



COMITÉ EDITORIAL

OD18. Alicia del Pilar Martínez Lobo
Magíster en Docencia e Investigación
Jefe de Investigación Formativa - Grupo Académico - Esufa

OD15. Patricia Cadena Caicedo
Magíster en Docencia e Investigación
Editora Revista Tecnoesufa - Grupo Académico - Esufa

Edna Cristina Sánchez González
Ingeniera Industrial

J. Natalia Rojas Vallejo
Abogada

DIRECCIÓN

Escuela de Suboficiales CT. Andrés M. Díaz
Cr. 5 No. 2-29 sur
Madrid - Cundinamarca - Colombia

Teléfono Directo: 8209079 - 8209078 Ext. 1025 - 1705
Conmutador: 8209080 - 8209066

Escuadrón de Investigación

revistatecnoesufa@esufa.edu.co
investigación.academico@gmail.com
revistatecnoesufa@gmail.com
www.esufa.edu.co

DISEÑO, DIAGRAMACIÓN E IMPRESIÓN

SI Soluciones Integrales AP S.A.S
Mónica Alexandra Quiñones Moreno

ÍNDICE

INSTITUCIONAL

- 5 Realidades y expectativas del perfil ocupacional y profesional del Tecnólogo en Mantenimiento de la Fuerza Aérea Colombiana
Por: Adriana Almanza, Nancy Ayala, Jhon Lara, Sandra Montaña e Islendi Noreña.

CIENCIA Y TECNOLOGÍA AERONÁUTICA

- 10 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
Por: Luisa Fernanda Martínez Caro.
- 23 Hacia una metodología para la enseñanza del idioma inglés en la modalidad virtual para la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana
Por: Erika Juliana Estrada V., Olga Clemencia Rodríguez G., Patricia Gutiérrez B. y Luis Octavio Jaramillo C.
- 30 Metodología para determinar la eficiencia de la etapa de turbina de alta presión en un motor turbofan
Por: Oscar David Atahualpa G. y Francisco Javier Gonzalez C.
- 36 La modalidad de la educación virtual: la más adecuada para capacitar a los controladores aéreos
Por: Freddy Alberto Tovar Chávez.
- 42 ¿Cómo afecta el hielo el vuelo de un avión?
Por: Ever Oswaldo Vivas Hernández.
- 49 Gestión de proyectos según el estándar del PMI® en las Instituciones de Educación Superior de la Fuerza Aérea Colombiana
Por: Alicia del Pilar Martínez Lobo y John Jairo Garzón.
- 57 Diseño y construcción de una turbina libre para generación de energía
Por: Jhoan Alexander Barrios Z. y Miguel Angel Bernal M.

El propósito de esta edición N°24, es mostrar a la comunidad académica, el producto de la actividad investigativa realizada por estudiantes y miembros de la Escuela de Suboficiales "CT. Andrés M. Díaz" de la FAC, durante el año que está por finalizar.

En tal sentido, muchos de los esfuerzos por parte de la dirección de la escuela, se han encaminado hacia el desarrollo de la función investigación, estos materializados en apoyos a la capacitación, actualización y perfeccionamiento de sus docentes así como el apoyo a las publicaciones, con lo cual se busca no solo fortalecer la producción escrita, sino también el posicionamiento de esta revista dentro de la comunidad científica nacional e internacional.

En virtud de lo anterior, la gestión de la investigación se ha operacionalizado a través de los nacientes grupos de investigación Tesda (Grupo de Investigación en electrónica y tecnologías para la seguridad y defensa aeronáutica) para el desarrollo de proyectos que impulsan la formación en investigación tecnológica aeronáutica - donde participan estudiantes y docentes -, y Praxis (Grupo de investigación en praxis educativa) en cuanto a investigación educativa como un apoyo al proyecto educativo institucional y a las iniciativas y propuestas de: oficiales, suboficiales, docentes y administrativos, que conforman la comunidad académica. Todo ello es el reflejo de una institución que cree en la investigación como una posibilidad de transformación de los procesos formativos que desarrolla la escuela.

En esta dinámica, se puede afirmar con respecto a la gestión educativa desarrollada por la Escuela durante 2015, que iniciativas como "Esufa: Evolución Educativa con Excelencia - E⁴" se convierte en un proyecto de gran envergadura, al constituirse en el proyecto educativo que la Escuela deberá desarrollar en los próximos dos decenios, 2015-2030.

Esta iniciativa no solo se constituye en la mirada prospectiva que ha tenido el alto mando sobre la educación del suboficial del siglo XXI; sino que a la vez se convierte en el modelo de aseguramiento de la alta calidad tanto en lo institucional como de sus programas, cuyo reconocimiento que ha sido ratificado tanto para la renovación de acreditación institucional como para los programas tecnológicos: Comunicaciones y Electrónica Aeronáutica en fecha reciente.

Para finalizar mi llamado es a la comunidad educativa - en esta nueva etapa que se inicia en la Esufa - a continuar con los esfuerzos en la consolidación de la excelencia educativa; así mismo a reconocer en la investigación como una forma de validar la construcción de nuestros saberes y prácticas formativas para el fortalecimiento del proyecto educativo institucional.

Coronel, JUAN CARLOS ORTÍZ HERNÁNDEZ, Director Escuela de Suboficiales FAC



CR. Juan Carlos Ortiz Hernández
Director Escuela de Suboficiales FAC

The purpose of the 24th edition is to show the academic community, the result of the research activity done by students and members of the "CT. Andrés M. Díaz" FAC's NCO School, during the ending year.

As such, many of the efforts done by the school's direction have been directed towards the developing research function. These materialized by supporting the training process, by updating and improving their teachers as well as the support to publications. This is done not only to seek the strengthening of the written production but also by positioning this magazine in the national and international scientific community.

Keeping this into account, the research management has been operationalized through the emerging Tesda (Electronics and Technologies for Aviation Security and Defense Research Group) for the development of projects that promote aeronautic technological research training - where students and teachers participate - and Praxis (educational practice research group) as an educational research to support the education project initiatives and proposals done by: officers, noncommissioned officers, teachers and administrators, who are part of our academic community. All this is a reflection of an institution that believes in research as a possibility of transformation of the educational processes developed by the school.

It can be said with respect towards educational management developed by the School during 2015, initiatives such as "Esufa Educational Excellence Evolution - E⁴" becomes a major project, to become the educational project that the school should develop over the next two decades, from 2015 to 2030.

This initiative is not only in the prospective outlook that the high command sergeant has taken of the education in the XXI century; but at the same time it becomes the quality assurance model both in the institution and its programs, the recognition of which has been ratified both through the renewal of the institutional accreditation as for the technology programs: Aeronautic Communications and Electronics.

To end, my call is to the educational community - in this new phase that begins at Esufa - to continue your efforts in strengthening educational excellence. I also want to recognize research as a way of validating the construction of our knowledge and training to strengthen the institutional educational project practices.

Colonel JUAN CARLOS ORTIZ HERNANDEZ, FAC's NCO School Director



CR. Juan Carlos Ortiz Hernández
Director Escuela de Suboficiales FAC

Para empezar se destaca la importancia de que la Escuela de Suboficiales FAC sigue perteneciendo a la élite de instituciones reacreditadas en alta calidad, con sus programas de Electrónica y Comunicaciones Aeronáuticas. Adicionalmente, los artículos que se muestran en esta publicación están ligados a dos temáticas específicas de la realidad educativa con la cual las fuerzas militares se preparan para el posconflicto.

En la primera temática es abarcada desde el concepto educativo, con la presentación de tres artículos titulados "Realidades y expectativas del perfil ocupacional y profesional del tecnólogo en mantenimiento de la Fuerza Aérea Colombiana", "Hacia un modelo pedagógico de enseñanza del idioma inglés en la modalidad virtual en la escuela de postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana" y "La modalidad de la educación virtual: la más adecuada para capacitar a los controladores aéreos". Se considera que con el proceso de paz existe la necesidad de revisar los perfiles ocupacionales de los nuevos profesionales en aviación, ya que estos rediseñarán la forma de operación de la aviación militar y el compromiso con el país para así estar a la vanguardia en este nuevo reto.

La segunda temática se centra en temas de ciencia, tecnología e innovación. En esta se presentan seis

artículos: "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", "Diseño y construcción de una turbina libre para generación de energía", "Metodología para determinar la eficiencia de la etapa de turbina de alta presión en un motor turbofan", "Gestión de proyectos según el estándar del PMI en las instituciones de educación superior de la Fuerza Aérea Colombiana", "¿Cómo afecta el hielo el vuelo de un avión?" y "Desarrollo de prototipos como resultados de trabajos de grado del programa en mantenimiento aeronáutico de la Escuela de Suboficiales para el avión Calima T-90". Estos son algunos aportes tecnológicos en los cuales se visualiza el desarrollo aeronáutico, lo que fortalece los temas afines de esta publicación.

La revisión de esta literatura da muestra de cómo estos procesos impactan de forma tangible el sector aeronáutico y benefician las economías de escala en asuntos que enriquecen los conceptos educativo y tecnológico como aporte de la Fuerza Aérea Colombiana a la nación.

Por último, deseo agradecer a los lectores de este número, e igualmente los invito a realizar sus críticas constructivas para enriquecer la publicación y fomentar calidad académica aeronáutica, aspecto es determinante para el crecimiento del país.

The importance that the FAC's NCO School still belongs to the elite institutions that have been accredited again as high-quality in its Electronics and Aircraft Communications programs stands out. Additionally, the articles published in this edition are linked to two specific topics of the educational reality with which the military is getting ready for the post-conflict.

The first topics are approached from the educational concept. We initially present three articles entitled "Realities and expectations of the occupational and professional profile of a Maintenance Technologist in the Colombian Air Force", "Looking for a Virtual English teaching system for the Colombian Air Force Graduate School" and "Virtual education: the best option to train air traffic controllers" It is considered that with the peace process there is a need to review the occupational profiles of new aviation professionals, as the military aviation operation and the commitment to the country will be designed again to be at the forefront of this new challenge.

The second topic is centered in the science, technology and innovative areas. In this part we have six articles "Maintenance management applied to the fuel distribution systems, aimed at improving the AC-47T aircraft fleet in the Colombian Air Force", "Design and

construction of a free turbine for power generation", "Method to determine the efficiency of the high pressure turbine stage in a turboprop engine", "Project management according to the Colombian Air Force's Higher Education PMI standard", "¿How does ice affect an airplane's flight?" and "Prototyping as a result of different thesis projects from the aircraft maintenance program at the NCO School for the Calima T-90 aircraft" Some technological contributions, where the aeronautical development can be seen, strengthens the related issues of this publication.

The revision of this edition shows how these processes tangibly benefit the impact industry and scale economies have in matters that enrich the educational and technological concepts as a contribution of the Colombian Air Force to the nation.

Finally, I want to thank the readers of this issue, as well as invite them to make a constructive criticism to enrich this publication and enhance the aeronautic academic quality, an aspect that is crucial to the country's growth.

Realidades y expectativas del perfil ocupacional y profesional del Tecnólogo en Mantenimiento de la Fuerza Aérea Colombiana

Realities and expectations of the occupational and professional profile of a Maintenance Technologist in the Colombian Air Force

Fechas de recepción: 28 de Agosto de 2015
Fecha de aprobación: 25 de Noviembre de 2015

Por: Adriana Almanza*
Nancy Ayala**
Jhon Lara***
Sandra Montaña****
Islendy Noreña*****

Resumen

La Escuela de Suboficiales FAC (Esufa) está implementando la estrategia E⁴ (evolución educativa con excelencia en Esufa) para profesionalizar a los suboficiales de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC). Esta investigación busca determinar la coherencia entre el perfil ocupacional y profesional de la Tecnología en Mantenimiento de Esufa, el quehacer del egresado y las expectativas que los estudiantes de último año de este programa tienen con respecto al rol que ejercerán. La determinación de la coherencia se realizó mediante un estudio evaluativo sistemático. Los resultados se presentan por objetivos específicos, se parte del análisis del proyecto educativo institucional (PEI) y los sílabos a partir de categorías definidas; con esto se obtuvo que en el currículo oficial prima el saber ante el hacer. El 50% de los egresados del programa conocieron el perfil profesional y ocupacional durante su formación y consideran que el tiempo asignado a la formación y a las temáticas recibidas son suficientes para adquirir las competencias y habilidades. Contrario a esto, los egresados encuentran una deficiencia en la adquisición de habilidades técnicas. El currículo de la Tecnología en Mantenimiento Aeronáutico como currículo oficial responde a objetivos definidos, desarrollados a través de sílabos, pero presenta falencias en la práctica para cuando son egresados.

Palabras clave: Perfiles ocupacional y profesional, currículo, coherencia, evaluación, competencias.

Abstract

The FAC's NCO School (Esufa) is implementing the E⁴ strategy (educational evolution with excellence in Esufa) to professionalize their NCOs. This research aims to determine the consistency between Esufa's Maintenance Technology occupational and professional profile. We analyze the graduate's work and the expectations seniors have regarding the role that they will exercise. Determining coherence was done by using a systematic evaluation study. The results are presented by specific objectives. The analysis starts at the Institutional Educational Project (PEI) and the syllabi from some specific categories. With this we were able to conclude that in the official curriculum knowledge comes before doing. 50% of graduates became familiarized with the professional and occupational profile during their formation. They considered that the time spent training and in the different topics received were enough to acquire the skills and abilities needed. Contrary to this, the graduates find a deficiency in the learning of technical skills. The Aviation Maintenance Technology curriculum as an official curriculum responds to defined goals, developed through its syllabi, but it has a weakness in the hands on part when they have graduated.

Palabras clave: occupational and professional profiles, curriculum, coherence, evaluation skills.

*Adriana Almanza, Ingeniera Industrial con opción en computación visual de la universidad de los Andes, Subteniente de cuarto año de la FAC como asesora en organización y calidad

**Nancy Ayala, Licenciada en Educación Física de la Universidad Pedagógica, especialista en gerencia y proyección social de la educación de la Universidad Libre, con siete años de experiencia en educación entre esos cinco y medio en el sector oficial.

***Jhon Jairo Lara, Enfermero de la Universidad Nacional de Colombia, estudiante de maestría en fisiología Universidad Nacional, actualmente docente universitario en la Universidad de Ciencia Aplicadas y Ambientales UDCA, enfermero unidad de cuidados intensivos en el hospital universitario Méderi en el año 2014.

****Sandra Montaña, Licenciada en Psicología y Pedagogía de la Universidad Pedagógica, especialista en gerencia social de la educación de la Universidad Pedagógica, con ocho años de experiencia en psicopedagogía y diez años de directivo de docente.

*****Islendy Noreña, Enfermera de la Universidad Nacional, estudiante de maestría en fisiología Universidad Nacional, actualmente docente universitaria universidad nacional facultad de enfermería, enfermera asistencial y de programas de promoción y prevención 2013 - 2014.

Introducción

A lo largo de su existencia, la Escuela de Suboficiales FAC (Esufa) ha pasado a ser un centro de instrucción de educación superior acreditada que forma militares técnicos en diferentes especialidades, dentro de las cuales se cuenta con la Tecnología en Mantenimiento Aeronáutico, acreditada por primera vez en 2006 mediante Resolución 1921 y reacreditada por seis años en 2010, mediante Resolución 12275 (Esufa, 2014).

Actualmente, la Esufa se propone mantener altos estándares de calidad mediante un proceso de mejoramiento continuo, para dar respuesta a las demandas actuales con respecto al talento humano necesario en las diferentes bases de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC). Frente a esto se han identificado oportunidades de mejora en cuanto a la formación y ejercicio laboral de sus egresados.

Por lo tanto, es conveniente plantear la siguiente pregunta de investigación: ¿existe coherencia entre el perfil ocupacional y profesional de la Tecnología en Mantenimiento Aeronáutico, el quehacer del egresado y las expectativas que los estudiantes de último año de este programa tienen con respecto al rol que ejercerán? Con la respuesta se busca identificar la correspondencia del currículo con respecto al quehacer profesional de sus estudiantes y egresados en las diferentes bases de la FAC.

Marco Teórico

Para fines de esta investigación, es importante aclarar que las instituciones educativas que ofrecen formación tecnológica son aclaradas en el artículo 18 de la Ley 30, la cual menciona lo siguiente: “Son instituciones universitarias o escuelas tecnológicas, aquellas facultadas para adelantar programas de formación en ocupaciones, programas de formación académica en profesiones o disciplinas y programas de especialización” (Ministerio de Educación Nacional, 1992).

El presente estudio pretende establecer la coherencia entre las competencias que se proponen desarrollar en el currículo de la Tecnología en Mantenimiento Aeronáutico y las necesidades de formación demandadas por la FAC, y que se traducen en habilidades para el desarrollo de funciones en los talleres de mantenimiento aeronáutico de las diferentes bases aéreas del país. Para tal fin es necesario abordar desde una teoría los criterios necesarios para el desarrollo de la evaluación curricular.

El planteamiento del programa curricular en estudio está fundamentado en la teoría de Tyler (1949), quien establece como principios básicos del currículo “qué fines desea alcanzar la escuela, qué objetivos se deben seleccionar para alcanzar tales fines y qué actividades de aprendizaje son las más pertinentes para alcanzar los objetivos propuestos”. En el caso de la Tecnología en Mantenimiento Aeronáutico, estos principios básicos están reunidos en el currículo oficial, definido por Posner

(1995) como “Currículo escrito que se documenta en diagramas de alcance, programas de estudios, guías curriculares, esquemas de rutas, estándares y listas de objetivos. Su propósito es proporcionar a los profesores una base para planear lecciones y evaluar a los estudiantes [...]” (1995, p. 13). Así es como el currículo oficial de la Tecnología en Mantenimiento Aeronáutico se evidencia mediante los sílabos vistos como “una guía de trabajo académico, con posibilidad de adecuarse a los fines perseguidos en el proceso enseñanza-aprendizaje” (FAC, 2014) y el plan educativo del programa tecnológico desde la coordinación y dirección del jefe del programa; este verifica el seguimiento y cumplimiento de los sílabos en cada una de las asignaturas y espacios académicos del currículo del programa tecnológico.

Con respecto a las actividades pertinentes para el alcance de los objetivos propuestos, Tyler (1949) a través de su teoría propone los siguientes aspectos:

1. El tipo de experiencias que necesita el alumno para adquirir comprensión de los hechos y principios más importantes debe ser mayor del que se necesita para memorizarlos.
2. Si los objetivos educativos están basados en brindar habilidades y destrezas mentales para que los estudiantes den respuesta a las necesidades reales, es necesario que el estudiante esté en contacto con experiencias reales.
3. No basta con que los estudiantes comprendan, analicen y apliquen, sino que también es deseable que encuentren satisfacción en la tarea que emprenden (pp. 17, 25, 56).

Dado que Posner (2005) define el currículo oficial como “Currículo escrito que se documenta en diagramas de alcance, programas de estudios, guías curriculares, esquemas de rutas, estándares y listas de objetivos”, se empleará como sustento documental tanto el proyecto educativo institucional (PEI) de la institución como los sílabos, con el fin de reconocer fines, objetivos y perfiles que pretenden ser alcanzados con la educación tecnológica impartida e identificar cuáles experiencias educativas han sido propuestas en el plan de estudios para alcanzar dichos propósitos.

Por otra parte, para dar respuesta a los objetivos relacionados con el hecho de reconocer las expectativas que los estudiantes de último año de la Tecnología de Mantenimiento de la FAC tienen con respecto al rol que desempeñarán e indagar acerca de las expectativas que el Tecnólogo en Mantenimiento tenía durante su formación y las actividades y funciones que actualmente realiza, es necesario tener en cuenta que de acuerdo con lo propuesto por Posner (2005), el currículo operativo —entendido como aquel que permite identificar la puesta en marcha del currículo oficial, porque se centra en lo que el profesor realmente enseña en el aula y en cómo comunica su importancia al estudiante—. Para tener un acercamiento al currículo operativo y adquirir información implícita al respecto, se aplicaron encuestas semiestructuradas con preguntas organizadas en tres categorías: perfiles, habilidades y

competencias, y expectativas y realidades del rol del tecnólogo en mantenimiento aeronáutico. A través de preguntas relacionadas con percepción sobre la pertinencia de la intensidad horaria, relación teoría y práctica, asignaturas que ameritan mayor profundización, factores que priman en la evaluación, se obtendrán datos valiosos para establecer la alineación del currículo oficial y operativo.

Debido a que es una institución de carácter militar, este aspecto es influyente en la educación que se imparte porque en las políticas de educación, capacitación y entrenamiento, la FAC busca tener el perfil integral del alumno, constituido por la conjugación de los perfiles personal, profesional y ocupacional que garanticen la satisfacción de las necesidades institucionales (Esufa, 2014). El alumno se encuentra en un entorno educativo en el que existe subordinación, hay jerarquización del mando y el alumno debe adaptarse a las exigencias de su medio recién egrese. Por esta razón, es importante esclarecer la influencia de la doctrina militar en su saber y quehacer, la cual puede causar un impacto en las expectativas del tecnólogo en formación.

De acuerdo con esto, se procede a verificar investigaciones afines para realizar un acercamiento investigativo a la problemática que se aborda en la investigación, teniendo en cuenta la jerarquía que se aplica en la Esufa, obtenido tras la búsqueda de estudios previos realizados en la FAC. Se encuentra una investigación llevada a cabo en 2010 por Castellanos (2010) (maestrante en Diseño y Gestión de Procesos de la Universidad de la Sabana), quien detectó la necesidad de diseñar el currículo del programa Teatro de Operaciones Aéreas, basado en C3 I2 (comando, control, comunicación, inteligencia informática) para el personal de oficiales de la institución. Esto debido a que fue necesario fortalecer el programa académico de los cursos de ascenso de oficiales para garantizar la adquisición de competencias y destrezas en planeación, toma de decisiones, logística de la defensa y operaciones aéreas.

El Maestrante tuvo en cuenta los resultados de encuestas aplicadas al personal en curso de ascenso que fue formado en el Instituto Militar Aeronáutico (actualmente Escuela de Posgrados de la Fuerza Aérea Colombiana), una de las instituciones de educación superior de la FAC. Estas encuestas indagaron acerca de la intensidad horaria óptima para el desarrollo de la asignatura y correlación de las asignaturas desarrolladas en el curso de ascenso frente al ejercicio práctico de juegos de guerra.

En la investigación de la Tecnología en Mantenimiento Aeronáutico, se evidenció que el currículo contaba con tiempo insuficiente para adquirir los conocimientos y habilidades durante el desarrollo de la práctica completa para su posterior aplicación, una vez graduados como egresados del programa tecnológico. Con lo anterior, basado en el diseño del currículo y la definición de la logística en el software, y con respecto a la correlación de las asignaturas y la práctica, se identificó que el 58% de los alumnos encuestados no evidenciaron sinergia entre la teoría y el desarrollo del ejercicio práctico.

Esta investigación tuvo como finalidad solventar estas debilidades detectadas mediante el diseño del plan curricular basado en las competencias que debe adquirir el personal de ascenso, actividades por ejecutar, indicadores de desempeño y evidencias.

Tanto la investigación realizada por el maestrante Guillermo Enrique Castellanos (2010), basada en el currículo de cursos de ascenso de oficiales de la FAC, como la presente investigación que se centra en una tecnología de mantenimiento de la Esufa permiten reconocer las deficiencias a nivel curricular, en cuanto a la formación teórico- práctica que en últimas afecta el desarrollo de las competencias de los tecnólogos y oficiales en ejercicio. Esto deja ver lo planteado por Tyler (1949) acerca del análisis de la vida contemporánea y los adiestramientos para el desarrollo de habilidades y la ejecución de tareas específicas: “los estudios sobre la aplicación del adiestramiento, señalaron sin embargo que hay muchas probabilidades de que el estudiante aplique las enseñanzas si reconoce determinada similitudes de la vida y aquellas en las que se ha efectuado el aprendizaje” (p.).

Teniendo en cuenta los hallazgos a nivel curricular, es importante contemplar la evaluación de tal manera que desde la planeación, los contenidos, los métodos y actividades se dé respuesta a las necesidades de formación demandadas por la institución y las funciones en el desarrollo propio de las tareas, y de esta manera equilibrar las actividades prácticas que fortalezcan y mejoren las habilidades de los aprendices.

Metodología de Investigación

El diseño empleado fue de carácter evaluativo. La investigación desde la evaluación pretendió identificar información útil, generar resultados y transcribirlos para verificar la viabilidad o no de la implementación de la profesionalización de los suboficiales de la FAC, y a la vez medir los efectos de un programa por comparación con las metas y objetivos que se propuso lograr, desde la obtención de información sobre planes, expectativas y necesidades de la FAC. Asimismo, la investigación evaluativa, siendo un conjunto de procedimientos sistemáticos que buscan hacer visible lo que se hace en la formación con referencia a lo que se pretende hacer respecto a los intereses, efectividad, operacionalidad y calidad de las acciones, servicios y programas de la tecnología, proyectó evaluar la (eficacia) relación entre objetivos y logros por parte de los egresados de la Tecnología en Mantenimiento Aeronáutico y la (efectividad) relación entre las estrategias, los métodos, los procedimientos y los logros, y la satisfacción de los usuarios o implicados, que vienen siendo los estudiantes de la tecnología con respecto a sus expectativas y el perfil ocupacional y profesional con el currículo.

Participantes

El contexto donde se desarrolló la investigación fue la FAC; la población estuvo constituida por los estudiantes del último año y egresados de la Tecnología en Mantenimiento Aeronáutico, puesto que son los

principales actores e implicados de la investigación, además son los que pueden brindar información verídica de la situación real del currículo de la tecnología para 2014. Asimismo, los estudiantes son quienes pueden precisar las realidades y expectativas del perfil ocupacional y profesional del tecnólogo en mantenimiento de la FAC con respecto al rol que ejercerán.

Para fines del estudio se utilizó al 30% de los 57 estudiantes de último año de la tecnología, así como al 30% de los egresados del curso; también a 84 pertenecientes a la Tecnología de Mantenimiento Aeronáutico —de segundo año de ejercicio— y la información de currículo oficial de la Tecnología en Mantenimiento Aeronáutico de acuerdo con las categorías establecidas.

Para realizar el proceso de análisis de los datos recolectados y responder a la pregunta de investigación, se utilizó la estrategia de la triangulación de métodos, puesto que se manejaron diferentes métodos de recolección de información, como la encuesta a estudiantes de la Tecnología de Mantenimiento Aeronáutico y a los egresados de esta misma, y la revisión curricular al PEI y sílabo de la tecnología.

Se realizó también una triangulación de métodos desde instrumentos cualitativos y cuantitativos como resultado del análisis de las encuestas y documentos revisados para tener una mayor fiabilidad de los datos encontrados, lo que permitió cruzarlos y mejorar el diagnóstico organizativo sintetizando los resultados. Desde el proceso de selección, centralización, abstracción y transformación de los datos, se organizó y analizó cuantitativamente la información de las encuestas a través de la escala Likert, en la que se establecen niveles en los que se identifica el grado de acuerdo o desacuerdo con cada una de las siguientes categorías: perfil, habilidades y competencias, expectativas y realidades del rol del tecnólogo en mantenimiento aeronáutico. Esto permitió encontrar la actitud del egresado y del estudiante de la Tecnología de Mantenimiento Aeronáutico hacia el perfil de la tecnología. De igual manera, en las encuestas se encontraban preguntas abiertas a las cuales se les realizó un análisis cualitativo, y de esta manera se lograron identificar a profundidad las percepciones de los estudiantes. Dichos resultados se organizaron en cuadros de los puntos de vista en común.

Asimismo, el análisis del contenido del currículo de la Tecnología en Mantenimiento Aeronáutico fue un proceso que se basó en identificar y codificar la información desde el proyecto educativo del programa de la Tecnología en Mantenimiento Aeronáutico y los sílabos de las asignaturas, análisis realizado desde las siguientes categorías: objetivos y propósitos, competencias y habilidades planteadas, relación teoría y práctica, y evaluación del aprendizaje a través de una matriz que ayuda a sintetizar la información. Para cruzar la información resultante de las encuestas y revisión curricular se realizó una matriz que permitió combinar

los datos, buscando relaciones entre las categorías que se ubicaron en las encuestas y en la revisión curricular, basados en la validez y rigurosidad de los instrumentos y métodos de recolección de la información; así, se pudieron establecer las siguientes categorías: malla curricular y sílabos, adquisición de habilidades y competencias, perfil, expectativas del rol del Tecnólogo en Mantenimiento Aeronáutico.

Resultados

El PEI tiene definida de forma clara la oferta de siete programas tecnológicos aeronáuticos, entre los que se encuentra la Tecnología en Mantenimiento Aeronáutico. Dicha oferta está alineada con la estructura curricular del programa educativo ofrecido, mas no con las necesidades de la FAC (cliente o lugar donde van a laborar los egresados del programa tecnológico), teniendo en cuenta que los perfiles que requiere la FAC para laborar en los diferentes talleres de las bases aéreas corresponden a un perfil técnico. En este aspecto se resalta la importancia de la revisión curricular para alinear la malla con las necesidades de la FAC como primer paso para la profesionalización de los suboficiales.

El programa educativo ofertado al personal de futuros suboficiales (estudiantes de último año) corresponde adecuadamente con los programas tecnológicos ofertados por la institución educativa, pero al pasar dicho personal a ser egresados de la Tecnología en Mantenimiento Aeronáutico se encuentran con que el perfil ocupacional y profesional real al que se deben enfrentar es técnico. Por esta razón, se presentan inconsistencias entre la correspondencia entre el PEI y el quehacer real del egresado la Tecnología de Mantenimiento Aeronáutico. A partir de esto, se refuerza la propuesta ir formando en la especialización, paso a paso, al suboficial con los conocimientos y habilidades necesarios a medida que va avanzando en su carrera profesional.

El personal de estudiantes y egresados de la Tecnología en Mantenimiento Aeronáutico manifiesta una clara necesidad de reforzar el tiempo de práctica en el currículo oficial y operacional; esto teniendo en cuenta que, si bien el programa educativo es de nivel tecnológico, las actividades en el campo laboral son netamente técnicas. Por esta razón, solicitan no disminuir la capacitación teórica, pero sí fortalecer la capacitación práctica o técnica en la implementación de la estrategia E4.

La institución educativa ofrece un programa tecnológico acorde con las expectativas de los estudiantes, pero al requerir la FAC habilidades técnicas en el perfil profesional y ocupacional de un egresado de la tecnología en mantenimiento aeronáutico, se está evidenciando una falta de coherencia entre lo que se espera recibir laboralmente por parte de la FAC y lo que espera ejercer el estudiante y egresado de la tecnología, que sí coincide con lo ofertado por parte de la escuela de formación de suboficiales.

Los objetivos curriculares están alineados al dominio técnico donde se esbozan los conocimientos del perfil profesional del egresado y un perfil ocupacional encaminado a funciones del técnico en mantenimiento; aunque el PEI no planea de manera explícita una metodología evaluativa que sustente la práctica en cuanto al desarrollo de las habilidades y destrezas del egresado.

El currículo de la Tecnología en Mantenimiento Aeronáutico, como currículo oficial, responde a unos objetivos definidos por la Esufa, desarrollados a través de los sílabos; sin embargo, no dan respuesta a las necesidades contextuales en cuanto a la formación y habilitación para el cumplimiento de funciones por parte de los egresados. Por lo tanto, se puede decir que no existe coherencia entre el perfil ocupacional y profesional de la Tecnología en Mantenimiento Aeronáutico, las expectativas de los estudiantes y el quehacer del egresado de la tecnología. Se sugiere entonces que este aspecto sea tenido en cuenta para la profesionalización del personal de suboficiales de la FAC.

Conclusiones

Es necesario reconocer, como lo propone el autor de la investigación evaluativa, Stufflebeam (1995), que cada escuela, o cualquier institución, necesita someterse periódicamente a una evaluación del contexto. Por lo tanto, el presente ejercicio investigativo realiza también una descripción del contexto donde se desarrolla el proceso educativo.

La identificación de la necesidad específica de la FAC como cliente buscó garantizar que el proceso evaluativo se orientara a la obtención de resultados con un valor importante para la necesidad planteada. Como ya se ha mencionado anteriormente, la necesidad de un proceso evaluativo por parte de la FAC está relacionada con la identificación de que el egresado de la tecnología no está cumpliendo con las funciones para las cuales está capacitado.

Por lo tanto, encontramos como características del entorno lo siguiente:

- 1) Un ambiente militar que implica un grado de obediencia y de subordinación.
- 2) Un ambiente académico influenciado por el ambiente militar.
- 3) Una tradición educativa basada en prácticas académicas y evaluativas mucho más teóricas que prácticas.
- 4) El estudiante además de cumplir con sus roles asignados en materia académica se enfrenta al cumplimiento de sus labores en la formación como militar (entrenamiento físico, mental, táctico, servicios dentro de la escuela, entre otros).
- 5) El contexto académico genera una serie de expectativas en los estudiantes que ingresan a la Tecnología en Mantenimiento Aeronáutico.
- 6) Los egresados de la Tecnología en Mantenimiento Aeronáutico son empleados directamente por la FAC en cada una de sus bases a nivel nacional, lo

que asegura que cada egresado tiene una oportunidad laboral garantizada y también que se puede realizar evaluación de seguimiento de su desempeño.

Por lo tanto, teniendo en cuenta la evaluación del entorno, se ha evidenciado la oportunidad de mejora propuesta por el cliente y se ha presentado entonces el presente ejercicio evaluativo como estrategia evaluativa que lleve a la obtención de información que permita a la FAC realizar un proceso de mejoramiento continuo.

Referencias

- ▶ Arnaz, J. (1996). La planeación curricular. México, D. F.: Trillas.
- ▶ Bernal, C. (2010). Metodología de la investigación. Bogotá: Pearson Educación.
- ▶ Bonilla Castro, E. y Rodríguez Sehk, P. (1997). Más allá del dilema de los métodos: la investigación en ciencias sociales. Bogotá: Norma. Bogotá.
- ▶ Colombia, Ministerio de Educación Nacional. (1992). "Ley 30". Bogotá, Colombia.
- ▶ Colombia, Ministerio de Educación Nacional. (1994). "Ley 115". Bogotá, Colombia
- ▶ Castellanos, G. (2010). Diseño curricular del programa teatro de operaciones aéreas, basado en C3 I2 (comando, control, comunicación, inteligencia, informática) para el personal de oficiales de la Fuerza Aérea Colombiana.
- ▶ Universidad de la Sabana. Recuperado de <http://intellectum.unisabana.edu.co:8080/jspui/bitstream/10818/4905/1/130176.pdf>
- ▶ Díaz, A. (1996). Alcance y limitaciones de la metodología para la realización de planes de estudio. En F. Díaz Barriga, M. Lule, S. Rojas y S. Saad (Comps.), Metodología de diseño curricular para la educación superior. México, D. F.: Trillas.
- ▶ Escuela de Suboficiales de la Fuerza Aérea Colombiana (Esufa) (2014). Proyecto educativo institucional PEI. Recuperado de <https://www.fac.mil.co/?idcategoria=82387> párr. 7.
- ▶ Fuerza Aérea Colombiana (FAC) (2014). Plataforma estratégica de la FAC. Recuperado de <https://www.fac.mil.co?idcategoria=27> parr.1
- ▶ Montoya, J. (2013). El campo de los estudios curriculares en Colombia. Bogotá:
- ▶ Rubio, M. y Varas, J. (1997). El análisis de la realidad en la interacción social. Alcalá: Editorial CCS.
- ▶ Tyler, R. (1949). Principios básicos del currículo. Chicago: Troquel.
- ▶ Posner, G. (2005). Análisis del currículo. México, D. F.: McGraw-Hill.
- ▶ Stufflebeam, D. (1995). Evaluación sistemática guía teórica y práctica. España: Paidós.
- ▶ Tyler, R. (1949). Principles of curriculum and instruction. Chicago: University of Chicago press.

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 ELECTRICO	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	PROTECCION CONTRA HELO Y LLUVIA	19	2.29
52	PUEERTAS	12	1.44
31	SIST DE INDE INSTRUMENTOS DE GRABACION	11	1.32
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	DETECCION DE FUEGO	4	0.48
65	ESTABILIZADORES	3	0.36
38	SISTEMA NEUMATICO	2	0.24
74	IGNICION 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.

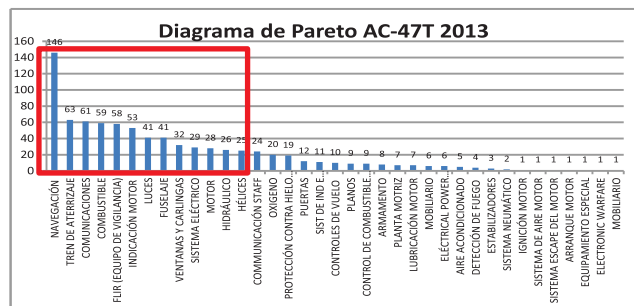


Figura 1. Pareto equipo AC-47T (2013).
Fuente: sistema de información SAP. Fuerza Aérea Colombiana (2015).

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.

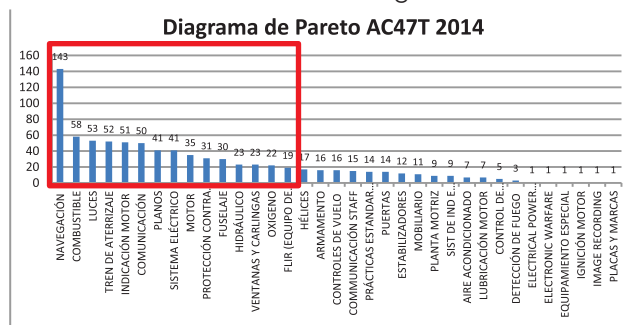


Figura 2. Pareto equipo AC-47T (2014)
Fuente: sistema de información SAP.
Fuerza Aérea Colombiana (2015).

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).

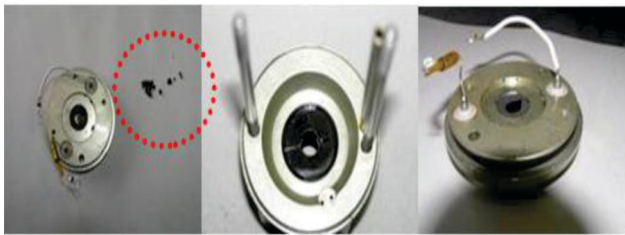


Figura 3. Vista interna de la sección eléctrica bomba de combustible P/N 1C15-7

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.

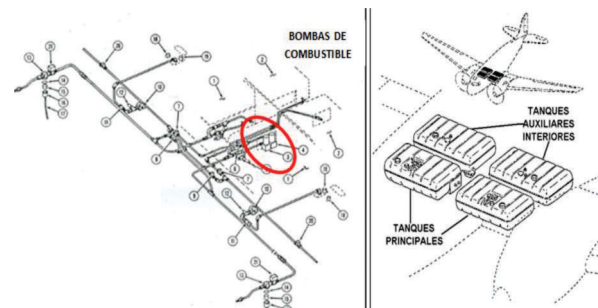


Figura 6. Esquema posición bombas y tanques de combustible AC-47T

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).

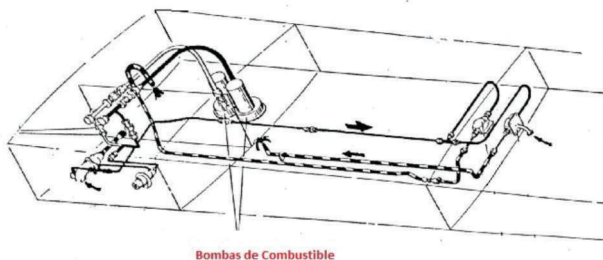


Figura 7. Vista interna estructura tanque-bomba de combustible N/P 2C37-2 Flota C-212

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
grupotesda@esufa.edu.co



Hacia una metodología para la enseñanza del idioma inglés en la modalidad virtual para la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana*

Looking for a Virtual English teaching system for the Colombian Air Force Graduate School

Fechas de recepción: 11 de Septiembre de 2015
Fecha de aprobación: 25 de Noviembre de 2015

Por: Erika Juliana Estrada Villa**
Olga Clemencia Rodríguez Gallego***
Patricia Gutiérrez Barbosa****
Luis Octavio Jaramillo Cortés*****

Resumen

La propuesta de una nueva metodología para el curso virtual de inglés de la escuela de postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana, es un trabajo de investigación realizado con el fin de maximizar los resultados obtenidos en cuanto al mejoramiento de la proeficiencia del idioma inglés en los oficiales y suboficiales de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), a través de una herramienta didáctica, ágil, práctica y amigable, fundamentada en el uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC); que facilite la interacción y se enmarque en las necesidades de tiempo y lugar que poseen los usuarios, y que garantice de esta forma el éxito del proceso de enseñanza-aprendizaje del idioma inglés.

Así es como el presente trabajo de investigación se fundamentó, en primer lugar, en un análisis del actual curso virtual de inglés de la FAC, en el cual se establecieron algunos aspectos que dificultan el éxito del proceso enseñanza-aprendizaje del idioma inglés. En segundo lugar, se llevó a cabo un estudio de las diferentes teorías, modelos pedagógicos existentes y su aplicación en la enseñanza virtual de una segunda lengua. El análisis es complementado con el estudio de algunas experiencias de modelos de enseñanza virtual a nivel nacional e internacional. Finalmente se presenta una propuesta que reúne los aspectos más importantes de una nueva metodología para el aprendizaje del idioma inglés en la modalidad virtual, que pueda ser adoptada por la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana.

Palabras clave: enseñanza del inglés, e-learning, pedagogía, ambiente virtual de aprendizaje.

Abstract

The teaching model proposal for the virtual English course for the Colombian Air Force is the result of a research work done. It was done in order to maximize the results obtained in terms of improving the officers' and non-commissioned officers' proficiency. Through an educational tool, based on the use of ICT, a didactical, agile, practical, user friendly tool, that facilitates interaction and is framed on the needs of mode, time and place that a user has. With a system like this one it may guarantee the success of the process of teaching and learning a second language.

The ensuing research has been developed with the following process: First: an analysis of the present virtual English course given in the FAC. Some aspects that hinder the success of teaching and learning English as a second language were established. Second, a study of different existing pedagogical models, theories and their application in virtual learning of a second language was conducted. The analysis is complemented by studying some experiences of e-learning models at a national and international level. Finally, a proposal that meets the most important aspects of a new methodology for learning English in the virtual mode, which can be adopted by the Colombian Air Force Graduate School, is presented.

Keywords: teaching and learning, e-learning, teaching model, teaching, virtual learning environment.

* El presente artículo es original y corresponde a un proyecto de investigación de revisión documental del curso virtual de inglés a cargo de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana y hace parte de la Línea de Investigación Docencia y Educación del Grupo CIPAER

** Docente, investigadora y asesora de trabajos de grado de investigación, del Departamento de Investigación de la Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana. Especialista en Docencia Universitaria y Magister en Informática Educativa. Correo electrónico: erika.estrada@epfac.edu.co

*** Docente de Francés, Inglés y Español de la Escuela de las Armas y Servicios del Ejército Nacional. Especialista en Docencia Universitaria. Correo electrónico: douce32_1@yahoo.com

**** Docente Autoevaluación, de la Escuela de Postgrados Fuerza Aérea Colombiana; Especialista en Docencia Universitaria. Correo electrónico: patricia.gutierrez@epfac.edu.co

***** Oficial de la Fuerza Aérea Colombiana; Administrador Aeronáutico y Especialista en Docencia Universitaria. Correo electrónico: luis_jaramillo_cortes@hotmail.com

Introducción

La importancia de proponer una nueva metodología para un ambiente virtual de aprendizaje es incluir las bondades del aprendizaje significativo y colaborativo, de manera que los estudiantes puedan alcanzar el desarrollo de competencias que permitan el aprendizaje del idioma inglés en la modalidad virtual; así mismo, que se pueda sacar provecho de los beneficios de estudiar a través de la virtualidad, para superar así las dificultades en su desplazamiento.

En la última década, las instituciones militares en Colombia han sufrido un profundo cambio en la estructura de sus procesos de formación, cualificando las estrategias y técnicas didácticas de enseñanza y aprendizaje. Por otra parte, también se ha visto fortalecido la instrucción en el campo táctico, operacional, técnico, humanístico y administrativo, lo que redundó en el fortalecimiento de la eficiencia y la eficacia del cumplimiento de la misión de la Fuerzas Militares de Colombia. Sin embargo, el dominio del idioma inglés continúa siendo una necesidad entre los hombres y mujeres que conforman las Fuerzas Militares en Colombia y más aún en los oficiales de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC). Si se tiene en cuenta que el inglés, desde la convención de Chicago en 1944, es el idioma oficial de la aviación y cuyo desconocimiento, de acuerdo con el informe anual de 2011 publicado por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), es uno de los mayores obstáculos para la seguridad operacional a nivel mundial.

Por esta razón, es un objetivo del Ministerio de Defensa Nacional continuar con la profesionalización de los hombres y mujeres integrantes de la fuerza pública, para lo cual se creó el Sistema Educativo de las Fuerzas Armadas (SEFA). Este sistema plantea cinco líneas estratégicas: doctrina, excelencia educativa, liderazgo, derechos humanos e investigación y desarrollo tecnológico. Dentro de la línea estratégica "excelencia educativa" se encuentra enmarcado el aprendizaje de una o más lenguas extranjeras como uno de los objetivos estratégicos del SEFA.

En relación con lo anterior, las políticas institucionales de la FAC en su Plan Estratégico Institucional (PEI) 2011-2030 literal 7.2.3.5.15 menciona que:

[...] la educación del personal militar de la Fuerza desde el ingreso hasta el retiro debe ser continua, y se debe fomentar la cultura del auto-aprendizaje significativo, mediado por las tecnologías de la información y la comunicación, para garantizar el acceso a los diferentes programas que componen la oferta académica, así como la cobertura. (p. 44)

Esto ubica la educación virtual en un eje de la gestión institucional que evidencia un esfuerzo permanente por enriquecer el nivel de competencias de su personal orgánico.

Cabe destacar que estos esfuerzos por fortalecer la educación virtual no aíslan el aprendizaje de una segunda lengua, puesto que el PEI (2011-2030) resalta lo siguiente: "la concepción de formación integral en la

actualidad contempla el dominio de una segunda lengua; se adoptará el inglés como opción de bilingüismo, en la Fuerza Aérea Colombiana" (p. 44).

Por tanto, a la hora de implementar ambientes de aprendizaje, modelos pedagógicos y nuevas metodologías de enseñanza en la virtualidad, se deben tener en cuenta los lineamientos establecidos por el Ministerio de Educación Nacional, las políticas institucionales establecidas tanto por el SEFA y la FAC, así como contar con la infraestructura necesaria en el interior de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea colombiana (EPFAC), para lograr una articulación coherente entre los enfoques pedagógicos del proyecto educativo institucional y el objetivo de enseñanza en la mediación virtual.

El curso virtual de la escuela de postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana

Pensando en las necesidades de capacitación del personal militar de la FAC y teniendo en cuenta las características de los estudiantes, que por sus condiciones laborales y operacionales presentan poca disponibilidad de tiempo, así como por su ubicación geográfica que dificulta la asistencia a cursos presenciales del idioma inglés, se creó el curso virtual de aprendizaje del idioma inglés usando una plataforma de educación virtual, con el fin de ofrecer una capacitación de calidad que fuese pertinente, de fácil acceso, integral y flexible.

Así es como la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana viene liderando desde 2011 la enseñanza del idioma inglés para oficiales y suboficiales de la institución, a través de un curso soportado en la plataforma de educación virtual Blackboard. Sin embargo, los resultados en las pruebas de inglés no resultan del todo alentadores porque de acuerdo con las estadísticas oficiales de la Jefatura de Educación Aeronáutica (JEA), ente rector de la educación y capacitación en la FAC, arrojó los siguientes resultados en la aplicación de exámenes del American Language Course (ALC) para 2011: el promedio general (en oficiales y suboficiales) de proeficiencia en el idioma inglés en la FAC es de un 45,3%, dentro del cual el promedio para el personal de oficiales corresponde al 53,1% y para el de suboficiales, al 37,5%. De igual forma, para 2012 el resultado promedio general en la FAC fue de 47,1%, donde el personal de oficiales obtuvo un 56,4% y el de suboficiales, un 37,8%. Esto demuestra un incremento poco significativo con respecto al año anterior, teniendo en cuenta que durante 2011 y 2012 se llevaron a cabo varios ciclos del curso virtual de inglés ofrecido por la EPFAC. Es importante aclarar que el ALC es el programa de enseñanza presencial del idioma inglés del Departamento de Defensa de los Estados Unidos para países amigos, y es el que está siendo utilizado por las Fuerzas Militares de Colombia; dicho programa posee su propio sistema de evaluación mediante exámenes escritos que se aplican anualmente a todo el personal militar integrante de la FAC.

Por lo tanto, el curso virtual de inglés de la EPFAC se caracteriza por desarrollarse dentro de una metodología tradicional, la cual no cumple con las características propias de la educación virtual, aspecto que se evidencia en el alto porcentaje de contenidos teóricos y en la inexistencia de la organización secuencial de la didáctica y el correspondiente seguimiento por parte del tutor, lo que genera en el estudiante una responsabilidad unilateral de su procesos de enseñanza-aprendizaje; este hecho trae como consecuencia una alta desmotivación y desinterés una vez se conoce la metodología del curso.

Experiencias de modelos pedagógicos en la enseñanza virtual

Cuando de mejorar una estructura educativa se trata, se fija la atención en diferentes experiencias exitosas usadas en otras instituciones. Otro proceso que ha dado resultados satisfactorios, relacionados con el uso de diferentes recursos óptimos en capacitación virtual, es la plataforma virtual utilizada por parte del Ejército de Brasil, donde Azevedo, Vilas y Oliveira (2010) indican que gracias a la funcionalidad de la plataforma virtual utilizada y a la infraestructura tecnológica se alcanzan los siguientes objetivos: análisis del sistema de gestión de información y evolución de la educación virtual, lo que permitió la apertura y el fácil acceso por parte de los educandos. Esto es posible por las características particulares del modelo pedagógico que vienen desarrollando, como comunicación bidireccional, organización de contenidos, flexibilidad de ambientes de aprendizaje, diversos recursos y estrategias didácticas, constante tutoría y acompañamiento en el proceso de aprendizaje (Azevedo, Vilas y Oliveira, 2010).

Colombia cuenta con diversos modelos de Educación Virtual; se referencian dos casos específicos: primero el de la Universidad Militar Nueva Granada, donde Salcedo Escarria (2010) aborda y escribe las características del modelo pedagógico medial interactivo en educación a distancia. La autora indica que dicho modelo ha puesto al servicio de los estudiantes estrategias, acciones y herramientas electrónicas con un enfoque pedagógico que contribuyen al logro de los objetivos de la institución a partir de la implementación de las tecnologías de la información y de la comunicación, y de la cual se pueden resaltar varios aspectos como su permanente actualización, lo que la hace más versátil e innovadora, y capacita así al personal militar en cortos periodos sin importar su ubicación geográfica en el mundo, mediante un proceso permanente y continuo de evaluación del progreso de cada alumno, manteniendo una alta motivación del estudiante y mediante un excelente aprovechamiento de los diferentes medios tecnológicos y la plataforma virtual de educación. También se hace mención de la experiencia de la Institución Universitaria de Investigación y Desarrollo, de Bucaramanga, la cual plantea para sus ambientes virtuales de aprendizaje un modelo pedagógico basado en el aprendizaje significativo y el aprendizaje basado en problemas, donde el estudiante es el centro del aprendizaje y se le

ofrecen oportunidades, herramientas y contextos para el logro de los objetivos a través del aprendizaje colaborativo (Lizcano, Cubides y Lizcano, 2008).

Con respecto a lo anterior, se evidencia que es necesario que los modelos pedagógicos fortalezcan la interacción, la comunicación y las diferentes relaciones que se dan dentro de los ambientes de aprendizaje; características que también se perciben en cursos de inglés en la modalidad virtual, como son Livemocha que proporciona material educativo en 38 idiomas alrededor del mundo y permite así interactuar siempre con personas nativas, al igual que Busuu, que ofrece capacitación en 12 idiomas diferentes. Estas plataformas gozan de una cantidad de herramientas versátiles que se encuentran al alcance de los usuarios, incluyendo aplicaciones para guardar en los teléfonos móviles, lo que indica que no importa el lugar ni el momento; el usuario mantiene un contacto frecuente con el idioma, interactúa con diferentes personas nativas y a la vez avanza en su proceso de aprendizaje. Otro caso por mencionar es el curso virtual de Open English, cuyo servicio es de 24 horas, los siete días de la semana. Los tutores son nativos norteamericanos debidamente certificados y capacitados en técnicas que aceleran el proceso de aprendizaje. Su objetivo es ayudar a los estudiantes a alcanzar una mejor fluidez verbal, asesoran a los alumnos en la parte de gramática y la correcta pronunciación. Los estudiantes tienen la posibilidad de tomar clases en vivo en cualquier momento, y de esta manera asegurar clases personalizadas de cuatro personas, lo que facilita la interacción frecuente con el inglés y hace las clases prácticas y más efectivas; de esta forma, se logra en corto tiempo el avance de los diferentes niveles en el manejo del idioma. Open English se asocia con organizaciones líderes a nivel internacional en el área de contenido, en la enseñanza del idioma inglés y las respectivas herramientas tecnológicas necesarias en el aprendizaje de un idioma extranjero, como son Cambridge University Press, Association or Educational Publishers, English Central y el IELTS, lo que la hace una institución competente a nivel internacional con la formación que proporciona a sus alumnos. Aunque las opciones anteriormente mencionadas son experiencias marginales de las instituciones educativas, estas tienen un gran éxito en el desarrollo de competencias lingüísticas.

Conceptos revisados

Este artículo se enmarca en un acercamiento conceptual desde la educación abordando las principales características de los modelos pedagógicos, definiendo ambiente virtual de aprendizaje y sus principales características para determinar soluciones viables, educativas y pedagógicas para la interacción del usuario en la capacitación virtual. Esto contribuye a mejorar el curso virtual de inglés, mediante la propuesta de una nueva metodología, lo que permite atender las necesidades de los estudiantes de la EPFAC. Es por ello que se expondrán a continuación algunas de las principales características de los modelos pedagógicos empleados en la educación virtual.

Modelos pedagógicos en la enseñanza virtual

Los procesos educativos basados en postulados pedagógicos en los cuales el aprendizaje es entendido como el producto de la enseñanza suponen que el fin de la educación es fundamentalmente enseñar, transmitir y entrenar en habilidades y destrezas. Desde esta perspectiva, el proceso enseñanza-aprendizaje es visto como un todo, y se deja de lado el hecho de que también es posible lograr otros tipos de aprendizaje en la vida cotidiana, sin que se produzcan necesariamente procesos de enseñanza o de instrucción. Igualmente existen procesos de enseñanza que no instruyen o el aprendizaje obtenido es de baja calidad.

Con la integración de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) a la educación, es importante revisar el modelo pedagógico de las instituciones para no caer en el error de que el modelo tradicional se ajuste a la educación virtual. En la tabla 1 se exponen las principales características y componentes de los modelos existentes, como son: conductista, constructivista y social-cognitivo, con el propósito de reflexionar sobre los enfoques pedagógicos que cada uno establece y ver la necesidad de plantear un modelo que integre las características requeridas en la enseñanza de la modalidad virtual.

decir, que está asociado a nuevas TIC, y está favorecido por la incorporación de las tecnologías donde se potencia la educación virtual por estar basada en la educación no presencial y donde el centro es el aprendiz. Esto posibilita el aprendizaje activo y participativo, como lo menciona Salcedo Escarria (2010) al destacar tres elementos a la hora de diseñar ambientes virtuales de aprendizaje: comunicación, materiales y actividades.

La comunicación enmarca la importancia de este en el proceso de aprendizaje con la participación del tutor y los estudiantes, los materiales están relacionados con los contenidos programáticos de la asignatura y de cómo deben ser presentados, por ejemplo, los objetos virtuales de aprendizaje y las actividades académicas, las cuales son el eje central de la educación virtual y deben estar diseñadas en el marco de estrategias y técnicas didácticas con objetivos y evaluación.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, tanto como las características de los modelos pedagógicos y la necesidad del aprendizaje significativo a través de los ambientes virtuales, este artículo propone las consideraciones de un modelo pedagógico que esté acorde con las demandas de la educación en la modalidad virtual.

MÓDELO PEDAGÓGICO	TEORÍA	RELACIÓN DOCENTE - ESTUDIANTE	AUTORES
CONDUCTISMO	El docente es un intermediario entre las instrucciones y el aprendizaje. Se realiza un adiestramiento y se desarrollan algunas destrezas que llevan al moldeamiento de la conducta técnico-productiva.	Docente: Intermediario y ejecutor Estudiante: Subordinado, sigue instrucciones y órdenes.	Aristóteles Hobbs Hume Pavlov Skinner
CONSTRUCTIVISMO	El docente propicia un aprendizaje significativo con ambientes experimentales donde le facilitan al estudiante desarrollar capacidades de reflexión para así afianzar estructuras cognitivas.	Docente: Asesor, apoyo al estudiante. Estudiante: Participante activo	Ausbel Piaget Vigostky
SOCIAL-COGNITIVO	El docente proporciona espacios donde el estudiante pueda desarrollar actividades en forma cooperativa, partiendo de un conocimiento científico-técnico.	Docente: Facilitador y estimulador. Estudiante: Analiza, reflexiona, participa.	Bruner P. Freire

Tabla 1. Cuadro comparativo modelos pedagógicos
Fuente: elaboración propia, a partir de Martínez Castro (2013).

Ambientes virtuales de aprendizaje

La Unesco (2010) menciona que los entornos de aprendizaje virtuales constituyen una forma totalmente nueva de tecnología educativa y ofrecen una compleja serie de oportunidades y tareas a las instituciones educativas de todo el mundo. Además, define al ambiente de aprendizaje como un programa informático interactivo de carácter pedagógico que posee una capacidad de comunicación integrada, es

Consideraciones a la metodología propuesta

Actualmente la enseñanza del idioma inglés en la modalidad virtual requiere el empleo de nuevas metodologías, estrategias para el uso adecuado de la tecnología, de manera tal que reúna las actividades para el logro de los objetivos académicos. El modelo pedagógico debe agrupar elementos y conceptos que permitan el óptimo desarrollo del proceso de enseñanza-aprendizaje; debe además estimular la

participación activa de los estudiantes en su proceso de construcción del conocimiento, que permita una relación más activa entre los estudiantes y el tema de estudio, para así generar un sistema de aprendizaje holístico, fundamentado por el aprendizaje colaborativo. En la tabla 2 se observan las características y los componentes básicos de la metodología que favorezca la interacción y la aprensión de conocimientos.

La importancia de proponer una nueva metodología para un ambiente virtual de aprendizaje es incluir las bondades del aprendizaje significativo y colaborativo, de manera que los estudiantes puedan alcanzar el desarrollo de competencias que permitan el aprendizaje del idioma inglés en la modalidad virtual, y así mismo se pueda sacar provecho de los beneficios de estudiar a distancia, para superar de esta forma las dificultades en su desplazamiento.

Discusión

La adopción de una metodología para la enseñanza del inglés debe ser el resultado de analizar aspectos tan importantes como el PEI, los objetivos educativos propuestos, el perfil y las necesidades de los futuros estudiantes, entre otros aspectos. Así mismo, se debe tener en cuenta que el modelo pedagógico, en este caso para un proceso de enseñanza-aprendizaje en un ambiente virtual, debe ser holístico, centrado en una permanente interacción estudiante-docente, fundamentado en el aprovechamiento de las

capacidades de las TIC, con un soporte técnico 24 horas, siete días a la semana y una evaluación continua.

Así mismo, el éxito de la enseñanza de una segunda lengua en la virtualidad depende, en gran medida, del diseño pedagógico del curso. Frecuentemente, se comete el error de asumir que las herramientas tecnológicas pueden reemplazar y cumplir el trabajo del docente, y arrojar como resultado una desmotivación del estudiante, que en muchos casos asume una actitud pasiva en su proceso de aprendizaje y, por ende, se obtiene un bajo resultado de su parte. Es por esto que se busca evitar la deserción estudiantil y trabajar para alcanzar los objetivos de aprendizaje trazados inicialmente, que son aspectos importantes en la educación virtual, como lo son en la educación tradicional para el éxito del proceso de aprendizaje.

Adicionalmente, teniendo en cuenta que la educación es un proceso social ligado a la cultura en el cual el aprendizaje colaborativo, la interacción con compañeros y tutores, y las experiencias, así como los conocimientos previos del estudiante, juegan un papel trascendental en la educación virtual. Es importante seleccionar un modelo pedagógico enfocado en la formación de nuevas competencias, más que en la simple transmisión de conocimientos. En consecuencia, como resultado de evaluar las características pedagógicas del curso virtual del idioma inglés para el personal militar integrante de la FAC, se propone la adopción de un modelo pedagógico multimedial e

ASPECTOS METODOLÓGICOS	DESCRIPCIÓN
Pedagogía	Construcción del conocimiento a partir de conceptos previos, con los cuales el estudiante pueda interactuar, socializar con el docente para desarrollar habilidades que le permitan llegar al aprendizaje.
Roles estudiante /docente	Estudiante: activo, participativo, autodidacta; tener y desarrollar competencias en el manejo de la información y manejo de tiempo. Docente: orientador, facilitador de herramientas para el aprendizaje; clarifica conceptos, hace investigación y evalúa.
Metodología	Fundamentado en conceptos previos del estudiante. Reflexión. Estimula el saber, el hacer, el ser y el convivir.
Actividades	Actividades de interacción y comunicación sincrónica; es autónomo en la presentación de su trabajos, socializaciones con el docente.
Enfoques Pedagógicos / Autores	Aprendizaje significativo (Ausbel) y aprendizaje colaborativo (Jhon Dewey).
Comunicación	Se establece herramienta de comunicación sincrónica y se complementa con la comunicación asincrónica.
Evaluación	Evaluación permanente, por proceso, coevaluación.
Relaciones	Están dadas por la colaboración, dado que se convierten en el accionar de los participantes.

Tabla 2. Descripción de los principales aspectos de la metodología propuesta para la enseñanza de la modalidad virtual de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana
Fuente: elaboración propia.

interactivo, que sea el resultado de aspectos como una pedagogía holística, de construcción de conocimiento con un alto componente de trabajo colaborativo y de interacción, con una metodología didáctica y participativa que posibilite una comunicación permanente y el logro de los objetivos trazados.

Conclusiones

El uso de una plataforma virtual para la enseñanza del idioma inglés debe contar con unas herramientas prácticas y óptimas que faciliten el manejo por parte de los usuarios, que lo hagan ver fácil y cómodo a sus necesidades. Se debe ofrecer una educación de calidad, de fácil acceso, integral y flexible a través de la integración de los diferentes niveles educativos, y la pertinencia de el uso de medios y tecnologías buscando una transformación social, un desarrollo sostenible y, por supuesto, una excelente capacitación, en este caso del idioma inglés. Este proyecto tiene un gran potencial, ya que se relaciona directamente con el objetivo que tiene la EPFAC de ofrecer mejores oportunidades de capacitación profesional.

En Colombia, las instituciones educativas han tenido que actualizar la implementación de plataformas virtuales de aprendizaje y mejorar el ambiente interactivo para el aprendizaje, donde los alumnos encuentren todos los medios para aprender a través de plataformas que incorporan elementos multimediales. Desde esta plataforma los estudiantes tienen acceso a todos los contenidos y a todas las herramientas virtuales, como los objetos virtuales de aprendizaje, las aplicaciones sincrónicas y asincrónicas; allí se refuerza todo el proceso de aprendizaje desde la modalidad virtual, además se facilita el proceso de comunicación e interacción entre toda la comunidad educativa.

Es por esto que se realiza una propuesta de un modelo pedagógico que favorezca la agilidad, viabilidad e interacción para permitir así que los estudiantes se encuentren en un ambiente virtual de aprendizaje en cualquier momento y en cualquier lugar. Lo ideal sería mantener actualizadas las herramientas y las técnicas didácticas empleadas para el desarrollo del curso virtual y su respectivo proceso, contar con un buen presupuesto que haga la plataforma sólida y que permita tener personal tutor bien capacitado y certificado, que brinde la asesoría necesaria para apoyar a los alumnos; que haya personal en la parte administrativa encargado de mantener en excelente estado la plataforma para que el alumno pueda acceder siempre fácilmente.

Referencias

- ▶ Aretio, L. G. (1987). Educación a distancia hoy. Madrid: Universidad de de Educación a Distancia.
- ▶ Azevedo Silva, S., Vilas Boas, A. y Oliveira, G. (2010). O processo de construção do portal de ensino do exército brasileiro: relato de uma experiência. Revista Prisma.com, 9, 1-45. doi: ISSN1646-3153
- ▶ Barragán B. R. et al. (s. f.). Orientaciones pedagógicas para la formación apoyada en ambientes virtuales de aprendizaje. Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco
- ▶ Berger, C. y Kam, R. (1996). Definitions of instructional design. Adapted from "Training and instructional design". Applied research laboratory, Penn State University. Recuperado el 8 de marzo de 2007, de <http://www.umich.edu/~ed626/define.html>
- ▶ Black, E. (1995). Behaviorism as a learning theory. Recuperado de <http://129.7.160.115/inst5931/Behaviorism.html>
- ▶ De Azevedo Silva, S., Vilas B., A.A. y De Jesus Oliveira, G. (2010). O processo de construção do Portal de Ensino do Exército Brasileiro: relato de uma experiência. Revista PRISMA.COM, (9). Recuperado <http://revistas.ua.pt/index.php/prismacom/article/viewFile/696./pdf>
- ▶ Dembo, M. H. (1994). Applying educational psychology (5ta. edición). White Plains: Longman Publishing Group.
- ▶ Dick and Carey L (1990). El diseño sistemático de la instrucción (3ra. edición). Harper Collins. New York, Estados Unidos.
- ▶ Estrada Villa, E. (2014). Tesis de Maestría: Factores que contribuyen y dificultan el desarrollo de la enseñanza aprendizaje mediada por dispositivos móviles en instituciones de educación superior en Colombia. Disponible en <http://intellectum.unisabana.edu.co/handle/10818/11596> DOI: 10.13140/RG.2.1.1785.9926
- ▶ Estrada Villa, E.; Boude Figueredo, O. (2015). "Hacia una propuesta para evaluar ambientes virtuales de aprendizaje (AVA) en Educación Superior". Revista Academia y Virtualidad, 8, (2), 14-23. DOI: <http://dx.doi.org/10.18359/ravi.1156>
- ▶ Exército Brasileiro (2012) Portal de Educação do Exército Departamento de Educação e Cultura, Recuperado http://www.ensino.eb.br/portaledu/quem_somos.htm
- ▶ Fuerza Aérea Colombiana (2011). Plan estratégico institucional 2011-2030 (SC4951-1). Bogotá: autor.
- ▶ Good, T. L. y Brophy, J. E. (1990). Educational psychology: a realistic approach. (4ta. edición). White Plains: Longman.
- ▶ Guardia Lourdes, S. A. (s. f.). Diseño instruccional y objetos de aprendizaje; hacia un modelo para el diseño de actividades de evaluación del aprendizaje online. Revista de Educación a Distancia. Recuperado de <http://www.um.es/ead/red/M4/>
- ▶ Hine, C. (2004). Etnografía virtual. Editorial UOC. 8. Recuperado de <http://www.etnografiavirtual.com/esp%C3%B1ol/sobre-la-etnograf%C3%ADa-virtual/>
- ▶ Lizcano, R., Cubides, F. y Lizcano, A. (2008). Lineamientos pedagógicos para la creación de cursos virtuales en la universitaria de investigación y desarrollo. Manuscript submitted for publication. Universitaria de Investigación y Desarrollo, Universitaria de Investigación y Desarrollo. Recuperado de https://mail-attachment.googleusercontent.com/attachment/u/0/?ui=2&ik=82ed3388a1&view=att&th=1417c7ea30ffa411&attid=0.2&disp=inline&safe=1&zw&saduie=AG9B_PTL9lg_evzlaZd5lrJbVzX&sadet=1380817274300&sads=55q1K6TBNHk9Vv9TcdsW5WJFh88

- ▶ Mayer, R.E. (1999). Designing instruction for constructivist learning. En C. M. Reigeluth (Ed.). *Instructional-design theories and models, volume II: a new paradigm of instructional theory* (pp. 141-159). Nueva Jersey: Lawrence Erlbaum.
- ▶ Jonasson, D.H. (s. f.). *Thinking technology: Toward a constructivist design model*. Recuperado de <http://ouray.cudenver.edu/~sksanfor/cnstdm.txt>
- ▶ Jonassen, D. H. y McAleese, T.M.R. (Undated). *A Manifiesto for a constructivist approach to technology in higher education*. Recuperado de <http://led.gcal.ac.uk/clti/papers/TMPaper11.html>
- ▶ Martín Vegas, R. A. (2009). *Manual de didáctica de la lengua y la literatura*. Edit. Síntesis. Vallehermoso, Madrid – España.
- ▶ Marfinez Castro, R. (2013). *Cuadro comparativo de los modelos pedagógicos del siglo xx*. Recuperado de <http://portafolioaprendizajerobertomartinezcastro.wikispaces.com/>
- ▶ Moreno, A. (2013). *Open english*, Recuperado el 3 de octubre de 2013, de <http://www.openenglish.com/la/>
- ▶ Reigeluth, C.M. (1999b). *What is instructional-design theory and how is it changing?* En C.M. Reigeluth (Edi.), *Instructional-design theories and models, volume II: a new paradigm of instructional theory* (pp. 5-29). Nueva Jersey: Lawrence Erlbaum.
- ▶ Saettler, P. (1990). *The evolution of american educational technology*. Englewood: Libraries Unlimited, Inc.
- ▶ Salcedo Escarria, A. (2010). *Modelo pedagógico multimedial interactivo en educación a distancia (tercera parte)*. *Revista Academia y Virtualidad*, 3(1), p 50-60. ISSN 0731201
- ▶ Schwier, R. A. (1995). *Issues in emerging interactive technologies*. En G.J. Anglin (Ed.), *Instructional technology: past, present and future* (2da. edición) (pp. 119-127). Englewood: Libraries Unlimited, Inc.
- ▶ Snelbecker, G. E. (1999). *Some thoughts about theories, perfection, and instruction*. En C.M. Reigeluth (Ed.), *Instructional-design theories and models, volume II: a new paradigm of instructional theory* (pp. 31-47). Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- ▶ Schiffman, S. S. (1995). *Instructional systems design: Five views of the field*. In G. J. Anglin (Ed.), *Instructional technology: Past, present and future* (Second ed). Englewood, CO: Libraries Unlimited Inc.
- ▶ Suárez Guerrero, C. (2003). *La dimensión pedagógica de los entornos virtuales de aprendizaje como interfaz de aprendizaje cooperativo*. Recuperado de <http://www.geocities.com/xtobalsg/dimension.pdf>
- ▶ Williams, P., Schrum, L. et al.. (s. f.). *Fundamentos del diseño técnico-pedagógico en e-learning ANOTACIONES. FUOC P06/M1103/01179. Modelos de diseño instruccional*.
- ▶ Unesco (2010). *Informe mundial sobre el aprendizaje y la educación de adultos*. Hamburgo: autor.
- ▶ Universidad Nacional de Colombia. (2006). *Modelo pedagógico humanista tecnológico de la Dirección Nacional de Servicios Académicos Virtuales*. Recuperado de <http://www.virtual.unal.edu.co/unvPortal/articles/ArticlesViewer.do?reqCode=viewDetails&idArticle=5>



Metodología para determinar la eficiencia de la etapa de turbina de alta presión en un motor turbofan

Method to determine the efficiency of the high pressure turbine stage in a turbofan engine

Fechas de recepción: 19 de Octubre de 2015
Fecha de aprobación: 25 de Noviembre de 2015

Por: Óscar David Atahualpa Gamboa*
Francisco Javier González Cruz**

Resumen

El presente artículo muestra la metodología que se llevo a cabo para determinar la eficiencia de la etapa de turbina de alta presión (HPT) de un motor turbofan de alto índice de derivación de un avión comercial. Para esto fue necesario preliminarmente establecer los parámetros de funcionamiento del motor, como el flujo másico de aire, relación de compresión, consumo específico de combustible, entre otros, en diferentes tipos de motores turbofan realizando un promedio de estos valores. Después de haber establecido un baseline, el análisis gasodinámico permitió obtener presiones y temperaturas internas a la entrada de la etapa de turbina de alta presión, con lo que se pudo estimar las dimensiones de los alabes del rotor y estator, las velocidades del flujo de gas a su paso por la etapa de turbina, las diferentes pérdidas de energía que experimenta una turbomáquina debido a su naturaleza y que se ven reflejadas en el rendimiento global de un motor de aviación; así como el procedimiento que se muestra en este documento para obtener las eficiencias de dicha etapa. Esto con el fin de corroborar si el diseño realizado es satisfactorio y puede continuar más adelante con un posible proceso de manufactura.

Palabras clave: Eficiencia, Coeficiente de Perdidas, Perfil aerodinámico, Rotor, Turbina.

Abstract

This article presents the method used to determine the efficiency of the stage of a High Pressure Turbine (HPT) of a high bypass ratio turbofan engine from a commercial airliner. For this it was necessary to first establish the operating parameters of the engine such as air mass flow, compression ratio, specific fuel consumption, among others, in different types of turbofan engines by averaging these values. Having established a baseline, the gas dynamic analysis provides internal pressures and temperatures at the inlet stage of the high pressure turbine. With this analysis we were able to estimate the dimensions of the rotor and stator blades, the gas flow rates when it passes through the turbine stage, the different energy losses experienced by a turbo machine because of its nature and that are reflected in the overall performance of an aircraft engine. We are also showing the procedure to obtain the efficiency rates for such a stage. This in order to verify if its design is satisfactory and may continue later on with a possible manufacturing process.

Keywords: Efficiency, loss coefficient, aerofoil, aerodynamic profile, rotor, turbine.

*Ingeniero aeronáutico, Ingeniero de datos y proyectos AMOS, Avianca. Email: odavidgamboa@gmail.com

**Ingeniero Mecánico, magíster en Desarrollo Sostenible. Instructor en Especialidades Aeronáuticas. Email: ffgonzalezc@libertadores.edu.co

Introducción

En Colombia el diseño de elementos mecánicos de motores a reacción aún es muy incipiente. Se debe tener en cuenta que desde el punto de vista aeronáutico, nuestro país se dedica al mantenimiento de aeronaves y a seguir procesos designados por los entes regulatorios; por esto es muy importante que desde la universidad y centros de instrucción aeronáutica se formulen proyectos de investigación que incentiven a estudiantes y profesores hacia el diseño y construcción de elementos.

Para el desarrollo de este artículo se tomó como base el proyecto de grado titulado: Diseño Conceptual y Preliminar de la Etapa de Turbina de Alta Presión para un Motor Turbofan High Bypass; de la Fundación Universitaria Los Libertadores. En este proyecto inicialmente se promediaron los datos de funcionamiento de los motores turbofan comerciales más comunes, como el CFM56, el V2500 o el CF34; posteriormente se desarrolló un análisis termodinámico para la obtención de los parámetros de entrada a la etapa de turbina de alta presión (HPT), principalmente las temperaturas y presiones internas tanto estáticas como dinámicas del motor, y de esta forma realizar el proceso de diseño mecánico; para este caso el diseño de los alabes de turbina (rotores y estatores).

En esta fase del diseño se determinan los triángulos de velocidades del flujo de gas, los cuales son inherentes a los perfiles aerodinámicos utilizados, y aunque se empleó uno solo para estatores y rotores; el tamaño y la posición de cada uno de ellos es diferente, lo que genera triángulos distintos. A partir de esas geometrías se calcularon las dimensiones de los alabes, la selección del material de la turbina, los ángulos de entrada y salida del flujo de gas, así como las eficiencias que puede llegar a tener. Estas eficiencias se calcularon en función de las pérdidas de energía que se dan en el interior de una turbina a gas debido a su configuración y funcionamiento; ya que la disposición de los alabes y el movimiento que realizan para cumplir con su objetivo de expandir el gas y acelerarlo, genera una serie de cargas y esfuerzos que se transforman en pérdidas bien sea mecánicas o de calor. Así, resolviendo este tipo de problemas y aumentando el rendimiento final de la turbina se puede pensar en su fabricación posterior con el fin de impulsar la industria nacional.

Procedimiento y Resultados

A continuación se presentan los valores obtenidos en el trabajo de investigación que sirvió como referente principal para la redacción de este artículo. En la tabla 1 se encuentran consignados los valores iniciales obtenidos del análisis termodinámico. A partir de ellos se derivan todos los cálculos y datos pertinentes para el diseño de la turbina; los cuales son: Flujo másico de aire, flujo másico de combustible, velocidad de la aeronave (condición de operación del motor), temperatura inicial de la turbina, presión inicial de la turbina, temperatura final de la turbina, presión final de

la turbina, revoluciones del eje de alta del motor, constante universal de los gases y constante adiabática de la mezcla.

Diseño Preliminar de la Turbina		
Valores Iniciales		
Dato	Valor	Unidad
m_a	33,5	kg/s
m_f	0,406	kg/s
V_a	239,54	m/s
T_{01t}	1221,65	K
P_{01t}	976,89	kPa
T_{03t}	866,11	K
P_{03t}	191,36	kPa
N	15296	RPM
R	0,287	kJ/kg*K
	1,333	

Tabla 1: Datos iniciales para el diseño preliminar de la turbina. Fuente: Autores.

En la tabla 2 se aprecian los datos requeridos para el cálculo de la eficiencia de la etapa de turbina, como: los ángulos medios de la corriente del flujo de gas que pasa por los alabes del estator y del rotor, en los cuales los subíndices indican el punto donde se calcularon dichos valores, que corresponden a: 1 es el ángulo de ataque del estator, 2 el ángulo de salida del estator y consecuentemente el de entrada al rotor y 3 el ángulo de salida del rotor.

Dimensionamiento de la Turbina			
Ángulos de la corriente		Alturas y Radios	
Dato	Valor [°]	Dato	Valor [m]
1m	0	h_1	0,0201
2m	62,7	h_2	0,0470
2m	37,2	h_3	0,0915
3m	30	r_m	0,273
3m	60,3		

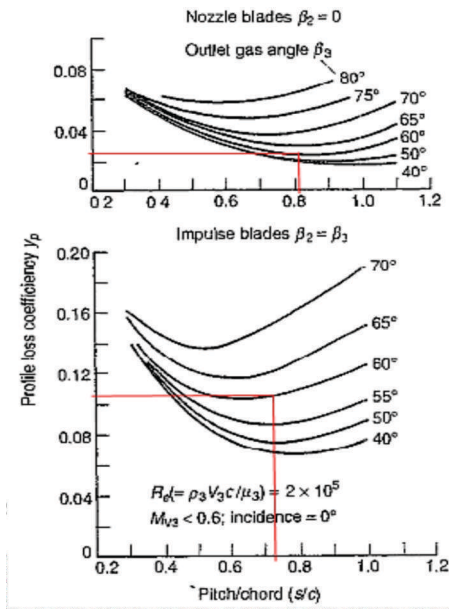
Tabla 2: Ángulos Medios y Alturas de los Álabes de la turbina. Fuente: Autores.

Para calcular la eficiencia de la etapa que se ha diseñado, se requiere conocer también las diferentes pérdidas que se presentan en la turbina, que pueden ser debido a la geometría del perfil, a las fugas de gas en la cabeza del alabe y a las vibraciones de los esfuerzos producidos principalmente en el rotor. Como primer paso y teniendo en cuenta a_1 , a_2 , y $(s/c)_N$ se puede leer directamente el coeficiente de pérdida del perfil en el estator en $(Y_p)_N$ la gráfica 1.

Resumen de Valores Obtenidos			
Medidas			
Sección	Cuerda [m]	Paso [m]	# de Álabes
Estator	0,017	0,014	126
Rotor	0,035	0,026	67
Relaciones			
Dato	Valor	Dato	Valor
r_m/r_{r2}	1,094	$(s/c)_N$	0,81
r_m/r_{r2}	0,920	$(s/c)_R$	0,74
r_m/r_{r3}	1,201	h/c	2
r_m/r_{r3}	0,856		

Tabla 3: Dimensiones del Perfil de los Álabes Rotores y Estatores de la Turbina. Fuente: Autores.

En la tabla 3 también se aprecian otros datos muy importantes como son: la relación pasó-cuerda (s/c) del estator y del rotor y la relación de aspecto (h/c) que es igual para ambos conjuntos de alabes.



Gráfica 1: Coeficiente de pérdida del perfil para alabes convencionales. Fuente: Gráfica tomada de Saravanamuttoo, HIH. Gas Turbine Theory. 1996.

El resultado para el coeficiente de pérdida del perfil en el estator $Y_p(\beta_2=0)$ es del 2,9%, mientras que el coeficiente de pérdida del perfil en el rotor (Y_p)_R se calcula con la ecuación (1), que constituye una corrección para una variación del ángulo de entrada con ángulo de salida constante es decir que $\beta_2=\beta_3$, asumiendo que el alabe del rotor fuera de impulso y no de reacción, que según la gráfica 1, $Y_p(\beta_2=\beta_3)$ sería igual a 0,107 a partir del valor de $(s/c)_R=0,74$ y de $\beta_3=60^\circ$.

$$(Y_p)_N = 0,029$$

$$Y_p = \left\{ Y_p(\beta_2=0) + \left(\frac{\beta_2}{\beta_3} \right)^2 [Y_p(\beta_2=\beta_3) - Y_p(\beta_2=0)] \right\} \left(\frac{t/c}{0,2} \right)^{\beta_2/\beta_3} \quad (1)$$

$$(Y_p)_R = \left\{ 0,029 + \left(\frac{37,2^\circ}{60,3^\circ} \right)^2 [0,107 - 0,029] \right\} \left(\frac{0,15}{0,2} \right)^1 = 0,044$$

El resultado para el coeficiente de pérdida del perfil en el rotor (Y_p)_R es del 4,4%, hay que resaltar que la relación espesor/cuerda (t/c) escogida es del 15% ya que el factor de corrección de 0,2 de la ecuación (1) solo es fiable para $0,15 < t/c < 0,25$, esta corrección es solo para cuando (t/c) sea diferente del 20% (Saravanamuttoo, HIH. 1996.

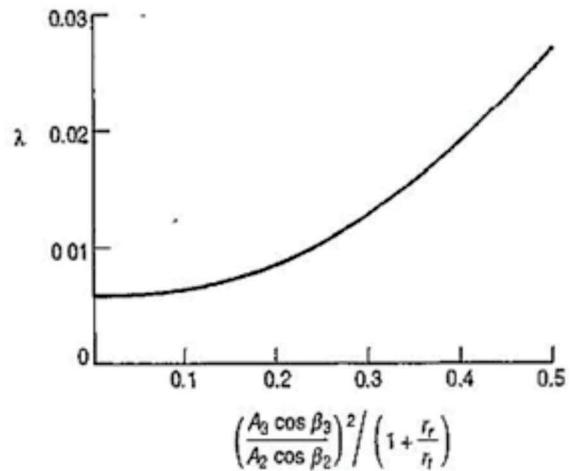
Gas Turbine Theory. Pág. 284.) ya que una disminución de t/c entraña una pérdida del perfil más reducida para todos los alabes distintos de los de tobera ($\beta_2 = 0$) y el perfil seleccionado T6 tiene una relación t/c del 10%.

Después hay que hallar las pérdidas secundarias λ con la ecuación (2) donde la función f esta dada por la curva de la gráfica 2:

$$\lambda = f \left\{ \frac{\left(\frac{A_3 \cos \beta_3}{A_2 \cos \beta_2} \right)^2}{\left(1 + \frac{r_r}{r_t} \right)} \right\} \quad (2)$$

Para los alabes del estator la constante B que más adelante se explicara, es nula; de aquí que λ se hallara de la siguiente manera. Hay que tener en cuenta que la relación $\frac{r_r}{r_t}$ corresponde a la sección media entre 1 y 2, es decir, entre la entrada y la salida del estator:

$$\frac{\left(\frac{A_2 \cos \beta_2}{A_1 \cos \beta_1} \right)^2}{\left(1 + \frac{r_r}{r_t} \right)} = \frac{\left(\frac{0,080 \cdot \cos(62,7^\circ)}{0,034 \cdot \cos(0^\circ)} \right)^2}{\left(1 + \frac{1}{1,132} \right)} = 0,60$$



Gráfica 2: Parámetro de pérdidas secundarias. Fuente: Gráfica tomada de Saravanamuttoo, HIH. Gas Turbine Theory. 1996.

Debido a que el resultado se encuentra fuera de rango es necesario extrapolar la curva de la gráfica 2 utilizando la ecuación (3) que se halló con el método del polinomio de interpolación de LaGrange donde el valor de λ es 0,041.

$$P(x) = 0,05x^3 + 0,065x^2 + 0,001x + 0,0055 \quad (3)$$

$$P(x)_N = 0,05 * (0,6)^3 + 0,065 * (0,6)^2 + 0,001 * (0,6) + 0,0055 = 0,041$$

Ahora y con la ecuación (4) se calculara el ángulo medio a_m en la sección de estudio inmediatamente anterior.

$$a_m = \tan^{-1} \left[\frac{(\tan \alpha_2 - \tan \alpha_1)}{2} \right] \quad (4)$$

$$a_m = \tan^{-1} \left[\frac{\tan(62,7^\circ) - \tan(0^\circ)}{2} \right] = 44,09^\circ$$

Y enseguida se puede hallar la relación del coeficiente de sustentación del perfil entre la relación paso/cuerda $\frac{C_L}{s/c}$ con la ecuación (5).

$$\frac{C_L}{s/c} = 2 (\tan \alpha_1 + \tan \alpha_2) \cos \alpha_m \quad (5)$$

$$\left(\frac{C_L}{s/c}\right)_N = 2 [\tan (0^\circ) + \tan (62,7^\circ)] * \cos (44,1^\circ) = 2,78$$

Ya conociendo estos valores se pueden calcular los coeficientes de pérdidas secundarias y de juego de cabeza $Y_s + Y_k$ donde k es el juego, h la altura del alabe y la constante B vale 0 para los alabes del estator como ya se había mencionada anteriormente, utilizando la ecuación (6).

$$Y_s + Y_k = \left[\lambda + B \left(\frac{k}{h}\right)\right] \left[\frac{C_L}{s/c}\right]^2 \left[\frac{\cos^2 \alpha_2}{\cos^3 \alpha_m}\right] \quad (6)$$

$$[Y_s + Y_k]_N = [0,041] * [2,78]^2 * \left[\frac{\cos^2 (62,7^\circ)}{\cos^3 (44,1^\circ)}\right] = 0,18$$

Después se hace el mismo procedimiento para los alabes del rotor, pero en esta ocasión B vale 0,5 para juegos de cabeza radial y 0,25 para un alabe con llanta en la cabeza con juego lateral como indica la figura 1. Para este caso se utilizaran alabes con llantas en la punta y con un juego de cabeza k del 2% de la altura media del alabe h de tal forma que $B\left(\frac{k}{h}\right)$ tendrá un valor de:

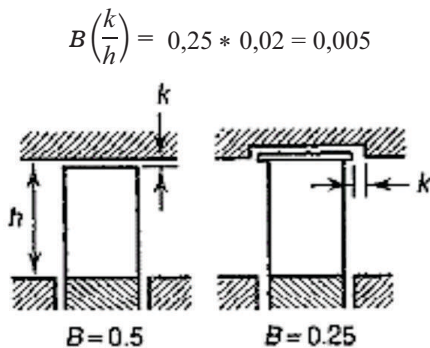


Figura 1: Juego de cabeza radial y lateral de alabes de turbina. Fuente: Imagen tomada de Saravanamuttoo, HHH. Gas Turbine Theory. 1996.

Usando la ecuación (7) se hallara el valor requerido para localizar el coeficiente de pérdida secundario λ para el rotor.

$$\frac{\left(\frac{A_3 \cos \beta_3}{A_2 \cos \beta_2}\right)^2}{\left(1 + \frac{r_r}{r_t}\right)} \quad (7)$$

$$\frac{\left(\frac{0,157 * \cos (60,3^\circ)}{0,080 * \cos (37,2^\circ)}\right)^2}{\left(1 + \frac{1}{1,296}\right)} = 0,82$$

Nuevamente utilizando la ecuación (3) se conocerá el coeficiente de pérdida secundario λ para los alabes del rotor que da como resultado 0,07.

$$P_{(s)R} = 0,05 * (0,82)^3 + 0,065 * (0,82)^2 + 0,001 * (0,82) + 0,0055 = 0,07$$

Ahora es necesario conocer el valor del ángulo en el punto medio entre la entrada y la salida del rotor β_m con ayuda de la ecuación (8).

$$\beta_m = \tan^{-1} \left[\frac{(\tan \beta_3 - \tan \beta_2)}{2} \right] \quad (8)$$

$$\beta_m = \tan^{-1} \left[\frac{\tan(60,3^\circ) - \tan(37,2^\circ)}{2} \right] = 26,36^\circ$$

A partir de la ecuación (9), se calculara la relación del coeficiente de sustentación con respecto al paso/cuerda del rotor $\left(\frac{C_L}{s/c}\right)_R$, ahora que ya se conoce el ángulo β_m .

$$C_L = 2(s/c) (\tan \beta_2 + \tan \beta_3) \cos \beta_m \quad (9)$$

$$\left(\frac{C_L}{s/c}\right)_R = 2 [\tan (37,2^\circ) + \tan (60,3^\circ)] * \cos (26,4^\circ) = 4,50$$

Con el resultado anterior obtenido y usando la ecuación (10), se hallara el coeficiente de pérdida secundaria y de juego de cabeza de los alabes del rotor $[Y_s + Y_k]_R$ para conocer las pérdidas totales.

$$[Y_s + Y_k]_R = \left[\lambda + B \left(\frac{k}{h}\right)\right] \left[\frac{C_L}{s/c}\right]^2 \left[\frac{\cos^2 \beta_3}{\cos^3 \beta_m}\right] \quad (10)$$

$$[Y_s + Y_k]_R = [0,07 + 0,005] * [4,50]^2 * \left[\frac{\cos^2 (60,3^\circ)}{\cos^3 (26,4^\circ)}\right] = 0,58$$

Los coeficientes de pérdidas totales en el estator Y_N y en el rotor Y_R serán:

$$Y_N = (Y_p)_N + [Y_s + Y_k]_N \quad (11)$$

$$Y_N = 0,029 + 0,18 = 0,21$$

$$Y_R = (Y_p)_R + [Y_s + Y_k]_R \quad (12)$$

$$Y_R = 0,044 + 0,58 = 0,62$$

El coeficiente de pérdida global de los alabes del estator se encuentra en un rango aceptable del 21%, pero los valores obtenidos del coeficiente de pérdida en el rotor Y_R es muy grande, lo que indica que aunque el coeficiente de pérdida del perfil $(Y_p)_R$ es bajo, la geometría tan torsionada del alabe genera un efecto contrario al esperado, en el cual el entorchamiento del alabe debía producir más eficiencia que en un alabe recto, y más teniendo en cuenta el índice de incidencia nulo; es decir que los ángulos del perfil son iguales a los del flujo.

Con el coeficiente de pérdida total del estator Y_N , y usando la ecuación (13), el coeficiente equivalente de pérdida λ_N en dicha sección corresponden al 15%, un

valor que puede ser válido para la turbina diseñada en este proyecto, comparado con el valor inicial de λ_N del 9%.

$$\lambda_N = \frac{Y_N}{\left(\frac{T_{02}}{T_2'}\right)}$$

$$\lambda_N = \frac{0,21}{\left(\frac{1221,65 \text{ K}}{910,27 \text{ K}}\right)} = 0,15$$

Para hallar el coeficiente equivalente de pérdida en el rotor λ_R es necesario calcular primero T_{03rel} , ya que dicho valor se requiere en la ecuación (15).

$$T_{03rel} = T_3 + \frac{V_3^2}{2C_p} \quad (14)$$

$$T_{03rel} = 786,01 \text{ K} + 244,87 \text{ K} = 1030,88 \text{ K}$$

$$\lambda_R = \frac{Y_R}{\left(\frac{T_{03rel}}{T_3''}\right)} \quad (15)$$

$$\lambda_R = \frac{0,62}{\left(\frac{1030,88 \text{ K}}{758,52 \text{ K}}\right)} = 0,45$$

A diferencia de los resultados obtenidos en el estator, el coeficiente equivalente de pérdida en el rotor λ_R es muy alto, puesto que corresponde a más de la mitad del rendimiento del disco rotor, valor que afectará significativamente la eficiencia de la etapa, el cual se hallará con la ecuación (16).

$$\eta_s = \frac{1}{1 + \frac{\left[\lambda_R \left(\frac{V_3^2}{2C_p}\right) + \left(\frac{T_3}{T_2}\right) \lambda_N \left(\frac{C_2^2}{2C_p}\right)\right]}{(T_{01} - T_{03})}} \quad (16)$$

$$\eta_s = \frac{1}{1 + \frac{\left[0,45 * (244,87 \text{ K}) + \left(\frac{786,01 \text{ K}}{935,98 \text{ K}}\right) * 0,15 * (285,66 \text{ K})\right]}{(355,53 \text{ K})}} = 0,70$$

Conclusiones

Tal como se preveía, el rendimiento de la etapa de turbina de alta η_s es apenas del 70%, un valor muy bajo para el tipo de turbina que se quiere diseñar, ya que la eficiencia que se había asumido al inicio del análisis gasodinámico del motor para la sección de turbina fue del 87%. Pero, y aunque no se especifica el número de etapas correspondiente a una turbina con una eficiencia del 87%, este valor normalmente pertenece a turbinas de múltiples etapas.

Ahora, teniendo en cuenta que una sola etapa es menos eficiente que la turbina completa y aclarando que los datos y condiciones trabajadas para los cálculos realizados son las reales y no las ideales se puede determinar que el resultado obtenido es satisfactorio ya que los fabricantes poseen una serie de

secretos sobre sus diseños de turbinas y demás elementos para aumentar las eficiencias; los valores calculados son unos y los valores para poner un motor a punto son otros y estos se ganan mediante adecuaciones internas que no se conocen; los valores que se hallaron son los más aproximados a los de un motor real.

Referencias

- ▶ Mattingly, J. D. (2006). *Elements of propulsion: Gas Turbines and Rockets* (2nd. Edition). Virginia, AIAA Education Series.
- ▶ Cuesta Álvarez, M. (1980). *Motores de Reacción Tecnología y Operación de Vuelo* (Quinta Edición). Madrid, Paraninfo.
- ▶ Saravanamuttoo, H.H. (1996). *Gas Turbine Theory* (4th. Edition). Harlow, Longman Group Limited.
- ▶ Zucrow, M. J. (1948). *Principles of Jet Propulsion and Gas Turbines* (2nd. Edition). New York, John Wiley & Sons, Inc.
- ▶ Rolls-Royce plc. (1986). *The jet engine* (Fifth Edition). Derby, Renault Printing Co. Ltd.
- ▶ El-Sayed, A. F. (2008). *Aircraft Propulsion and Gas Turbine Engines* (First published). New York, CRC Press Taylor and Francis Group.
- ▶ Oñate, A. E. (1981). *Turborreactores: Teoría, Sistemas y Propulsión de Aviones*. Madrid, Editorial Aeronáutica Sumaas, S.A.
- ▶ Mattingly, J. D. (2002). *Aircraft Engine Design* (2nd. Edition). Virginia, AIAA Education Series.
- ▶ Flack, R. D. (2005). *Fundamentals of Jet propulsion with applications* (First published). New York, Cambridge University Press.
- ▶ Bathie, W. W. (1996). *Fundamentals of Gas Turbines* (2nd. Edition). New York, John Wiley & Sons, Inc.
- ▶ Dixon, S. L. (2005). *Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery* (Fifth Edition). Burlington, Elsevier Butterworth-Heinemann.
- ▶ Tarifa, C. S. (1951). *Motores de Reacción y Turbinas de Gas* (Tomo 1). Madrid, Imprenta del Instituto Nacional de Técnica Aeronáutica Esteban Terradas.
- ▶ Van Wylen, G. J. (2000). *Fundamentos de termodinámica* (Segunda edición). Mexico D. F., Editorial Limusa S.A.
- ▶ Babu, V. (2009). *Aircraft Propulsion* (First published). Boca Raton, CRC Press Taylor and Francis Group.
- ▶ Farokhi, S. (2009). *Aircraft Propulsion* (First published). Hoboken, John Wiley & Sons, Inc.
- ▶ Kroes, M. J. (1994). *Aircraft Powerplants* (Seventh Edition). Singapore, McGraw-Hill International Editions.
- ▶ Estrada, M. C. A. (2007). *Simulación de una cámara de combustión para una microturbina de gas utilizando el programa de dinámica de fluidos FLUENT*. *Scientia Et Technica*. (vol. XIII, número 034. pp. 255-260). Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia.
- ▶ Capella, C. M.; Vasquez, S. D. (2000). *Alternativas para incrementar la eficiencia y capacidad de las turbinas de gas*. *Ingeniería y desarrollo*. (número 008. pp. 89-98.). Universidad del Norte. Barranquilla, Colombia.

- ▶ Pincay, G. N. A. (2010). *Optimización con el criterio de mínima generación de entropía de un ciclo Brayton no endorreversible con recuperación externa*. *El hombre y la máquina*. (número 34. pp. 42-55). Universidad Autónoma de Occidente. Cali, Colombia.
- ▶ Estrada, C. A.; Arias, G. D. (2005). *Análisis del desempeño de una turbina de gas cuando hay indicios de deterioro en sus componentes*. *Scientia Et Technica*. (número 29. pp. 145-150). Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia.
- ▶ Amell, A. A.; Bedoya, C. A.; Suarez, B. (2006). *Efectos del cambio de composición química del gas natural sobre el comportamiento de turbinas a gas: una aproximación al caso colombiano*. *Energetica*. (numero 35. pp. 23-31). Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- ▶ Atahualpa, G. O. (2015). *Diseño Conceptual y Preliminar de la Etapa de Turbina de Alta Presión para un Motor Turbofan High bypass*. Tesis de pregrado. Fundación Universitaria Los Libertadores. Bogotá, Colombia.
- ▶ Meier, N. (2005). Civil Turbojet/Turbofan Specifications. <http://www.jet-engine.net/civtfspec.html>
- ▶ Jenkinson, L.; Simpkin, P.; Rhodes, D. (2001). Civil Jet Aircraft Design. <http://booksite.elsevier.com/9780340741528/appendices/data-b/table-3/default.htm>
- ▶ MTU Aero Engines. (2014). PW6000 Technical Data. <http://www.mtu.de/engines/civil-aircraft-engines/narrowbody-and-regional-jets/pw6000/>
- ▶ Pratt & Whitney. (2014). PW2000 Engine Specs. http://www.pw.utc.com/Commercial_Engines
- ▶ GE Aviation. (2014). CF34 Engine Data Sheet. <http://www.geaviation.com/commercial/engines/cf34/>
- ▶ CFM Aero Engines. (2014). CFM56-5B Turbofan Engine Facts. <http://www.cfmaeroengines.com/engines/cfm56-5b>
- ▶ benjaminwennink.com. <http://benjaminwennink.com/Documents/4.%20Aviation%20Studies%20-%20Year%202/4.1%20Projects%20year%202/Project%20Power%20Plant%20-%20Report.pdf>
- ▶ European Aviation Safety Agency. (2014). ICAO Aircraft Engine Emissions Databank. <https://www.easa.europa.eu/document-library/icao-aircraft-engine-emissions-databank>



La modalidad de la educación virtual: la más adecuada para capacitar a los controladores aéreos

Virtual education: the best option to train air traffic controllers

Fechas de recepción: 16 de Octubre de 2015
Fecha de aprobación: 25 de Noviembre de 2015

Por: Freddy Alberto Tovar Chávez*

Resumen

Debido al alto crecimiento del tránsito aéreo colombiano y a las insuficiencias en el personal que participan en este proceso, este artículo tiene como propósito evidenciar si la educación virtual tiene los alcances y capacidades necesarias para la capacitación de controladores aéreos en Colombia.

El estudio realizado explora las funciones, conocimientos y habilidades que tiene y debe tener un controlador aéreo; se analiza la literatura y las teorías pedagógicas; se hace énfasis en lo que concierne a la educación virtual; se exponen diferentes puntos de vistas y resultados tanto teóricos como prácticos de la educación virtual, y por último se establece por qué la educación virtual sí cumple con los requerimientos necesarios para desarrollar esta capacitación específica.

Palabras clave: educación virtual, controlador de tránsito aéreo, capacitación, simulador.

Abstract

Due to the high growth of Colombian air traffic and the deficiencies in the staff involved in this process, this article aims to show whether virtual education has the ability and capabilities needed for their training in Colombia.

The study explores the functions, knowledge and skills that an air traffic controller must have. The literature and educational theories are analyzed. An emphasis concerning virtual education is made.

We also explored the different points of views of both theoretical and practical results of virtual education. Finally we establish that virtual education meets the requirements necessary to develop this specific training.

Keywords: Education, air traffic controller, training, simulator.

* Administrador de empresas en telecomunicaciones, controlador tránsito aéreo, especialista en docencia universitaria.

Introducción

Colombia viene avanzando en educación virtual de una forma ascendente: ya en 2010 la Unesco en París le hacía la mención de honor del Premio de Alfabetización Rey Sejong - Unesco a la fundación universitaria Católica del Norte por su Programa de Alfabetización Virtual Asistida (PAVA), que ha servido para minimizar el índice de analfabetismo en Colombia e incluir el uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en el sistema formativo; el programa ha estado especialmente dirigido a mujeres, afro, indígenas, desplazados y personas con alguna discapacidad.

En 2013 se celebró el XIV Encuentro internacional Virtual Educa Colombia 2013, el cual fue considerado un gran éxito por la entonces ministra de Educación, María Fernanda Campo Saavedra, quien lo definió como el evento más importante de América Latina y del Caribe en innovación educativa.

El año 2014 un profesor colombiano fue escogido entre 25.000 participantes de 150 países del mundo como el más innovador en materia de programación; fue elegido por una iniciativa acerca de educación y tecnología que puso en la página web de la Corporación Microsoft. No es la primera vez que el docente gana un reconocimiento mundial: en el 2013 viajó a Corea, ya que fue escogido como una de las 17 mejores experiencias en uso educativo de las TIC.

Para evidenciar si la educación virtual es adecuada en la capacitación de controladores aéreos es necesario establecer cuáles son los conocimientos y capacidades que debe adquirir una persona para poder desempeñar esta labor. Para esto se toma como guía el pensum académico establecido por la Centro de Estudios de Ciencias Aeronáuticas (CEA) en la capacitación de esta labor; con esta información se realiza un análisis cualitativo de las virtudes de la educación virtual y se establece si esta puede ser usada total o parcialmente en un programa educativo para controladores aéreos.

La primera parte de este artículo define las funciones y conocimientos que debe adquirir un controlador aéreo con base en la información suministrada por el CEA. En la segunda parte se presenta una extensa revisión de la literatura pedagógica, en lo que concierne a la educación virtual, destacando los documentos que más se acerquen a las características y especificaciones de las cualidades para la capacitación de un controlador aéreo. La tercera parte cierra con las conclusiones, en las cuales se establecerá con la mayor proximidad posible la participación que puede tener la educación virtual en la capacitación de los controladores aéreos.

La educación virtual es una opción y forma de aprendizaje que se acopla al tiempo y a la necesidad del estudiante, que facilita además el manejo de la

información y de los contenidos del tema que se desea tratar y está mediada por las TIC que proporcionan herramientas de aprendizaje más estimulantes y motivadoras que las tradicionales y que ofrecen a la escuela un medio para extender sus recursos didácticos más allá de los confines de un área geográfica limitada. Los estudiantes tienen entonces la oportunidad de asistir a clases aun cuando ellos no se encuentren en el salón, incluso pueden interactuar en tiempo real con el instructor y otros estudiantes; es un salón de clases virtual donde hay un ambiente didáctico equitativo.

El *e-learning* (electronic learning) es el concepto utilizado para denominar la educación virtual que recrea un ambiente sustituto al presencial tradicional y crea un nuevo espacio más complejo que posibilita el uso de nuevas metodologías y herramientas que no se podrían encontrar en la educación presencial tradicional. No es solo un cambio o sustitución de herramientas, en este se está produciendo un nuevo lenguaje, en el cual hay nuevos modos de constitución de los sujetos, nuevos modos de significación y resignificación, el componente pedagógico referido a la tecnología educativa como disciplina de las ciencias de la educación, vinculada a los medios tecnológicos, la psicología educativa y la didáctica.

Este tipo de educación virtual podría ser de gran ayuda para la dinámica de los cambios tan rápidos que se están presentando en el mundo y en Colombia, particularmente en el tránsito aéreo, ya que gracias al avance económico de Colombia y el mundo se ha presentado un alto incremento de tráfico aéreo en el país. Esto representa un reto para las diferentes instituciones que hacen parte del sector aeronáutico del país, puesto que deben contar con personal calificado para realizar las diferentes tareas que se desprenden del alto tráfico aéreo.

El 23 de diciembre de 2013, la Asociación del Transporte Aéreo en Colombia (ATAC) realizó un resumen acerca de la actividad aeronáutica en el país y de la tendencia que este ha tenido en los últimos años. El número de pasajeros aéreos en Colombia pasó de 8 millones en 1992 a 14,4 millones en 2007, es decir, tuvo un incremento del 80% en 15 años, y para el 2013 esta cifra subió a 29 millones de pasajeros, o sea, un incremento del 101% solo en seis años y el último año creció un 19%.¹

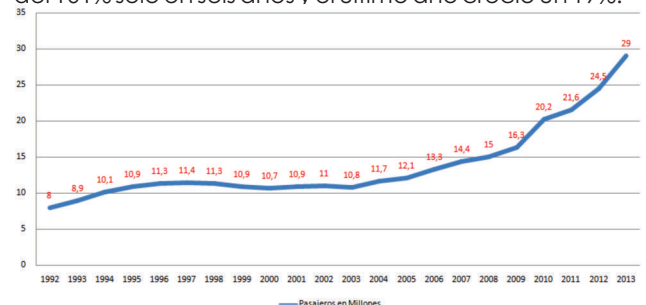


Figura 1. Incremento de pasajeros en Colombia

¹ Para más información puede ver http://www.atac.aero/noticias/enero_2014/balance_industria_2013.pdf.

Sin embargo, el incremento de pasajeros aéreos en el país no ha evolucionado con la capacidad aeroportuaria y la capacidad administrativa y operativa de las aerolíneas. Desde hace varios años se convirtieron en una constante los retrasos, cancelaciones y problemas en los diferentes aeropuertos del país.

Parte importante de las labores del tránsito aéreo la realizan los controladores aéreos, personas encargadas de dirigir el tránsito de aeronaves en el espacio aéreo, lo cual se tiene que hacer de forma segura, ordenada y rápida. Estos autorizan y guían a los pilotos mediante información e instrucciones, para así evitar accidentes, principalmente entre aeronaves y obstáculos en el área de maniobras.

Ya en febrero de 2012 los controladores aéreos realizaron un plan tortuga en forma de protesta por el incremento en la carga laboral que, según el presidente de la Asociación de Controladores Aéreos, Carlos Arturo Bermúdez, llegó a ser hasta del 500%. Finalmente el 19 de febrero se puso fin a la protesta con un acuerdo que incluía la capacitación de 300 nuevos controladores.

Funciones del controlador aéreo

El controlador aéreo presta un servicio de información, asesoramiento, control y alerta de un espacio aéreo específico. Debe interpretar los procedimientos reglamentarios de los servicios de navegación aérea para así poder identificar, analizar, evaluar y solucionar problemas de los procesos de los vuelos con seguridad, orden y rapidez.

Para la formación de un controlador aéreo es necesario que este adquiera conocimientos técnicos, mediante la utilización de metodologías y tecnologías de alta eficiencia. Después de la adquisición de estos conocimientos, deberán complementar su formación con la práctica en lugar de trabajo. El controlador debe tener las siguientes competencias y habilidades:

- 1) Factores humanos en incidentes de servicios de tránsito aéreo (ATS).
- 2) Principios aeronáuticos.
- 3) Comunicaciones.
- 4) Información aeronáutica.
- 5) Servicios de seguridad
- 6) Aeródromos, mecánica de vuelo.
- 7) Meteorología.
- 8) Telecomunicaciones aeronáuticas.
- 9) Reglamento del aire.
- 10) Servicios ATS.
- 11) Procedimientos de control de aeródromo.
- 12) Procedimientos radiotelefónicos y fraseología.
- 13) Navegación y altimetría.
- 14) Operaciones de vuelo.
- 15) Cartas aeronáuticas y contingencias.
- 16) Performance de aeronaves.
- 17) Tecnologías en la navegación aérea.

Terminada la capacitación, el controlador aéreo debe estar preparado para transmitir información y dar permisos de forma segura, ordenada y rápida de modo que el espacio aéreo que está bajo su control se comporte de la misma manera.

El controlador aéreo debe hacerse responsable del tránsito de:

- 1) Aeronaves que vuelan dentro del área designada de responsabilidad de la torre de control.
- 2) Aeronaves que operan en el área de maniobras y movimientos.
- 3) Aeronaves que aterrizan y despegan.
- 4) Aeronaves y vehículos que operan en el área de maniobras.
- 5) Las aeronaves en el área de maniobras y los obstáculos que haya en dicha área.

Educación virtual y simuladores

Cardona (2002) Evalúa teorías de la pedagogía y las contrasta con las características ofrecidas por la educación virtual. Hace una breve descripción de la teoría del constructivismo, que plantea la necesidad de entregar al estudiante las herramientas necesarias para que este pueda crear sus propios procedimientos para resolver un problema determinado, lo que lo lleva a modificar constantemente sus ideas y a continuar con su aprendizaje, con la conversación del conocimiento situado. Finalmente, el autor concluye que el Internet tiene características propias de estas teorías: es realista, complejo, es guiado por el interés del internauta, es provocador. La interacción dependerá entonces de que el diseño del entorno permanezca interesante; la interacción entre personas de diferentes niveles lleva a una experiencia y enculturación gradual y tecnológica.

El autor va más allá y resalta algunos defectos de la educación presencial, entre los cuales el más relevante de todos, según el autor, es la "libertad investigativa del estudiante, ya que la metodología de la educación está basada en la transmisión de conocimientos y no en el cultivo de la mente para la creatividad y esta solo es desarrollada en la parte investigativa, la cual es un requisito para la aprobación de una materia o grado. Así es como en la educación virtual se abre la puerta para que el estudiante pueda desarrollar la libertad y creatividad", puesto que los paradigmas impuestos por un profesor y el ámbito presencial no existen (Cardona, 2002).

Díaz (2005) evalúa la influencia de las TIC en la enseñanza actual y cómo estas han transformado de forma positiva la educación en general; sin embargo, cuando se refieren a un estudio realizado en 2004 acerca de la educación a distancia y la presencial, en la que se evaluaron aspectos como el aprovechamiento académico, la actitud y la retención de contenidos resaltan la heterogeneidad de los resultados, ya que en algunos aspectos la educación a distancia supera los resultados de la educación presencial y en otros sucede todo lo contrario.

Por este motivo se destaca la importancia de lograr fusionar en la educación virtual los diferentes modelos de aprendizaje (instrucción de expertos-novatos,² el descubrimiento individual y colaborativo y las comunidades de aprendizaje) en la educación virtual, de manera que el individuo y el grupo de estudiantes puedan obtener por medio de las TIC las competencias y el conocimiento propicio para el buen desarrollo del ser.

El trabajo de Bustos y Coll (2010) analiza la capacidad de los medios virtuales³ para potenciar el modelo educativo. Para llevar a cabo un programa virtual será necesario la configuración de todos los recursos tecnológicos, el uso de aplicaciones y herramientas que permiten la combinación de estos recursos,⁴ la mayor o menor amplitud y riqueza de las interacciones que las tecnologías posibiliten, el carácter sincrónico⁵ o asincrónico⁶ de las interacciones y las finalidades y objetivos educativos que se persiguen.

Estos autores mencionan la utilización de la evolución del software social o la Web 2.0 y de los entornos de inmersión 3D o mundos virtuales, aplicaciones como *second life*, los cuales tienen la capacidad especial de recombinación cultural, económica y de identidad que amplía la gama de experiencias para los estudiantes y para el docente, e incentiva la creación de comunidades de aprendizaje.

Se deja claro que en la educación lo más importante es el triángulo interactivo entre (profesor, alumnos y contenidos) y que la incorporación de las TIC en la educación solo es importante en la medida del espacio conceptual que ocupen entre el triángulo interactivo y los usos que le den los alumnos y profesores a los contenidos para generar resultados positivos entre estos componentes.

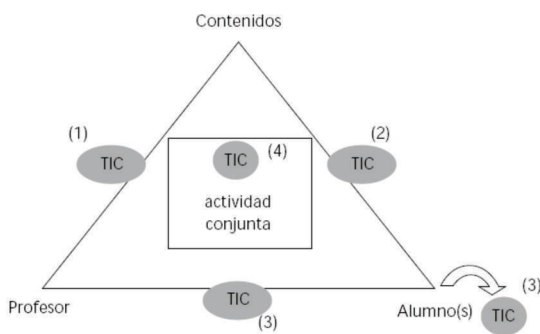


Figura 2. Triángulos interactivo
Fuente: Bustos y Coll (2010).

El informe Insight 2011, publicado en octubre de 2012, destaca la importancia de las TIC en el mundo actual y cómo los países europeos incluyen en sus planes nacionales de educación el desarrollo de las competencias en el manejo de las TIC. En todos los países europeos las habilidades para manejar las TIC hacen parte de los planes nacionales de educación, los objetivos o currículos de la educación primaria, secundaria y superior, y cómo estas competencias deben ser evaluadas en cada uno de los niveles educativos.

Al respecto, Eduteka (2008) resalta cómo los estudiantes de hoy deben estar preparados para el manejo de las TIC y que por medio de estas los estudiantes puedan innovar, comunicar, colaborar, investigar, desarrollar habilidades de pensamiento crítico, trabajar colaborativamente con otras personas, localizar efectivamente información, solucionar problemas y tomar decisiones bien fundamentadas.

La educación virtual se ha vuelto habitual, tanto en la formación técnica como profesional, se ha incrementado el uso de simuladores para las áreas de medicina, enfermería, administración e ingeniería, y por medio de los simuladores los estudiantes pueden tener experiencias similares a las de la práctica real. Los simuladores son muy adecuados en situaciones en las cuales se hace complejo, costoso o riesgoso desarrollar habilidades en situaciones reales, el trabajo con elementos o máquinas peligrosas o muy costosas.

Sin embargo, se recomienda que este tipo de capacitación se preste con un acompañamiento adecuado por parte de un docente que debe estar muy bien preparado para poder acompañar al estudiante virtual en el escenario de la simulación y poder explicarle paso a paso el proceso ocurrido durante la misma. Esto es necesario ya que se ha constatado que los simuladores⁷ no cumplen su función a plenitud cuando el estudiante se enfrenta a este por sí mismo y de manera individual.

Los simuladores educativos ponen a disposición del docente preferencias en las que el estudiante puede tomar y hacerse responsable de sus propias decisiones, explicar los resultados de sus acciones y obtener retroalimentación de manera inmediata; adicionalmente, tiene la posibilidad de compartir sus resultados con el resto de la clase, lo cual crea en el estudiante la necesidad de involucrarse y opinar, y todo esto se puede lograr de forma virtual.

² **El modelo expertos-novatos:** el experto (profesor) modela y promueve los saberes del novato (alumno). El profesor asume el rol de entrenador (*coach*) del alumno. Los diseños instruccionales basados en el aprendizaje artesanal (*apprenticeship*) son una muestra de esta estrategia.

³ **Las comunidades de aprendizaje:** se destaca que el conocimiento se produce de la participación conjunta en experiencias socioculturales y colectivas relevantes y auténticas. Por lo que se enfatiza el trabajo colaborativo y la coconstrucción del conocimiento. En el mismo artículo, citando a Coll (2004-2005), Díaz Barriga nos presenta el modelo de comunidades de prácticas.

⁴ **El descubrimiento individual y colaborativo:** los alumnos, individualmente o en grupo, llevan a cabo tareas que implican descubrimiento y solución de problemas. El foco de la enseñanza se centra en que los alumnos desarrollen las habilidades de cuestionamiento y probatura de conjeturas. El aprendizaje basado en problemas es un claro ejemplo de esta estrategia de instrucción, y en general los diseños instruccionales que se inspiren en la metáfora del "aprendiz como científico".

⁵ **Sincrónico:** comunicación interpersonal a través de Internet, en la cual los usuarios a través de una red telemática coinciden en el tiempo y se comunican entre sí mediante texto, audio o vídeo. Un ejemplo de comunicación sincrónica es la videoconferencia.

⁶ **Asincrónico:** los participantes utilizan el sistema de comunicación en tiempos diferentes. Un ejemplo de comunicación asincrónica es el correo electrónico. Así, profesores y alumnos pueden desarrollar un diálogo uno-a-uno (profesor-alumno; alumno-alumno; profesor-profesor) a través del correo electrónico, o también llevar a cabo intercambios o debates muchos-a-muchos, utilizando las listas de distribución o participando en una audioconferencia.

⁷ **Simuladores:** los simuladores son herramientas que se pueden utilizar para forjar nuestra experiencia en un determinado campo, ya que con ellos podemos simular ambientes experimentales y generar así posibilidad de que el alumno responda con opciones de lo que se haría en la realidad, basándose en un software producido para reemplazar esa realidad.

Para hacer uso de estos sistemas se debe diseñar un modelo que represente un sistema real al que se verá enfrentado el estudiante es su verdadera labor, por lo cual la experiencias que el estudiante tenga con el simulador deben tener como finalidad que el estudiante logre aprender el comportamiento del sistema y de evaluar diferentes estrategias que le permitan adquirir un conocimiento completo del funcionamiento del sistema.

EduTEKA (2008) elaboró un estudio acerca de la coordinación y docencia de las TIC, lo cual considera fundamental para el desarrollo de una buena educación por medio de estas.

En primera instancia señala que además de tener los conocimientos y habilidades de un pedagogo tradicional, los docentes deben cumplir con los estándares de competencia en TIC de la Unesco y los estándares para docentes de International Society for Technology in Education (ISTE), los cuales señalan como los aspectos más importantes en pleno conocimiento y habilidades del manejo de las TIC, el manejo del funcionamiento básico del hardware, software y conocimiento de los recursos web (aplicaciones y herramientas específicas que deben ser capaces de utilizar con flexibilidad en diferentes situaciones basadas en problemas y proyectos).

El coordinador, además de cumplir con los conocimientos generales que tiene el docente, también debe ser una persona con posicionamiento estratégico en la institución para que este pueda tener comunicación directa con docentes, directivas, coordinadores académicos y personal administrativo. Debe ser líder y debe conocer la diferencia entre aprender "de" los computadores y aprender "con" estos, lo cual le permitirá tener una excelente comprensión del alcance de las TIC en la educación. Esta persona debe tener un alto nivel de inglés, ya que la mayor parte del material teórico nuevo acerca de la educación virtual se produce en este idioma.

Leal (2013) realizó un análisis histórico de la educación en el cual encuentra que esta hace parte de una dinámica interdependiente con el resto de sistemas (familia, cultura, economía, salud, política); es un ecosistema nutriente de la sociedad e indispensable para su conservación y sustentación, motivo por el cual

se crea una arquitectura del sistema educativo que es cerrado y en el que se encierra a todos los agentes de la sociedad por medio de reglas que oficializan y legitiman los contenidos educativos plasmados por este y con lo cual la heterodoxia y de la autodidaxia quedan por fuera del ecosistema educativo.

La Ley 30 de 1992 estableció la normatividad para la acreditación de calidad en la educación superior en Colombia y a través de esta misma se creó el Consejo Nacional de Acreditación (CNA), el cual ha venido revisando con la ayuda de la comunidad académica en 1995, 1996, 1998, 2003, y 2012 los lineamientos para la acreditación en los cuales tiene en cuenta la misión y el proyecto institucional, estudiantes, profesores, procesos académicos, investigación, internacionalización, bienestar institucional, organización, administración y gestión, egresados e impacto sobre el medio, recursos físicos y financieros. Define los parámetros que se tienen en cuenta para establecer cuando un programa educativo es de alta calidad (Silva, 2013).

En este momento la Universidad Nacional a Distancia (UNAD) cuenta con cinco programas de pregrado que tienen la acreditación de alta calidad, otorgada por el Consejo CNA, que son: Comunicación Social, Licenciatura en Etnoeducación,⁸ Zootecnia,⁹ Ingeniería de Sistemas y Administración de Empresas. Cabe anotar que la cifra de programas acreditados como de alta calidad en el país no llega al 50% de la oferta educativa por parte de las instituciones educativas de tipo presencial.

Lo importante en la educación no es el medio, sino su enfoque pedagógico y didáctico. La nueva generación de tecnología llamada WEB 3.0 permite un enfoque más profundo de la educación virtual. Esta es una tecnología que tiene mayores alcances.

La WEB 3.0 se caracteriza por la utilización de datos semánticos, llamada web semántica y geoespacial que, apoyada en técnicas de inteligencia artificial, hace que con los dispositivos tecnológicos se manipulen los datos más eficientemente. Esto permite enlazar datos y que estos sean tan accesibles como las páginas web. El objetivo principal es que los datos estructurados sean accesibles utilizando RDF;¹⁰ la idea es que los dispositivos lean contenidos digitales con la misma facilidad que el humano entiende e interpreta el lenguaje natural.

⁸ **Licenciatura en Etnoeducación:** a distancia constituye un esfuerzo de la UNAD por llegar a los distintos grupos étnicos y culturales del país, con el propósito de facilitar proceso de estudio, investigación y desarrollo educativo que correspondan a sus necesidades y proyecciones. Se enmarca en los lineamientos de la Etnoeducación contemplados en la Ley 115 de 1994 y el Decreto 804 de 1995.

Esta propuesta educativa se fundamenta en la investigación sociocultural, en la pedagogía, en el análisis crítico y permanente de los problemas reales de cada pueblo o etnia, entendiendo la etnoeducación como un proceso vital en la formación integral y continua de los grupos, enmarcada dentro del ambiente social y cultural como fundamento de la conservación, crecimiento, transmisión de valores culturales, de normas y cosmovisiones entendidas como pilares de la identidad de los diversos pueblos y de Colombia, como un país multicultural y plurétnico.

⁹ **Zootecnia:** el objeto de estudio de la carrera de zootecnia es la producción animal en relación con sus componentes estructurales básicos (nutrición y alimentación, fisiología de la producción, reproducción, genética y mejoramiento y gestión económica-administrativa) y específicos terminales (sistemas de producción pecuaria y tecnología de alimentos de origen animal). El objetivo de la carrera es formar profesionales que estén en capacidad de promover el desarrollo de las explotaciones pecuarias; así se busca mejorar los ingresos y el bienestar de los productores y las familias rurales. Generar y difundir tecnologías acordes con la disponibilidad de recursos con el uso racional de los mismos y con la necesidad de conservar el equilibrio natural y la biodiversidad. Analizar y formular alternativas de solución para la problemática del sector agropecuario y para evaluar que los programas de instituciones públicas y privadas se ajusten a las necesidades locales y regionales relacionadas con una solución al desempleo, desnutrición, enfermedades y migración hacia las grandes ciudades.

¹⁰ Marco de Descripción de Recursos (**Resource Description Framework, [RDF]**): es una familia de especificaciones de la World Wide Web Consortium (W3C), originalmente diseñado como un modelo de datos para metadatos. Ha llegado a ser usado como un método general para la descripción conceptual o modelado de la información que se implementa en los recursos web, utilizando una variedad de notaciones de sintaxis y formatos de serialización de datos.

La tecnología 3D también es una herramienta muy poco utilizada en la educación virtual. Esta herramienta es otro posible destino de la WEB 3.0; aplicaciones como second life, abren la posibilidad a nuevas formas de conectar y colaborar, utilizando espacios tridimensionales (Arboleda, 2013).

Conclusiones

Después del análisis de las diferentes investigaciones que enfocan la historia, la evolución, el presente y futuro de la educación virtual se puede concluir lo siguiente:

- 1) Este tipo de educación hoy cumple con los criterios de las teorías pedagógicas más importantes en el presente, como son la teoría del constructivismo, la conversación y el conocimiento situado.
- 2) Ofrece ya las herramientas tecnológicas necesarias para el logro de capacitar en las áreas de ciencias básicas, tecnología e ingeniería, ciencias de la educación, ciencias administrativas, contables, económicas y escuela de ciencias agrícolas, pecuarias y del medio ambiente.
- 3) Abre la puerta para el desarrollo de la libertad y creatividad en todas las áreas del conocimiento.
- 4) Aunque sea virtual, lo más importante sigue siendo el triángulo interactivo entre profesor, alumnos y contenidos.
- 5) Es recomendable para situaciones en las que es muy complejo, costoso o riesgoso desarrollar habilidades en situaciones reales, el trabajo con elementos o máquinas peligrosas o muy costosas.
- 6) El docente debe tener pleno conocimiento y habilidades del manejo de las TIC, manejo del funcionamiento básico del hardware, software y conocimiento de los recursos web.
- 7) Se debe contar con una coordinación en la que el posicionamiento estratégico de la institución pueda tener comunicación directa con docentes, directivas, coordinadores académicos y personal administrativo.
- 8) Es recomendable que el docente y coordinador tengan un alto nivel del idioma inglés.
- 9) La utilización de tecnología 3D ya está en práctica y estos espacios tridimensionales pueden ser aplicados a simuladores necesarios en la capacitación del controlador aéreo.
- 10) La educación virtual muestra las señales necesarias y suficientes en relación con los conocimientos y habilidades con las que debe contar un controlador aéreo (conocimiento teórico, conocimiento práctico y habilidad para el manejo de situaciones inesperadas).
- 11) En el proceso de búsqueda de habilidades y competencias para el control de tránsito aéreo, podemos decir que la modalidad virtual nos ayudaría en el 60% de esta búsqueda, el 40% se debe realizar de manera presencial.

- ▶ aerocivil.gov.co/Educacion/CEA/Paginas/Inicio.aspx
- ▶ Angel, M., Franco, A. y Osorio, P. (2012). *El uso de simuladores educativos para el desarrollo de competencias en la formación universitaria de pregrado*. Medellín: revista Q
- ▶ Arboleda, N. (2013). *La nueva relación entre tecnología, conocimiento y formación tiende a integrar*. Bogotá: editorial virtual educa.
- ▶ Asociación del Transporte Aéreo en Colombia (s. f.). *Las aerolíneas en Colombia transportan 29 millones de pasajeros*. Recuperado de atac.aero/noticias/enero_2014/balance_industria_2013.pdf
- ▶ Bustos, A. y Coll, C. (2010). *Los entornos virtuales como espacios de enseñanza y aprendizaje una perspectiva psicoeducativa para su caracterización y análisis*. Barcelona:
- ▶ Cardona, G. (2002). *Tendencias educativas para el siglo XXI educación virtual, online y @learning elementos para la discusión*. Bogotá: <http://edutec.rediris.es/>
- ▶ Díaz, F. (2005). *Principios de diseño instruccional de entornos de aprendizaje apoyados con TIC: un marco de referencia sociocultural y situado*. Mexico D.F.: investigacion.ilce.edu
- ▶ E-ABC (s. f.). *Definición de e-learning*. Recuperado de e-abclearning.com/definicion-e-learning
- ▶ Eduteka. (2008). *Un modelo para integrar las tic al currículo escolar coordinación y docencia tic*. http://www.eduteka.org/tema_mes.php3
- ▶ El Tiempo (17 de febrero de 2012). *Nuestra carga laboral aumentó en un 500%: Controladores aéreos*. Recuperado de elespectador.com/noticias/nacional/articulo-327107-nuestra-carga-laboral-aumento-un-500-controladores-aereos
- ▶ Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado (2012). *Resumen Informes Insight 2011. Educación y TIC en 14 países*. Madrid:
- ▶ Leal, J. (2013). *La ecología de la formación e-learning en el contexto universitario*. Bogotá: editorial virtual educa.
- ▶ Serrano, N. (18 de enero de 2014). *Docente monteriano, escogido entre 25 mil como el más innovador*. Recuperado de eluniversal.com.co/regional/docente-monteriano-escogido-entre-25-mil-como-el-mas-innovador-14874
- ▶ Silva, L. (2013). *Acreditación de alta calidad: educación abierta y a distancia*. Bogotá: editorial virtual educa
- ▶ ucn.edu.co/cibercolegio/PAVA/Paginas/mencion-de-honor-de-la-unesco-king-sejong-literacy-prize.aspx
- ▶ virtualeduca.org/encuentros/colombia/
- ▶ Wikipedia (s. f.). *Educación en línea*. Recuperado de es.wikipedia.org/wiki/Educaci%C3%B3n_virtual

¿Cómo afecta el hielo el vuelo de un avión?

How the ice affects the flight?

Fechas de recepción: 05 de Noviembre de 2015
Fecha de aprobación: 05 de Diciembre de 2015

Por: Ever Oswaldo Vivas Hernández*

Resumen

El engelamiento es una de las causas más comunes de accidentes en la aviación. Se genera en un ambiente con presencia de partículas de agua subenfriada, las cuales se adhieren y luego se solidifican sobre la superficie de la aeronave; a medida que se van acumulando, modifican drásticamente el perfil aerodinámico de la aeronave, lo que produce graves contingencias en vuelo. El hielo genera diversos tipos de complicaciones para el avión, que van desde la pérdida de la sustentación por la acumulación sobre las superficies aerodinámicas, hasta la obstrucción de sistemas de lectura de información en vuelo, como lo es el tubo pitot, y que genera de igual manera un alto riesgo para la seguridad de la aeronave y su tripulación. Por ello, en este artículo se da a conocer la forma como se desarrolla el engelamiento, los tipos que existen y los efectos que genera y así, con la ayuda de sistemas de protección, identificar plenamente a tiempo la aparición de anomalías para evitar de esta manera que llegue al punto donde un accidente no se pueda evitar.

Palabras clave: engelamiento de aeronaves, agua superenfriada, meteorología de aviación.

Abstract

Icing is one of the most common causes of accidents in aviation. It is generated in an environment with the presence of supercooled water particles, which then adhere and solidify on the aircraft's surface. As they accumulate, they drastically change the aerodynamic profile of the aircraft, causing serious flight contingencies. Ice generates various types of complications for the aircraft, ranging from the loss of support because of the accumulation on the airfoils, to the obstruction of scanning information in flight, like the Pitot tube, which also generates a high security risk for the aircraft and its crew. Therefore, this article describes how the icing develops, its types and the effects it generates. With the help of protection systems, to fully identify the occurrence of abnormalities that diagnose it to avoid the aircraft from reaching the point where an accident can not be avoided.

Keywords: Aircraft icing, subcooled water, aviation meteorology.

* Subteniente Escuela Militar de Aviación "Marco Fidel Suárez". Correo electrónico: 88eovivash@emavirtual.edu.co

Introducción

Los principios del vuelo de un avión son estudiados a profundidad por los pilotos de todo el mundo, quienes se entrenan para entender cómo se desarrolla cada una de las fases y cuál es la ciencia que hace llevar a los aires una máquina de metal y material compuesto tan pesada. Lo que dificulta su trabajo es la gran cantidad de condiciones adversas que enfrenta la aeronave y que pueden afectar el rendimiento normal. Así es como dominar considerablemente la ciencia de volar ratifica lo competente y talentoso que un piloto puede llegar a ser, pues el impulso más grande que aporta el piloto a la aeronave está en la magnitud de su conocimiento.

Es por ello que al momento de presentarse cualquier tipo de eventualidad en vuelo producida por fenómenos meteorológicos, fallas mecánicas propias de la aeronave o incluso errores humanos, es necesario saber identificar su origen y evolución rápidamente, para salvaguardar la vida de muchas personas y el éxito de una misión. Entender una de las muchas situaciones anormales, así como poseer una capacidad de respuesta rápida con la que se logre ejecutar una maniobra adecuada, determinará el desenlace de dicha anomalía.

Así pues, uno de los mayores riesgos que ha demostrado tener la capacidad de cambiar la configuración aerodinámica del avión en pocos segundos, afectar los controles de vuelo y por esta razón conducir incluso a la muerte es el hielo; tan simple como entender que una capa de hielo sobre los planos de la aeronave modifica radicalmente el perfil aerodinámico. Debido a esto, la problemática en la que se centra este artículo es la importancia de identificar y reaccionar a tiempo ante una eventualidad en vuelo, como lo es la acumulación de hielo sobre las superficies aerodinámicas y de control de la aeronave por medio de la identificación del origen y evolución del englamamiento en la estructura de la aeronave.

Desarrollo de la temática

Descripción del problema

La acumulación de hielo sobre la estructura de una aeronave no se debe a simples casualidades; para que esto suceda, el tiempo transcurrido entre la irrupción en el medio circundante y el tiempo de no acción ha de ser el necesario para que las gotas de agua superenfriada que se encuentran en el ambiente choquen y se adhieran una tras otras sobre el borde de la aeronave hasta llegar a cambiar la configuración del plano, modificar el perfil y llevar a la aeronave a perder sustentación, afectar notoriamente la potencia del motor y la performance de la aeronave, que en últimas consecuencias será fatal para la tripulación, ya que para un piloto recuperar un avión en pérdida debido a la modificación aerodinámica del perfil es casi imposible (Adsuar, 2003).

En la figura 1 se observan claramente las principales causas por las cuales se genera este tipo de contingencias en vuelo; gran parte está relacionada con las condiciones meteorológicas de la región, las

bajas temperaturas sumadas a la presencia de agua superenfriada en la atmósfera, volar en trayectos que enfrentan condiciones adversas climáticas y la poca atención prestada por la tripulación para efectuar maniobras de prevención para la acumulación del hielo sobre la aeronave.

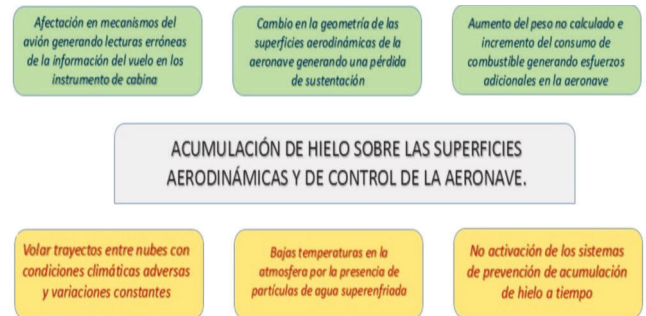


Figura 1. Árbol del problema
Fuente: elaboración propia.

Justificación

Identificar con anticipación el riesgo que posee la atmósfera para conformar hielo sobre la estructura de la aeronave es de vital importancia para ejecutar maniobras que logren prevenir o eliminar el hielo que se pueda haber formado antes de que el perfil aerodinámico haya cambiado a tal punto de perder el control de la aeronave.

A razón de esto, el estudio constante del comportamiento y los efectos del hielo sobre la aerodinámica de vuelo de una aeronave será un tema de profundización para cualquier piloto del mundo, y es por ello que se pretende acá abordar el tema con el fin de ofrecer al piloto una guía práctica para entender las condiciones que afectan la acumulación de hielo en la aeronave, analizando principalmente sus orígenes, de tal forma que se logre prevenir cualquier tipo de incidente relacionado con la pérdida de la sustentación debida al cambio aerodinámico de las superficies del avión.

Conceptos básicos

Para lograr estudiar con claridad el riesgo que posee la atmósfera para conformar hielo sobre la estructura de una aeronave, es necesario iniciar por el estudio de los conceptos que permitan aclarar cada uno de los temas abarcados al respecto. Para ello, se establece una definición básica de englamamiento partiendo del estudio y análisis de interpretaciones propuestas por otros autores; así como el análisis de cada uno de los factores que llevan a la formación de hielo, los tipos de englamamiento que se pueden generar, los efectos que producen en la aeronave y algunos métodos seguros para evitarlo.

Definición

Según Eichenberger (1996), se conoce como englamamiento a la formación de un depósito de hielo sobre un avión o sobre ciertas partes de él, el cual puede generarse en vuelo o en tierra. Para Adsuar (2003), es uno de los principales peligros provenientes de los fenómenos meteorológicos, los cuales producen

efectos acumulativos que afectan la potencia del motor y el performance de la aeronave. Por otro lado, para Retallack (1984), el engelamiento es un evento que se produce debido a la congelación de gotículas de agua subfundida, en virtud del cual el vapor de agua se convierte directamente en cristal, y que tiene lugar dentro de una nube, en una precipitación congelante o en aire claro.

De manera que definimos el engelamiento como un evento producido por ciertas condiciones meteorológicas adversas donde se encuentran partículas de agua subfundida, las cuales se convierten en cristal al contacto con la superficie de una aeronave, ya sea en tierra o en vuelo, y que finalmente afecta el rendimiento general del avión y llega a ocasionar graves accidentes.

Condiciones previas a la formación de hielo

Para que se inicie la formación de hielo sobre la estructura de una aeronave en vuelo, se deben presentar ciertas condiciones meteorológicas en la zona del vuelo y presentarse nubes con agua en subfusión, lluvia helada o llovizna helada. Al citar el fenómeno de agua en subfusión, se refiere a gotas en equilibrio líquido inestable con temperaturas inferiores a los 0°C, aunque se piense que por debajo de dicha temperatura el agua se debe hallar en estado sólido (Adsuar, 2003).

Cuando la aeronave entra en contacto con alguna partícula de agua subfundida, actúa como núcleo de solidificación, aspecto que produce un congelamiento instantáneo sobre la superficie de la aeronave y el cual va creciendo a medida que se adhieren más partículas para luego conformar un depósito final, que por lo general se verá concentrado en el borde de ataque de los planos, el parabrisas, antenas, entradas del motor y hélices.

Entre otras condiciones que llevan a la formación de hielo sobre la aeronave, están las siguientes:

- Tipo de nubes y agua subfundida presente en ellas.
- Tamaño de las gotas de agua subfundida.
- Cantidad de gotas.
- Temperatura.

De acuerdo con una clasificación general de las nubes por su tamaño y aspecto, se puede hacer un análisis previo del riesgo que representa para la aeronave el hecho de atravesarla en pleno vuelo; de esta manera se identifican los cumulonimbos que aparecen en la figura 2 como los más peligrosos debido a las corrientes ascendentes que pueden albergar grandes cantidades de agua, considerándolas así en niveles muy superiores al de congelación. En el caso de las nubes medianas, como lo son los nimbostratos y altoestratos, a pesar de que contienen abundante agua, se pueden evitar con un mayor nivel de vuelo. Mientras que las nubes bajas y la niebla suelen presentar condiciones bajas de engelamiento. Por último, la lluvia helada suele formarse en condiciones inferiores a los 0°C de temperatura (Adsuar, 2003).

Igualmente, el tamaño de las gotas, la cantidad y la temperatura ambiente influyen considerablemente en la formación de hielo, debido a que al momento del impacto la gota no se cristalizará instantáneamente pues libera una cierta cantidad de calor que se enfrenta a la temperatura ambiente, lo que sumado al tamaño de la gota afectará en mayor o menor grado la rapidez de congelación (Retallack, 1984). La cantidad de gotas de agua determinarán el tamaño de la capa de hielo que se pueda conformar, así como su tamaño también influirá en la rapidez de solidificación. Cabe resaltar que a mayor tiempo de solidificación del hielo, esta se formará con mayor resistencia y aumentará así el peligro, debido a la dificultad para eliminarlo una vez haya sido creado.



Figura 2. Cumulonimbos

Fuente: <http://wordlesstech.com/wp-content/uploads/2010/12/cumulonimbus-clouds.jpg>

Tipos de engelamiento

El análisis de los tipos de engelamiento que podemos enfrentar se puede dividir en tres componentes principales del avión donde se puede acumular el hielo: el engelamiento de la célula del avión, de los carburadores y de los motores (turborreactores y turbopropulsores) (Eichenberger, 1996).

De esta manera, encontramos que la célula del avión se ve afectada principalmente por la formación de hielo transparente, blanco, escarcha o algunas variedades adicionales. El hielo transparente por lo general se forma a temperaturas entre los 0 y -4°C al penetrar nubes de tipo cumuliformes con gotas de agua gruesas. Este tipo de hielo resulta muy difícil de desprender, se va formando a partir de los bordes de ataque recorriendo todo el fuselaje y disminuye así progresivamente su espesor, como se puede observar en la figura 3. El perfil se conserva pero el recorrido del viento relativo aumenta, lo cual podría reducir ligeramente una pérdida de sustentación. Si se llegaran a presentar partículas de cristal en estas nubes, la conformación del hielo pasará a ser irregular, lo que llevaría a perder un poco el perfil aerodinámico de la estructura, tomando a su vez una apariencia opaca (Adsuar, 2003).

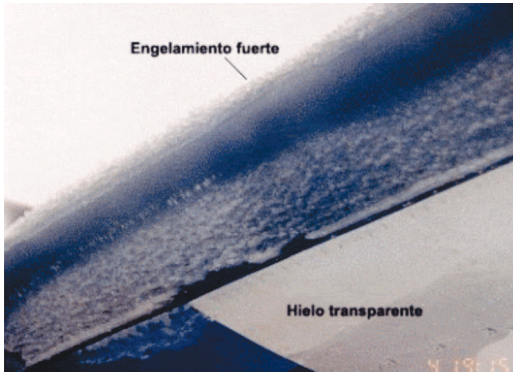


Figura 3. Formación de hielo en el borde de ataque
Fuente: <https://dondeltempopasavolando.wordpress.com/tag/nubes/page/2/>

En cuanto a la formación de hielo blanco, se puede establecer que se origina a partir de finas gotas de agua, con aspecto opaco o blanco lechoso; se acumula principalmente en los bordes de ataque y puede romperse fácilmente debido a su inestabilidad estructural (Eichenberger, 1996).

La escarcha son depósitos de pequeños cristales formados cuando la estructura del avión se encuentra a bajas temperaturas y es expuesto a un aire un poco más cálido. Este tipo de hielo es poco duradero y es frecuente observarlo en aviones que permanecen en tierra luego de una noche fría.

Algunos otros riesgos que puede enfrentar una aeronave con respecto a la formación de hielo en su estructura y que no se consideran precisamente como engelamiento se dan por diversas razones como el contacto de las ruedas del avión con charcos de hielo sobre la pista en medio del rodaje, lo que puede generar que este hielo se rompa y salpique sobre el tren de aterrizaje, el cual podría helarse y entorpecer el correcto funcionamiento del mismo. De igual manera, la acumulación de nieve sobre una aeronave en tierra puede afectar rendijas móviles y orificios del avión, como podría suceder con el tubo pitot, lo que entorpecería algunas tareas vitales en vuelo.

Por lo que se refiere al engelamiento de los carburadores, algo un poco más peligroso ya que se encuentra fuera del alcance visual del piloto y, peor aún, puede generarse aun estando por fuera de las condiciones atmosféricas anteriormente expuestas, es decir, en un cielo despejado e incluso por encima de los 0°C, cabe decir que surge cuando el aire que ingresa al carburador presenta una cantidad considerable de humedad, lo cual puede suscitar a un descenso de temperatura luego de su expansión. Si esto logra una reducción por debajo de los 0°C es muy probable que se forme hielo en las paredes de la toma de aire, hecho que reduce el área y por ende la capacidad de suministro de aire. Lo anterior se verá reflejado en una disminución notoria en la potencia del motor. Para evitar este inconveniente basta identificar con anticipación un descenso de temperatura o baja de la presión de admisión, para lo cual el piloto deberá activar la calefacción del carburador (Eichenberger, 1996).

Por último, acerca del engelamiento en los motores, estos se enfrentan a un riesgo mayor de formación de hielo en las entradas de aire y en el núcleo del compresor; una vez ocasionada la formación de hielo se evidenciará una disminución súbita de potencia y una elevación de temperatura en la turbina. Para evitar esto, muchos motores cuentan con equipos de calefacción basados en aire cálido o corriente eléctrica (Retallack, 1984).

Efectos que producen el engelamiento

Cada uno de los tipos de engelamiento que se pueden conformar sobre la estructura de una aeronave genera una serie de efectos que varían su nivel de riesgo de acuerdo con la intensidad o tipo de hielo que se produzca. De ahí que Adsuar (2003) presente una serie de efectos principales según el tipo de hielo concebido.

La escarcha, al igual que la nieve, puede acumularse en tierra, la cual debe ser eliminada completamente de la aeronave una vez haya sido identificada y antes de dar inicio al vuelo (Comandancia Departamento del Ejército Washington, 1982). También puede formarse durante el ascenso y descenso de la aeronave cuando pasa la temperatura de un nivel inferior a 0°C a otro más cálido; el hielo blanco, opaco o granular se forma por la solidificación rápida de gotas de agua subfundida que no alcanzan a permitir la fusión con otras gotas, lo que permite que sea fácil de eliminar; el hielo claro o transparente, caracterizado por su peso y su adherencia a la superficie de la aeronave, resulta difícil de eliminar; es el más peligroso que enfrenta la aviación.

De esta manera, los efectos principales que produce el hielo sobre la aeronave son identificados a continuación (Comandancia Departamento del Ejército Washington, 1982):

- Deformación del perfil alar, que producen pérdida de sustentación.
- Aumento de la resistencia al avance.
- Incremento del peso en la aeronave.
- Obliga a incrementar la potencia de los motores.
- Incapacidad en algunos casos de mantener la altitud.
- Disminución del rendimiento en las hélices.
- Generación de desequilibrios y vibraciones.
- Impide que algunos instrumentos de cabina reciban información correcta.
- Bloqueos de mando.
- Disminución de la visibilidad.

Sistemas de protección

En la actualidad hay diversas formas de evitar el engelamiento en las aeronaves, y van desde una prevención meteorológica hasta algunos medios técnicos que ayuden adicionalmente a combatirlo una vez se haya iniciado su acumulación sobre la estructura de la aeronave.

En cuanto a la protección meteorológica, las precauciones más elementales que se deben tener en cuenta son la localización de las zonas de engelamiento

Revisión de literatura

basado en los sondeos de la atmósfera y el estudio del tiempo, lo que nos permite identificar la isoterma cero grados, a partir de la cual volar es peligroso hasta los -8°C y cada vez menos peligroso hasta los -14°C y por debajo de esta temperatura poco peligroso; salvo en algunos casos especiales como con la presencia de cumulonimbos. Con la plena identificación de ello, se debe generar la utilización adecuada de una táctica de vuelo conveniente (Eichenberger, 1996).

Así pues, predecir el posible engelamiento de la aeronave genera cierta incertidumbre al no conocer con certeza las dimensiones y la densidad de gotas que pueden estar presentes en el interior de una nube. A pesar de ello, es posible identificar las zonas de mayor riesgo de engelamiento para de esta forma huir mediante un vuelo a distinto nivel. En el caso de fuerza mayor que se deba atravesar una nube con riesgo de engelamiento deberá hacerse tan rápido como sea posible (Eichenberger, 1996).

Por otra parte, los medios técnicos que existen para combatir el engelamiento se clasifican en procedimientos mecánicos, térmicos y químicos (Retallack, 1984). De manera que los procedimientos mecánicos consisten en un revestimiento neumático que accionado por el piloto en el momento adecuado se infla y consigue quebrar una capa de hielo ya formada sobre la superficie de la aeronave; su desventaja radica en la modificación que somete al perfil. En cuanto a los procedimientos térmicos, los más usados en aviones modernos, estos producen un calentamiento en las zonas de mayor riesgo de formación de hielo en la aeronave, y de esta manera permiten evitar la acumulación de este. Por otro lado, los procedimientos químicos se usan para descongelar hélices y cristales de cabina; se basan en las propiedades que presentan ciertas sustancias para bajar el punto de congelación del agua, y evitan de igual manera la formación de hielo y la disolución del mismo una vez formado sobre la estructura del avión (Eichenberger, 1996; Retallack, 1984;). Como se observa en la figura 4, las aeronaves son sometidas a una limpieza general con químicos para deshacer el hielo presente en su estructura antes de salir a vuelo, siempre que ha estado expuesta a condiciones climáticas adversas en tierra.

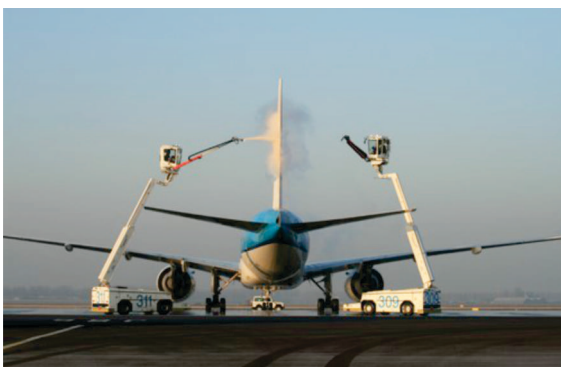


Figura 4. Deshielo de un avión en tierra

Fuente: <http://www.flap152.com/2013/11/engelamiento.html>

Para el desarrollo de este artículo y como soporte teórico de los temas planteados se realizó una búsqueda de escritos destacados en algunas bases de datos como Science Direct, ProQuest y Google Scholar, de donde se seleccionaron los publicados durante la última década y se escogieron según la pertinencia de sus objetivos, metodologías y resultados presentados. A continuación se muestran los resultados de la búsqueda de dicho conocimiento.

En el artículo publicado por Viñas (2011) titulado "El engelamiento", se recopilaron las razones por las que se puede generar engelamiento sobre la superficie de la aeronave. En dicho artículo se buscó identificar claramente cuáles son los factores que pueden generar la acumulación de hielo sobre la superficie de una aeronave y por ende una condición de vuelo crítica, lo cual mostró como resultado la identificación de las principales contingencias que un piloto debe afrontar, tratando a toda costa de eludir los peligros que genera el engelamiento de una aeronave.

En el artículo publicado por Cao *et al.* (2015), titulado "Aircraft flight characteristics in icing conditions", se hizo la recopilación de una visión general acerca de estudios relacionados con la dinámica de vuelo en aeronaves con acumulación de hielo crítica. Se identificaron las condiciones de vuelo y el comportamiento aerodinámico general de las aeronaves expuestas a acumulación de hielo en sus superficies aerodinámicas. Lo anterior demostró que en las últimas décadas se han buscado mecanismos en vuelo en aeronaves con acumulación de hielo que han atraído la atención alrededor del mundo, y que han producido algunos resultados positivos, aunque se carece de métodos de protección efectivos contra el hielo y sus efectos.

En el boletín AME N° 27 de la Agencia Estatal de Meteorología publicado por Fernández (2010), titulado "Hielo en las alas", se recopilaron testimonios y episodios concretos en los que el hielo es el actor principal, así como también el análisis de las condiciones meteorológicas que se presentan a lo largo del año en el aeropuerto de Bilbao y que generan algún tipo de contingencias debido a la congelación en las aeronaves que operan allí. Esto se hizo con el fin de identificar los principales riesgos de engelamiento que puede enfrentar un piloto en las áreas cercanas al aeropuerto de Bilbao y las razones por las cuales se presentan. Esto demostró que las condiciones orográficas influyen en la necesidad de mantener altitudes de vuelo superiores, lo que aumenta la posibilidad de engelamiento de la aeronave según las condiciones de temperatura reinantes.

En el aviso de seguridad publicado por Buck (2002), titulado "Aircraft Icing", se dio a conocer ampliamente la estructura del hielo, las condiciones de vuelo con la presencia de este y la configuración que deben poseer las aeronaves para evitar un incidente. El contenido de este aviso se realizó mediante el análisis de estadísticas de los accidentes debidos a la acumulación de hielo, el análisis de la actuación del hielo en un avión y cómo

cambia la presencia de este la dinámica del vuelo de la aeronave. Con esto se lograron identificar los riesgos que presenta el engelamiento de la aeronave y las razones por las cuales se da, así como también ciertas formas de prevenir el engelamiento y algunas estrategias para volar con dicho riesgo.

El artículo publicado por Grzych (2010), titulado "Avoiding convective weather linked to ice-crystal icing engine events", recopiló un análisis de las condiciones meteorológicas en las cuales se han producido eventos de congelamiento de motor y de las condiciones típicas por las cuales se ha presentado este tipo de eventualidades. Esto se realizó con el fin de comprender las condiciones meteorológicas relacionadas con la formación de cristales de hielo para evitar los daños potenciales o incluso la pérdida de motor en vuelo; lo que demostró la necesidad por parte de los pilotos de un estudio detallado de los radares de apoyo meteorológico con los que cuenta la aeronave para poder reducir situaciones de riesgo innecesarias al identificar oportunamente áreas cercanas con alto contenido de hielo en la atmósfera.

El artículo publicado por Mason (2007), titulado "Engine power loss in ice crystal conditions", identifica claramente los principales riesgos que enfrenta un motor cuando la aeronave atraviesa zonas con condiciones meteorológicas adversas debido a la presencia de partículas de agua subenfriada. Mediante un análisis del comportamiento de los motores y los problemas que han sido reportados luego de presentar condiciones críticas por presencia de hielo en la atmósfera, se han logrado referir los principales tipos de pérdida de potencia, que son la pérdida total del empuje del motor, el apagado de llama en vuelo y el daño estructural debido a golpes internos en el motor; para esto se exponen ciertas recomendaciones para reconocer y actuar ante circunstancia crucial.

En la noticia de seguridad publicada por Borja (2012), titulada "El radar meteorológico: utilización y mejoras", se confronta la poca familiarización por parte de los pilotos con los sistemas de radares meteorológicos que se llevan a bordo de una aeronave. Esto se publicó con el fin de determinar la correcta utilización del radar meteorológico en las aeronaves para prevenir accidentes, mediante un estudio realizado a pilotos de diversas compañías aéreas, en el cual se logró detectar las principales falencias por la falta de conocimiento acerca del funcionamiento y correcta lectura del radar. De igual manera, se logró exponer las principales características y ayudas que ofrece un radar, así como las formas más efectivas para evaluar tormentas y sacar el mejor provecho de esta tecnología.

Discusión

El hielo es una amenaza latente para el desarrollo normal del vuelo de una aeronave. Se conoce como engelamiento al problema que afecta una aeronave debido a la presencia de agua subenfriada en la atmósfera y que ha traído graves consecuencias lamentables para la aviación, hecho que produce accidentes fatales como el ocurrido en 2010, cuando el

vuelo 833 de Aero Caribbean luego de atravesar una región con condiciones meteorológicas adversas ingresó en una condición de engelamiento severa, es decir, alta concentración de hielo en su superficie y se precipitó a tierra desde una altitud de 20 mil pies, tras lo cual dejó un saldo de 68 personas fallecidas. Son muchos los accidentes que se han presentado por causa del hielo, y que en su mayoría han sido desenlaces trágicos para la aviación.

Por ello, es necesario reconocer los alcances de afectación que el hielo puede llegar a tener sobre una aeronave. El hielo no solo afecta una aeronave en vuelo, ya que en tierra la estructura del avión también estará expuesta a la crueldad de las condiciones climáticas. En tierra las principales complicaciones que se generan van desde la afectación en la movilidad de las superficies aerodinámicas, la obstrucción o taponamiento de ductos u orificios que permiten el funcionamiento de otros sistemas hasta la modificación del perfil aerodinámico de la aeronave. Por ello es bien importante, antes de salir a vuelo, cerciorarse de que la piel en su totalidad y los sistemas externos se encuentren libres de hielo, ya que durante la fase de despegue se pueden presentar inconvenientes determinantes para un accidente fatal.

Durante la fase de vuelo, por medio de diversas ayudas se puede evitar el ingreso a una zona con peligro de engelamiento gracias a los radares meteorológicos con los que cuenta la mayoría de las aeronaves, los cuales permiten predecir ciertas condiciones climáticas adversas por medio de la identificación de tormentas en la ruta seleccionada. Además, muchas aeronaves cuentan con sistemas *anti-ice* o *de-ice* que pretenden evitar la formación del hielo mediante la calefacción de su estructura, lo que impide que el agua debido a sus bajas temperaturas se condense sobre la superficie; y además, una vez formado el hielo, desprenderlo de la estructura por medio de unas botas neumáticas que se inflan para modificar el perfil rompiendo la capa de hielo formada, así se evita que afecte la sustentación de la aeronave.

Para eludir una situación riesgosa, es prudente no volar en zonas donde la presencia de nubes de tipo cumulonimbos y tormentas se vislumbran con facilidad o por medio de los radares. Por otro lado, una vez se identifique el inicio de engelamiento sobre la aeronave, es necesario recurrir inmediatamente a los sistemas *de-ice* con los que cuenta la aeronave, cambiar la altitud o nivel de vuelo o variar la velocidad según el tipo de tormenta que atraviese. Con respecto a la velocidad se pueden presentar dos casos: el primero en el que la aeronave permanece por un período prolongado a baja velocidad en medio del clima adverso, y permite así que se forma hielo transparente en cantidad; por el contrario, una mayor velocidad en presencia de una gran cantidad de partículas de agua subenfriada puede acelerar la formación de hielo opaco sobre la estructura.

Una de las principales acciones para tener en cuenta es cambiar el nivel de vuelo para variar la temperatura y

alejarse de la zona con presencia de hielo. En la mayoría de los casos es necesario bajar la altitud para que la temperatura aumente; aunque se han presentado casos en los que no mejora la situación, puesto que las temperaturas de mayor riesgo oscilan entre los 0 y -12°C. A partir de ahí y hasta los -40°C las probabilidades de engelamiento se van reduciendo progresivamente hasta que son casi nulas debido a que las partículas se encuentran en estado sólido y al chocar con la aeronave no logran adherirse a ella.

La Fuerza Aérea Colombiana también ha sido víctima del engelamiento en sus aeronaves, el último y reciente accidente trágico que cobró la vida de 11 militares a bordo de una aeronave CN 235 de inteligencia el pasado 31 de julio de 2015 sucedió sobre el municipio de Codazzi, Cesar. Los resultados arrojados en la investigación determinaron un problema de engelamiento severo sobre los planos, que al ser plenamente identificado los pilotos encendieron el sistema de calefacción *anti-ice*, pero debido a un sobrecalentamiento se tuvo que apagar nuevamente. Posterior a ello, al bajar el nivel de vuelo la aeronave entra en pérdida y se desprenden sus planos, lo que produce un accidente fatal (Semana, 24 de agosto de 2015. De esta manera se demuestra que luego de que del hielo varíe el perfil aerodinámico de una aeronave y logre generar una pérdida es casi imposible incluso para la pericia de un piloto experimentado recuperarse de esta contingencia.

Comentarios

En conclusión, las aeronaves que deben atravesar zonas que presentan condiciones meteorológicas adversas deben estar equipadas con un sistema *anti-ice* o *de-ice* que permitan aumentar la confiabilidad del vuelo en la tripulación; así mismo, la inspección que se realiza a la aeronave antes de salir a vuelo debe incluir el análisis de hielo sobre su estructura.

Para prevenir el engelamiento es indispensable evitar volar sobre zonas con presencia de cumulonimbos y tormentas donde la temperatura del ambiente esté por debajo de 0°C y donde se tenga la sospecha de presencia de partículas de agua subenfriada. Un vez iniciada la formación de hielo sobre la aeronave es necesario atacar el problema con los sistemas de protección *de-ice* con los que cuenta la aeronave para prevenir que el problema no pueda controlarse, así como tomar otras medidas como cambiar el nivel de vuelo de la aeronave para buscar una temperatura que favorezca el descongelamiento de la aeronave.

Referencias

- ▶ Adsuar, J. C. (2003). *Meteorología, Conocimientos teóricos para la licencia de un piloto privado* (2da. edición). Thomson Editores.
- ▶ Borja, C. (2012). El radar meteorológico: utilización y mejoras. *Revista Aviador*. Tercer trimestre 2012. pp. 24-27.
- ▶ Buck, R. (2002). Aircraft icing. *Safety Advisory*, (1), 1-16.

- ▶ Cao, Y., Wu, Z., Su, Y. y Xu, Z. (2015). Aircraft flight characteristics in icing conditions. *Progress in Aerospace Sciences*, 74, 62-80.
- ▶ Comandancia Departamento del Ejército Washington (1982). *Meteorología para Aviadores Militares. Manual de Operaciones N° FM 1-230.*, DC. pp. 14.1- 14.19. *Ese es el formato de las páginas 14-1 a 14-19*
- ▶ Eichenberger, W. (1996). *Meteorología para aviadores. Curso para piloto, navegantes y técnicos de explotación* (5ta. Edición). Madrid. Thomson-Paraninfo.
- ▶ Fernández, C. (2010). Hielo en las alas. *Oficina Meteorológica del Aeropuerto de Bilbao. Boletín*, (10), 34-37.
- ▶ Matthew L., G. (2010). Avoiding convective weather linked to ice-crystal icing engine events. *Aero Magazine-Boeing*, Primer Trimestre 2010. pp. 23-28. *(Es una revista de publicación trimestral)*
- ▶ Mason, J. (2007). Engine power loss in ice crystal conditions. *Aero Magazine-Boeing*, Cuarto Trimestre 2007. pp. 12-17. *(Es una revista de publicación trimestral)*
- ▶ Retallack, B. J. (1984). *Compendio de Meteorología. Vol. II Parte 2. Meteorología Aeronáutica*. Organización Meteorológica Mundial [OMM].
- ▶ Semana (24 de agosto de 2015). Revelan causa del accidente de avión Fuerza Aérea. Recuperado el 8 de septiembre de 2015]. de <http://www.semana.com/nacion/articulo/revelan-causa-del-accidente-de-avion-de-la-fuerza-aerea/439799-3>
- ▶ Viñas, J. (2011). El engelamiento. *Revista Avión & Piloto*, (18), 32-35.

Gestión de proyectos según el estándar del PMI® en las Instituciones de Educación Superior de la Fuerza Aérea Colombiana*

Project management according to PMI standard in Institutions of Higher Education of the Fuerza Aérea Colombiana*

Fechas de recepción: 24 de Noviembre de 2015
Fecha de aprobación: 02 de Diciembre de 2015

Por: Alicia del Pilar Martínez Lobo**
John Jairo Garzón***

Resumen

El grupo de investigación Praxis Educativa de la Escuela de Suboficiales de la FAC (Esufa) durante 2015 ha venido desarrollando un proyecto piloto de "Fortalecimiento de la investigación formativa", como un esfuerzo institucional de responder a las prioridades establecidas en el proyecto educativo institucional (PEI) 2011-2030 de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), para así generar acciones que permitan crear, apropiar y difundir el conocimiento y el desarrollo de la tecnología militar y aeroespacial. Para esto capacitó a 20 docentes investigadores de la escuela en el diseño y formulación de proyectos con la metodología del enfoque de marco lógico y el PMBOK®, lo cual dio como resultado la formulación de siete proyectos que entraron a participar en la convocatoria para el apoyo a proyectos "CT&I para la Investigación Formativa de la Fuerza Pública 2015", de septiembre de 2015.

Es en el marco de este proceso donde el presente artículo hace una reflexión académica acerca de la importancia de implementar la metodología de gestión de proyectos del Project Management Institute PMI®, en el interior de los entes de la FAC encargados del diseño, formulación, ejecución y evaluación de proyectos de I+D+i, con el fin de fortalecer los procesos de formación del recurso humano para la Ciencia, Tecnología e Innovación CTel; la Acreditación Institucional en Alta Calidad y sostenibilidad de las instituciones de educación superior (IES), así como el desarrollo de productos resultados de ACTel y generación de nuevo conocimiento.

Palabras clave: gestión de proyectos, investigación, proyectos de I+D+i, FAC, PMI, PMBOK.

Abstract

During 2015 Esufa's Praxis Educational Research Group has been developing a pilot project called "Strengthening formative research". This is an institutional effort done to respond to the priorities established in the Institutional Educational Project (PEI) 2011-2030. The Colombian Air Force (FAC) wants to generate actions to create, to appropriate and to disseminate the knowledge and military development and aerospace technology research. For this 20 researchers from the design and formulation of projects school were trained with the logical framework methodology approach and the PMBOK®. This resulted in the formulation of seven projects that were participated in the call for the "2015 Armed Forces CT&I Formative Research", held in September 2015.

It is within this process that this article is an academic reflection on the importance of implementing the methodology of project management from Project Management Institute PMI®, inside the FAC's bodies responsible for the design, development, implementation and evaluation of R & D. This is necessary in order to strengthen the human resource training process for Science, Technology and Innovation (STI); for the Institutional Accreditation in high quality and sustainability of Higher Education Institutions (HEI) and for product development from the ACTel results as well as the generation of new knowledge.

Keywords: Project management, investigation, R & D + I, FAC, PMI, PMBOK.

* Reflective article, derived from the minutes from Esufa's Educational Praxis research group, supported by the FAC.

** Professional Psychologist from the Catholic University; Masters in Teaching and Research and Teaching and Research Specialist, University Teaching and Administrative management of the University Sergio Arboleda. Head of research and research group leader in defense electronics and technologies for TEDSA at the NCO School "C. Andrés B. Díaz" from the Colombian Air Force.

*** Philosophy Professional from the Universidad Pontificia Bolivariana at Medellín and Master in Development and Integrated Project Management from the Colombian "Julio Garavito" Engineering School. Researcher in Esufa's Praxis Educational Research Group.

The FAC's science, technology and innovation system is integrated by JEA-DICTI, science squads, air commands' technology and innovation center, FAC's research and technological development centers, the training schools' research sections, the Force's, the Military and the Police's research and technological development centers, companies within the Defense's Social and Business Group, the universities and the private companies.

Introducción

El proyecto educativo de las fuerzas armadas es el marco orientador de la cultura educativa de estas, donde se consolida el sentido de la comunidad educativa de las fuerzas y la proyección de las instituciones armadas² hacia la visión del militar y del policía del siglo XXI, lo cual le permite generar conocimiento nuevo y trascendente, para así definir los fundamentos que inspiran la misión y visión del sistema educativo de las fuerzas armadas (Ministerio de Defensa Nacional, 2008, p. 9)

Para contribuir con la finalidad del proyecto educativo de las fuerzas armadas, se definieron los lineamientos curriculares a través del SEFA por medio de cinco áreas de formación:

- Área de formación básica.
- Área de formación socio-humanística.
- Área de formación investigativa.
- Área de formación profesional general.
- Área de formación profesional específica.

Respecto al área de formación investigativa, esta es constituida por una serie de acciones formativas básicas de la investigación donde se adoptan estrategias de enseñanza-aprendizaje centradas en la formulación y desarrollo de proyectos de investigación, y en la práctica, en una formación y evaluación por competencias; además, se contribuye dentro del proceso de cambio educativo a la adecuación de la formación acorde con las tendencias que están orientando el desarrollo de la educación en el mundo (Ministerio de Defensa Nacional, 29 de octubre de 2015).

La Fuerza Aérea Colombiana (FAC), con objeto de fortalecer la investigación formativa en sus escuelas de educación superior, viene desarrollando actividades, algunas investigativas y otras no (Restrepo, 2004, p. 3). Entre ellas están los procesos de cualificación del personal dedicado a la investigación con el propósito de darle herramientas para que genere soluciones a problemas de la FAC, que se materialicen en programas y proyectos de investigación, adecuadamente formulados, y que se ajusten a la rigurosidad técnica, y de esta manera lograr competitividad en la participación en convocatorias nacionales e internacionales.

El proyecto piloto que viene adelantando la Esufa de fortalecimiento en la formación investigativa pretende, como uno de sus resultados, que el acompañamiento por parte de los docentes en las diferentes fases de enunciación, desarrollo y sistematización de los proyectos de investigación permita dar cuenta de un acercamiento a la perspectiva educativa a partir de la formulación y de la ejecución de proyectos que

fortalecen su formación como docente (González, 2011, p. 77), para lo cual debe contar con competencias que le ayuden a ser un gestor de proyectos de investigación.

En Colombia, la gestión de proyectos se consideraba hace algunos años como una competencia exclusiva de los profesionales en administración y áreas afines (Esteban Villamizar, Rojas Contreras y Sánchez Delgado, 2013). Actualmente, la gestión de proyectos cobra cada día más importancia en el entorno organizacional debido a su carácter dinámico y flexible (Shek Munz, 2013), y es aplicada a cualquier organización o tipo de proyecto, y además es desempeñada por cualquier profesional, previa preparación, siendo está considerada como profesión (Project Management Institute, 2013). Sin embargo, es poca o nula la investigación referente a la aplicación de la misma en el contexto de la investigación (Shek Munz, 2013).

La Ley 30 de 1992 definió entre los objetivos de la educación superior que las instituciones educativas de este nivel deberán profundizar en la formación integral de los colombianos, capacitándolos para cumplir las funciones profesionales, investigativas y de servicio social que requiere el país y trabajar por la creación, el desarrollo y la transmisión del conocimiento en todas sus formas y expresiones y promover su utilización en todos los campos para contribuir a señalar y solucionar las necesidades del país (Congreso de la República de Colombia, 1992).

Mediante Resolución 2040 de diciembre de 2010 y mediante Resolución 00914 del 1 septiembre de 2011, Colciencias creó el Programa Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación en Seguridad y Defensa, cuyo objetivo principal es generar capacidades nacionales para la creación, transferencia y uso de conocimiento en el sector, a partir de la integración de las fuerzas armadas y la sociedad, en la búsqueda de la consolidación de capacidades estratégicas tácticas y operacionales de las fuerzas, así como del desarrollo económico nacional.

En consecuencia, las instituciones de educación superior (IES) de la fuerza pública son responsables de la formación de profesionales capaces de crear conocimiento y de proponer nuevas formas de análisis y nuevas herramientas que contribuyan al progreso y desarrollo del país en materia de seguridad y defensa (Ministerio de Defensa Nacional, 2015) y demostrar sus logros en el campo de la investigación. Para esto, una IES debe contar con grupos de investigadores reconocidos por la comunidad académica.

A partir de 2013, Colciencias, implementó un modelo ajustado para la medición de grupos de investigación,

² Los órganos que integran el sistema de ciencia, tecnología e innovación de la FAC son integrados por JEA-DICTI, los escuadrones de ciencia, tecnología e innovación de los comandos aéreos, los centros de investigación o desarrollo tecnológico de la FAC, las secciones de investigación de las escuelas de formación, los centros de investigación y desarrollo tecnológico de la fuerza, las fuerzas militares y de Policía, las empresas del Grupo Social y Empresarial de la Defensa, las universidades y las empresas privadas.

desarrollo tecnológico o de Innovación 2013, para apoyar el fortalecimiento y consolidación de las capacidades de CTel en Colombia. Es a través de este modelo como se clasifican y reconocen los grupos de investigación. Para que un grupo sea reconocido como tal debe demostrar continuamente resultados verificables³, derivados de la producción de nuevo conocimiento o de resultados de actividades de desarrollo tecnológico e innovación y tener una producción de apropiación social y circulación del conocimiento o productos, resultado de actividades relacionadas con la formación de recurso humano en CTel (Colciencias, 2014).

Conforme a lo anterior, y dado que el fortalecimiento y consolidación de las capacidades de CTel de las IES de la Fuerza Aérea Colombiana contribuyen al progreso y desarrollo del país en materia de seguridad y defensa, dando respuesta a las necesidades propias de cada área funcional del sector aeronáutico y de la sociedad, contribuyendo a la solución de problemas institucionales, regionales y nacionales, generando conocimiento base para el desarrollo de investigación aplicada, científica y tecnológica con los más altos estándares nacionales e internacionales (Fuerza Aérea Colombiana, 2013, p. 16), se deberán fortalecer actividades de gestión relacionadas con metodologías de dirección de proyectos que permitan mitigar los riesgos de no cumplir con el alcance, el tiempo y los costos de los proyectos de investigación formativa. Para esto el presente artículo propone una articulación y armonización de los procesos de I+D+i con la gestión de proyectos según el estándar *Project Management Body of Knowledge (PMBOK)*. Ejercicio que corresponde al interés del Ministerio de Defensa Nacional, que el 29 de octubre de 2015 instaló el Tercer Encuentro de Industria de Defensa y Seguridad "De la idea a la gestión de proyectos estratégicos", un espacio académico de discusión sobre los beneficios de la aplicación de buenas prácticas en la gestión de iniciativas en el sector, en el cual se socializarán los resultados del diagnóstico de la madurez de la gestión de proyectos en el sector público, realizado por el *Project Management Institute (PMI)* Capítulo Colombia (Ministerio de Defensa Nacional, 2015).

Método

El presente artículo de reflexión se elaboró haciendo uso del enfoque cualitativo, en el marco de las actividades que viene adelantando el grupo de investigación Praxis Educativa de la Esufa, a través del proyecto Formación Investigativa, en 2015, el cual tiene como objetivo el fortalecimiento de las capacidades y competencias en I+D+i de los grupos de investigación de la Esufa, a partir de un proceso de capacitación en formulación de proyectos bajo las metodologías de marco lógico y PMBOK® para presentar proyectos a convocatorias nacionales e internacionales. Se hizo uso del método documental y descriptivo, realizando una revisión bibliográfica obtenida a través de Internet de

documentos científicos con base en datos virtuales de universidades reconocidas a nivel nacional e internacional y páginas oficiales de entidades gubernamentales y no gubernamentales, los cuales se seleccionaron y analizaron con el objetivo de sustentar y generar fundamentación teórica para la temática "Gestión de proyectos según el estándar del PMI® en las Instituciones de Educación Superior de la Fuerza Aérea Colombiana".

Marco Teórico

Formación Investigativa

Para Aldana (2012) la investigación en la educación superior en Colombia ha cobrado relevancia, por la necesidad de producir, difundir y apropiar conocimiento de manera adecuada y competitiva, además de apalancar los procesos de acreditación y reconocimiento de alta calidad de las IES.

González (2011) afirma que la investigación debe orientarse a la construcción de conocimiento, y entre sus objetos de estudio deberán priorizarse los que respondan a las necesidades más sentidas de las comunidades. Para él la investigación no debe limitarse al diagnóstico de las problemáticas, sino que deberá dar solución a los problemas.

Para ello las IES tendrán que formar en procesos propios de investigación formativa, entre ellos aquellos ligados con lo formativo, que fortalezcan capacidades para la solución de problemas que generen nuevo conocimiento, a partir de programas y proyectos de investigación debidamente formalizados (Gómez, 2003, p. 197),

Es por ello que implementar procesos de formación investigativa en las IES permite que las personas se apropien de una manera sistemática el acceder al conocimiento, a partir de los métodos de las disciplinas y los saberes para transformar el ser humano y el entorno. En otras palabras, la formación investigativa pretende que investigar se aprenda investigando (Von Arcken, 2007). La formación investigativa permite formar para la investigación desde actividades investigativas y desde otras actividades no propiamente investigativas, como cursos de investigación, lectura y discusión de informes de investigación, etc. (Restrepo, 2004, p. 3).

No obstante, existen problemas en las IES colombianas que interfieren en el desarrollo de la investigación. Entre las dificultades relevantes se encuentra la falta de formación y capacitación de los docentes en el campo investigativo (González, 2011, p. 74), que no los hace competentes, por ejemplo, para aplicar los conocimientos en la práctica, contextualizar las técnicas de investigación, identificar, plantear y resolver problemas, y formular y gestionar proyectos de I+D+i.

³ Esta medición se realiza cada año.

Gestión de proyectos en el desarrollo de ACTel

La gestión de proyectos es una disciplina relativamente joven, aunque dé importancia creciente en entornos industriales y de servicios, que supone, en su sentido más amplio, solucionar los conflictos existentes entre alcance, calidad, tiempo y coste de un proyecto a fin de lograr el desarrollo y conclusión satisfactoria del mismo para las partes interesadas. Así, la gestión de proyectos se ha convirtiendo en una parte esencial en muchos sectores como disciplina destinada al manejo de actividades singulares de carácter temporal, que maximiza la probabilidad de consecución de resultados a tiempo, dentro de presupuesto y con la calidad esperada. Si bien en entornos industriales el conocimiento de la Gestión de Proyectos ha ido consolidándose en los últimos años, en entornos académicos su aplicación es casi nula, a pesar de que es en estos entornos donde el concepto de proyecto, asociado a la investigación y el desarrollo, tiene un mayor peso por el grado de innovación que cualquier otra actividad de investigación (Universidad de Castilla-La Mancha, s. f., p. 1).

Entre las normas y guías más reconocidas y utilizadas a nivel mundial en la gestión de proyectos se encuentra el estándar de gestión del PMI: la Guía de los Fundamentos de la Gestión de Proyectos (en inglés, *Project Management Body Of Knowledge [PMBOK®]*) (Shek Munz, 2013). El PMBOK® define como proyecto “un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único” (Project Management Institute, 2013, p. 3). Un proyecto puede generar “un resultado, tal como una conclusión o un documento” (Project Management Institute, 2013, p. 3). Por esto, un proyecto incluye, entre otras cosa, la “realización de un trabajo de investigación cuyo resultado será adecuadamente registrado” (Project Management Institute, 2013, p. 4).

La dirección de proyectos es “la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para cumplir con los requisitos del mismo” (Project Management Institute, 2013, p. 5). De acuerdo con el PMBOK® (quinta edición), la dirección de proyectos se logra mediante la aplicación e integración de 47 procesos, agrupados de manera lógica, categorizados en cinco grupos de procesos. Estos cinco grupos de procesos son:

- Inicio.
- Planificación.
- Ejecución.
- Monitoreo y control.
- Cierre.

Dirigir un proyecto por lo general incluye, entre otros aspectos:

- Identificar requisitos.
- Abordar las diversas necesidades, inquietudes y expectativas de los interesados en la planificación y la ejecución del proyecto.
- Establecer, mantener y realizar comunicaciones

activas, eficaces y de naturaleza colaborativa entre los interesados.

- Gestionar a los interesados para cumplir los requisitos del proyecto y generar los entregables de este.

Equilibrar las restricciones contrapuestas del proyecto que incluyen, entre otras.

- El alcance.
- La calidad.
- El cronograma.
- El presupuesto.
- Los recursos.
- Los riesgos.

Las características específicas del proyecto y las circunstancias pueden influir sobre las restricciones en las que el equipo de dirección del proyecto necesita concentrarse (Project Management Institute, 2013, p. 6).

En Colombia, según el Acuerdo 01 de 2011, el Consejo Nacional de Beneficios Tributarios (CNBT), clasificó los tipos de proyectos, sean estos de carácter científico, tecnológico o de innovación (Colciencias, 2011). Esta clasificación tiene en cuenta los resultados, los parámetros y requisitos de cada tipología y las definiciones para cada tipo de proyecto reconocidas internacionalmente y por Colciencias (Colciencias, 2011).

El proyecto es un conjunto coherente e integral de actividades, herramientas, recursos y prácticas coordinadas e interrelacionadas que buscan alcanzar unos objetivos específicos, utilizando una metodología definida, en un periodo de tiempo determinado, con unos insumos y costos definidos o previamente estimados. El cual busca mejorar una situación, solucionar una necesidad sentida o un problema existente (Colciencias, 2001, pág. 4).

[...] Proyecto de

Investigación científica. Es aquel que se refiere a un conjunto articulado y coherente de actividades orientadas a alcanzar uno o varios objetivos relacionados con la generación o adaptación de conocimiento, siguiendo una metodología definida, para lo cual precisa de un equipo de personas idóneas así como de otros recursos cuantificados en forma de presupuesto, que prevé el logro de determinados resultados sin contravenir las normas y buenas prácticas establecidas, y cuya programación en el tiempo responde a un cronograma con una duración limitada.

Innovación Tecnológica: Es aquel que tiene como propósito generar o adaptar, dominar y utilizar una tecnología nueva en una región, sector productivo o aplicación específica, y cuya novedad o modificación genera incertidumbre de tipo técnico que no es posible despejar con el conocimiento razonablemente accesible y que permite quienes lo desarrollen acumular los conocimientos y las habilidades requeridas para aplicar exitosamente la tecnología y posibilitar su mejora continua.

La tecnología en cuestión debe representar un avance significativo frente a las tecnologías utilizadas en la región, sector productivo o campo específico de aplicación del proyecto, y deberá estar como máximo en un estadio preliminar de difusión en esa región, sector productivo o campo de aplicación. No se considerará innovación la difusión interna de una tecnología dentro de una organización que ya la haya aplicado exitosamente en alguna dependencia. (Colciencias, 2001, pág. 4).

En 2010, Colciencias mediante Resolución 2040 de diciembre de 2010, creó el Programa Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación en Seguridad y Defensa. El Programa Nacional de CTel en Seguridad y Defensa tiene el objetivo principal de generar capacidades nacionales para la creación, transferencia y uso de conocimiento en el sector, a partir de la integración de las fuerzas armadas y la sociedad, en la búsqueda de la consolidación de capacidades estratégicas tácticas y operacionales de las fuerzas, así como del desarrollo económico nacional.

A través del programa se han aprobado desde 2004 hasta 2013 10 proyectos que representan el 0,29% del total de proyectos presentados por los 12 programas que hacen parte del Programa Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación PNCT+I, en el que se encuentra el de seguridad y defensa. La inversión total durante estos años ha sido de 1.916 millones, que representan el 0,21% del total del PNCT+I (Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología, 2014, p. 187).

En septiembre 2015, la Dirección de Desarrollo de Capital Humano, del Ministerio de Defensa Nacional, abrió la convocatoria "CT&I para la Investigación Formativa de la Fuerza Pública 2015", para el apoyo a proyectos que fortalecieran las capacidades y competencias en investigación, desarrollo tecnológico e innovación en la fuerza pública y sus uniformados; apoyo a los procesos para la acreditación institucional, al desarrollo de proyectos de I+D+i que impulsen el cumplimiento de la misión de las fuerzas armadas y la promoción de la creación de grupos de investigación, desarrollo e innovación, dentro de las escuelas de formación de la fuerza pública (Ministerio de Defensa Nacional, 2015). Cada una de las propuestas presentadas que resultasen viables podrá ser cofinanciada hasta con un valor máximo de \$250.000.000,00 de pesos.

Estas cifras evidencian el incremento en las oportunidades de financiación y contrapartida de proyectos de I+D+i en el sector de defensa y seguridad, aunque es evidente el rezago del programa de defensa y seguridad respecto a otros programas, entre ellos la financiación de proyectos, por efecto de la escases de grupos de investigación reconocidos por Colciencias (Colciencias, 2013), que apalanquen productos resultado de actividades de generación de nuevo conocimiento, desarrollo tecnológico e innovación, apropiación social del conocimiento y formación de recurso humano en CTel. En este escenario cobra

importancia la figura del investigador principal, para el cual las IES de la fuerza pública, además de estimular su interés científico, deberán fortalecer las competencias en la gestión de proyectos, que apalanquen la ejecución exitosa de los proyectos y el cumplimiento de los objetivos misionales de la organización.

El gestor de proyectos del I+D+i

Según Cassanelli (2014) los proyectos de I+D comparados con otros sectores industriales se caracterizan por contar con niveles significativos de riesgo e incertidumbre, viéndose afectados en alcance, objetivos y plazos. A mayor nivel de incertidumbre, como la que se presenta en los proyectos de investigación básica, deberá evaluarse la implementación de actividades de gestión de proyectos que permitan potenciar las capacidades de los equipos de trabajo (Lambert, 2006) y reducir la incertidumbre.

Por lo anterior, para Cassanelli (2014) es necesario distinguir las características inherentes a cada actividad en proyectos de investigación básica, aplicada y de desarrollo, así como las competencias y conocimientos para gerenciar cada uno, ya que por ejemplo la comunicación con un científico en un proyecto de investigación básica y un tecnólogo en uno de innovación requiere características y competencias diferenciales por parte de los integrantes de los equipos de dirección de proyecto.

De conformidad a lo anterior, el director de un proyecto de I+D+i debería ser una persona con conocimientos de gestión de proyectos y con la capacidad para incluirlos dentro de su operación, pero la realidad dentro de los grupos de investigación es diferente y no por ello negativa. En la gran mayoría de los grupos de investigación la gestión de proyectos se realiza recurriendo a aquellas personas que tienen la experiencia, el manejo, el conocimiento sobre el tema de investigación o la materia sobre la que versa el proyecto, y no se presta mayor atención a si esta persona cuenta con las habilidades necesarias para conseguir el éxito del proyecto, aplicando buenas prácticas de gestión en él (Shek Munz, 2013, p. 158). En consecuencia, los integrantes de grupos de investigación, desarrollo tecnológico o innovación (sean estos investigadores, investigadores en formación, estudiantes de pregrado e integrante vinculado) requieren competencias generales para la gestión de proyectos (Colciencias, 2014).

Al respecto, habría que establecer roles que den cuenta, por un lado, del investigador principal (IP) y su equipo de investigación, y el director del proyecto. Cassanelli (2015) propone que el director de proyectos y el investigador principal sean dos roles separados aunque con mucho contacto y con conocimiento de las tareas que cada uno desarrolla (mismo lenguaje y buena comunicación), de manera que el director del proyecto o *Project Manager*, persona nombrada por la organización ejecutante, lidere al equipo que es

responsable de alcanzar los objetivos del proyecto" (Project Management Institute, 2013, p. 540). Así mismo, que con el equipo gestor del proyecto se dedique a alinear los objetivos del proyecto con los estratégicos de su organización, preocupándose por saber qué proyectos interesan a la organización y a los grupos de investigación y, una vez seleccionados, buscando financiación mediante distintos proyectos o subproyectos en diversas fuentes de financiación. Por su parte, los grupos de investigación se deberán dedicar a liderar y llevar a cabo las ACTel, en el caso particular en las IES de la FAC.

La International Project Management Association identificada como ICB Versión 3.0, presenta de modo resumido las competencias generales para un director de proyectos (tabla 1).

IPMA Competences Baseline (ICB-Versión 3.0)

Competencias	
Personales	Confianza en sí mismo, motivación, autocontrol, compromiso, liderazgo, relajación, actitud abierta, creatividad, orientación a resultados, eficiencia, consulta, negociación, conflictos y crisis, fiabilidad, apreciación de valores, ética.
Técnicas	Éxito en la dirección de proyectos, partes involucradas, requisitos y objetivos del proyecto, riesgo y oportunidad, calidad, organización del proyecto, equipos de trabajo, resolución de problemas, estructuras del proyecto, alcance y entregables, tiempo y fases de un proyecto, recursos, coste y financiación, aprovisionamiento y contratos, cambios, control e informes, información y documentación, comunicación, lanzamiento, cierre de proyecto.
Contextuales	Orientación a proyectos, orientación a programas, orientación a carteras, implantación de proyectos, programas y carteras, organizaciones permanentes, negocio, sistemas, productos y tecnologías, dirección de personal, seguridad, higiene y medioambiente, finanzas, legal.

Tabla 1. Competencias resumidas para un director de proyectos de IPMA
Fuente: Cassanelli, A. (2014). *Proyectos de I+D, caracterización del tipo de investigación y el rol de gerente de proyectos*, p. 10.

Para Vilches (2013), las tareas que estaría capacitado a desarrollar un director de proyectos de I+D+i son:

- Diseño y formulación de proyectos por presentar a distintas convocatorias de organizaciones públicas y privadas a nivel local, nacional e internacional.
- Gestionar la triple restricción (alcance, tiempo, costo y calidad) de los proyectos de I+D+i.
- Materializar en proyectos los objetivos estratégicos de la organización, para generarle así valor, sostenibilidad y beneficios sociales y económicos.
- Gestionar la relación con otras entidades.
- Monitorizar y evaluar el progreso de los diferentes proyectos.
- Dinamizar y coordinar las actividades de vigilancia tecnológica y ejercicios de inteligencia competitiva.
- Asegurar la participación de los grupos de investigación de la organización, en el proceso de I+D+i, especialmente en las actividades de detección de oportunidades y generación de ideas.
- Asegurar la documentación, protección y explotación de los resultados de la innovación.
- Asegurar la visibilidad interna y externa del esfuerzo en innovación (asegurar la participación en jornadas, memoria de I+D+i, notas de prensa, etc.).

Conclusiones

La implementación de procesos para la gestión de proyectos para el desarrollo de ACTel por parte de las IES de la FAC aumenta las posibilidades de éxito de los proyectos de I+D+i, ya que con el uso de buenas prácticas en la gestión de proyectos, es decir, aplicando conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas en el desarrollo de los proyectos se garantiza que:

- Los proyectos diseñados y formulados alcancen los objetivos (Project Management Institute, 2013, p. 15) recogidos en el Plan Estratégico Institucional 2011-2030, entre ellos el objetivo estratégico No. 2, desarrollo humano, científico, tecnológico y cultural, que propone como estrategias el fomento de la investigación y el desarrollo tecnológico; el desarrollo humano orientado a las necesidades institucionales y la transformación cultural, a través del fortalecimiento de la investigación aérea y espacial y el desarrollo tecnológico (Fuerza Aérea Colombiana, 2011, p. 2).
- La función de la investigación se desarrolle a través de proyectos de investigación, proyectos de desarrollo tecnológico, producción intelectual y generación o actualización del conocimiento, enmarcados dentro de los programas y líneas de investigación institucionales, emitidas por el comando de la FAC a través de la Jefatura de

⁴ La Asociación Internacional para la Dirección de Proyectos (IPMA, por sus siglas en inglés) es una organización con base en Suiza dedicada al desarrollo y promoción de la dirección de proyectos. Su actividad principal es la certificación de las competencias en dirección de proyectos. Para ello ha desarrollado un marco de certificación para las habilidades en dirección de proyectos: el ICB (IPMA Competence Baseline), que sirve de base para su programa de certificación en cuatro niveles. La certificación se lleva a cabo a través de cualquiera de las asociaciones nacionales y es necesario renovarla cada cierto tiempo (el periodo varía dependiendo del nivel de certificación). La certificación abarca competencias técnicas, contextuales y del comportamiento.

Educación Aeronáutica, aportando soluciones a problemas propios de la FAC, que den respuesta a necesidades operacionales, logísticas, administrativas y del sector aeronáutico y aeroespacial, realizando diagnósticos confiables, diseñando estrategias factibles, planteando modelos, desarrollando prototipos, entre otros, para ser llevados a la realidad como respuesta a una necesidad en particular (Fuerza Aérea Colombiana, 2013, p. 26).

- Se generen estructuras de gestión que estandaricen los procesos de gobierno relacionados con los proyectos de la FAC y que haga más fácil compartir recursos, metodologías, herramientas y técnicas en el interior de las IES de la FAC y entre ellas.
- Las ACTel generen valor a la FAC y a la nación, en la medida en que la utilización de técnicas para la dirección de proyectos salve la brecha entre la estrategia organizacional y la materialización del valor del negocio (Project Management Institute, 2013, p. 15). Con esto se obtienen resultados satisfactorios de productos resultado de actividades de generación de nuevo conocimiento, desarrollo tecnológico e innovación, apropiación social del conocimiento y actividades relacionadas con la formación de recurso humano en CTel y generar así ventajas competitivas sostenibles para la institución, frente a otros centros de educación regional, nacional e internacional, respecto a la capacidad de articular la tríada universidad-empresa.estado (Fuerza Aérea Colombiana, 2013, p. 30).
- Se establezca una estructura en el desarrollo de ACTel que contemple la dirección de proyectos como parte esencial e integral de los grupos de investigación de las IES de la FAC, dado que esta se convierte en el nexo de unión entre la estrategia y los grupos de investigación.
- Se apalanchen procesos en los que se fortalezcan los grupos de investigación de las IES de la Fuerza Aérea Colombiana, ya que los procesos de dirección de proyectos establecidos estarán definidos por un portafolio de proyectos y planes de trabajo que tengan como objetivo el cumplimiento de los requisitos mínimos de reconocimiento y clasificación de Colciencias, entre ellos la producción de nuevo conocimiento o de resultados de actividades de desarrollo tecnológico e innovación y producción de apropiación social y circulación del conocimiento o productos resultado de actividades relacionadas con la formación de recurso humano en CTel.

Las acciones mencionadas anteriormente apalanchan los procesos de evaluación para la acreditación institucional, principalmente el factor o área de desarrollo institucional: investigación, concretamente los siguientes aspectos considerados en la evaluación:

- Definición y fortalecimiento de los campos de investigación y prioridades investigativas de las IES de la FAC.
- Mejoramiento de la calificación académica de los investigadores y sus grupos de investigación.
- Creación, puesta en marcha o fortalecimiento de

grupos, centros, redes, programas y líneas de investigación de las IES de la FAC.

- Mejoramiento en la producción de productos de CTel, entre ellos publicaciones especializadas de carácter nacional o internacional en revistas indexadas; patentes, registros, desarrollos tecnológicos, acompañamiento y asesoría en trabajos de grado; definición y seguimiento a presupuesto de investigación propio y gestión de financiación externa nacional o internacional (Consejo Nacional de Acreditación, 2006).

Referencias

- ▶ Aldana, G. (2012). La formación investigativa: su pertinencia en prepago. Recuperado de: <http://revistavirtual.ucn.edu.co/index.php/RevistaUCN/article/view/366>
- ▶ Cassanelli, A. (2014). Proyectos de I+D. caracterización del tipo de investigación y el rol del gerente de proyectos. Recuperado de <http://journal.riipro.org/index.php/IJOPM/article/view/200>
- ▶ Cassanelli, A. N., Fernández Sánchez, G. y Guiridlian Guarino, M. C. (2015). Proyectos de i+D, caracterización del tipo de investigación y el rol de gerente de proyectos. Recuperado de http://www.researchgate.net/profile/Anibal_Cassanelli/publication/283018418_PROYECTOS_DE_ID_ANALISIS_DE_LAS_RESPONSABILIDADES_DE_DIRECCIN/links/5626c54408ae4d9e5c4d474b
- ▶ Colciencias . (2011). Acuerdo 01 de 2011, Consejo Nacional de Beneficios Tributarios. Bogotá, Colombia.
- ▶ Colciencias. (2001). "Resolución Nro. 0856". Recuperado de <http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/upload/reglamentacion/Resolucion00856-2001.pdf>
- ▶ Colciencias. (2011). Tipología de proyectos de carácter científico, tecnológico e innovación. Consejo Nacional de Beneficios Tributarios, Bogotá.
- ▶ Colciencias. (2013). Convocatoria 640-2013 para el reconocimiento y medición de grupos de investigación, desarrollo tecnológico y/o innovación y para el reconocimiento de investigadores del SNCTel. Recuperado de <http://redcolombianadeposgrados.com/site/pdf/evento-academico-anual-2015/Presentacion%20Colciencias%20Marzo%2012%20de%202015%20gabriela%20evento.pdf>
- ▶ Colciencias. (2014). Modelo de Medición de Grupos de Investigación, Desarrollo Tecnológico o de innovación y de reconocimiento de investigadores del SNCTel. Recuperado de [http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/ckeditor_files/files/DOCUMENTO%20MEDICION%20GRUPOS%20INVESTIGADORES%20VERSION%20FINAL%2015%2010%202014%20\(1\)\(1\).pdf](http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/ckeditor_files/files/DOCUMENTO%20MEDICION%20GRUPOS%20INVESTIGADORES%20VERSION%20FINAL%2015%2010%202014%20(1)(1).pdf)
- ▶ Congreso de la República de Colombia (1992). "Ley 30". Bogotá, Colombia.
- ▶ Congreso de la República de Colombia (2009). "Ley 1286". Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://www.colciencias.gov.co/sites/default/files/u>

- pload/reglamentacion/ley_1286_de_2009.pdf
- ▶ Consejo Nacional de Acreditación [CNA]. (2006). Lineamientos para la Acreditación Institucional . serie documento CNA No. 2. Bogotá: CORCAS EDITORES LTDA.
 - ▶ Estay-Niculcar, C. (s. f.). Fundamentos de gestión de proyectos: de la teoría de proyectos a la gestión de proyectos según el PMBOK. Recuperado de http://www.inf.utfsm.cl/~lhevia/asignaturas/proy_ti/topicos/Gestion/PMBOK-Apunte.doc
 - ▶ Esteban Villamizar, L. A., Rojas Contreras, W. M. y Sánchez Delgado, M. d. (2013). Modelo de investigación en gestión de proyectos para la investigación en ingeniería. Revista EAN, (74), 54-71. Recuperado de <http://journal.ean.edu.co/index.php/Revista/issue/view/63>
 - ▶ Fuerza Aérea Colombiana. (2011). Plan Estratégico Institucional 2011-2030. Bogotá: autor.
 - ▶ Fuerza Aérea Colombiana. (2013). Proyecto Educativo Institucional del Sistema Educativo de la Fuerza Aérea Colombiana. Bogotá: autor. ORecuperado de https://www.emavi.edu.co/sites/default/files/proyecto_educativo_institucional_0.pdf
 - ▶ Gómez, B. (mayo, 2003). Investigación formativa e investigación productiva de conocimiento en la universidad. Recuperado de http://www.ucentral.edu.co/images/editorial/nomadas/docs/nomadas_18_18_inv_formativa.PDF
 - ▶ González, H. S. (2011). Formación investigativa para la educación superior desde una perspectiva pedagógica. Recuperado de http://cic.corhuila.edu.co/sitio/files/Formaci%C3%B3nDeInvestigadores/formacin_investigativa_para_la_educacin_superior.pdf
 - ▶ Lambert, L. (2006). R&D Project Management: adapting to technological risk and uncertainty. En P. C. Dinsmore y J. Cabanis-Brewin (Eds.), The AMA Handbook of Project Management (2da. edición). American Management Association. Broadway, New York, NY, pp. 458.
 - ▶ Ministerio de Defensa Nacional. (29 de octubre de 2015). Webinfomil. Recuperado de <https://plus.google.com/113956633590714544317/posts/KcjqHtnvckE>
 - ▶ Ministerio de Defensa Nacional . (2008). PEFA, Proyecto Educativo de las Fuerzas Armadas. Recuperado de http://www.mindefensa.gov.co/irj/go/km/docs/Mindefensa/Documentos/descargas/estrategia_planeacion/desa_capital/Pagina/PEFA_FINAL.pdf
 - ▶ Ministerio de Defensa Nacional. (2015). Convocatoria para el apoyo a proyectos "CT&I para la Investigación Formativa de la Fuerza Pública 2015". Recuperado de https://avafp.blackboard.com/bbcswebdav/institution/convocatoria/TDR-Fortalecimiento_de_la_investigacion.pdf
 - ▶ Observatorio Colombiano de Ciencia y Tecnología. (2014). Indicadores de ciencia y tecnología 2014. Recuperado de http://ocyt.org.co/Portals/0/LibrosPDF/OCyT_Indicadores_2014.pdf
 - ▶ Peñalver, A. J. (2013). Economía de la seguridad y la defensa. Transferencia de conocimiento e innovación asociada a la industria de Defensa. Revista del Instituto Español de Estudios Estratégicos, 9, pp. 1 - 19.
 - ▶ Project Management Institute. (2013). Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (5ta. edición). Newtown Square: autor.
 - ▶ Restrepo, B. (2004). Formación investigativa e investigación formativa: acepciones y operacionalización de esta última. Recuperado de <http://planmaestroinv.ucdistrital.edu.co/documentos/PMICI-UD/InvestigacionFormativa/Formaci%C3%B3n%20Investigativa%20e%20investigaci%C3%B3n%20Formativa.pdf>
 - ▶ Shek Munz, I. M. (2013). El enfoque de gestión de proyectos en las organizaciones dedicadas a proyectos de investigación. Caso: Grupo de Investigación GIRH. Revista Escuela de Administración de Negocios, 152-160.
 - ▶ Universidad de Castilla-La Mancha. (s. f.). El gestor de proyectos de I+D+i. Recuperado de https://www.uclm.es/organos/Vic_Investigacion/pdf/gestorProyectos.pdf.
 - ▶ Vásquez, Á. Á. (s. f.). Unican.es. Recuperado de <http://www.alumnos.unican.es/~uc17923/Tema3.pdf>
 - ▶ Vilches, J. M. (2013). Perfil profesional: el gestor de proyectos de I+D+i. Recuperado de <http://www.avalonred.com/perfil-profesional-el-gestor-de-proyectos-de-idi/>
 - ▶ Von Arcken, B. (2007). Acercamiento a la formación investigativa y a la investigación formativa. Recuperado de <http://revistas.lasalle.edu.co/index.php/ls/article/viewFile/1683/1559>

Praxis

(Grupo de investigación en praxis educativa)

Líder: Oro de Ofir García González.

Área del conocimiento: Educación

Descripción: El grupo Praxis es un grupo dedicado al desarrollo de proyectos en el área de la educación superior, profundizando las funciones sustantivas de la educación como: docencia, investigación, extensión, internacionalización, bienestar y para la Fuerza aérea doctrina.

Líneas de investigación:

- Educación Superior
- Investigación Formativa

Info. contacto: investigacion.academico@gmail.com
grupopraxis@esufa.edu.co

Diseño y construcción de una turbina libre para generación de energía*

Design and building of a free turbine for power generation

Fechas de recepción: 28 de Septiembre de 2015
 Fecha de aprobación: 25 de Noviembre de 2015

Por: Jhoan Alexander Barrios Zárate**
 Miguel Angel Bernal Maldonado***

Resumen

El siguiente artículo presenta el proceso detallado para el diseño y construcción del primer prototipo de turbina libre para la generación de energía construido en el país, con el fin de contribuir en el desarrollo de este tipo de tecnologías alternativas. Se presenta el fundamento teórico con cada uno de los principios que dan base al diseño conceptual y matemático de la turbina libre; seguido de la modelación Computer Asisted Design (CAD) para cada uno de los componentes que la conforman, así como el análisis computacional básico de esfuerzos y cargas para las partes más críticas de la turbina. También se presenta todo el proceso de fabricación del prototipo, y se mencionan paso a paso los procedimientos de manufactura y ensamble que se deben seguir para la elaboración de cada parte de la turbina libre, además de los acabados exteriores y accesorios que la conforman. El enfoque final de este proyecto es brindar una base para el desarrollo de turbinas libres en el país y para el país, y beneficiar así a la sociedad y a las poblaciones que no cuentan con un adecuado servicio de energía eléctrica.

Palabras clave: central de ciclo combinado, dimensionamiento, energía residual, fabricación, generador eléctrico, turbina libre.

Abstract

The following article presents the detailed process for the design and construction of the first free turbine power generation prototype built in the country. This is done in order to contribute to the development of this kind of alternative technologies. The theoretical foundation with which each of the principles gave the basis for the conceptual and mathematical design of the free turbine is presented. Computer Asisted Design (CAD) modeling followed for each of the components that made part of it, as well as a basic computational stress and load analysis for the most critical parts of the turbine. The whole manufacture process for the prototype as well as a step by step manufacturing and assembly procedure followed for the preparation of each part of the free turbine, is also shown as well as the exterior finishes and accessories that make part of the prototype. The final focus of this project is to provide a basis for the development of free turbines in and for the country, and thus benefit places that do not have adequate electrical service.

Keywords: Combined cycle power plant, electric generator, free turbine, manufacture, residual energy, sizing.

* Artículo de investigación científica y tecnológica.

** Ingeniero aeronáutico. Fundación universitaria Los Libertadores. Centro de investigaciones Couch Aviation. jhoabz@gmail.com

*** Ingeniero aeronáutico. Fundación universitaria Los Libertadores. Centro de investigaciones Couch Aviation. miguel.bernal@hotmail.com

Introducción

En la actualidad el aprovechamiento de cualquier tipo de energía en beneficio de la sociedad es uno de los principales temas de investigación y desarrollo en el mundo, lo que representa una oportunidad para el país y para su industria aeronáutica de vincularse con este tipo de investigaciones científicas y tecnológicas.

En el ámbito aeronáutico, un motor a reacción es una máquina generadora de dos tipos de energía, una mecánica (empuje) y otra térmica (gases de escape) que no se aprovecha y se disipa en el ambiente en forma de calor. De acuerdo con lo expuesto anteriormente, surge la siguiente problemática: ¿de qué manera se pueden aprovechar los gases de escape que se expulsan a la salida de la tobera de un motor a reacción para la generación de energía?

Para dar una solución a la problemática planteada anteriormente, se propone el diseño y construcción de una turbina libre como mecanismo para aprovechar la energía térmica generada por el motor a reacción RGG1 construido en la Fundación Universitaria Los Libertadores, y a partir de esta crear una fuente generadora de energía aprovechable y consumible para el beneficio de las poblaciones que no cuentan con un adecuado servicio de energía eléctrica; siendo este la segunda fase de la Central de Ciclo Combinado de la Fundación Universitaria Los Libertadores.

Aunque a nivel global empresas como Siemens están desarrollando turbinas de gas que generan grandes cantidades de energía para abastecer las plataformas petroleras del lecho marino, no existe tal tecnología desarrollada a nivel nacional, por lo que se hace necesario acudir a este tipo de empresas para adquirir estas tecnologías, lo que genera mayores costes económicos y dependencia extraterritorial. Por esto, con este proyecto se busca generar un impacto tecnológico en el país e incentivar la investigación y el desarrollo de este tipo de avances tan necesarios para nuestra población.

En este artículo se presenta el diseño y la construcción de un prototipo no funcional de turbina libre, el cual tiene como principal objetivo brindar las bases y fundamentos para construir la primera central de ciclo combinado en el país. Este prototipo consta básicamente de un disco rotor y un eje, de allí surge el concepto de *libre*, porque es un mecanismo que aprovecha la energía de un fluido para generar su propio movimiento; además, utiliza otros elementos como una etapa de estator para direccionar y acelerar el flujo en el sentido deseado y un acople especial a un generador que finalmente es el encargado de transformar la energía mecánica del movimiento en la energía eléctrica deseada.

Para diseñar y construir el prototipo de turbina libre es necesario desarrollar los cálculos pertinentes (termogasdinámicos, dimensionales, selección de álabes), realizar un diseño asistido por computador de

cada uno de los componentes de la turbina y un análisis computacional básico de esfuerzos y cargas a los componentes más críticos de la turbina libre y así construir un prototipo maqueta no funcional que sirva como base para la implementación de la turbina libre funcional.

Metodología

Tipo de investigación

El tipo de estudio utilizado en la presente investigación es descriptivo, ya que se quiere determinar las características físicas, operativas y de funcionamiento de un dispositivo para el aprovechamiento de energía, y a partir de esto diseñar y construir un prototipo de turbina libre. El proyecto se basa en un método de observación cuantitativa. El diseño y la construcción de la turbina libre generadora de energía consiste en dos fases:

Fase de diseño de la turbina libre

Se inicia con la elaboración de los cálculos de diseño preliminares de la turbina libre, tomando como base las variables de temperatura, presión y velocidad de salida de gases del motor a reacción destinado para trabajar. Esta fase incluye todos los cálculos de dimensionamiento, cálculos termogasdinámicos y cálculos operacionales para el funcionamiento del mecanismo, además de la realización de un modelo de la turbina libre en un sistema CAD.

Fase de construcción de la turbina libre

Para la construcción del prototipo se realizaron diferentes procesos de maquinado y manufactura, como el torneado y corte a láser de piezas de alta precisión. Por último, y posterior al ensamble, se dan a conocer todas las recomendaciones para hacer funcional el prototipo construido y su modo de implementación en la Central de Ciclo Combinado.

Marco teórico

Turbinas

Comúnmente llamadas turbomáquinas, las turbinas son usadas para transformar parte de la energía global de un fluido (suma de las energías de presión, cinética e interna debida a la temperatura) en energía mecánica. "En un turborreactor esta energía mecánica será la que mueva el compresor y los accesorios, y el remanente de esta energía será la que genere el empuje en el motor" (Mattingly, 2006, p. 852). Un escalón de turbina está formado por dos componentes fundamentales: el estator y el rotor (figura 1). El salto de presión por escalón es aproximadamente el mismo en las turbinas de tipo axial y centrífuga.

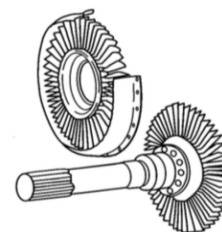


Figura 1. Componentes de una turbina de flujo axial.
Fuente: Mattingly (2006, p. 249).

El estator de una turbina, ya sea axial o centrípeta, actúa a modo de tobera; en el caso del estator de una turbina centrípeta su configuración es similar al compresor centrífugo, mientras que en la turbina axial los estatores se encuentran fijos al case del motor con un ángulo tal, que canalizan el fluido hacia el rotor, de manera que la dirección sea la más efectiva posible para la transformación de energía cinética en mecánica. Por otro lado, el rotor de una turbina axial consiste en una o varias cascadas de álabes fijos a un disco que gira a alta velocidad por la acción del fluido, y se transmite este movimiento al compresor, a un generador eléctrico o a lo que se desee mover o accionar con la turbina.

Las turbinas axiales suelen tener mayor uso en el campo aeronáutico de propulsión a reacción, debido al alto flujo que pueden trabajar. Estas turbinas axiales se pueden clasificar en dos tipos:

- Turbinas de impulso y de reacción. Estas se diferencian básicamente en su grado de reacción, el cual se entiende como la variación entre la energía del rotor, respecto a la variación de energía del conjunto estator-rotor, que físicamente se representa como la relación existente producida entre la expansión del rotor respecto a la expansión del conjunto estator-rotor. El trabajo proporcionado por una turbina axial es mayor en cuanto lo sea la turbina, además de la velocidad del rotor y la deflexión de la corriente.

“El trabajo específico que puede obtenerse con un escalón de turbina axial, conjunto estator-rotor, es del orden de 10.000 a 20.000Kg.m, por cada kg de fluido que la mueve” (Sáinz, 2007, p. 241), lo cual es mayor que el necesario para mover un escalón de compresor; es por esa razón que el número de escalones de la turbina es menor que los del compresor. Las turbinas radiales y axiales han sido ampliamente usadas en muchas aplicaciones, entre las que se encuentran pequeños generadores de poder eléctrico, motores turbo cargados y unidades auxiliares de poder en la aeronave.

En cada una de estas aplicaciones la temperatura interna de la turbina se encuentra limitada por las propiedades físicas y químicas de los materiales y de las partes calientes dentro de los rotores, por eso es necesario contar en algunos casos con un sistema de enfriamiento de álabes o recubrimientos cerámicos para poder soportar estas temperaturas tan elevadas que se presentan en la operación de la turbina y evitar así daños en los componentes de esta.

Diseño de la turbina libre

Cálculos termogasodinámicos de la turbina libre

“Los cálculos termogasodinámicos se realizan con el objetivo de explicar el comportamiento del fluido” (Cengel y Boles, 2009, p 993) dentro de la turbina libre.

Para realizar dichos cálculos se toman los parámetros a la salida del motor RGG1 que se representan en la tabla 1.

PARÁMETROS DE ENTRADA A LA TURBINA		
Flujo másico (m)	1,5	kg/s
Temperatura a la entrada (T_1)	835,83	K
Salto de temperatura (ΔT)	148	K
Calor específico a presión Constate del gas (C_p)	1148	$\frac{J}{Kg K}$
Relación de calores Específicos (γ)	1,33	
Constante especifica del gas R	287	$\frac{J}{Kg K}$
Presión a la entrada de la turbina (P_1)	187202,4	Pa
Numero mach de entrada (M_1)	0,43	

Tabla 1. Condiciones de entrada a la turbina libre Fuente: González Olarte, Gutiérrez Novoa y Quintero Rodríguez (2014).

Con base en el procedimiento para cálculos de turbinas del libro *Gas turbine theory* (Saravanamutto, 1983, p. 435), se calculó el grado de reacción para la turbina libre, y se obtuvo como resultado un valor $k = 0,005$. Esto indica que se está trabajando con una turbina de impulso. Así mismo, se determinó el triángulo de velocidades en cada sección de la etapa de turbina libre (figura 2); las componentes de velocidad indican que la velocidad máxima se alcanza en la sección 2, debido a que en el espacio que se encuentra entre disco estator-rotor se alcanza la mayor temperatura de operación de toda la turbina libre. Este valor calculado teóricamente es alrededor de 1005 K.

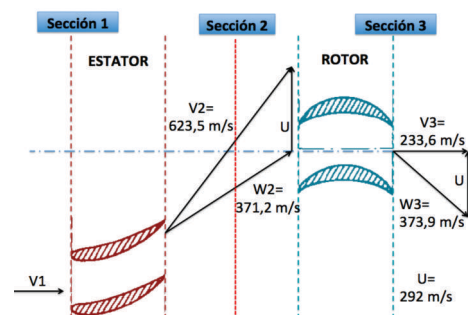


Figura 2. Triángulos de velocidades por secciones de la turbina libre Fuente: elaboración propia.

Donde:

- V1: Velocidad absoluta de entrada del fluido al estator.
- W2: Velocidad relativa del fluido a la salida de los álabes del estator.
- V2: Velocidad absoluta de salida del fluido de los álabes del estator.
- U: Velocidad media del rotor.
- W3: Velocidad relativa del fluido a la salida de los álabes del rotor.
- V3: Velocidad absoluta de salida del fluido de los álabes del rotor.

En las figuras 3 y 4 se puede observar el comportamiento de la presión y la velocidad en las secciones 1, 2 y 3 de la etapa de turbina, las cuales se comparan con las gráficas propuestas en el libro *Motores a reacción. Tecnología y operación de vuelo* (Cuesta, 1980, p. 552), y se obtuvo gran similitud para turbinas de impulso y como resultado una disminución en la presión a través de cada una de las secciones de la etapa de turbina. En contraste, el comportamiento de la velocidad suele tener un comportamiento parabólico, por lo tanto es mayor a la salida de la etapa en comparación con la velocidad de entrada del fluido en la turbina libre, indicando que se está aprovechando parte de la energía que contiene los gases de escape del motor RGG1.

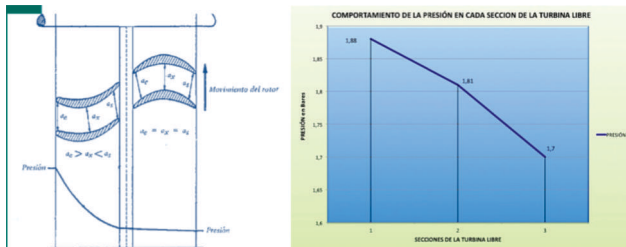


Figura 3. Comportamiento de la presión en cada sección de la turbina libre
Fuente: elaboración propia.

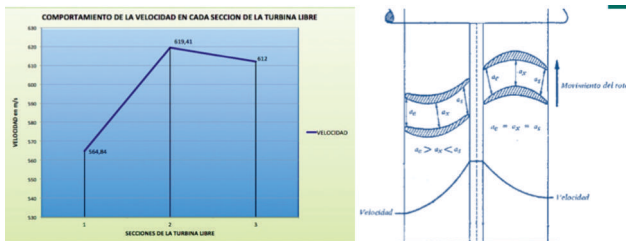


Figura 4. Comportamiento de la velocidad en cada sección de la turbina libre
Fuente: elaboración propia.

Cálculos geométricos de la turbina libre

Con base en los cálculos obtenidos anteriormente, se pueden determinar por medio de las presiones y las temperaturas halladas las densidades y áreas para cada una de las secciones de la turbina libre. Para esto se tuvo en cuenta la expansión térmica para el acero inoxidable, con el fin de "evitar que el rotor a altas

temperaturas roce con las paredes internas de la carcasa de turbina" (Escobar Garzón, 2008, p. 136). De esta forma se calcularon los diámetros externos e internos para el estator y rotor de la turbina libre (el resultado de las dimensiones se puede observar en la figura 5), lo que generó, como era de esperarse, dimensiones muy pequeñas en las que las tolerancias entre componentes estaban entre 1 mm y 5 mm. Estas últimas pueden ser críticas en caso de realizar pruebas funcionales.

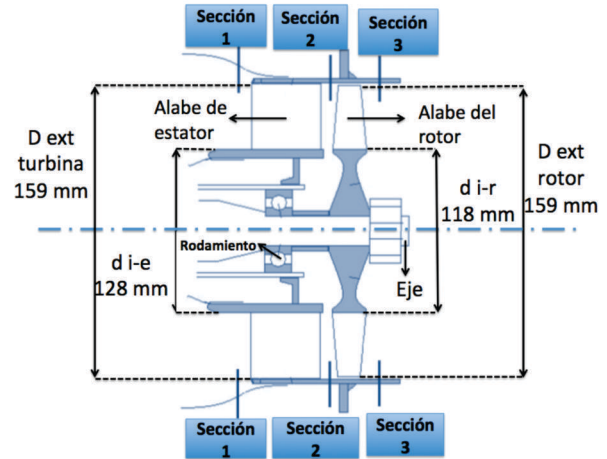


Figura 5. Dimensiones de la turbina libre
Fuente: elaboración propia.

Selección de los álabes de turbina libre

Para la turbina libre se ha establecido un perfil aerodinámico de nomenclatura RAF 27, recomendado para turbinas axiales (Saravanamutto, 1983, p. 294). En la figura 6 se puede observar el perfil y sus coordenadas para modelarlo; este perfil es simétrico respecto a su eje medio, así su centro de presión no varía y presenta una relación de espesor/cuerda (t/c) de 0.1, lo que favorece la construcción de estos componentes con láminas de acero inoxidable, para el caso de prototipo de turbina libre.

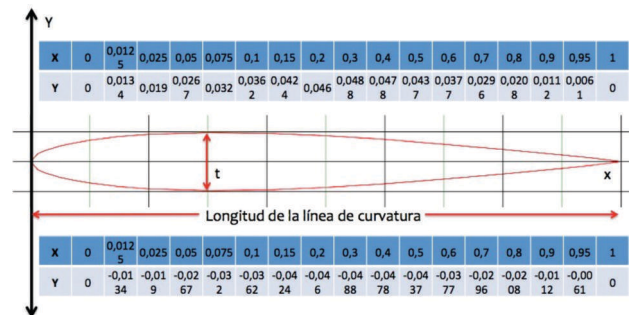


Figura 6. Perfil de álabes RAF 27 y sus coordenadas
Fuente: elaboración propia.

Se estableció una línea de diseño con base en el motor FD3/64 y una turbina de bajo flujo másico (Escobar Garzon, 2008, p. 142), con el fin de obtener las

principales dimensiones para los álabes de estator y rotor en cuanto a cuerda, altura, espesor y sus correspondientes relaciones (tabla 2).

TURBINA	h (mm)	c (mm)	s (mm)	t (mm)	h/c	s/c	t/c
Estator	20	20	15	2	0,8	0,75	0,1
Rotor	20	15	9	2	1,33	0,6	0,1

Tabla 2. Dimensiones y relaciones para los álabes de la turbina libre
Fuente: elaboración propia.

Donde: h: Altura álabes.
c: Cuerda álabes.
s: Paso álabes.
t: Espesor álabes.

Cálculos finales de la turbina libre

Finalmente se obtuvieron los principales cálculos de operación de la turbina libre, como lo es una potencia de 250,6 kW (336 HP) y un torque de 39,8 Nm, lo cual indica teóricamente que este dispositivo al tener bajo torque no impulsará un generador de gran tamaño, pero gracias a su potencia mantendrá eficientemente el movimiento de rotación del dispositivo, lo cual genera un flujo de energía constante. Es necesario aclarar que los valores obtenidos son de carácter teórico, debido a que la turbina libre es un prototipo no funcional.

Construcción de la turbina libre

El proceso de construcción del prototipo de la turbina libre se realizó en diferentes etapas, partiendo de la modelación de los componentes, el análisis estructural computacional de las partes más críticas, con la finalidad de hacer una correcta selección de los materiales por utilizar y por último la fabricación de cada uno de los componentes que la conforman.

Modelamiento de las piezas de la turbina libre

Para iniciar el proceso de construcción del prototipo se realizó un diseño asistido por computador CAD (figura 7) de cada una de las piezas por fabricar, con el fin de realizar el análisis estructural computacional y el corte a láser de algunas piezas, y obtener todos los planos de trabajo, que son "la herramienta primaria de trabajo para el técnico e ingeniero al momento de empezar a fabricar" (Mott, 2006, p. 3).



Figura 7. Modelamiento de la turbina libre
Fuente: elaboración propia.

Análisis estructural computacional

Para continuar con el proceso de construcción del prototipo es necesario realizar una serie de análisis estructurales computacionales, para poder determinar las diferentes cargas y esfuerzos que deben soportar las piezas más críticas de la turbina libre. En este caso se realizó un análisis por elementos finitos Finite Elements Analysis (FEA), con la ayuda del software ANSYS.

Los álabes de rotor y los anillos retenedores se consideran como las piezas más críticas de la turbina libre; por tal razón, se sometieron a un análisis FEA estático lineal, que consistió en la aplicación de una carga puntual y la marcación de puntos fijos de los componentes, como se muestra en las figuras 8 y 9.

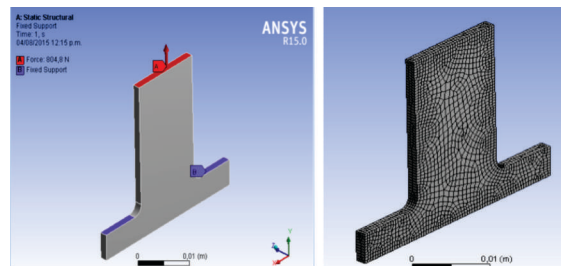


Figura 8. Carga radial, puntos fijos del álabes y enmallado
Fuente: elaboración propia.

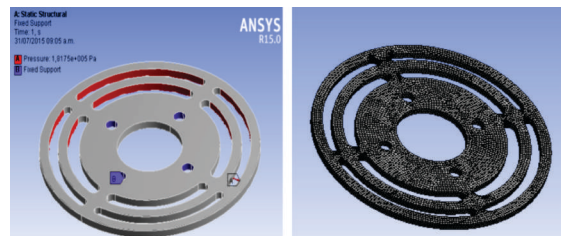


Figura 9. Soportes fijos en los anillos retenedores y enmallado
Fuente: elaboración propia.

Para el desarrollo de este análisis se tuvo presente la aplicación de una única carga en cada componente, sin tener en cuenta factores como la temperatura, fuerzas de sustentación y de resistencia, entre otras; por tal motivo se obtuvieron factores de seguridad superiores a 1,5, lo que para aviación y máquinas térmicas está dentro de los parámetros aceptables (Oñate, 1981, p. 485) y deformaciones de aproximadamente 6 micrómetros en cada componente, como se observa en la figura 10. No obstante, estos valores pueden variar si se tienen en cuenta los factores mencionados anteriormente.

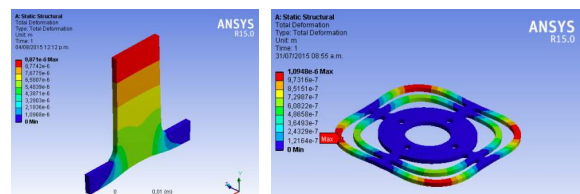


Figura 10. Deformación álabes rotor y anillo retenedor
Fuente: elaboración propia.

Fabricación de los componentes

Al modelar cada uno de los componentes del prototipo de la turbina libre y realizar los análisis estructurales a sus piezas más críticas, se seleccionó el acero inoxidable como el material más adecuado para su construcción, debido a su resistencia térmica (ver <http://inco.com.uy/institucional/propiedades/>). Se prosiguió con el proceso de fabricación y manufactura de cada uno de sus componentes; según Llanos Serna, Mantilla Barbosa y Zambrano Ángel (2008) "para facilitar el proceso de fabricación se debe empezar por el disco rotor, debido a que es el componente dinámico que puede afectar la fabricación de los demás componentes" (p. 217). Una vez fabricado el disco rotor se procedió a fabricar los demás componentes, como disco estator, alabes de estator, eje, *spinner*, entre otros, en los que se llevó a cabo procesos de maquinado, fresado, perforación, soldado, pulido y pintura (figuras 11, 12 y 13).



Figura 11. Conjunto rotor de la turbina libre
Fuente: elaboración propia.



Figura 12. Conjunto estator de la turbina libre
Fuente: elaboración propia.
Prototipo final de turbina libre



Figura 13. Ensamble final turbina libre
Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Con base en el motor RGG1, se diseñó y fabricó una turbina libre para la generación de energía, con lo cual se obtuvieron los siguientes resultados:
El comportamiento de la presión en la sección de rotor no es constante, debido a la variación de temperatura

que existe entre las secciones 2 y 3 de la turbina libre. El torque generado por la turbina libre es mínimo en comparación con la potencia obtenida: por tal razón, para aumentar este valor de torque se puede aumentar el número de cascadas de álabes de rotor en la turbina.

Es recomendable realizar recubrimientos cerámicos a los álabes de rotor, rodamientos y paredes internas del case de turbina, con el fin de hacerlos más resistentes a las altas temperaturas de operación de la turbina libre.

Fue necesario realizar ajustes a algunas de las piezas construidas, debido a las mínimas tolerancias que existían entre dichas piezas, las cuales se deben analizar en el caso de un modelo funcional.

Debido a que se trataba de un prototipo no funcional, no se realizaron pruebas de operación que aclararan que los resultados obtenidos pueden llegar a variar en el caso de un modelo funcional.

Referencias

- ▶ Cengel, Y. y Boles M. (2009). *Termodinámica* (6ta. edición). México, D. C.: McGraw-Hill.
- ▶ Cuesta Álvarez, M. (1980). *Motores a reacción. Tecnología y operación de vuelo* (5ta. edición). Madrid. Paraninfo.
- ▶ Escobar Garzón, A. (2008). *Diseño y construcción de turborreactores de bajo flujo másico*. Bogotá: Militar Aeronáutica.
- ▶ González Olarte O, Gutiérrez Novoa J. y Quintero Rodríguez J. (2014). *Diseño y Construcción de un Turbo Jet Bajo el Funcionamiento de un Turbo Cargador* (Tesis de grado). Bogotá, Fundación Universitaria Los Libertadores.
- ▶ González Bejarano, L. y Flórez Castiblanco, A. (2013). *Diseño y simulación de una turbina para un motor turbojet CJ 610-4* (Tesis de grado). Bogotá, Universidad de San Buenaventura.
- ▶ Saravanamutto, H. I. H. (1983). *Gas turbine theory* (4ta. edición). Cambridge: Macommo.
- ▶ INCO. (s. f.). *Aceros inoxidables. Composición Química del Acero Inoxidable 304*. Recuperado el 10 de julio de 2015, de <<http://inco.com.uy/institucional/propiedades/>>
- ▶ Llanos Serna P, Mantilla Barbosa J. y Zambrano Ángel J. (2008). *Model design engine turbofan JP1* (Tesis de grado). Bogotá, Universidad de San Buenaventura.
- ▶ Mattingly, J. D. (2006). *Elements of propulsion: gas turbines and rockets*. American Institute of Aeronautics and Astronautics. Virginia.
- ▶ Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas* (4ta. edición). México, D. F.: Pearson Educación.
- ▶ Oñate, E. (1981). *Turborreactores. Teoría, sistemas y propulsión de aviones*. Madrid. Paraninfo.
- ▶ Sáinz Díez, V. (2007). *El motor de reacción y sus sistemas auxiliares* (9na. edición). Madrid. Paraninfo.

Intrucciones para publicación de artículos dirigido a los autores***

La revista TecnoESUFA es una publicación académica, científica y tecnológica desarrollada en la Escuela de Suboficiales "CT. Andrés M. Díaz" de la Fuerza Aérea Colombiana, con la intencionalidad de publicar artículos de investigación científica y tecnológica y de reflexión que se deriven de una investigación, así como artículos de revisión de tema, artículos cortos y reportes de caso, especialmente en el campo aeronáutico.

En congruencia con lo anterior, Colciencias plantea unas directrices para las publicaciones con unas características específicas que se exponen a continuación de manera sintetizada (ver páginas 7 y 8 del documento guía servicio permanente de indexación de Revistas de Ciencia, Tecnología e innovación Colombianas <http://201.234.78.173:8084/publindex/docs/informacionCompleta.pdf>)

1. Artículos de investigación científica y tecnológica
2. Artículos de reflexión
3. Revisión de tema
4. Artículo corto
5. Reporte de caso

Estructura general del artículo

1. Datos del autor (grado, nombre completo, preparación académica, correo electrónico y teléfonos de contacto)
2. Expresar el tipo de artículo
3. Título (español e inglés)
4. Resumen (español e inglés)
5. Palabras claves (español e inglés)
6. Introducción
7. Cuerpo del artículo
8. Tablas, figuras y ecuaciones
9. Conclusiones y recomendaciones
10. Referencias

Los artículos deben estar escritos teniendo en cuenta las normas de citación de la Asociación Estadounidense de Psicología (APA, 6ta edición), con una extensión de 15.000 y 20.000 caracteres. Adicionalmente, se debe adjuntar en formato Word el texto y las tablas; las figuras en formato JPG para que puedan ser editables en la respectiva diagramación.

Envío de artículos

Escuela de Suboficiales "CT. Andrés M. Díaz"

Dirección: carrera 5 No. 2-92 Sur, Madrid, Cundinamarca

Teléfono directo: 8209079 / 8209078, ext. 1025-1705

Conmutador: 8209080 / 8209066

Correos electrónicos: revistatecnoesufa@esufa.edu.co - revistatecnoesufa@gmail.com - investigacion.academico@gmail.com

Comandante Escuadrón Investigación encargado: Capitán Adriana Mercedes Medina Medina

Editora: Patricia Cadena Caicedo

Instructions for publishing articles for the authors

The TecnoESUFA journal is an academic, scientific and technological publication developed by the "CT. Andrés M. Díaz" NCO School of the Colombian Air Force. It is aimed at publishing articles on scientific and technological research and reflection as well as topic review articles, short articles and case reports, especially on the aeronautical field.

In keeping with the above, Colciencias has established a set of guidelines for publications with specific characteristics which are briefly set out below (see pages 7 and 8 of the Guía Servicio Permanente de Indexación de Revistas de Ciencia, Tecnología e Innovación Colombianas document. <http://201.234.78.173:8084/publindex/docs/informacionCompleta.pdf>)

1. Reflection articles
2. Topic review
3. Short article
4. Artículo corto
5. Case report

General structure of the article

1. Author information (Qualification, full name, academic background, e-mail and telephone)
2. Type of article
3. Title (Spanish and English)
4. Abstract (Spanish and English)
5. Keywords (Spanish and English)
6. Introduction
7. Body of the Article
8. Tables, figures and equations
9. Conclusions and recommendations
10. References

Articles must be submitted according to the citation rules from the American Psychology Association (APA, 6th edition), and should have a length of 15,000 to 20,000 characters. The text and tables must be submitted in Word and the figures in JPG for their placement during layout.

Send your articles to
Escuela de Suboficiales "CT. Andrés M. Díaz"
Address: Carrera 5 No. 2-92 Sur, Madrid, Cundinamarca
Direct Telephone: 8209079 -/8209078, ext. 1025-1705
PBX: 8209080 -/8209066

E-mails: revistatecnoesufa@esufa.edu.co - revistatecnoesufa@gmail.com -
investigacion.academico@gmail.com

Deputy Research Squadron Commander: Captain Adriana Mercedes Medina Medina

Editor: Patricia Cadena Caicedo