donde el resultado es el retiro operacional de las aeronaves C-337 SKY MASTER, la institución deberá implementar un proceso de baja de material de los almacenes de componentes reparables, material consumible que sea específico de esta flota y de igual manera las herramientas especiales.

De igual manera, siendo una aeronave que fue adquirida mediante la donación de la misión americana, tendría consideraciones especiales de permisos para ejecutar una baja de la flota, toda vez que aun por fabricante no ha alcanzado el 50% de su vida útil pero no resulta beneficiosa mantener unas aeronaves con el costo operacional menor al de otras aeronaves que cumplirían mejor la misión que tiene actualmente este tipo de aviones.

8. Conclusiones

Las aeronaves de la flota C-337 muestran un desempeño regular en sus principales indicadores de confiabilidad al compararlos con otras flotas de la Fuerza Aérea Colombiana, adicionalmente el análisis MTBF en el sistema eléctrico esta en niveles críticos y de acuerdo al análisis de cargas eléctricas reales, la única alternativa seria un modificación del modelo de alternadores, los cuales le den una mayor capacidad para soportar las cargas de los componentes internos de la aeronave, que ha representado una de las mayores fallas durante los últimos años y un mayor costo en el mantenimiento imprevisto.

Sin embargo, realizar una modificación del sistema eléctrico no mejoraría las capacidades misionales que tiene la aeronave para brindar mayores beneficios en el cumplimiento de las misiones que tiene la Unidad y la Fuerza Aérea Colombiana.

Por ello es necesario realizar una estandarización de las flotas que actualmente tiene el Grupo Aéreo del Casanare, brindando mayores beneficios para las diferentes áreas que se involucran en la operación de una aeronave. Para ello, se requiere operar con un tipo de aeronave que cumpla misiones con mayor versatilidad y que proporcione una confiabilidad mayor en los indicadores de calidad.

Referencias Bibliográficas

Altmann, C. (2006). El Análisis de Causa Raíz, como herramienta en la mejora de la Confiabilidad. Chile: Congreso Chileno de Ingeniería de Mantenimiento.

CESSNA Textron Company. (2012). Service Manual Model C-337 D2506-8-13. Recuperado de: <https://1view.txtav.com/TPWeb/app/index.html#/toc/Model%2520303%252C%2520336%2520and%2520337%2520Series?makename=cessna>

Chaparro, V & Ovalle, Y. (2017). *El análisis Causa raíz (RCA) se fundamenta en el método causa-efecto, este método consiste en la teoría que un evento de falla siempre tiene una causa y ésta otra causa superior. Usualmente cuando ocurre una falla, esta se manifiesta de diferentes maneras y provocan diversos síntomas en el funcionamiento de la maquina, sin embargo, generalmente no es la causa de la falla* (tesis de posgrado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

Fuerza Aérea Colombiana. (2018). Informe costos horas de vuelo aeronaves Fuerza Aérea Colombiana de la Jefatura de Operaciones Aéreas.

Fuerza Aérea Colombiana. (2018). Informe de confiabilidad año 2018. Recuperado de Oficio No. 201911720072803 de la Subdirección de Ingeniería y mantenimiento radicado a Unidades Aéreas.

Fuerza Aérea Colombiana. (2019). Informe fallas alternador C-337 FAC5205. Recuperado de Junta Técnica Extraordinaria No. 15 del Grupo Aéreo del Casanare en Archivo Escuadrón Técnico.

Ordúz, H. (febrero, 2019), *Formulación y evaluación de proyectos*. Especialización Gerencia en mantenimiento, Yopal, Colombia.