

## La gestión de mantenimiento aplicada a los sistemas de distribución de combustible, enfocados al mejoramiento de la flota de aeronaves AC-47T de la Fuerza Aérea Colombiana\*

### Maintenance management applied to the fuel distribution systems, aimed at improving the AC-47T aircraft fleet in the Colombian Air Force

Fechas de recepción: 22 de Junio de 2015  
Fecha de aprobación: 25 de Noviembre de 2015

Por: Luisa Fernanda Martínez Caro \*\*

## Resumen

Este artículo busca plantear soluciones al proceso de mantenimiento aplicable a la flota AC-47T de la Fuerza Aérea Colombiana. Para su elaboración se realizó una investigación cualitativa, orientada a procesos y basada en la revisión bibliográfica la cual constituyó un referente teórico para apoyar la construcción conceptual (Quintana y Montgomery, 2006), aplicada a una muestra de datos tomados de sistemas, aplicaciones y procesos (SAP), para un período de dos años (2013-2014). Basado en lo anterior se concluyó que la gestión de mantenimiento es una estrategia aplicable al proceso de logística aeronáutica que busca el mejoramiento de los procesos de manera eficaz y eficiente. Mediante la aplicación de herramientas de gestión como el diagrama de Pareto, análisis de modos de fallas, análisis causa raíz y benchmarking se evidenció que el sistema de combustible de la flota AC-47T, se encuentra dentro de los sistemas con más fallas, siendo un sistema crítico y de alto impacto para la Fuerza Aérea Colombiana. Del mismo modo se determinó que la falla que presentan las bombas de combustible es intrínseca ya que no se está induciendo en el componente sino que es propia de sus características físicas. Así mismo, mediante una evaluación comparativa con la flota C-212, se estableció la bomba de combustible N/P 2C37-2 como una opción que garantiza una mayor confiabilidad y mantenibilidad. Por último, se definieron los indicadores de desempeño y la administración del riesgo como mecanismos de seguimiento y control que permitirán evaluar la efectividad de las recomendaciones dadas.

**Palabras clave:** gestión de mantenimiento, administración del riesgo, procesos, logística aeronáutica.

## Abstract

This article wants to propose applicable solutions to the maintenance process of the AC-47T fleet of the Colombian Air Force. A qualitative investigation was done in a process-oriented way and based on the literature review. This process constitutes a theoretical reference to support the conceptual construction (Quintana and Montgomery, 2006), applied to a sample of data from system applications and processes for a period of two years (2013-2014). Based on the above, we concluded that the maintenance management is an applicable strategy for the aeronautical logistics process that seeks to improve processes in an effective and efficient way. By applying the management tools such as the Pareto diagram, the analysis of failure modes, the root cause analysis and benchmarking, it became clear that the fuel system of the AC-47T fleet is within the systems with the most failures, making it a critical system and of high impact for the Colombian Air Force. Likewise, it was determined that the failure that the fuel pumps present is intrinsic, because it is not being induced into the component, it is part of their physical characteristics. Also, by benchmarking with the C-212 fleet, the fuel pump N / P 2C37-2 was established as an option that ensures greater reliability and maintainability. Finally, performance indicators and risk management were defined as a monitoring and control mechanism that will evaluate the effectiveness of the given recommendations when given.

**Keywords:** Maintenance management, risk management, processes, aeronautic logistics.

\* Oficial de la Fuerza Aérea Colombiana; Ingeniera Electrónica, de la Universidad de los Llanos, Colombia; especialista en Logística Aeronáutica(c). Actualmente es jefe de la Sección de Calidad, Grupo Técnico del Comando Aéreo de Combate No. 6. Email: Luisita41@hotmail.com.

## Introducción

La Fuerza Aérea Colombiana (FAC), en busca de alinearse con el proceso de modernización del Estado colombiano, se reestructuró para lograr la eficiencia y eficacia en el cumplimiento de la misión constitucional (artículo 217. Constitución Política de Colombia 1991), por medio de la implementación del modelo de gestión de la FAC, con el propósito de consolidar una organización liderada por procesos mediante el denominado "Ciclo Deming" (Walton. 2004) más conocido por sus siglas PHVA (planear, hacer, verificar y actuar), donde su finalidad está dada por la planificación, implementación, control y mejora de los procesos (Pérez y Munera, 2007), entre los cuales se encuentra inmerso como un proceso de apoyo el de logística aeronáutica. Así mismo, el plan estratégico institucional 2011-2030 (PEI) de la FAC definió como una de las políticas operacionales del proceso de logística aeronáutica el hecho de "Mejorar de manera continua el proceso de logística aeronáutica, buscando la optimización de los recursos y la disminución del tiempo de respuesta logístico, para mantener altos niveles de alistamiento de las aeronaves de la Fuerza Aérea, con altos estándares de calidad" (p.38). Desde esta perspectiva este artículo busca presentar una revisión bibliográfica de más de 50 referencias orientadas hacia la gestión de mantenimiento, aplicación de técnicas de gestión de activos y análisis de datos extraídos de sistemas de información, con el fin de garantizar un mejoramiento continuo en el desarrollo del proceso de Logística Aeronáutica y la satisfacción del cliente.

Teniendo en cuenta la importancia de entregar aeronaves listas para el desarrollo de operaciones aéreas, como un producto del proceso de logística aeronáutica, se determinó como objetivo analizar la flota de AC-47T por su importancia a la FAC ya que es un equipo que cumple una amplia variedad de misiones. Entre ellas está el apoyo aéreo cercano, iluminación a tropa en tierra, reconocimiento y controlador aéreo avanzado, adicionalmente se tuvo en cuenta por el tiempo de operación, ya que son aeronaves que arribaron a Colombia en la década de los cuarenta (Medina, 2011) y con un promedio de horas totales de vuelo de 37.500, hecho que lo convierte en un equipo vulnerable a las fallas y al entorno en el que opera.

## Aplicación de la gestión de mantenimiento en la flota AC-47T

El AC-47T es un equipo que inicialmente fue una modificación del C-47 versión militar, el cual fue fabricado por la Douglas Air Craft Corporation. La FAC comenzó a operar este equipo en 1944 realizando una adquisición de más de 60 aviones para transporte. Durante 1987, debido a la difícil situación de orden público por la que atravesaba Colombia, la FAC inició con apoyo de la United States Air Force (USAF), la conversión de aviones de la flota de C-47 a artillados AC-47 (Medina, 2011), ofreciendo una capacidad de apoyo a la tropa en tierra hecho que fue determinante

en ese momento del conflicto; sin embargo, a pesar de sus buenos resultados, era una aeronave con motores recíprocos (a pistón) que limitaban su operación y rendimiento y que reportaban constantes emergencias por falla de motor.

En 1993 la FAC tomó la decisión de modernizar la aeronave evaluando la propuesta de la compañía norteamericana Basler Turbo Conversions en Oshkosh, Wisconsin, y envió durante la década de los noventa un total de ocho aviones para ser modificados. Los principales cambios fueron los siguientes: las plantas motrices pasaron de radiales a turbohélices, refuerzos estructurales al fuselaje, equipos de comunicación y navegación, sistemas de vigilancia y ametralladoras eléctricas .50 GAU-19A. A partir de 2009 la flota de AC-47T ha estado conformada por seis aeronaves, las cuales con el pasar de los años se han visto afectadas por su entorno operacional y su record de horas totales que se aproxima a un valor de 37.500, en aproximadamente cincuenta años de operación en Colombia (Forero, 1994); siendo este un factor determinante a la hora de efectuar soporte logístico y una gestión de mantenimiento adecuada.

Con el fin de iniciar un análisis de la gestión de mantenimiento en la flota AC-47T, es necesario tener claridad de algunos conceptos que basados en la teoría y el análisis de datos, permitan desarrollar un criterio para emitir conclusiones sobre un sistema o equipo. Para esto se requiere la revisión de conceptos como componente, falla y falla recurrente para así determinar cuál sistema de la flota de AC-47T está afectando su desempeño y disponibilidad. Además se consultaron autores como Ojeda, Ferrero y Mosquera (2001) quienes definen componente como un elemento designado para cumplir una función particular dentro de un sistema o instalación. Dicho componente puede pasar del estado disponible donde puede ejecutar su función con un criterio de éxito especificado a indisponible, donde el componente no cumple con la finalidad para la que fue diseñado y requiere una intervención de mantenimiento para volver al estado disponible. Cuando un componente se ve afectado por el estado de indisponibilidad varias veces durante un periodo establecido, se define como falla recurrente. La FAC mediante el Manual de Confiabilidad, lo describe como una pérdida de función total o parcial que se repite en un lapso determinado en equipo(s), sistema(s), de un mismo tipo (Fuerza Aérea de Colombiana, 2014). De esta manera, la FAC estableció los siguientes criterios que debe cumplir un componente al fallar para poder determinar que es una falla recurrente.

- 1) Reportes de la misma falla tres veces o más en una misma aeronave o varias de un mismo equipo, en un período menor a dos meses calendario.
- 2) Reportes similares de tres o más fallas en una aeronave, entre ciclos de inspección programada.
- 3) Reportes similares de tres o más fallas en distintas aeronaves de la misma flota en un período menor a dos meses.

Teniendo en cuenta lo anterior se consultó la información de fallas en sistemas, aplicaciones y procesos (SAP), para un tiempo de un año correspondiente a 2012 calculando un total de horas voladas para el equipo AC-47T de 3041,78 y un total de 23 fallas en la bomba de combustible principal, componente que hace parte del sistema de distribución de combustible de la flota. Así se encontró que tanto el numeral 1) como el 2) cumplían con la frecuencia evidenciada en estos datos, razón por la cual se determinó dicha falla como recurrente. Ahora bien, con el fin de determinar el nivel de impacto de las fallas recurrentes en el sistema de combustible se consultaron los indicadores de desempeño establecidos por la FAC para 2012; sin embargo, es necesario definir qué son los indicadores de desempeño y por qué se está consultando esta información. Para esto Lusthaus, Adrien, Anderson y Carden (2000) definen indicador como "un elemento de medición que permite esclarecer y medir el desempeño de un activo"(p.41). De igual manera, Álvarez (2013) argumenta que los "indicadores son determinantes para analizar de forma rápida la marcha del negocio y toma de decisiones, ya que tienen la capacidad de comunicar resultados a toda la organización y tener feedback instantáneo sobre el cumplimiento de la misión"(p. 5). Así pues de esta manera se puede establecer que consultar los indicadores de desempeño puede aportar información valiosa para determinar el nivel de impacto que tiene la recurrencia de las fallas presentadas en el sistema de combustible de la flota AC-47T a la FAC.

## Indicadores de desempeño tiempo promedio para fallar y tiempo promedio para reparar

El indicador tiempo promedio para fallar (MTBF) se encuentra diseñado para medir el desempeño y los resultados de los activos. Para este caso se entienden como activos, las aeronaves de la FAC más específicamente la flota de AC-47T; del mismo modo, el indicador tiempo promedio para reparar (MTTR) mide las horas-hombre que una organización de mantenimiento invierte en recuperar un activo a su estado disponible posterior a una intervención de mantenimiento por un imprevisto o falla.

De acuerdo con lo anterior, se calculó el indicador de desempeño MTBF para el sistema de combustible, lo que arrojó como resultado lo siguiente:

MTBF = Horas voladas flota AC-47T/ Numero de fallas reportadas sistema de combustible.

$$=3041,78 /23 = 132,2 \text{ Horas}$$

Este resultado indica que en promedio cada 132,2 horas de vuelo se presentó una falla en la bomba de combustible, lo cual es un valor no esperado, ya que, tal componente registra un tiempo promedio para overhaul (TBO) de diez mil horas, es decir que el fabricante determinó que en promedio cada 10.000 horas de operación debería tener una intervención de mantenimiento general. De igual forma se consultó el indicador MTBF para 2013, el cual se calculó con un resultado de 195,7 horas y para 2014 de 244,2 horas, valores que no se aproximan a lo enunciado por el

fabricante y definitivamente impactan de una manera negativa la organización en términos de disponibilidad. Es por esto que se ha visto la necesidad de hacer una revisión teórica de la aplicación de la gestión de mantenimiento en el proceso logístico de la flota AC-47T, con el fin de formular estrategias que puedan garantizar un mejoramiento continuo del proceso. A continuación se analizó el impacto de las fallas recurrentes del sistema de combustible de esta flota en términos de mantenibilidad. El grupo técnico (GRUTE) ente encargado de la gestión de mantenimiento de este activo, el cual corrige estas fallas aproximadamente en tres días con tres operarios, (un especialista de estructuras, uno de eléctricos y un inspector para entregar la aeronave apta para vuelo), los cuales trabajan en un solo turno de ocho horas diarias. Ahora, si se multiplica el total de las 23 fallas reportadas durante 2012 por los tres días, se calcula un resultado de 69 días utilizados en esta actividad de mantenimiento.

Haciendo uso nuevamente de los indicadores de desempeño, se consultó el indicador de desempeño MTTR para el sistema de combustible, esto arrojó como resultado lo siguiente:

MTTR = Horas- Hombres empleadas/ Número de fallas reportadas sistema de combustible.

$$= 1656 \text{ horas} /23 = 72 \text{ Horas-Hombre.}$$

De esta manera se logró determinar que durante 2012 el Grute empleó un tiempo promedio de 72 horas-hombre por falla en el sistema de combustible, así mismo, para 2013 se calculó un MTTR de 76 horas y para 2014, un MTTR de 74 horas, siendo un valor sumamente alto si se compara con valores MTTR de otros sistemas que oscilan entre 5 y 7 horas aproximadamente. Las fallas recurrentes que está presentando esta flota no solo impactan la disponibilidad y mantenibilidad, sino también los costos, ya que de acuerdo con la información encontrada en las órdenes de mantenimiento se evidenció un valor aproximado de \$11.000.000 por reparación; esta suma incluye el costo de las horas-hombre, materiales y suministros empleados, y es una suma importante para la organización ya que si se multiplica este valor por las 23 fallas presentadas en 2012 se calcula un valor de \$253.000.000 equivalente a un 10% del presupuesto asignado para el soporte logístico de ese año.

En resumen se puede determinar que el proceso de mantenimiento de la flota AC-47T se está viendo afectado por la recurrencia de fallas en el sistema de combustible, como lo muestran los indicadores de desempeño, siendo esto una no conformidad al proceso ya que de acuerdo a las políticas operacionales del proceso de logística aeronáutica se debe propender por la optimización de los recursos y la disminución del tiempo de respuesta logístico, para mantener altos niveles de alistamiento de las aeronaves de la FAC.

Hecha esta salvedad es importante ver la gestión de mantenimiento como una metodología orientada a la mejora continua mediante el conocimiento, inteligencia y análisis que sirven de apoyo a la toma de decisiones en el área del mantenimiento (Arata y Furlanetto, 2005). Por esta razón este artículo tiene por

objetivo la revisión de documentos enfocados hacia la gestión de mantenimiento, aplicación de técnicas de gestión de activos y análisis de datos extraídos de sistemas de información, los cuales sirven como punto de partida para la formulación de soluciones al proceso de mantenimiento y con esto mejorar indicadores que muestran la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de la flota AC-47T.

## Objetivos

### Objetivo General

Plantear soluciones al proceso de mantenimiento aplicable a la flota AC-47T de la FAC, mediante una revisión bibliográfica orientada hacia la gestión de mantenimiento, aplicación de técnicas de gestión de activos y análisis de datos extraídos de sistemas de información.

### Objetivos Específicos

- Evidenciar el sistema de combustible de la flota AC-47T dentro de los sistemas con más fallas recurrentes, con el fin de garantizar que se está gestionando un sistema crítico y de alto impacto.
- Identificar las causas que originan las fallas recurrentes en el sistema de combustible de la flota AC-47T, con el fin de emitir recomendaciones que puedan mitigar o eliminar las mismas mediante la revisión bibliográfica de herramientas de gestión.
- Establecer mecanismos de seguimiento y control que puedan evaluar la efectividad de las recomendaciones dadas mediante la revisión bibliográfica a la evaluación de procesos de mantenimiento.

### Metodología

Para la elaboración de este artículo se realizó una investigación de enfoque cualitativo, orientada a procesos y basada en la revisión sostenida y relativamente abierta de la literatura que se constituyó en un referente teórico que sirvió de guía indicativa para apoyar la construcción conceptual (Quintana y Montgomery, 2006), ya que para este tipo de investigación se requiere adoptar un pensamiento orientado más hacia el descubrimiento que hacia la comprobación a diferencia de la investigación cuantitativa. Dicha construcción conceptual fue aplicada a una muestra de datos recuperados del sistema de información SAP para un período de dos años (2013-2014), siendo el SAP una fuente de información importante en este artículo.

Adicionalmente se consultaron fuentes de información como criterios de especialistas, para este caso Técnicos en Mantenimiento Aeronáutico del Comando Aéreo de Mantenimiento (Caman); aquí se analizaron criterios técnicos y financieros para la gestión de componentes, tal y como lo determinaron Viveros (2013), lo cual fue un aporte de gran importancia para la recolección y análisis de la información. Así mismo esta metodología la describen Taylor y Bodgan (2004), como "aquella actividad que produce datos descriptivos. Las propias

palabras de las personas, habladas o escritas y la conducta observable de lo esencial" (p.20). Aplicada a las visitas realizadas al taller de eléctricos en Caman donde se realizaron entrevistas, se tomaron fotografías e inspecciones a componentes aeronáuticos y análisis en conjunto con especialistas del tema.

## Resultados

La gestión de mantenimiento, juega cada vez un papel más relevante en el proceso de cambio de cómo debe hacerse el mantenimiento. Este último genera por sí mismo costos propios y si a esto se asocia la mano de obra, materiales, repuestos y otros, puede superar el 30% de los costos de producción, sin contemplar otros costos que son inducidos como los de improductividad, no calidad, etc., que pueden llegar a duplicar los costos propios del mantenimiento, debido a una inadecuada gestión del mantenimiento de los activos (Arata, 2009). Es por esto que la FAC dentro de sus políticas operacionales del proceso de logística aeronáutica busca alcanzar la eficiencia y eficacia en el cumplimiento de la misión constitucional (Artículo 217. Constitución Política de Colombia 1991). Para esto es importante referenciar algunos autores que relacionan estos conceptos con la gestión de mantenimiento. Parra y Crespo (2012) determinan que el proceso de gestión de mantenimiento se puede establecer desde dos factores fundamentales la eficacia y la eficiencia. La eficacia está enfocada en la capacidad de lograr los objetivos y metas programadas con los recursos disponibles en un tiempo predeterminado y la eficiencia es alcanzar esos mismos resultados que se obtuvieron con eficacia, pero con la optimización de recursos; es decir, realizando un mantenimiento de igual o mejor calidad a costos más competitivos. Para Sánchez (1997) en el campo de la administración existe un fuerte conflicto entre el énfasis de eficiencia y eficacia, donde la eficiencia depende de los esfuerzos que se realicen para alcanzar los objetivos y en la eficacia los resultados son considerados lo único y más primordial, no siendo el proceso de logística aeronáutica la excepción, ya que sí existe eficiencia en el "hacer", es decir, se efectúa el mantenimiento a una aeronave sea imprevisto o programado, pero si no es oportuna la entrega de la aeronave existirá insatisfacción del cliente, así mismo, cuando se efectúa mantenimiento incurriendo en sobrecostos como la inadecuada utilización del material aeronáutico y recurso humano, no está siendo eficaz el proceso. Definitivamente la eficiencia y eficacia se complementan y son el eje central de la gestión de mantenimiento.

De esta manera, la gestión de mantenimiento juega un papel fundamental en el cumplimiento de los objetivos de la FAC ya que por medio de la gestión de activos que para este caso sería la flota de AC-47T se lograría un desempeño de forma eficaz y eficiente en las aeronaves, hecho que impacta directamente en el desarrollo de las operaciones aéreas, entregando aeronaves aeronavegables. Dicho lo anterior, se considera importante evaluar si se alinea la gestión de mantenimiento directamente a las políticas de operación descritas en el PEI. Para esto García (2003)



determina qué buscan las organizaciones con la aplicación de la gestión de mantenimiento:

- 1) La competencia de costos. Es necesario optimizar recursos como el consumo de materiales y el empleo de mano de obra.
- 2) El avance tecnológico es dinámico. Nuevas técnicas que obligan a las organizaciones a analizar si su implantación supondría una mejora en los resultados.
- 3) Los departamentos necesitan estrategias, directrices por aplicar, que sean acordes con los objetivos de la dirección.

Hecha esta salvedad, se puede determinar que la gestión de mantenimiento se encuentra alineada y proyecta la organización hacia la eficacia y eficiencia de los procesos. García (2012) menciona que la gestión de mantenimiento se basa en el "estudio de los equipos, en análisis de los modos de falla y en la aplicación de técnicas estadísticas y tecnología de detección, información como órdenes de trabajo, materiales, costos entre otros, la cual es tratada y convertida en información útil para la toma de decisiones" (p.2). De esta manera es necesario determinar cuál será la fuente de información que brindará los datos a analizar, y para esto la FAC cuenta con un sistema de información denominado SAP.

**Análisis de datos SAP (sistemas, aplicaciones y procesos) mediante el diagrama de Pareto aplicado a sistemas aeronáuticos de la flota AC-47T**

El sistema de información SAP/R3 juega un papel fundamental dentro del desarrollo de este artículo ya que como lo describe Dzodan (2008), gerente general de SAP, los servicios de SAP dan reportes en tiempo real con los cuales se pueden cuantificar y medir procesos, estrategias y campañas, además de estrechar la relación con los clientes. El SAP en la FAC ha desempeñado un papel fundamental pues permite cuantificar la gestión de mantenimiento, es decir todo el proceso desde que existe una necesidad de mantenimiento, hasta que la aeronave queda apta para volar. Estos datos son registrados en este sistema de información y convierten a este último en una fuente de consulta primaria. Así mismo, la revista Portafolio (2007) menciona que los sistemas de información deben facilitar el desempeño organizacional y de gestión de mantenimiento, y servir de esta manera de apoyo para los procesos, historia e indicadores de mantenimiento. Así es como, SAP no solo aporta durante el proceso de gestión de mantenimiento, sino que también está inmerso en el feedback, es decir alimenta indicadores y modelos de control que retroalimentan el proceso.

De acuerdo con lo anterior y con la información que fue extraída del sistema de información SAP en el Caman, fue necesario aplicar la regla de Pareto (Morales, 2013) a las fallas presentadas en la flota AC-47T. Dicha regla básicamente consiste en identificar un número reducido de causas las causas que son responsables

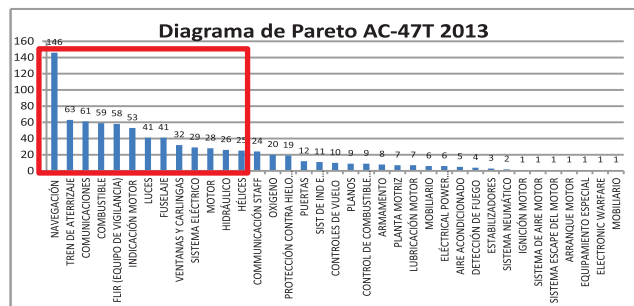
por un alto porcentaje del efecto. Llevando esta técnica a la gestión de mantenimiento, se podría establecer que un número relativamente bajo de elementos son los que generan la mayoría de las fallas. En otras palabras el diagrama de Pareto es un tipo especial de gráfico de barras que se puede utilizar como herramienta de interpretación que determina la frecuencia o la importancia relativa de diferentes problemas o causas y concentrarse en cuestiones vitales ordenándolas en términos de importancia (Chang y Niedzwiecki, 1999); herramienta que facilita el cumplimiento del objetivo propuesto en este artículo, demostrar que el sistema de combustible pertenece a ese pequeño porcentaje que genera la mayoría de las fallas.

Una vez aclarado el concepto del diagrama de Pareto se consultó el sistema de información SAP en el Caman de donde fue extraída la información de fallas para 2013 de la flota de AC-47T. Esto evidencio un total de 831 fallas discriminadas que pueden verse en la tabla 1, donde se tiene el valor total por sistema y su equivalente en porcentaje de acuerdo con el 100% de las fallas.

**Tabla 1 Fallas sistemas aeronáuticos de la flota AC-47T 2013**  
Fuente: sistema de información SAP. Fuerza Aérea Colombiana (2015).

SISTEMA	SISTEMA	No. FALLAS	FREC%
34	NAVEGACIÓN	145	17.33
32	TREN DE ATERRIZAJE	83	7.58
23	COMUNICACIONES	61	7.34
28	COMBUSTIBLE	59	7.10
93	FUR (EQUIPO DE VIGILANCIA)	58	6.98
77	INDICACIÓN MOTOR	53	6.36
33	LUCE	41	4.93
53	FUSELAJE	41	4.93
56	VENTANAS Y CARLINGAS	32	3.85
24	SISTEMA ELECTRIC	29	3.49
72	MOTOR	28	3.37
29	HORALUCCO	28	3.37
61	HELICES	26	3.13
43	COMUNICACION STAFF	24	2.89
35	OXIGENO	20	2.41
30	PROTECCIÓN CONTRA HELO Y LLUVIA	19	2.29
52	PUEERTAS	12	1.44
31	SIST DE INDE INSTRUMENTOS DE GRABACIÓN	11	1.33
27	CONTROLES DE VUELO	10	1.20
57	PLANOS	9	1.08
73	CONTROL DE COMBUSTIBLE MOTOR	9	1.08
94	ARMAMENTO	8	0.96
71	DETECCIÓN DE FUEGO	4	0.48
65	ESTABILIZADORES	3	0.36
38	SISTEMA NEUMÁTICO	2	0.24
74	IGNICIÓN MOTOR	1	0.12
75	SISTEMA DE AIRE MOTOR	1	0.12
78	SISTEMA ESCAPE DEL MOTOR	1	0.12
30	ARRANQUE MOTOR	1	0.12
95	EQUIPAMIENTO ESPECIAL	1	0.12
99	ELECTRONIC WAREFARE	1	0.12
25	MOBILIARIO	1	0.12
	TOTAL	831	100.00

Teniendo en cuenta la consolidación de la información de fallas para la flota AC-47T, se graficó mediante un diagrama de Pareto, en el cual, se ubicó en el recuadro del eje vertical denominado "cantidad de fallas" la frecuencia de fallas equivalente al 80% del total.

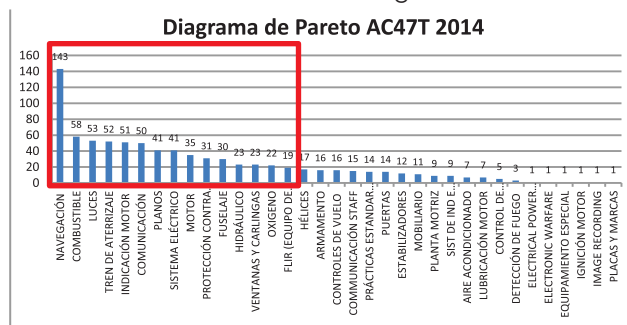


**Figura 1. Pareto equipo AC-47T (2013).**  
Fuente: sistema de información SAP. Fuerza Aérea Colombiana (2015).

## Análisis sistema de combustible flota AC-47T mediante el análisis causa raíz (RCA).

En la figura 1 se observa que la mayor parte de las fallas, (el 80 %) se encuentra distribuida específicamente en 14 sistemas de la flota. De manera que si se eliminan las causas que los provocan desaparecería la mayor parte de las fallas. De igual modo, se evidencia cómo el sistema de combustible hace parte de los sistemas que reúnen el 80% de las fallas presentadas en la flota. Este sistema reporta un total de 59 fallas, de las cuales 15 son causadas por falla en la bomba de combustible principal y las restantes hacen referencia a escapes de combustible, indicación, conexiones eléctricas y demás fallas que se catalogan como aleatorias por no tener un mismo modo de falla ni una recurrencia determinada. Ahora bien, se calculó el indicador MTBF para estos datos con el fin de determinar cuál es el promedio de ocurrencia de fallas que tiene la bomba de combustible con relación a las horas de vuelo. A partir de esto se encontró que el MTBF para 2013 es de 195,7 horas, es decir, cada 195,7 horas se presenta una falla en la bomba de combustible principal, muy lejos del estimado por el fabricante para efectuar mantenimiento overhaul, que como ya se mencionó es de 10.000 horas.

También se realizó el diagrama de Pareto para 2014, y los resultados se evidencian en la figura 2.



**Figura 2. Pareto equipo AC-47T (2014)**  
Fuente: sistema de información SAP.  
Fuerza Aérea Colombiana (2015).

En el diagrama de Pareto para 2014 se observa que el sistema de combustible se encuentra dentro del 80% de ocurrencia con un total de 58 fallas de las cuales 12 hacen referencia a falla por la bomba de combustible principal, y las restantes hacen referencia a escapes de combustible, indicación, conexiones eléctricas y demás fallas que se catalogan como aleatorias por no tener un mismo modo de falla ni una recurrencia determinada. Sin embargo calculando el MTBF para la bomba de combustible con los datos de 2014 se tiene un valor de 244,2 horas, un valor más alto que el dado para 2013, el cual sigue estando muy lejos del estimado por el fabricante para efectuar mantenimiento overhaul.

En resumen, se puede determinar que la aplicación de herramientas de gestión de mantenimiento, como es el diagrama de Pareto, sirvió para determinar que durante 2013 y 2014 el sistema de distribución de combustible se encontró dentro de los sistemas más críticos y que más fallas presenta en la flota de AC-47T.

Ahora bien, una vez identificado el sistema de combustible como un sistema crítico y de alto impacto para la organización, es necesario consultar cuáles metodologías se presentan en la literatura que puedan brindar herramientas para analizar más a fondo este problema. Para esto, Rausand (1998) plantea como una metodología de la gestión de mantenimiento, "el análisis causa raíz que conduce a detectar y eliminar las causas que originan fallas en un componente, en esa medida esta metodología permite de forma sistemática identificar las causas raíces primarias de las fallas, para aplicar posteriormente soluciones que las eliminen de forma definitiva" (p.121). Por otra parte Ortiz, Esandi y Andina (2011) establecen que el "análisis causa raíz mira más allá del error humano. Su interés está en el sistema, es decir en el origen de la cadena de errores: las fallas latentes o causa raíz. Una causa raíz es la razón fundamental que explica la falla o la ineficiencia del proceso" (p.18).

De esta manera se puede concluir que al eliminar la causa raíz no solo se aumenta la confiabilidad y la disponibilidad, sino también se aumenta la eficiencia y eficacia del proceso y por ende se disminuyen los costos de mantenimiento. Sin embargo, la aplicación de esta metodología requiere el análisis de los modos de falla de los componentes por analizar. Para esto se consultaron autores como Acuña (2003) quien determina el análisis de modos de falla "como una herramienta para enumerar modos potenciales por medio de los cuales pueden fallar los componentes de un sistema y así dar seguimiento para conocer las características y efectos de cada falla en el sistema como un todo" (p.244). Así mismo, Miranda (2006) lo define como "una herramienta que relaciona las fallas o defectos de las características del proceso que afectan las salidas" (p.76), por su parte Chavez y García(2003) determinan que esta herramienta tiene su base en "la detección de puntos críticos de máquinas y equipos mecánicos o automáticos en los cuales se puede presentar una falla, el modo en que las fallas se presenten y los efectos que puedan causar"(p. 21). Por lo anterior se puede determinar el análisis de modos de falla como una herramienta que permite la identificación de fallas en el diseño de un producto o un proceso con el fin de recomendar acciones que mitiguen o eliminen la causa.

A continuación se identificaron los siguientes modos de falla para el sistema de distribución de combustible más específicamente las bombas de combustible del equipo AC-47T, por medio de los reportes realizados por los pilotos que vuelan este equipo.

- 1) Baja presión.
- 2) Bomba inoperativa

De acuerdo con las visitas realizadas al taller de eléctricos en el Caman donde se realizaron entrevistas con los especialistas de eléctricos, inspecciones y pruebas a las bombas de combustible inoperativas, se logró establecer que los modos de falla anteriormente

nombrados obedecen a las causas que se enumeran a continuación.

**Causa 1:** desgaste en el sello de grafito que aísla el combustible de la parte eléctrica (ver figura 3).



**Figura 3. Vista interna de la sección eléctrica bomba de combustible P/N 1C15-7**

Fuente: taller de eléctricos del Caman. T3. Jaramillo (2014).

En la figura 3 se puede observar la ruptura del sello de grafito que aísla la parte eléctrica de la bomba, de la sección de bombeo; al ocurrir este daño, el combustible se filtra hacia el conmutador del inducido del motor y aísla el contacto que este tiene con las escobillas que le proporcionan el voltaje para su funcionamiento, ocasionando el modo de falla b.

**Causa 2:** Ruptura en aspas del tambor perteneciente a la turbina centrífuga (Ver figura 4).



**Figura 4. Vista interna de la turbina centrífuga bomba de combustible. P/N 1C15-7**

Fuente: Taller de Eléctricos del CAMAN. T3. Jaramillo (2014)

En la figura 4 se puede observar la turbina centrífuga encargada de generar la presión en las bombas de combustible; hacia la parte izquierda se aprecia un par de aspas de grafito, una de ellas se encuentra rota en la punta superior derecha. Este arreglo mecánico aprovecha la fuerza centrífuga generada por el tambor que las sostiene al girar, y permite que estas aspas giren rozando constantemente con la camisa de carbón (imagen central). Este giro genera absorción de combustible y aumento del caudal y por tanto presión para realizar el paso de combustible de un tanque a otro. Si esto se ve afectado por la ruptura de las aspas de grafito se genera el modo de falla 1).

Por otra parte las fallas se pueden clasificar según la causa que las provoca: falla por uso indebido, cuando la causa es extrínseca al dispositivo, y falla por debilidad inherente, cuando la causa es intrínseca (Griful, 2001). Con base a lo expuesto anteriormente se determinó que la falla presentada en las bombas de combustible se determina como una falla intrínseca ya que la falla no se está induciendo en el componente sino que es propia de sus características físicas, en este caso desgaste de los componentes internos de la bomba de combustible.

Teniendo en cuenta la información recolectada, analizada y presentada hasta el momento se concluye que por medio de la revisión bibliográfica se han aplicado metodologías como análisis causa raíz y herramientas de análisis de modos de falla que han permitido identificar las causas que generan las fallas en el sistema de combustible, específicamente en las bombas de combustible, donde se estableció que la bomba de combustible P/N 1C15-7 actualmente instalada en la flota de AC-47T por su tiempo de operación que se aproxima a 5000 horas en promedio. Sus componentes internos han venido perdiendo las características óptimas para garantizar la operación, demostrado en el record de fallas presentado para 2013 y 2014.

A fin de cumplir con lo propuesto inicialmente en este artículo es necesario replantear un nuevo componente que cumpla con las especificaciones técnicas y que garantice la operación permanente del sistema de combustible. Por lo tanto, es conveniente hacer uso de la búsqueda teórica con el fin de contextualizar y proponer una herramienta a la hora de tomar una decisión con respecto a la elección de un nuevo componente. Para esto Spendolini (2005) plantea el benchmarking o la evaluación comparativa "como un proceso sistemático y continuo para evaluar los productos, servicios y procesos de trabajo de las organizaciones que son reconocidas como representantes de las mejores prácticas con el propósito de realizar mejoras organizacionales" (p.15); del mismo modo, González (2004) expone que "en los países anglosajones, el benchmarking se está convirtiendo en una herramienta indispensable para los gerentes de mantenimiento"(p.41). Considerando lo anterior se definió el benchmarking como el estudio realizado a otras organizaciones o así misma, con el fin de adaptar sus mejores prácticas en cuanto a productos, procesos, servicios entre otros, para obtener una mejora en sus resultados. Por tal razón se ha adoptado para ser aplicado dentro de este artículo con miras a encontrar una solución que permita contribuir al desempeño de la flota AC-47T.

### Evaluación comparativa con el equipo C-212 mediante la herramienta de gestión benchmarking

Antes de continuar con la aplicación de esta herramienta es importante revisar el estado del arte del benchmarking con el fin de conocer cuáles experiencias han tenido las empresas que han acogido e implementado esta herramienta. Empresas como Toyota, a través de la implementación del benchmarking desarrollaron la filosofía just in time (JIT), a partir del estudio del sistema de reabastecimiento de los supermercados norteamericanos y Henry Ford desarrolló su línea de ensamblaje de automóviles a partir del estudio de los mercados de carne de Chicago. Sin embargo el concepto de benchmarking solo fue desarrollado hasta finales de la década de los setenta por Xerox Corporation. (Miranda, Chamorro y Rubio, 2007). De esta manera David T. Kearns, director general de Xerox Corporation, definió el benchmarking



como el proceso continuo para medir productos, servicios y prácticas contra los competidores conocidos como líderes en sus sector (Campoy, 2007). Por lo anterior se puede establecer que la aplicación del benchmarking en otras empresas ha sido una herramienta efectiva y se encuentra pertinente para este caso.

Por otro lado, es importante definir de qué forma se puede implementar esta herramienta en la búsqueda de nuevas alternativas que puedan ser aplicables al sistema de combustible de la flota AC-47T. Para esto se consultaron autores, como Brenes (2002), quien estableció “tres tipos de benchmarking dependiendo de la fuente de información, benchmarking interno, competitivo y funcional” (p.77). Para el desarrollo de este artículo se tomó como patrón comparativo el desempeño de la flota de C-212, el cual es un proceso de mantenimiento que está inmerso en la organización; por ende, se estaría practicando un benchmarking interno. Del mismo modo, lo define País (2013) “está basado en el análisis y comparación de procesos similares dentro de la organización” (p.68)

Ahora bien, ¿Por qué se eligió el proceso de mantenimiento del equipo C-212 como un patrón comparativo? Se realizó un benchmarking interno basado en el buen desempeño que ha presentado el sistema de combustible de la flota de C-212 ya que indicadores como el MTBF está calculado aproximadamente en 750 horas y su MTTR en cinco horas, indicadores que muestran un buen desempeño y reafirman este sistema como una opción a analizar.

En resumen, se puede establecer que una vez identificadas las causas que están generando las fallas recurrentes en el sistema de combustible de la flota AC-47T, es necesario entrar a investigar y analizar nuevas alternativas que puedan brindar una solución a esta problemática. Es por esto que se escogió el benchmarking interno como una herramienta de evaluación tomando como patrón comparativo la flota C-212 por su buen desempeño en el sistema de combustible evidenciado en los indicadores de desempeño MTBF y MTTR.

Para entrar a comprender si el sistema de combustible de la flota de C-212 es una óptima elección para aplicar a la flota de AC-47T, es necesario conocer algunos conceptos técnicos que contextualizan al lector en los temas de aviación. Por ejemplo Gato (2011) define que un sistema de combustible de aviación tiene la finalidad de “almacenar a bordo y entregar al motor una cantidad precisa de combustible, limpio y a la presión correcta, para cubrir las demandas de potencia que al motor se le exigen, asegurando esta prestación en todas las fases de vuelo” (p.25).

El sistema de combustible de una aeronave para efectos de estudio y de la comprensión de sus funciones, se divide en varios apartados con sus correspondientes componentes, según se puede observar en la figura 5, donde se presenta un cuadro sinóptico aclaratorio. (Gato, 2011).



Figura 5. Esquema sistema de combustible aviación general  
Fuente: Gato (2011).

De acuerdo con lo expuesto en la figura 5, es importante resaltar que este artículo se enfocó principalmente en el subsistema de distribución que donde se presentan las fallas de la flota de AC-47T. El subsistema de distribución de combustible comprende los elementos necesarios para que el combustible pueda llegar a los motores desde cualquier tanque de almacenamiento, para lo que tiene bombas de combustible en algunos casos sumergidas y en otros en los tanques, con el motor eléctrico en el exterior. (Gato, 2011).

El sistema básico de la flota de AC-47T tiene cuatro tanques de combustible ubicados en el centro del fuselaje, los tanques principales, izquierdo y derecho que están ubicados en la parte delantera de la sección central de los planos. El combustible es enviado desde cada tanque principal a los motores por una bomba de combustible, que se encuentra sumergida en cada uno de los tanques, como se observa en la figura 6.

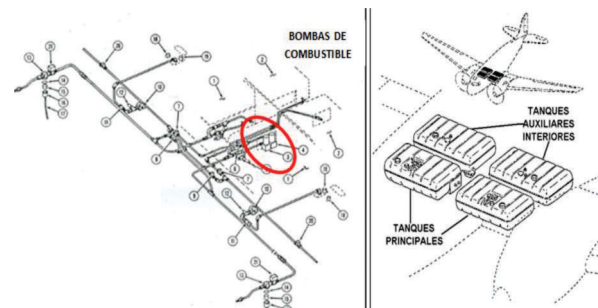


Figura 6. Esquema posición bombas y tanques de combustible AC-47T

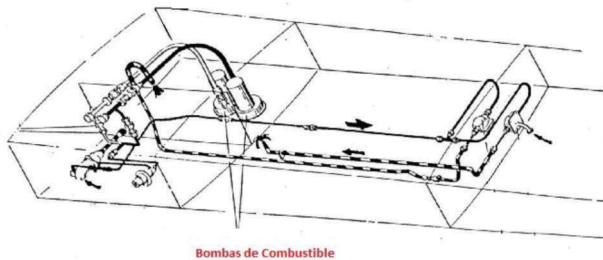
Fuente: Basler Turbo Conversions, (1992).

En la figura 6 se observa hacia la parte izquierda el sistema de distribución de combustible de la flota AC-47T, donde se encuentra enmarcado con un óvalo la posición de las bombas de combustible que se encuentran sumergidas dentro de los tanques principales, y hacia el lado derecho se muestra la ubicación de los tanques en la aeronave. Ahora bien, partiendo del punto de que las bombas de combustible se encuentran sumergidas en los tanques de combustible de la aeronave, a la hora de realizar una intervención de mantenimiento para poder acceder a esta, es necesario drenar todo o parte del combustible, remover la tapa de la sección central (allí es necesario cambiar todos los pernos), realizar desconexión de la parte eléctrica de las bombas de combustible, luego



remover la tapa del tanque principal, desconectar líneas de combustible y remover el tanque y sellante. Una vez todo este procedimiento se ha cumplido, se puede realizar el cambio de la bomba; cabe aclarar que para entregar la aeronave operativa se realiza nuevamente este procedimiento pero de forma inversa, agregando el aprovisionamiento de combustible y pruebas funcionales.

En otras aeronaves, las funciones son las mismas, pero pueden variar de acuerdo con la instalación del componente; en el caso de la flota C-212 permite la remoción de la bomba sin tener que abrir el tanque de almacenamiento, para lo que se utiliza un contenedor estanco (canister) fijado a la pared del tanque de almacenamiento (Gato, 2011) (ver figura 7).



**Figura 7. Vista interna estructura tanque-bomba de combustible N/P 2C37-2 Flota C-212**

Fuente: Air Bus Military (2013).



**Figura 8. Tapa de inspección-bomba de combustible N/P 2C37-2 Flota C-212 FAC1258**

Fuente: T2. Gómez (2014).

En la figura 7 se puede observar la posición de las bombas dentro de los tanques de combustible y en la figura 8, la tapa de inspección que facilita en caso de una intervención de mantenimiento la remoción de la bomba de combustible, sin tener necesidad de drenar combustible ni remover tanques, ni demás componentes.

La bomba de combustible N/P 2C37-2 de la figura 7 es una bomba sumergida del tipo centrífugo, de etapa única, con un rodete que gira en el interior de una cámara espiral, donde la bomba es arrastrada por un motor eléctrico de imán permanente. Su operación normal es de 20 - 35 PSI y tiene un TBO de 4000 horas y un MTBF de 750 horas. (Air Bus Military, 2013); lo que significa que en promedio cada 750 horas de operación la bomba requerirá una intervención de mantenimiento. Analizando las especificaciones técnicas de la bomba de combustible N/P 2C37-2 perteneciente al equipo C-

212, se determinó que variables como caudal, presión, amperaje y mantenibilidad cumplen con lo exigido por el sistema de combustible de la flota AC-47T; es decir, dicha bomba de combustible podría operar en esa flota y cumplir con las exigencias técnicas que requiere dicho sistema.

Esta modificación le garantiza a la organización ahorro en horas de vuelo por traslado, ya que la corrección de una falla sería de una manera muy sencilla la cual un técnico en cualquier unidad lo podría realizar, y no habría necesidad de desplazarse al Caman como se hace actualmente. Anteriormente se presentaba una falla en la bomba de combustible cada 89,5 horas de operación y debía ser enviada al exterior porque su mantenimiento solo se realizaba allí, pero con el nuevo sistema que se recomienda se están garantizando mínimo 750 horas de operación entre cada mantenimiento. Esto representa un ahorro en costos de envío y reparación, aspecto que impacta directamente la rentabilidad de la organización.

Así mismo, no se necesitará que sean drenados los tanques de combustible ya que el cambio de las bombas se realizará externamente, lo que ahorrará el consumo de combustible y preservará la estructura general de la aeronave, pues no hay que cambiar los pernos de la sección central cada vez que exista una intervención de mantenimiento, como se hace en la flota de AC-47T. De igual manera la solución de cualquier falla se podría realizar en aproximadamente 3 horas ya que esta propuesta permitirá reducir el tiempo de trabajo de tres días a solo tres horas, lo que mejora la mantenibilidad, representado en ahorro de horas hombre, puesto que el cambio de la bomba de combustible se realizaría externamente, siendo un ejercicio tan simple como cambiar un bombillo.

Para llevar a cabo la instalación de dichas bombas de combustible en la aeronave AC-47T se debe realizar una modificación en los tanques de combustible, pues como se mencionó anteriormente es necesario remover el tanque para efectuar cualquier tipo de mantenimiento, realizando la adaptación de la bomba de combustible del equipo C-212 ya no va a ser necesario, pero para instalar este componente a la flota de AC-47T se requiere el diseño y la fabricación de un soporte en los tanques de combustible con el fin de instalar las bombas, es decir, un rediseño. Para esto, Herrsher (2009) argumenta que "el rediseño siempre busca incrementar la capacidad del proceso. Por lo tanto puede modificar los elementos físicos, también puede consistir en el cambio de un procedimiento de mantenimiento. En todos los casos rediseñamos para lograr que el equipo haga lo que su usuario necesita"(p.197). Basado en lo anterior y no siendo el objeto de este artículo entrar a elaborar un diseño, es importante recomendar algunos autores que en tema de diseños, propiedades de materiales, herramientas de simulación entre otros... pueden aportar conocimiento para llevar a cabo la implementación de esta recomendación. Para el caso de herramientas computacionales como Solid EDGE Meneses et al (2006) describen la funcionalidad de este programa

“como una herramienta para generar modelos tridimensionales de piezas y conjuntos. Además incorpora herramientas para la representación plana de estos objetos, que posibilitan la realización normalizada de planos 2D”(p.13). Para ampliar el tema de simulación, Muller, Wong y, La cruz, (2007) establecen a Ansys 14.0 como “una herramienta de modelado de elementos finitos que proporciona buenos resultados en el estudio de piezas sometidas a cargas de fatiga”(p.804). Finalmente, una vez puesto a prueba el diseño y confirmado que estructuralmente soportará las cargas a las que será sometido, es importante determinar el material en el que será fabricado, para lo cual se recomienda el Dura aluminio 6061 T6 material del que está construido el tanque de combustible de la aeronave AC-47T. Este material es una solución tratada térmicamente y sometida luego a envejecimiento artificial (con ligero calentamiento). Es una aleación muy utilizada en el diseño estructural (Martínez, 2004) e ideal en uso de soldaduras.

### **Mecanismos de evaluación, seguimiento y control aplicados a una solución que es implementada por primera vez en una organización**

Una vez implementada una modificación como un componente dentro de un sistema es importante lograr una evaluación exitosa y asegurar la participación de los stakeholders. Antes de definir a los stakeholders, vale la pena destacar que esta palabra proviene de “stake” que es esencialmente el interés o participación en una iniciativa y por tal razón tiene alguna afectación en ella (Guerra, 2007). Los “stakeholders” (por su denominación en inglés, partes interesadas) son todas aquellas personas u organizaciones que pueden directa o indirectamente, positiva o negativamente afectar o ser afectadas por los resultados de los proyectos o programas (Villarreal, 2006). Para el caso de esta recomendación (cambio de componente) se encuentran involucrados directa e indirectamente algunos stakeholders como es el caso de la gerencia, que para la FAC son todos aquellos comandantes de jefaturas como la Jefatura de Operaciones Logísticas Aeronáuticas (JOL), Jefatura de Educación Aeronáutica (JEA), comandantes de unidad como Caman y unidades donde opere la flota de AC-47T, así mismo, los Grute, con sus escuadrones y secciones. Es importante una participación activa ya que se requiere que durante y después de la implementación se realice una evaluación de efectividad que permita determinar si los resultados inmediatos cumplen con los objetivos predeterminados por los planificadores del programa, y a su vez una evaluación de impacto que mida los resultados del programa a largo plazo y su interdependencia (Guerra, 2007).

Llegados a este punto García (2012), plantea que “no es posible gestionar el mantenimiento sino se establece un sistema que permita atender las necesidades del mantenimiento correctivo de forma eficiente; siendo los indicadores de gestión una herramienta practica para evaluar el comportamiento de la gestión de mantenimiento” (p.157). Por esta razón se proponen inicialmente tres indicadores con el fin de medir la

efectividad de una solución como es adaptar la bomba de combustible del equipo C-212 a la flota AC-47T. La confiabilidad, por ejemplo, implica el funcionamiento de un sistema o equipo en las condiciones requeridas, lo que depende de forma directa del MTBF (Carcel, 2014). Si los equipos nunca fallaran, la disponibilidad sería del 100%; sin embargo, una vez se pueda cuantificar la confiabilidad se podrá predecir, planificar ensayar y controlar mejor el comportamiento de los equipos (Juran, Grynay, Bingham, 2005). Ahora, la disponibilidad de un sistema es la probabilidad de estar en uso de funcionamiento en el tiempo. El sistema no debe haber presentado fallas, pero en caso de haberlos sufrido deben haber sido reparadas en un tiempo menor que el máximo permitido para su funcionamiento (Creus, 1991). Por último, la mantenibilidad que se define como el tiempo medio de reparación o tiempo de mantenimiento por hora de servicio (hora/hombre), bajo el que puede esperarse que se repare un porcentaje fijo de fallas. El tiempo de mantenimiento por hora de servicio representa el número de horas-hombre trabajadas necesarias para cada hora de servicio del sistema (Creus, 2005).

Estos tres indicadores, confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, permitirán inicialmente evaluar el desempeño de la bomba de combustible propuesta en este artículo y brindarán herramientas en la toma de decisiones.

Así mismo, dentro del proceso de gestión de mantenimiento, es importante la evaluación del riesgo, ya que si no se aplica una gestión efectiva y eficiente de riesgos se podría poner en peligro los objetivos del proyecto. Para esto es necesario consultar los conceptos de algunos autores como Ocaña (2012) que básicamente denomina el riesgo como los “efectos imprevistos y causas que pongan en peligro los objetivos del proyecto, los cuales puedan ser susceptibles de mejora”(p.3). Así mismo, Espinosa, y Salinas (2012), se refieren a la administración del riesgo como una parte clave de cualquier política de mantenimiento o proceso de toma de decisiones, donde la determinación del riesgo es un proceso integral para satisfacer la legislación, alcanzar las marcas de clase mundial o al menos para implementar buenas prácticas en la gestión. El mismo Estado colombiano establece que todas las entidades de la administración pública deben contar con una política de administración de riesgos tendientes en darle un manejo adecuado a los riesgos. (transparencia y la rendición de cuentas en Colombia 2004), siendo la FAC parte de ello.

La pregunta es cómo administrar el riesgo si no está identificado. Ese sería el primer paso para iniciar una acertada administración del riesgo. Para esto Salvador et al (2003) mencionan que la identificación del riesgo “consistirá en especificar, detalladamente, las amenazas reales al plan de un proyecto: estimaciones, planificación temporal, carga de recursos, presupuesto etc.”(p.85). Una vez se tengan identificados los riesgos en la implementación de esta propuesta, es importante

entrar a realizar la evaluación de esto. Martínez (2002), plantea de acuerdo con método hazop lo siguiente: "Identificar las fuentes potenciales de riesgos. Sus causas y todos los riesgos y problemas de operabilidad asociados con las condiciones normales de operación" (p.38).

Teniendo en cuenta lo anterior se puede establecer que el paso inicial para administrar el riesgo en la implementación de esta propuesta está dado en la identificación de los riesgos desde todas las perspectivas apoyados en los stakeholders que conforman el equipo de implementación. Una vez se encuentran definidos es fundamental identificar las fuentes de los riesgos potenciales y evaluar su impacto, para así anticiparse a sus causas y efectos. Finalmente queda por evaluar cuál acción se va a realizar después de ser conocida la trascendencia del riesgo. A continuación se observan en la figura 9 seis posibles cursos de acción con el riesgo. (Serer, 2010).



Figura 9. Acciones contra los riesgos.  
Fuente: Serer (2010).

De acuerdo con la figura 9 se pueden aplicar seis posibles cursos de acción dependiendo del entorno donde se presenten, por ejemplo para el caso de eliminar el riesgo se suprime al causante; en el caso de asegurar el riesgo se garantiza la obtención de una compensación por daño producido, y se asume el riesgo cuando el impacto es poco. De la misma manera cuando se habla de reducir el riesgo se cambia el actor causante por otro con menos esperanza de riesgo, se diversifica cuando se divide con el fin de que existan varios portadores del riesgo para que sea menor y se transfiere cuando otro actor asume el riesgo (Serer, 2010).

Así pues, la implementación de un producto nuevo en una organización se encuentra susceptible a sufrir cambios mientras desarrolla una estabilización en el proceso, es por esta razón que mecanismos de evaluación, seguimiento y control como lo son los indicadores de desempeño y la administración del riesgo juegan un papel clave durante este proceso, y deben basarse en la participación activa de los stakeholders y la medición de la satisfacción del cliente, que deben estar alineados a los objetivos de la organización.

## Conclusiones

De la revisión bibliográfica que se efectuó para el desarrollo de este artículo se concluyó que la gestión de

mantenimiento es una metodología que busca el mejoramiento de los procesos de manera eficaz y eficiente, por lo cual se convierte en una estrategia de mantenimiento aplicable al proceso de logística aeronáutica de la FAC.

Así mismo mediante la aplicación de herramientas de gestión de mantenimiento como el diagrama de Pareto, análisis de modos de fallas, análisis causa raíz y benchmarking se evidenció que el sistema de combustible de la flota AC-47T, se encuentra dentro de los sistemas con más fallas recurrentes, siendo un sistema crítico y de alto impacto para la FAC, ya que afecta de forma negativa indicadores de desempeño como disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad. Del mismo modo se determinó que la falla que presentan las bombas de combustible se define como una falla intrínseca ya que esta no se está induciendo en el componente, sino que es propia de sus características físicas, en este caso desgaste de los componentes internos de la bomba de combustible. De igual forma se planteó una solución tecnológica derivada de la evaluación comparativa con la flota C-212, y de la evaluación de variables como caudal, amperaje y presión de esta manera, se estableció la bomba de combustible N/P 2C37-2 como una opción que garantiza más disponibilidad del sistema reflejado en menos fallas por ende una mayor confiabilidad y una mejor mantenibilidad representado en menos horas-hombre.

Por último y en aras de garantizar el ciclo PHVA (planear, hacer, verificar y actuar), se realizó una revisión a los temas de seguimiento en implementaciones nuevas dentro de una organización definiendo los indicadores de desempeño y la administración del riesgo como mecanismos de seguimiento y control que permitirán evaluar la efectividad de las recomendaciones dadas, siendo para este artículo la adaptación de la bomba de combustible N/P 2C37-2 a la flota AC-47T.

## Referencias

- ▶ Acuña A. (2003). Ingeniería de confiabilidad. (1ra. edición). Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- ▶ AIR BUS MILITARY (2013) Manual de mantenimiento C-212-300 Rev. 16 Cap. 28.
- ▶ Álvarez. M (2013). Cuadro de mando retail. Barcelona: Programa de Fomento de la investigación Técnica Profit.
- ▶ Arata A. (2009). Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales. (1era edición). Santiago: RIL Editores.
- ▶ Arata y L. Furlanetto (2005). Manual de Gestión de Activos y Mantenimiento (1era edición). Santiago, Chile: RIL Editores.
- ▶ Basler Turbo Conversions, Inc. (2008). Manual de mantenimiento Turbo DC3-TP67. Oshkosh
- ▶ Beceril, M. C. G. Hernández, M. y fong A. (2013). La importancia de la creación de provisiones de pasivo en la administración del riesgo de las micro, pequeñas y medianas empresas. Recuperado de <http://search.proquest.com/docview/1434203618?>



- accountid=143348.
- ▶ Brenes L. (2002). Gestión de comercialización. San José: Editorial Universidad Estatal a Distancia Euned.
  - ▶ Campoy D. (2007). Como gestionar y planificar un proyecto en la empresa. Técnicas y métodos para el éxito. (1era edición). Vigo: Ideaspropias.
  - ▶ Carcel J. (2014). Planteamiento de un modelo de mantenimiento industrial basado en términos de gestión de conocimiento. Valencia: OmniaScience.
  - ▶ Chang R. y, Niedzwiecki M., (1999). Las herramientas para la mejora continua de la calidad. (3era edición). Buenos Aires: Granica S.A.
  - ▶ Chávez G y, García Y. (2003). Manual para el diseño de sistemas de calidad basado en competencias laborales. (1era edición). México D.F.: Panorama.
  - ▶ Colombia (1991), Constitución Política de Colombia, Bogotá, Legis.
  - ▶ Creus A. (1991) Fiabilidad y seguridad de procesos industriales. Barcelona: Productiva
  - ▶ Creus A. (2005) Fiabilidad y seguridad. (2 da edición). Barcelona. Marcombo.
  - ▶ Espinosa, F. F., Días, A., y Salinas, G. E. (2012). Un procedimiento para evaluar el riesgo de la innovación en la gestión del mantenimiento industrial Inginiare : Revista Chilena de Ingeniería, 20(2), 242-254. Recuperado de <http://search.proquest.com/docview/1266029881?>
  - ▶ Forero, O. (1994). 75 Años en los cielos patrios. (1era edición). Bogotá: Fuerza Aérea de Colombia [FAC].
  - ▶ Fuerza Aérea Colombiana [FAC], (2014). Manual de confiabilidad.(1era edición). Bogotá Imprenta y Publicaciones Fuerzas Militares República de Colombia.
  - ▶ García, S. (2003). Organización y gestión integral del mantenimiento. Madrid: Díaz de Santos
  - ▶ García S (2012). Operaciones y mantenimiento de centrales de ciclo combinado. Madrid: Díaz de Santos.
  - ▶ García S. (2012). Ingeniería de mantenimiento. Madrid: Renovetec.
  - ▶ Gato F. (2011). Sistemas de aeronaves de turbina. (1era edición). San Vicente: Editorial Club Universitario.
  - ▶ Gato F. (2011).Sistemas de aeronaves de turbina Tomo III (1era edición). San Vicente: Editorial Club Universitario.
  - ▶ González F. (2004). Auditoria del mantenimiento e indicadores de gestión. Madrid: Fundación Confemetal.
  - ▶ González F. (2005). Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado. (2da edición). Madrid: Fundación Confemetal
  - ▶ Griful E, (2001). Fiabilidad Industrial. (2da edición) Barcelona: Ediciones Universidad Popular del Cesar.
  - ▶ Guerra I., (2007). Evaluación y mejora continua. Bloomington: Global Business Press.
  - ▶ Gutiérrez, E. y Alcides, J. (2014). Sistema de gestión de calidad en la Fuerza Aérea Colombiana. Recuperado de <https://www.fac.mil.co/sistema-de-gesti%C3%B3n-de-calidad-en-la-fuerza-a%C3%A9rea-colombiana>.
  - ▶ Herrsher E. (2009). Administración: aprender y actuar: managment sistemico para pymes.(1era edición). Buenos Aires:Garnica
  - ▶ Juran J, Gryna F, Bingham R. (2005). Manual de control de la calidad. (2da edición). Barcelona. Reverte.
  - ▶ Leydi Constanza, R. R. (2008). Grandes sistemas para administrar. Portafolio, Recuperado de <http://search.proquest.com/docview/334457131?accountid=143348>.
  - ▶ Lusthaus C, Adrien M.H., Anderson G, Carden F, (2000). Mejorando el desempeño de las organizaciones: método de evaluación. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica
  - ▶ Martínez A. (2004). Criterios Fundamentales para resolver problemas de resistencia VII. (1era edición) caracas: Equinocio.
  - ▶ Medina, N (2011), Los aviones AC47T ‘Fantasma’ y Cessna 208 ‘Caravan’, prestos a salvaguardar la Soberanía Nacional. Recuperado de <https://www.cacom1.mil.co/los-aviones-ac47t-%C2%B4fantasma%C2%B4-y-cessna-208-%C2%B4caravan%C2%B4-prestos-salvaguardar-la-soberan%C3%ADa-nacional>.
  - ▶ Martínez J.G., (2002). Introducción al análisis de riesgos. México D.F.: Limusa Noriega Editores.
  - ▶ Meneses J, Álvarez C y, Rodríguez S, (2006). Introducción al Solid Edge. Madrid. Paraninfo.
  - ▶ Miranda J.F, Chamorro A, Rubio S, (2007). Introducción a la gestión de la calidad. (1era edición). Madrid: Delta Publicaciones.
  - ▶ Miranda L.N. (2006). Seis Sigma. Guía para principiantes. México.D.F.:Panorama
  - ▶ Morales, G, (2013). Gestión del montaje y del mantenimiento de instalaciones eléctricas. Madrid.: Paraninfo
  - ▶ Muller K, Wongs S, La Cruz A, (2007). Bioengineering Solutions for Latin America Health.
  - ▶ Ocaña J. (2012). Gestión de proyectos con mapas mentales. (Vol. II). San Vicente: Editorial Club Universitario.
  - ▶ Ojeda, M., Ferrero, F.y, Mosquera, G. (2001). Tratamiento de las fallas dependientes y las acciones humanas en los análisis de confiabilidad y riesgo de la industria convencional. Caracas: Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico: Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Nucleares.
  - ▶ País J.R. (2013). BPM (Business Process Management). Como alcanzar la agilidad y eficiencia operacional a través de BPM y la empresa orientada a procesos: Pedro Robledo.
  - ▶ Parra C, y Crespo, A. (2012) Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada a la gestión de activos, Ingecon.
  - ▶ Pérez P.E,y Munera F.N., (2007), Reflexiones para implementar un sistema de gestión de la calidad (ISO 9001:2000) en cooperativas y empresas de economía solidaria. (1era edición). Bogotá: Ediciones Universidad Popular del Cesar.
  - ▶ Portafolio. (2007)¿Por qué falla la gestión de mantenimiento? Portafolio, Recuperado de <http://search.proquest.com/docview/334394301?accountid=143348>
  - ▶ Quintana, A. y Montgomery, W. (2006). Psicología:



tópicos de actualidad. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

- ▶ Rausand, M. (1998). Reliability centered maintenance. Reliability Engineering & System Safety, 60(2), 121-132.
- ▶ Sánchez J (1997). Eficacia organizacional concepto, desarrollo y evaluación. Madrid: Díaz de Santos.
- ▶ Serer M (2010) Gestión Integrada de proyectos (3era edición). Barcelona: Ediciones Universidad Popular del Cesar.
- ▶ Spendolini M, (2005). Benchmarking, Bogotá: Norma.
- ▶ Taylor, S.J y Bogdan, R. (1986-2004). Introducción a los métodos cualitativos de investigación, Barcelona, Paidós.
- ▶ Villarreal M, (2006). Mecanismos participativos en el diseño, formulación e implementación de leyes, políticas y programas sobre envejecimiento. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- ▶ Viveros, P., Stegmaier, R., Kristjanpoller, F., Barbera, L.y, Crespo, A. (2013). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo Ingeniare: Revista Chilena de Ingeniería, 21(1), 125-138. Recuperado de <http://search.proquest.com/docview/1367082676?accountid=143348>.
- ▶ Walton M (2004) El método Deming en la práctica. Bogotá: Norma.

## Tesda

(Grupo de investigación en electrónica y tecnologías para la seguridad y defensa aeronáutica)

**Líder:** Alicia del Pilar Martínez Lobo.

**Área del conocimiento:** ingeniería y tecnologías - ingeniería Electrónica e informática.

**Descripción:** El grupo Tesda es generador y dinamizador de los conocimientos y tecnologías desde la investigación para el fortalecimiento de la Fuerza Aérea Colombiana y la cultura aérea del país. Por lo tanto, el desarrollo de sus capacidades se centra en apoyar y fortalecer los procesos de investigación como: formulando y desarrollando proyectos de I+D+i que permitan el avance tecnológico de la FAC.

### Líneas de investigación:

- Electrónica y telecomunicaciones
- Tecnologías para la defensa

Info. contacto: [investigacion.academico@gmail.com](mailto:investigacion.academico@gmail.com)  
[grupotesda@esufa.edu.co](mailto:grupotesda@esufa.edu.co)

