

TECNO ESUFA

REVISTA DE TECNOLOGÍA AERONÁUTICA
ISSN 1900- 4303 · Volumen 23 · Julio de 2015



“La ciencia es un esfuerzo de colaboración. Los resultados combinados de varias personas que trabajan juntas es a menudo mucho más eficaz de lo que podría ser el de un científico que trabaja solo”.

John Bardeen



FUERZA AÉREA COLOMBIANA
Escuela de Suboficiales “CT. Andrés M. Díaz”



FUERZA AÉREA COLOMBIANA
Escuela de Suboficiales "CT. Andrés M. Díaz"



INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR - IES
ACREDITADA EN ALTA CALIDAD

Según Resolución 3328 del 25 de Abril de 2011

PROGRAMAS TECNOLÓGICOS



INTELIGENCIA AÉREA



ELECTRÓNICA AERONÁUTICA



ABASTECIMIENTOS AERONÁUTICOS



SEGURIDAD AEROPORTUARIA



DEFENSA AÉREA



COMUNICACIONES AERONÁUTICAS



MANTENIMIENTO AERONÁUTICO

PRIMERA FUERZA MILITAR CERTIFICADA EN TODOS SUS PROCESOS



www.esufa.edu.co

Cr 5 No. 2-92 Sur, Madrid - Cundinamarca

Teléfono Directo: 8209079 / 8209078 Ext. 1025 1705

Conmutador: 8209080 / 8209066

TECNO ESUFA

Volumen 23 • Julio de 2015

Directivas

CR. Javier Iván Delgado Garzón
Director Escuela de Suboficiales FAC

CR. Juan Carlos Ortiz Hernández
Subdirector Escuela de Suboficiales FAC

TC. Arnaud Francois Gerard
Penent D'izarn Benavides
Comandante Grupo Académico - Encargado

CT. Erwin Alonso Sierra Salazar
Comandante Escuadrón Investigación

Derechos Reservados

Prohibida su reproducción parcial o total sin autorización del Consejo Editorial.

La publicación y la institución, no son responsables legales de los conceptos expresados en los artículos, ya que estos expresan la opinión de los respectivos autores y no genera la acusación de honorarios.

Nos reservamos el derecho de publicar los artículos seleccionados por el Comité Evaluador,

Idioma: Español

Publicación: Semestral

Número de ejemplares: 250

ISSN: 1900 - 4303

Publicación:

Comité Científico

Alvaro Tarazona

Doctor en Historia y Pos-Doctorando en Ciencias de la educación.

Leidy Esmeralda Herrera Jara

Ph. D. (C) en Docencia

Diego Gerardo Roldan Jiménez

Doctorando en matemáticas

Modesta Barrios

Candidata Doctora en Ciencias de la Educación

Maureen Eliana Castañeda Cortes

Magister en Docencia de las Matemáticas

Comité Evaluador

Richard Fajardo Uergara

Magister (C) Relaciones Internacionales

Edgar Leonardo Gómez Gómez

Magister en Ingeniería de Telecomunicaciones

Diego Fernando Morante Granobles

Doctorando en Gestión Tecnológica e Innovación

Jorge Maldonado Villa

Doctorando en Ingeniería con énfasis en Ingeniería de los materiales

Alicia del Pilar Martínez Lobo

Magister en Docencia e Investigación

Fredys Alberto Simanca Herrera

Doctorando en Sociedad del Conocimiento y Acción en los Ámbitos de la Educación, Comunicación, los Derechos y las Nuevas Tecnologías

Español - Inglés

Sandra Patricia Corzo Delgadillo

Traductora e Interprete Oficial Inglés - Español
Magister Internacional en Gestión, Políticas Culturales y Desarrollo

Fotografía

Eliecer García Moreno

Fotógrafo Esufa

Corrector de Estilo

Nathalie de la Cuadra Nuñez

Profesional en Estudios Literarios

Contenido Edición Anterior

TECNO ESUFA

Volumen 22 · Diciembre de 2014

INSTITUCIONAL

Educación militar: Una alternativa para los tiempos de paz.

ASD2. Flor Esperanza Hernández P. de Santos

CIENCIA Y TECNOLOGÍA AERONÁUTICA

Modelamiento físico matemático de un cuadroptero

Ing. Nelson Javier Rodríguez

Evaluación Experimental del descenso del Globo Sonda SKY UP

Julio Enoc Parra Villamarin

Wilson Ricardo Cárdenas Cáceres

El sistema que revolucionó el concepto de la seguridad aérea

David Bernal Rodríguez

Diseñar y construir una central de ciclo combinado bajo la operación de un turbo cargador

Jefferson Zambrano Angel

Proyecto de diseño, construcción del prototipo y prueba del banco de almacenamiento de las hélices del equipo T27.

MY. Richard Fajardo Uergara

Mag. Alicia del Pilar Martínez Lobo

Kit de trabajo para efectuar inspección, mantenimiento y overhaul para las cajas de (42° y 90°); los ejes del rotor de cola y hangers de los equipos BELL 212 / 412 y HUEY II

DS Harvey Isaza Medina

DS Wilman Jaimes Sandoval

DS Emanuel Lizcano Estupiñan

DS David López Cáceres



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

Marcela Margarita Jiménez Mattos
Doctoranda en Ciencias de Educación - Área Currículo

Edna Cristina Sánchez González
Ingeniera Industrial

DIRECCIÓN

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

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

Escuadrón de Investigación

investigación.academico@gmail.com

revistatecnoesufa@gmail.com

www.esufa.edu.co

DISEÑO, DIAGRAMACIÓN E IMPRESIÓN

SI Soluciones Integrales AP S.A.S
Angie Viviana Güiza Torralba

INDICE

INSTITUCIONAL

- 5 | La calidad educativa en el programa de mantenimiento aeronáutico de la escuela de suboficiales Fuerza Aérea Colombiana, como efecto de la acreditación de alta calidad.

CIENCIA Y TECNOLOGÍA AERONÁUTICA

- 11 | Recubrimientos de carburos de metales de transición obtenidos por difusión termo-reactiva.
- 17 | Herramientas de empaque, embalaje y manejo de mercancías peligrosas para la Dirección de Comercio Exterior de la Fuerza Aérea Colombiana.
- 29 | Estudio computacional de un rotor de tres palas tipo savonius para uso en aerogeneradores de eje vertical.
- 36 | Estudio operacional de los procedimientos de radiosondeo en Latinoamérica.
- 43 | Estructuración de un sistema
- 51 | Modelación matemática de cargas sobre una superficie alar
- 57 | INSTRUCCIONES PARA PUBLICACIÓN DE ARTICULOS DIRIGIDOS A LOS AUTORES

Bienvenidos lectores, esta edición de Tecnoesufa, la última bajo la dirección del suscrito, viene, como siempre, cargada de información pertinente al entorno tecnológico aeronáutico; siendo la única publicación de su género en Colombia. Tecnoesufa es apuesta decidida por el crecimiento del sector aeronáutico del país. En este sentido considero importante resaltar desde aquí la labor que viene desarrollando la Esufa en el ámbito de la innovación desde dos perspectivas, la primera, el impulso a los grupos de investigación en tecnología aeronáutica y la segunda, la implementación de la iniciativa estratégica de Evolución en Excelencia Educativa en Esufa, conocida como E4.



CR. Javier Iván Delgado Garzón
Director Escuela de Suboficiales FAC

En cuanto a la primera, se espera que la categorización del Grupo TESDA por Colciencias, en el segundo semestre del 2015, sea la culminación del esfuerzo y los aportes hechos por este grupo al desarrollo del ámbito tecnológico aeronáutico en Colombia. Así mismo PRAXIS, nuestro segundo grupo de investigación, tendrá la responsabilidad del estudio del desarrollo de modelos de aseguramiento de calidad educativa en el campo de la educación para las IES de las Fuerzas Militares. Es importante aclarar que PRAXIS, si bien tiene su enfoque en un campo del conocimiento que no constituye el eje central de las áreas de investigación y dominio de la Esufa, ha cobrado preponderancia institucional y extrainstitucional por el aporte que viene realizando la Escuela a la construcción de alternativas educativas para la Suboficialidad de la Fuerza Aérea a través de la iniciativa E4.

En lo relativo a la segunda perspectiva, la iniciativa estratégica E4, no obstante su corto tiempo de vida (dese enero de 2014), ya cuenta con plena aprobación por parte del mando institucional. E4 ha tenido su inicio formal con el ingreso del Curso Regular No. 89 en enero de 2015. La iniciativa, que representa tanto un esfuerzo por la formalización de la oferta educativa como una herramienta de administración de personal, está constituida por cinco líneas de acción resumidas así:

- Ajuste modificación curricular de programas tecnológicos. Alineación de currículos a las necesidades actuales de las Jefaturas para los egresados de nuestros programas.
- Creación de la Tecnología en Administración de Recursos Aéreos. Busca la formalización de la oferta educativa para los Alumnos de los cursos del Cuerpo Administrativo.
- Implementación de la Ruta Expedita de Escalafonamiento (REX). Permite la incorporación de Alumnos de Cursos de Escalafonamiento a programas tecnológicos mediante el reconocimiento de créditos educativos adquiridos por el aspirante antes de su ingreso a la Fuerza.
- Creación de la Especialización Tecnológica en Gestión de Proyectos. Es el punto de partida de la formalización de los hoy llamados Cursos de Ascenso. Constituye la ruta educativa formal del Suboficial hasta el grado de Técnico Segundo.
- Profesionalización del Suboficial. Proyecto que, por medio de convenio a firmar con la Escuela Militar de Aviación, permitirá el acceso a la titulación en Administración Aeronáutica del personal de Suboficiales al llegar al grado de Técnico Subjefe.

Permitanme añadir que E4 es una estrategia integradora de los principios educativos establecidos tanto desde el PEI-FAC como del Ministerio de Educación Nacional en lo relativo a la articulación de la enseñanza media y el acceso a la educación para el trabajo y la educación superior. E4 le ha permitido a la Escuela ser actor principal del orden nacional en la constitución del Sistema de Educación Terciaria, así mismo, el proyecto en su conjunto ha recibido el visto bueno por parte de la visita de pares con fines de reacreditación institucional, la cual de no presentarse hecho extraordinario será otorgada a la Esufa en el segundo semestre de 2015.

Aprovecho la ocasión para agradecer al equipo de trabajo, en primer lugar a quienes hicieron posible esta publicación, en especial a sus autores, también a todo su personal orgánico, entre todos hemos venido haciendo un aporte significativo al crecimiento de la Escuela, a su proyección como IES acreditada en Alta Calidad responsable de la educación del Suboficial de la FAC. Esta tarea requiere de personal altamente comprometido y calificado.

Así se va a las Alturas.



CR. Javier Iván Delgado Garzón
Director Escuela de Suboficiales FAC

Welcome to Tecnoesufa. This edition, my last as Director of the Academy, comes loaded with information in investigation from the aeronautical field, being the only publication of its type in the country Tecnoesufa is a sure bet in support of the growth of the sector Colombia. It's important to highlight from here the work Esufa has been doing in investigation and innovation works in two specific areas, 1) investigation groups in aeronautical technology and 2) the implementation of the E4 strategic initiative (from the acronym Evolution in Educative Excellence in Esufa).

In relation with the investigation groups in Esufa, the expected categorization by Colciencias of the TESDA Group in the second semester of 2015 will be one of the highest points for the recognition of the contribution of this group for the advancements of aeronautical technology development in Colombia, as for PRAXIS, our second investigation group, will be in charge in 2016 of the development of a specific model for Quality Assurance in Education for Military

Higher Education Institutions. PRAXIS renewed importance, and recognition, comes along with the development of the E4 initiative by Esufa.

In regards of the E4 initiative it's important to note that its implementation is already in progress. E4 has received the approval of the Education Council, highest education authority of the Air Force. The 2015 Freshmen of the Curso Regular No.89 (Number 89 Regular Course) are the first under the new education model. The initiative is structured under five major lines of action:

- Curriculum redesign. Curriculum alignment and updating according to the the Air Force current needs.
- Creation of the Air Resources Administration program. Formalization of the education program for the Cuerpo Administrativo (non-line career enlisted personnel) students.
- Implementation of the Expedited Promotion Route (Fast Track Route). Program for the recognition of previous knowledge and or experience that shortens the required time at the Academy.
- Creation of the Project Management specialization program. The program sets the start point of the professional education program for the enlisted personnel of the Air Force.
- Enlisted Force bachelor's education access. The program will require the enlisted personnel to have successfully completed a four year college program before reaching the rank of Técnico Subjefe rank (E8 USAF equivalent).

E4 is general, an innovation initiative that integrates different principles, especially those from the Air Force educational strategy and the Ministry of National Education guidelines. Its contribution to the articulation of secondary and tertiary education has allowed Esufa to be recognized as one of the key actors for the development of programs that look for the expansion and the ease of access to higher education in Colombia.

Thanks to everybody in Esufa, our team has been making possible the construction of all of the projects we have committed to work for, all of your contributions allow Esufa to grow and project itself as the Accredited Institution it is. Our responsibilities before our enlisted men and women require highly dedicated and qualified personnel.

Sic Itur Ad Astra

En esta oportunidad la intención es comentar y considerar la importancia de la Ley 286 de 2009 de ciencia, tecnología e innovación de Colombia, en la cual se plantean unos lineamientos con la finalidad de mejorar los estándares de calidad educativa sobre este respecto. Es por esta razón que en la Escuela de Suboficiales FAC se reflexiona sobre el propósito de ahondar en temas de ciencia, tecnología e innovación aeronáutica, liderando a su vez una cultura en procesos de autoevaluación medibles y cuantificables pertinentes a las tecnologías del futuro.

La calidad educativa en investigación coadyuva a establecer el rigor que en cuestiones de formación vislumbran nuevos protocolos en ámbitos de tecnologías de punta en áreas como electrónica, comunicaciones y mantenimiento, las cuales se evidencian en aplicaciones directas en el ámbito aeronáutico colombiano que dan muestra de la pertinencia que en materia de educación se pretende.

Complementando lo anterior, en el presente ejemplar se muestran algunos temas como: "La calidad educativa en el programa de mantenimiento aeronáutico de la escuela de suboficiales FAC, como efecto de la acreditación de alta calidad". Este documento fue un estudio de caso que muestra la experiencia e impacto del proceso de acreditación en el programa de mantenimiento aeronáutico en la escuela. Siguiendo ese orden, está el artículo titulado "Recubrimiento de carburos de metales de transición obtenidos por difusión termoreactiva", el cual muestra el proceso termoreactivo, que es una técnica desde el punto de vista químico utilizado para proteger componentes metálicos, generalmente de la corrosión, y aumentar la dureza en la superficie del material. Está también el documento "Herramientas de empaque, embalaje y manejo de mercancías peligrosas para la dirección de comercio exterior de la FAC". En este se muestra la importancia de uno de los procesos más relevantes en el aspecto logístico, el cual busca optimizar de forma general y pertinente estos procedimientos. En cuarto lugar, está el artículo "Estudio computacional de un rotor de tres palas tipo Savonius para uso de aerogeneradores de eje vertical". En este caso se presenta un análisis simulado con el fin de optimizar en términos de rendimiento el funcionamiento del rotor de tres palas tipo Savonius. En el artículo "Estructuración de un sistema de seguridad operacional", el autor pretende dar una mirada moderna y unificada de métodos y procesos preventivos en la gestión de la seguridad operacional, y en "Estudio operacional de los procedimientos de radiosondeo en Latinoamérica", el autor evidencia los procedimientos de la exploración sobre el eje vertical en la atmósfera por medio de radiosondas, los cuales permiten identificar dificultades en la aplicación de este método que es utilizado en diferentes países de Latinoamérica. Por último, el documento "Modelación matemática de cargas sobre una superficie alar" plantea una aplicación de la matemática en áreas específicas del mantenimiento aeronáutico en una superficie alar.

This issue intends to discuss and consider the importance of Law 286 of 2009 related to science, technology and innovation in Colombia, in which some guidelines are suggested in order to improve educational quality standards on these matters. It is for this reason that in the FAC NCO School we are reflecting on the purpose of deepening into issues of science, technology and aviation innovations, and are also leading a culture of measurable self-evaluation processes which are relevant to the technologies of the future.

Educational quality in research helps to establish the rigor that, in training issues, state-of the art technologies new protocols have in areas such as electronics, communications and maintenance, which are evident in direct applications in Colombian aeronautics that demonstrate the relevance that is intended in education.

Complementing the foregoing, in this issue some matters are dealt with such as "The quality of education in the Aeronautic Maintenance Program of the NCO's School of Colombian Air Force, as a result of the high quality certification." This document was a case study showing the experience and impact of the accreditation process in the aircraft maintenance program at the School. The second article's title is "Coatings of transition metal carbides obtained by thermo-reactive diffusion" which deals with the thermo-reactive process, a chemical technique used to protect metal components, generally from corrosion, and to increase the surface hardness of the material. There is also the document "Packaging tools, packing and handling of dangerous goods submitted to the Foreign Trade Department of the Colombian Air Force". This document shows the importance of one of the most important processes in logistics, which seeks to optimize in a general and relevant way these procedures. The fourth article is entitled "Computational study of a Savonius-type three bucket rotor for use in vertical axis wind turbines." In this case a simulated analysis is presented in order to optimize the operation performance of the Savonius type three-bucket rotor. In the article "Structuring of an operational safety system", the author tries to offer a modern and unified glimpse of preventive methods and processes in the management of operational safety, and in "Operational study on radiosonde procedures in Latin America", the author shows the exploration procedures on the atmosphere vertical axis through radiosondes, which allow to identify difficulties in the implementation of this method which is used in different Latin American countries. Finally, the paper "Mathematical modeling of loads on a wing surface" presents an application of mathematics in specific areas of aircraft maintenance in a wing surface.



La calidad educativa en el programa de Mantenimiento Aeronáutico de la Escuela de Suboficiales de FAC, como efecto de la acreditación de alta calidad *

The quality of education in the Aeronautic Maintenance Program of the NCO's School of Colombian Air Force, as a result of the high quality certification

- Fechas de recepción: 04 de mayo de 2015
- Fecha de aprobación: 30 de julio de 2015

POR: ORO DE OFIR GARCÍA GONZÁLEZ**

Resumen

La Escuela de Suboficiales de la Fuerza Aérea Colombiana (Esufa) como institución de educación superior, en cumplimiento de las políticas de calidad, ha venido implementado procesos de autoevaluación con miras a obtener la acreditación institucional y de programas, lo cual ha sido posible en dos oportunidades. Sin embargo, era indispensable hacer una mirada en el interior de los procesos de acreditación para establecer el impacto que estas técnicas han generado en los programas, especialmente en el de Mantenimiento Aeronáutico.

La investigación pretende mediante un estudio de caso, determinar los cambios que se han efectuado en el programa de Mantenimiento Aeronáutico, como consecuencia de los procesos de acreditación, con el fin de implementar estrategias y planes de mejoramiento en busca de encontrar los estándares de calidad que requiere la aviación en Colombia, y satisfacer de esta forma las expectativas de los estudiantes y las necesidades técnicas que se presentan en las unidades respecto a la reparación de aeronaves.

PALABRAS CLAVES: acreditación, autoevaluación, estándar de calidad, mantenimiento Aeronáutico, programa tecnológico, formación militar, formación tecnológica.

Abstract

As a higher education institution, the Colombian Air Force Non Commissioned Officers School (Esufa) has twice implemented self-assessment processes in order to obtain an institutional and programs certification, in fulfillment of its quality policies. However, it was essential to look inside the certification processes to establish the impact these techniques have had on the programs, especially on that of Aircraft Maintenance.

Through a case study, this research aims to establish the changes that have taken place in the Aeronautic Maintenance Program as a result of the certification processes in order to implement improvement strategies and plans that look for meeting the quality standards required by aviation in Colombia, and thus meet the expectations of students and technical needs arising in the units when repairing aircrafts.

Keywords: Certification, self-assessment, quality standard, aeronautics maintenance, technological program, military training, technological training.

*Escuela de Suboficiales de FAC "CT. Andrés M. Díaz", carrera 5 No. 2-92 sur.

**Ingeniera de Sistemas de la Universidad Antonio Nariño, Bogotá, Colombia. 6 de septiembre de 2001. Especialista en Pedagogía y Docencia de la Universidad de San Buenaventura, Bogotá, Colombia. 21 de agosto de 2004. Magister en Educación de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. 14 de marzo de 2014. Vinculada laboralmente: Escuela de Suboficiales Fuerza Aérea Madrid, Cundinamarca, Colombia. Docente de informática y Programación. orodeofir@hotmail.com

Introducción

Se pretende en esta investigación identificar el impacto que ha tenido la acreditación de alta calidad en el programa de Mantenimiento Aeronáutico de la Esufa en el periodo comprendido entre 2006 - 2012, mediante la documentación del concepto de calidad y evaluación educativa, y reflexionando sobre las prácticas pedagógicas y administrativas que se desarrollan en cumplimiento de los lineamientos de acreditación y políticas de calidad, formuladas por el Ministerio de Educación Nacional (MEN). De esta manera, se busca evidenciar las fortalezas y debilidades del programa, en relación con los elementos teóricos y las prácticas educativas de calidad.

Marco teórico

Es pertinente hacer una mirada sobre estudios e informes respecto a los procesos de calidad en educación superior en países de Iberoamérica, entre ellos Chile, Cuba, Venezuela, México y España, y así hacer una relación con los procesos de acreditación que se han desarrollado en Colombia y particularmente en la Esufa en los programas tecnológicos.

En Chile, Rodríguez et al., (2011), en la investigación sobre el impacto del sistema de aseguramiento de la calidad en el servicio de las universidades, hacen un resumen del análisis de aseguramiento de la calidad de las universidades y el servicio que prestan, para lo cual tomaron una muestra de veinte universidades privadas para participar en los procesos de acreditación institucional. Esto arrojó una capacidad explicativa del 41,5 de la calidad en el servicio.

Los autores mencionados concluyen que la educación superior no solo es detenerse en la oferta y la demanda del servicio, sino en la calidad del mismo. Estos servicios de calidad ofrecidos se convierten en un factor primordial para asegurar la calidad en las universidades. Es importante analizar el impacto de los procesos de aseguramiento de la calidad en la educación superior; de esta manera, evidenciar que es necesario aplicar este estudio a otras instituciones educativas del mismo nivel, con el fin de observar cómo influyen estas estrategias de aseguramiento de calidad en dichos establecimientos.

En Cuba los profesores Llanio, Dopico y Suros (2011), en el artículo "Evaluación del impacto de los procesos de acreditación, variables e indicadores de Cuba", muestran los resultados de un proyecto de investigación sobre evaluación del impacto de los procesos de evaluación y acreditación de los programas de carreras y maestrías entre 2000 y 2010, en el que participaron diferentes expertos de la Junta de Acreditación Nacional, la Universidad de la Habana, El Instituto Superior Politécnico José A. Echavarría, Universidad Agraria de la Habana, entre otros.

En el artículo, los citados autores precisan los conceptos de calidad, impacto, impacto de los procesos de evaluación y acreditación, evaluación del impacto, de acuerdo con las definiciones dadas en la Conferencia Mundial de Educación Superior, proyectando cómo se deberían asumir los retos y

desafíos en la sociedad para el siglo XXI. Estos últimos fueron considerados en varios contextos y les permitieron seleccionar variables e indicadores, para valorar el impacto de los procesos de evaluación y acreditación de carreras universitarias y programas de maestría, con la posibilidad de aplicarlos a los programas de doctorado (Unesco, 1998).

Consideran que la calidad es inherente a los procesos sociales al expresar que "La calidad es inseparable de la pertinencia social (...) es una búsqueda de soluciones a las necesidades y los problemas de la sociedad y más especialmente a los relacionados con la construcción de una cultura de paz y un desarrollo sostenible" (Llanio, Dopico y Suros, 2011).

Citando a González (2003), "El impacto puede verse como un cambio en el resultado de un proceso (producto). Este cambio también puede verse en la forma como se realiza el proceso o las prácticas que se utilizan y que dependen, en gran medida, de la persona o personas que los ejecutan" (Llanio, Dopico y Suros, 2011).

Definen el impacto de los procesos de evaluación y acreditación como "el conjunto de cambios significativos que se producen en la calidad de los programas y a los que tienen lugar, como resultado de la aplicación de estos procesos, en los contextos institucional y social, así como en la mejora de la calidad de los propios sistemas de evaluación y acreditación" (Llanio, Dopico y Suros, 2011).

Por su parte, la evaluación del impacto de los procesos de evaluación y acreditación "constituye un proceso dirigido a valorar los cambios significativos producidos en la calidad de los programas evaluados, en el contexto institucional, el contexto social, así como la mejora de la calidad de los propios sistemas de evaluación y acreditación" (Llanio, Dopico y Suros, 2011).

Concluyen los citados autores que el estudio aplicado a las carreras y programas de maestrías seleccionados confirma la objetividad de las variables e indicadores empleados para la medición de los procesos de evaluación y acreditación. Así mismo, se debe seguir actualizando este instrumento para aplicarlo y generar más variables e indicadores con el objeto de obtener mayor efectividad en la aplicación. También justifican la permanente incorporación de ajustes a los sistemas de evaluación y acreditación a partir de procesos de perfeccionamiento, todo esto para generar impactos positivos, minimizar o eliminar los negativos y poner en marcha los que no se han producido.

Por otro lado, el avance de la investigación del tema en Venezuela está a cargo de los profesores Mejías y Cobo, quienes en el artículo "La autoevaluación: una iniciativa para la gestión de la calidad en educación superior de Venezuela" se plantean como objetivo "desarrollar un instrumento para autoevaluación en educación superior que precise el grado de madurez de la gestión de la calidad, desarrolla cinco instrumentos basados en los modelos: ISO 9000, Baldrige, EFQM, y AUIP; este instrumento se aplicó en un programa de postgrado donde se cumplió con el objetivo" (Mejías y Cobo, 2007).

Como conclusiones, los autores exponen que las iniciativas de gestión de la calidad en educación superior deben ser como la voz de la institución, y de esta manera saber qué piensan los estudiantes, los docentes, los empleados, los empleadores y demás personal involucrado en el proceso. De igual forma, estas formas de evaluación deben ser realizadas por un equipo multifuncional que debe mostrar el desempeño de la institución. Como resultado de esta investigación, los autores muestran cuatro modelos de gestión de calidad que pueden ser adaptadas por parte de las instituciones educativas: ISO 9000, Baldrige, EFQM, y AUIP, los cuales sirvieron como base para desarrollar cinco instrumentos que permitieron saber el grado de madurez en el programa de estudio. La aplicación de estos instrumentos debe ser de forma sistemática e integrada, y se debe actualizar de acuerdo con su entorno y aplicación.

En un futuro, es importante realizar un solo modelo que reúna los criterios de los modelos usados. Finalmente, concluyen que la información que se generó al aplicar estos instrumentos logró la identificación de oportunidades de mejora continua y sirvió como elemento para el proceso de planificación estratégica y para el desarrollo de planes de acción objetivos.

Por su parte, Márquez (2004) escribe un artículo sobre la calidad de la educación superior en México ¿Es posible un sistema eficaz y equitativo?, las políticas de financiamiento en la educación superior en los noventa, en el cual el autor presenta un análisis entre políticas de financiamiento público a la educación superior e indicadores ubicados en la dimensión pedagógica (calidad de los servicios que ofrecen diversas opciones educativas) y social (oportunidades de acceso) en la década de los noventa.

El estudio refleja que por el descenso de los recursos públicos destinados a la educación, las instituciones de educación superior no pudieron mejorar la calidad de los servicios que prestaban, hecho que trajo como consecuencias la aparición de diferentes instituciones de baja calidad y dudosa procedencia. Debido a esta crisis, para algunos sectores sociales fue más difícil el acceso, la permanencia y la conclusión de estudios de nivel superior. Esta situación, por ejemplo, fue similar en Colombia con la aparición de instituciones de baja calidad y su responsabilidad social en la formación de profesionales. Esto conlleva la promulgación de la Ley 30 de 1992, en la cual se sugiere la creación del Consejo Nacional de Acreditación (CNA).

El autor presenta conceptos de calidad desde el punto de vista de otros autores, como Muñoz et al. (1998, p. 22) quienes plantean unas dimensiones de la calidad: filosófica, pedagógica, económica, cultural y social. Además, hace un recuento de investigaciones sobre las políticas de financiamiento de la educación superior, posteriormente analiza los indicadores y cómo esas políticas de financiamiento implementadas en los años noventa no mejoraron la eficiencia ni la equidad del sistema de educación superior en México. Finalmente propone algunas medidas que se deberían implementar para que los recursos que se destinen mejoren la calidad en la educación superior en México.

Para el caso de España, el profesor López (2010), en el artículo "Educación de calidad y competencias para la cooperación en

Madrid", plantea la finalidad de analizar y valorar la visión de una educación de calidad y en competencias, encuadrada en una cultura de globalización económica.

Para este autor, las personas deben capacitarse en aprendizaje de calidad y en competencias, no para resultados competitivos que traen consecuencias conflictivas, sino para alcanzar logros cooperativos, participados en el que todos obtengan ganancia.

En Colombia, en 1992, se expide la Ley 30, la cual organiza el servicio público de la educación superior y crea el Sistema Nacional de Acreditación para las instituciones de educación superior, con el fin de que las instituciones cumplan los más altos requisitos de calidad. Como parte de este sistema, se organiza el CNA, como instancia verificadora de la calidad de la oferta académica en educación superior y reguladora del Sistema Nacional de Acreditación.

De acuerdo con lo expresado por el profesor Chaparro (2008), en el libro *La evolución de la acreditación de alta calidad en Colombia 1998-2008*, se considera que el sistema de mejoramiento continuo busca que la educación en Colombia sea de alta calidad. El proceso de dicho exigido por el CNA es un proceso dinámico y flexible que se actualiza y fortalece de forma permanente, a través de programas de autoevaluación y retroalimentación de los procesos en el interior de las instituciones de educación superior.

En el boletín estadístico a diciembre de 2012, presentado por el CNA (Uviescas y Romero, 2012), se observa que hay 768 programas de pregrado con acreditación vigente así: universidad 650; institución universitaria escuela tecnológica 96; institución tecnológica 19; e institución técnica profesional 3. En los programas de posgrado con acreditación vigente hay 21.

Otras conclusiones en el documento del CNA (2012) se presentan así: en cuanto al factor estudiantes y graduados, se disminuyó la deserción estudiantil. Respecto al factor profesores e investigación, este mejoró el nivel de los profesores, así como su participación en redes e investigación. En el factor currículo se observa que las IES han actualizado sus planes de estudio, motivando la búsqueda de pertinencia a través de innovaciones pedagógicas y metodológicas, y se estrecharon vínculos nacional e internacionalmente. El factor de infraestructura física y tecnológica avanzó según las fuentes y aportes significativos al sistema. En el factor evolución institucional se generó la cultura de la autoevaluación, respecto a la implementación de los procesos de aseguramiento de la calidad, y se incorporaron procesos de planeación. La acreditación ha tenido un avance lento, por el criterio de voluntariedad. Respecto al registro calificado, se tiene que todos los programas cuentan con este.

El profesor Roa (2002), "en el artículo "Hacia un modelo de aseguramiento de la calidad en la educación superior en Colombia: estándares básicos y acreditación de excelencia", muestra el papel de la universidad como formadora de profesionales y generadora de conocimiento. El desarrollo social y económico de una sociedad depende del mejoramiento de la educación, por eso la calidad es un factor importante para tener en cuenta.

La Esufa, desde su aparición como institución de educación superior, ha encaminado esfuerzos a alcanzar estándares de alta calidad, a través de los procesos de acreditación voluntaria de los programas e institucional. Hoy cuenta con siete programas de educación superior en el nivel tecnológico, todos con registro calificado, de los cuales cinco están acreditados en alta calidad hasta 2014 y se encuentran en proceso de renovación. De igual forma, en 2010 se obtuvo la acreditación institucional.

En el artículo "Los quijotes de la educación de la FAC" (Terreros, 2012) se exponen los antecedentes del proceso de acreditación realizado en la Esufa. Además, se establece que la calidad es la generadora de una cultura de evaluación para la formación de profesionales que contribuyan al desarrollo social, económico y tecnológico nacional y regional. El progreso de la acreditación hizo que los procesos académicos y que el proyecto institucional se diseñaran y organizaran de acuerdo con los lineamientos del CNA. Para asegurar la calidad se implantó la cultura de autoevaluación y autorregulación según las guías del CNA, con la intención de alcanzar la acreditación de alta calidad. En el artículo "Los quijotes de la educación de la FAC" (Terreros, 2012) se exponen los antecedentes del proceso de acreditación realizado en la Esufa. Además, se establece que la calidad es la generadora de una cultura de evaluación para la formación de profesionales que contribuyan al desarrollo social, económico y tecnológico nacional y regional. El progreso de la acreditación hizo que los procesos académicos y que el proyecto institucional se diseñaran y organizaran de acuerdo con los lineamientos del CNA. Para asegurar la calidad se implantó la cultura de autoevaluación y autorregulación según las guías del CNA, con la intención de alcanzar la acreditación de alta calidad.

Además, afirma que la investigación adquirió importancia para la institución, porque se empezaron a tener en cuenta los proyectos de los estudiantes y se actualizó la biblioteca; igualmente, se estructuró y organizó la sección de bienestar institucional. La cultura de autoevaluación se convirtió dentro de la escuela en una herramienta académica-administrativa que permite orientar y organizar la institución, conservando la esencia de formación militar desde los preceptos de la educación superior. Después del proceso de acreditación, la institución se preocupó por resaltar sus fortalezas y mejorar sus debilidades, en búsqueda de lograr una acreditación de alta calidad (Terreros, 2012).

El proceso de acreditación que ha desarrollado la Esufa ha llevado a que la institución adquiera la cultura de evaluarse a sí misma, y de esta manera promover los cambios que impactan su cotidianidad, así como mejorar los indicadores que resulten deficientes, como la infraestructura, la capacitación docente, el diseño e implantación de la cultura de autoevaluación y autorregulación, seguimiento de los procesos académicos, así como los planes de mejoramiento, de acuerdo con los lineamientos del CNA, en pro de una educación con calidad.

Metodología

La metodología propuesta se orienta al estudio de caso, con un enfoque cualitativo. La investigación interpreta y expresa los

hechos, las concepciones y el lenguaje de la población objeto de estudio, lo cual es relevante en este estudio porque a través de ellos se determinan los factores de calidad y la investigación cualitativa cuenta con dimensiones de la cultura institucional.

Tipo de estudio

Consiste en un estudio de un caso real, evidenciado en el desarrollo del programa tecnológico de Mantenimiento Aeronáutico, desarrollado en la Esufa, apoyado por la revisión bibliográfica de los temas concernientes.

Tiempo de investigación

Se desarrolló en dos fases, de acuerdo con el cronograma establecido y en coherencia al proceso mismo de la investigación.

Primera fase

Se hizo un análisis de autores que han investigado sobre el tema, tratando de acercarse a la conceptualización de calidad y evaluación curricular. Se revisó la bibliografía disponible y pertinente al trabajo, delimitando categorías, teóricas y conceptos, que permitieron organizar de una forma coherente y lógica el cuerpo de la investigación, teniendo en cuenta la complejidad del tema objeto del trabajo. De igual forma, se revisaron modelos de evaluación implementados en otros escenarios, para contar con experiencias significativas y así convalidar e interpretar la realidad institucional.

Segunda fase

Se diseñó el instrumento de campo, el cual permitió establecer los posibles impactos de calidad en el programa de Mantenimiento Aeronáutico. Se aplicó la entrevista, se tabuló e interpretó la información, para luego pasar a hacer el análisis de los resultados. Posteriormente, se elaboraron las conclusiones y recomendaciones respectivas.

Población del caso

La población se caracteriza por contar con directivos, docentes militares y civiles, conformados por oficiales y suboficiales destinados a prestar los servicios a la institución por el Comandante General de la Fuerza Aérea Colombiana, independiente del perfil académico que se tenga y, por lo tanto, con alto grado de movilidad, es decir, el docente militar es de medio tiempo académico por necesidades del servicio. No obstante, el tiempo de permanencia en la escuela es variable. Por otra parte, el docente civil es el profesional vinculado como docente de tiempo completo con funciones administrativas, de docencia, de investigación y de extensión, y el de hora cátedra, con funciones estrictas de docente.

Muestra del caso

La muestra no fue probabilística, ya que la elección de los elementos no dependió del azar, sino de causas relacionadas con las características específicas de la investigación y del contexto.

Así las cosas, la selección de la muestra se realizó teniendo en cuenta los siguientes criterios: se entrevistó solo a los profesores que apoyan el programa de Mantenimiento Aeronáutico, con sólida formación académica y profesional en el nivel de pregrado o postgrado, con experiencia de cinco años de ejercicio docente o administrativo en educación superior y con vinculación mínima de un año al programa. De igual forma, la muestra de estudiantes obedeció a entrevistar a aquellos pertenecientes al programa de Mantenimiento Aeronáutico, integrantes de los diferentes semestres académicos (alumnos de primero, segundo y tercer año).

Fuentes de información

La búsqueda de la información se realizó teniendo en cuenta las fases planeadas para la investigación y se llevó a cabo mediante la aplicación de la entrevista semiestructurada con preguntas abiertas, aplicando el mismo formato a todos los participantes; este es considerado el medio más adecuado, por tratarse de un estudio de caso.

Mediante la entrevista semiestructurada, se buscó identificar las concepciones teóricas que tiene la población entrevistada, sobre el tema objeto de investigación. La entrevista desde este punto de vista consistió en una forma de interacción social, en la cual el investigador se situó frente al investigado con el fin de formular las preguntas que dieron como respuestas datos de interés. De esta manera se estableció un diálogo en el que una parte buscó y recogió la información, y la otra se constituyó en fuente esencial de información.

La entrevista se desarrolló en grupo, en tres sesiones-taller. En la primera se reunió a los directivos; en la segunda, a los profesores; en la tercera, a los estudiantes, con duración de una hora por sesión. Las sesiones-taller se iniciaron con una explicación sobre el mecanismo de la entrevista; luego, se hicieron las preguntas, describiendo situaciones y eventos concernientes a experiencias de aprendizaje de los actores en la materia mencionada, y así dejar memoria de la actividad.

Análisis cualitativo y triangulación

A través del análisis comparativo de las respuestas dadas por los distintos actores entrevistados (directivos, docentes, alumnos y egresados), fue posible conocer las formas como se entienden los efectos de la calidad educativa en el programa tecnológico de Mantenimiento Aeronáutico de la Esufa, como consecuencia de los procesos de acreditación en alta calidad, realizados en dos oportunidades. Es claro que este aspecto es un requisito para responder a los estándares de calidad para la educación superior exigidos por el MEN, en un contexto donde la formación apunta a un doble propósito: militar y tecnológico.

Así pues, se exponen los principales asuntos vinculados con el tema de calidad, para proponer planes de mejoramiento y superar las dificultades que contribuyan al logro del propósito deseado por la institución. En el análisis cualitativo se determinarán las categorías conceptuales más repetidas por los entrevistados (cultura de autoevaluación, acreditación del programa, propuesta curricular, investigación, aspectos relacionados con la admisión, selección y permanencia de los

estudiantes, proyecto de calidad educativa, organización del conocimiento, asuntos relacionados con la pretensión formativa de la escuela, espacios virtuales, relación del análisis con el marco teórico), en torno a la pregunta focal de la entrevista.

Para Bricall (2000), el concepto de calidad se base en la excelencia y distinción. Se considera que una universidad tiene calidad en la medida en que se distinga en algunas de sus características como los profesores, los estudiantes, los recursos financieros, el precio de sus matrículas, sus instalaciones, su historia, o simplemente su fama y reconocimiento públicos; con la conformidad de un programa, con unos estándares previos mínimos de calidad manifiesta en los procesos de acreditación, como la adecuación a un objetivo o finalidad. Así entendida, se relaciona con la eficacia en conseguir los objetivos institucionales y la aptitud para satisfacer las necesidades de los destinatarios o clientes.

El requerimiento de la calidad en el programa de Mantenimiento Aeronáutico ha logrado suscitar hoy la mayor atención para satisfacer necesidades y expectativas de la demanda, al expresar los entrevistados que se sienten atraídos y comprometidos con el programa por el sello de calidad que se percibe en los procesos realizados.

Conclusiones

Se puede observar que el modelo académico de la Esufa ha sufrido un impacto positivo como consecuencia del proceso de acreditación y autoevaluación, aspecto que ha gestado estándares de calidad adecuados y reconocidos por la Fuerza y la comunidad académica en general.

El trabajo de investigación hace un aporte al conocimiento, toda vez que muestra las características y aspectos de la formación militar y la complejidad que constituye para la Esufa responder por una formación tecnológica y militar de manera simultánea. Así mismo, permite comprender que son dos tipos de formación diferentes y poco conciliadoras en lo que se refiere a las estrategias metodológicas.

Para la Esufa, el concepto de calidad es concebido de acuerdo con los parámetros establecidos por el MEN; la institución conoce y propende hacia la aplicación de dichas políticas. Sin embargo, teniendo en cuenta los resultados de la entrevista, se observa que por ser una institución de carácter militar, se establecen prioridades a los procesos de formación militar, en cuanto esto es la función misional.

El programa de Mantenimiento Aeronáutico ha sido afectado positivamente en cuanto se han evidenciado cambios en la autoevaluación institucional, en la selección de estudiantes, en el mejoramiento de la infraestructura, en la adecuación de la malla curricular con la misión de la Fuerza Aérea Colombiana, el mejoramiento de los procesos de investigación, el bienestar estudiantil, la ampliación de la práctica de área, entre otros.

Los mismos factores cambiantes se constituyen en verdaderas fortalezas del programa. No obstante lo afirmado, aún existen aspectos que requieren mejora, como la selección

e incorporación de docentes, el estatuto docente, la posibilidad de tener asignaturas electivas, la movilidad estudiantil, el hecho de generar niveles de autonomía de la formación tecnológica respecto al régimen interno y la formación militar.

Referencias

- Acreditación. (2011). Informe de Autoevaluación. Escuela de Suboficiales Fuerza Aérea Colombiana CT. Andrés M. Díaz., Madrid. Madrid: autor.
- Álvarez, M. (1998). Calidad total: su idoneidad como estrategia de gestión del cambio en la educación superior (tesis). Bilbao, España.
- Arranz, P. (2007). Los sistemas de garantía de calidad en educación superior en España. Propuesta de un modelo de acreditación para las titulaciones de grado de empresa (tesis doctoral). Universidad de Burgos, España.
- Chaparro, F. (2008). Evolución de la acreditación de alta calidad en Colombia 1998-2008. Bogotá: Consejo Nacional de Acreditación [CNA].
- Consejo nacional de Acreditación [CNA] (2011). Informe de actividades 2010 en el contexto de la evolución 1998 - 2010. Bogotá: autor.
- Llanio, G., Dopico, I. y Suros, E. (2011). Evaluación del impacto de los procesos de Acreditación. Variables e indicadores. Pedagogía Universitaria, XVI(1), 6.
- Londoño, M. M. (2010). Manejo social del riesgo. Desigualdades sociales en educación: políticas sociales frente a la equidad en la educación pública, básica y media en Colombia 2002-2009. Bogotá:
- Londoño, M. M. (2010). Desigualdades sociales en educación: políticas sociales frente a la equidad en la educación pública, básica y media en Colombia 2009. Bogotá.
- Márquez, A. (2004). Calidad de la educación superior en México. Revista Mexicana de Investigación Educativa, 9(21), 477-500.
- Mejías, A. y Cobo, M. (2007). La autoevaluación: una iniciativa para la gestión de la calidad en educación superior. Industrial, XXXIII(3), 35-39.
- Misas, G. (2004). La educación superior en Colombia: análisis y estrategias para su desarrollo. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Nussbaum, M. S. (2000). La calidad de vida. México D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Plan Decenal de Educación Nacional, 2006-2016. (2012). PNDE. Plan Decenal de Educación Nacional, 2006 - 2016, pacto social por la educación. Recuperado el 26 de 2012, de <http://www.plandecenal.edu.co>
- Plan Nacional de Desarrollo, 2010-2014. (2012). DPN.
- Departamento Nacional de Planeación. Recuperado el 26 de noviembre de 2012, de <http://www.dnp.gov.co>.
- Roa, A. (2002). Hacia un modelo de aseguramiento de la calidad en la educación superior en Colombia: estándares básicos y acreditación de excelencia.
- Rodríguez, E., Pedraja, R. I., Araneda, C., González, M. y Rodríguez, J. (2011). El impacto del sistema de aseguramiento de la calidad en el servicio entregado por las instituciones privadas en Chile. Ingeniare.
- Sarni, M. (2005). El sistema educativo del ejército. En Educar para este siglo. Buenos Aires: Dunken.
- Sen, A. (2000). Introducción. En El desarrollo como libertad. Barcelona: Planeta.
- Terreros, O. (2012). Esufa: "Quijotes en la Educación de la FAC". TecnoEsufa.
- Universidad Nacional De Colombia (2006). Los indicadores de equidad en el sistema educativo: una aproximación teórica. Bogotá: Ministerio de Educación Nacional MEN .
- Viviescas, L. y Romero, D. (2012). Boletín estadístico 2012. Bogotá: Consejo Nacional de Acreditación [CNA].





Recubrimientos de carburos de metales de transición obtenidos por difusión termo-reactiva

Coatings of transition metal carbides obtained by thermo-reactive diffusion

■ Fechas de recepción: 17 de marzo de 2015

■ Fecha de aprobación: 30 de julio de 2015



ALEJANDRO ORJUELA G.*
ROSA RINCÓN R. **

Resumen

Los recubrimientos duros sobre aceros para obtener una superficie que resista a la abrasión, el impacto y la corrosión tienen gran importancia para la industria; existen diferentes técnicas para depositar estos recubrimientos, como pulverización catódica (magnetron sputtering), proyección térmica por plasma, deposición por láser pulsado y difusión termo-reactiva (TRD) entre otras. En este artículo se describe en qué consiste el proceso TRD y cómo algunos de los recubrimientos formados sobre los metales logran protegerlos contra la corrosión. Además, se da a conocer la dureza y adherencia que ofrecen los recubrimientos de carburo de niobio y vanadio depositados sobre aceros AISI 1045, AISI H13 y AISI D2.

PALABRAS CLAVES: difusión termo-reactiva, carburos, corrosión, desgaste, dureza.

Abstract

Hard coatings deposited on steel to obtain a surface that resists abrasion, impact and corrosion are of great importance for the industry. There are different techniques for depositing these coatings, such as magnetron sputtering, plasma thermal spraying, pulsed laser deposition and thermo-reactive diffusion (TRD). This article describes what the TRD process is and how some coatings deposited on metals protect them against corrosion. Furthermore, the hardness and adhesion of niobium and vanadium carbide coatings deposited on AISI 1045, AISI H13 and AISI D2 steels is described.

Keywords: Thermo-reactive diffusion, carbides, corrosion, wear, hardness.

*Alejandro Orjuela G. MSc. Ingeniería mecánica. Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Ingeniería Mecánica. Bogotá, Colombia. Docente Fundación Universitaria Los Libertadores. Facultad de Ingeniería. Bogotá, Colombia. faorjuelag@unal.edu.co faorjuelag@libertadores.edu.co

**Rosa Rincón R. MSc. Desarrollo sostenible y medio ambiente Universidad de Manizales. Colombia. Docente Fundación Universitaria Los Libertadores. Facultad de Ingeniería. Bogotá, Colombia. ririnconr@libertadores.edu.co

Introducción

Es de suma importancia para el sector aeronáutico, aeroespacial, automotriz, industrial y electrónico, mejorar propiedades como la resistencia al desgaste, la dureza y la resistencia a la corrosión, en las herramientas y elementos de máquinas que soportan cargas de desgaste, ya que un fallo provocado por deterioro haría necesario el mantenimiento, la reposición de la pieza y causaría retrasos en la producción y riesgos en la seguridad, lo que se traduce en pérdidas económicas (Galvele y Duffó, 2006). Los procesos corrosivos y de desgaste en los metales implican grandes pérdidas materiales que en países desarrollados alcanzan el 4% del producto interno bruto (PIB) (Koch, 2002). Esto revela la necesidad de desarrollar estrategias de protección para los aceros empleados en la fabricación de componentes de maquinaria, como ejes, manivelas, pasadores, tuercas, cadenas, cigüeñales, bielas, componentes de válvulas, trenes de aterrizaje, pistones neumáticos y álabes de turbinas; de tal forma que se aumente su vida útil y se evite el incremento de gastos.

Una de las formas empleadas para lograr que los metales tengan un mejor desempeño cuando son sometidos a condiciones agresivas como abrasión, corrosión y altas temperaturas es la aplicación de recubrimientos con capas de materiales duros de tipo cerámico como óxidos, boruros, nitruros o carburos de metales de transición.

Algunas de las técnicas adecuadas para depositar películas delgadas son la deposición química en fase vapor (CVD), la deposición física en fase vapor (PVD), la proyección térmica combustible-oxígeno de alta velocidad (HVOF) y la deposición difusión termo-reactiva (TRD) (Koch, 2002).

El proceso TRD fue originado en 1968 por Tohru Arai, un ingeniero japonés. Esta consiste en depositar capas de carburo de 1 a 15 μ m sobre la superficie de aceros con porcentajes mayores al 0,3% de carbono, realizando una inmersión del acero en un baño de sales (Arai y Komatsu, 1977; Arai, 1979). Este proceso fue llamado Toyota Diffusion (TD) en Japón, Thermal Diffusion (TD) en Estados Unidos y finalmente Thermo-Reactive Deposition and Diffusion (TRD) o deposición por difusión termo-reactiva (Glowachand, Z., & Jastrzebowski, 1984).

Una vez conocida la técnica TRD para generar capas de carburos con un buen comportamiento frente a la corrosión (Arai, 1979), se popularizó su aplicación, dada la inversión de capital relativamente baja y los costos de operación, en comparación con las técnicas CVD y PVD, que requieren el uso de reactores y sistemas de alto vacío o equipos muy específicos como en la técnica HVOF (Chen, F., & Lee, 1998). De acuerdo con los resultados de investigaciones realizadas, los recubrimientos que se obtienen por medio de TRD muestran excelente adherencia al sustrato, bajo coeficiente de fricción, alta dureza y buena resistencia a la corrosión (Sen y Sen, 2008; Gee et al., 2003; Orjuela, 2013; Orjuela, Rincón y Olaya, 2014).

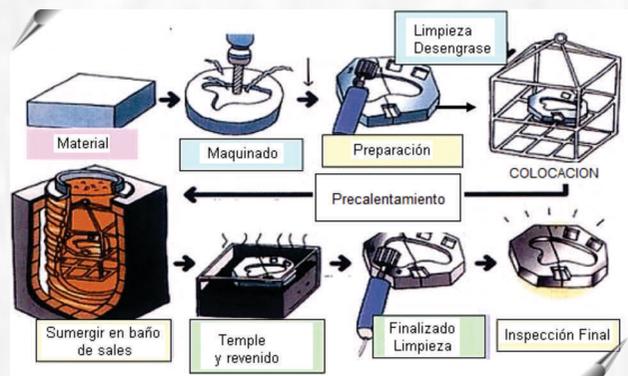
A continuación se explica en qué consiste el proceso de TRD para depositar carburos o boruros y cómo se evalúa la resistencia a la corrosión de estos recubrimientos. Se describen además las principales propiedades que tienen los recubrimientos de carburo de niobio y carburo de vanadio depositados sobre aceros para herramientas.

Proceso de deposición por difusión termo-reactiva

El proceso TRD inicia con la preparación del acero usado como sustrato, para eliminar la rugosidad y los contaminantes de la superficie, ya que esto influye en la adherencia de las capas; posteriormente se sumerge el acero en un baño de sales, donde está disuelto el elemento formador de carburo que se quiera implantar. Como elemento formador generalmente se utilizan ferroaleaciones de vanadio, niobio o cromo (Oliveira et al., 2006). La temperatura del baño de sales durante el proceso puede ser la correspondiente a la temperatura de austenización del acero, con lo cual es posible templar el sistema sustrato-recubrimiento y luego llevarlo a un proceso de revenido para mejorar la tenacidad del acero recubierto. El diagrama del proceso se ilustra en la figura 1.

Con la técnica TRD se han tratado aceros de herramientas incluidos AISI-A2, AISI-D2, AISI-H13, AISI 1040, 4340, D6, O1 y W1 con muy buenos resultados (C. K. N. Oliveira, 2006; Páez y Navarrete, 1997).

Figura 1. Proceso de deposición por difusión termo-reactiva



Fuente: Orjuela, 2013

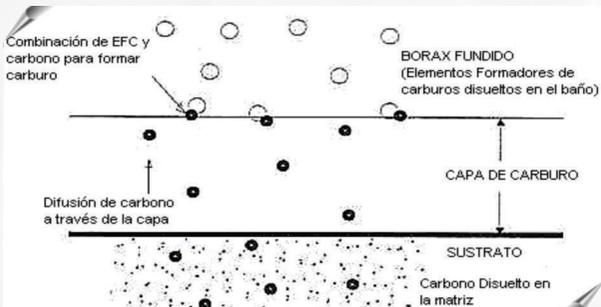
Formación de las capas

Las capas duras son formadas por reacción entre los átomos de Carbono que se difunden desde el acero usado como sustrato y los átomos del elemento formador de carburo que se quiera implantar, como vanadio, niobio o cromo. Estos elementos formadores de carburo (EFC) se adicionan en forma de ferroaleación en polvo dentro del baño fundido de bórax. Como se muestra en la figura 2, el Carbono libre en el acero se combina con el EFC para producir la capa superficial dura. La capa crece a medida que el carbono del sustrato llega a la superficie para reaccionar con los átomos del EFC, para obtener finalmente y dependiendo del EFC, capas compuestas de carburos de niobio (NbC), carburos de vanadio (VC), etc., sobre la superficie del acero (Páez y Navarrete, 1997).

Debido a que el crecimiento de la capa depende de la difusión de carbono, el proceso requiere relativamente alta temperatura, entre 800 y 1250 C y un tiempo de inmersión de 0,5 a 10 horas. (Páez y Navarrete, 1997; Aghaie-Khafri, M., & Fazlalipour, 2008; Tang et al., 1997; Arai et al., 1991).

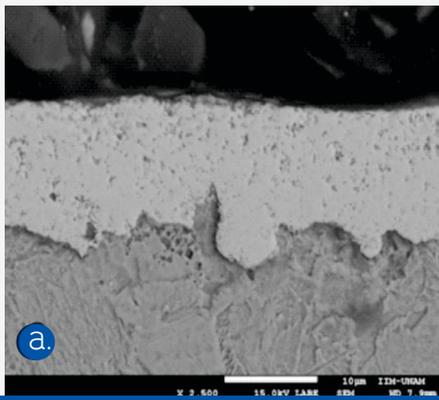
En la figura 3 se observan las micrografías obtenidas por microscopia electrónica de barrido (SEM.) de algunas de las capas generadas por medio de la técnica TRD en estudios realizados por los autores del presente trabajo.

Figura. 2. Mecanismo de formación de la capa de carburo

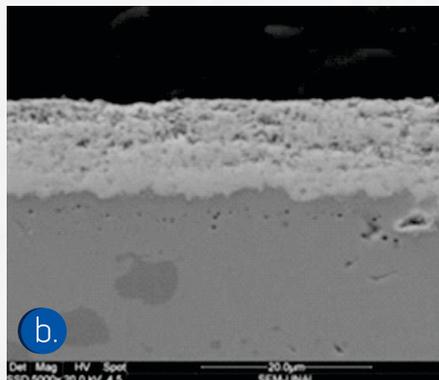


Fuente: Páez y Navarrete, 1997

Figura. 3. Imágenes SEM de la sección transversal de las capas de carburo de niobio depositado usando TRD sobre a) acero AISI 1045 y b) acero AISI D2



Fuente: Orjuela, A., Rincón, R y Olaya, J.J. 2014



Fuente: Orjuela, A., Rincón, R y Olaya, J.J. 2014

Resistencia a la corrosión

La corrosión es la interacción entre un material, usualmente un metal, y su medio ambiente, el cual causa un deterioro en el metal a través de reacciones químicas o electroquímicas. El caso de la corrosión electroquímica del acero, una de las formas más frecuentes de corrosión, implica el transporte de electricidad a través de un electrolito (sal, álcali o ácido disuelto en agua). Las causas más frecuentes de esta corriente eléctrica son la presencia de fases diferentes de una misma aleación, presencia de óxidos conductores, diferentes grados de aireación de una pieza metálica, etc., los cuales generan en el metal zonas de diferente potencial; es decir, aparecen zonas anódicas y zonas catódicas con un potencial eléctrico negativo y positivo, respectivamente, sobre la superficie metálica, lo que convierte al metal junto con el electrolito en una pila electroquímica (Groysman, 2010).

En los electrodos de la pila ocurren dos tipos de reacción simultáneamente. En la zona anódica se lleva a cabo la reacción de oxidación. Hay una pérdida o liberación de electrones como consecuencia del paso del hierro a su forma iónica, que se representa con la siguiente reacción:

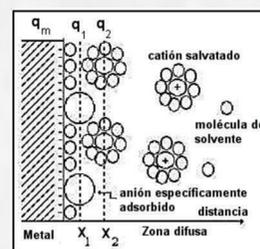


Donde M es el metal y n es la cantidad de electrones que actúan dentro de la reacción. En la zona catódica se lleva a cabo la reacción de reducción, en la cual los electrones producidos en el ánodo fluyen hacia la zona catódica y se combinan con determinados iones presentes en el electrolito. En este proceso hay una ganancia de electrones. La reacción es la siguiente.



Las reacciones de oxidación y reducción ocurren en la frontera entre el metal y un electrolito. Esta región se conoce como doble capa electroquímica y actúa como un condensador. La figura 4 representa la formación de esta doble capa. Las cargas eléctricas del electrodo q_m y de la solución q_s serán siempre iguales y de signos opuestos; por lo tanto, la interfase es eléctricamente neutra. La carga en el metal q_m corresponde a un exceso o a una deficiencia de electrones, según sea el signo de la carga, y está ubicada en una capa muy delgada en la superficie del metal. La carga de la solución q_s está determinada por un exceso, ya sea de cationes o de aniones en la cercanía del electrodo (Groysman, 2010).

Figura 4. Representación de la doble capa eléctrica.



Fuente: Groysman, 2010

La capa de carburo depositada por TRD en la superficie del metal aísla el ánodo, es decir, impide el contacto del metal con el electrolito, aspecto que disminuye el efecto corrosivo de esta interacción. La porosidad de las capas es importante, ya que cualquier poro presente creará una zona anódica pequeña, donde se concentrará la corrosión de forma localizada perforando el metal.

La resistencia a la corrosión de los recubrimientos se evalúa usando las técnicas de polarización potenciodinámica y espectroscopia electroquímica de impedancia (EIS). Para simular las condiciones de corrosión, se sumergen las muestras del acero recubierto en una solución salina al 3,0 ; así mismo, una muestra sin recubrimiento para poder comparar el comportamiento frente a la corrosión en solución salina (A.S.T.M. International, (2011)

Análisis de la resistencia a la corrosión

Polarización potenciodinámica

Esta técnica permite caracterizar un metal según su correspondiente relación corriente-potencial. En esta el potencial del metal es barrido lentamente en la dirección positiva (sentido anódico). El medio corrosivo puede o no favorecer la formación de una capa de óxido. La velocidad de corrosión se determina midiendo la corriente que circula por el sistema formado por el metal, el electrodo auxiliar, las conexiones eléctricas y el medio electrolítico. Un metal en contacto con un líquido corrosivo sin estar conectado a ninguna clase de instrumentación asume un potencial llamado potencial de corrosión, E_{corr} (relativo a un electrodo de referencia). El espécimen a este potencial E_{corr} tiene presentes ambas corrientes anódicas y catódicas, y la suma algebraica de estas corrientes es igual a la corriente total del circuito. Sin embargo, como no pueden medirse estas corrientes de forma individual y ambas son de igual magnitud, la corriente resultante medida por el potencióstato es igual a cero. Según esto, podemos definir E_{corr} como el potencial al cual la tasa de oxidación y la tasa de reducción son exactamente iguales y se da el proceso de corrosión.

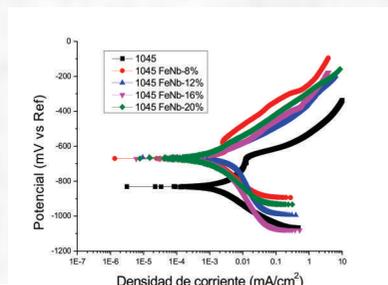
Experimentalmente se miden las características de polarización al graficar la respuesta de la corriente en función del potencial aplicado y como este potencial puede variar en órdenes de magnitud, usualmente se utiliza el logaritmo de la corriente, que es llamado gráfico de polarización potenciodinámica.

La figura 5 muestra los resultados de las curvas de polarización para acero AISI 1045 sin recubrir y para el acero recubierto a través de la técnica TRD. En este caso se escogió como ferroaleación el ferroniobio, y se varió su composición del 8 al 20 wt (Orjuela et al., 2014).

En general, los recubrimientos de carburo de niobio mejoran la resistencia a la corrosión del acero, que se evidencia en el incremento en el valor de potencial de corrosión que presentan las muestras recubiertas comparadas con la muestra sin

recubrimiento. Igualmente, refleja que la variación del porcentaje de ferroaleación para los recubrimientos de carburo de niobio sobre acero AISI 1045 no influye de manera determinante en la resistencia a la corrosión del sistema sustrato-recubrimiento.

Figura 5. Curvas de polarización potenciodinámica de las capas de CNb depositadas sobre acero AISI 1045



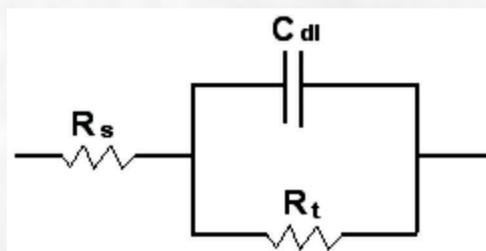
Fuente: Orjuela, A., Rincón, R y Olaya, J.J, 2014

Espectroscopia de impedancia electroquímica

La técnica EIS simula las condiciones en las que se genera corrosión electroquímica. En el procedimiento experimental se aplica una señal de potencial al electrodo y se mide su respuesta en corriente a diferentes frecuencias; el equipo procesa las mediciones y da como resultados los valores de impedancia correspondientes a cada frecuencia estudiada. La relación entre los valores de impedancia y los valores de frecuencia se conoce como el "espectro de impedancias". Los espectros de impedancia obtenidos son analizados mediante circuitos eléctricos que están compuestos por resistencias, capacitancias, inductancias, etc., que se combinan de tal forma que reproducen los espectros de impedancias medidos. A estos circuitos se les denomina circuitos equivalentes (CE).

Una reacción electroquímica sencilla se puede representar por medio del circuito equivalente denominado circuito de Randles (Castela y Simoes, 2003), el cual es presentado en la figura 6.

Figura 6. Circuito de Randles.

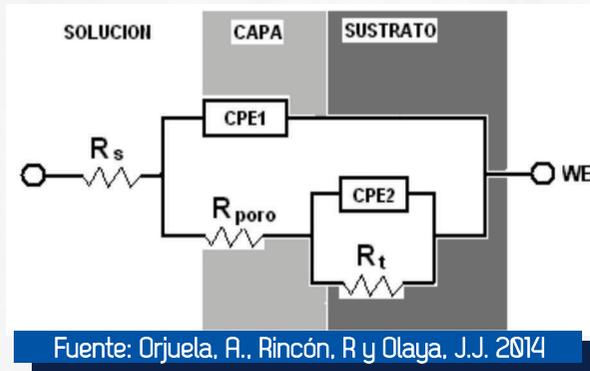


Fuente: Castela y Simoes, 2003

En este circuito equivalente, R_s representa la resistencia del electrolito; R_{tc} es la resistencia a la transferencia de carga y C_{dl} es un capacitor que representa la doble capa eléctrica en la interfase electrodo solución. Si se conoce la resistencia de polarización, se puede calcular la velocidad de la reacción electroquímica.

Para llevar a cabo esa prueba, las muestras del acero AISI 1045 recubiertas se sumergen en una solución salina durante varias horas (Orjuela, A., Rincón, R y Olaya, J.J. 2014). El circuito equivalente empleado es el que se muestra en la figura 7.

Figura 7. Circuito equivalente para las capas de carburo depositadas



Este circuito tiene en cuenta los procesos de corrosión, tanto en el sistema recubrimiento-electrolito, como en el sistema recubrimiento-sustrato. Donde R_s es la resistencia de la solución, R_{poro} es la resistencia a la transferencia de carga para la porosidad del recubrimiento; CPE1 es el elemento de fase constante del recubrimiento; CPE2 es el elemento de fase constante de la doble capa entre el sustrato y la solución, y R_t es la resistencia a la transferencia de carga en la interfaz sustrato-recubrimiento (Orjuela, A., Rincón, R y Olaya, J.J. 2014).

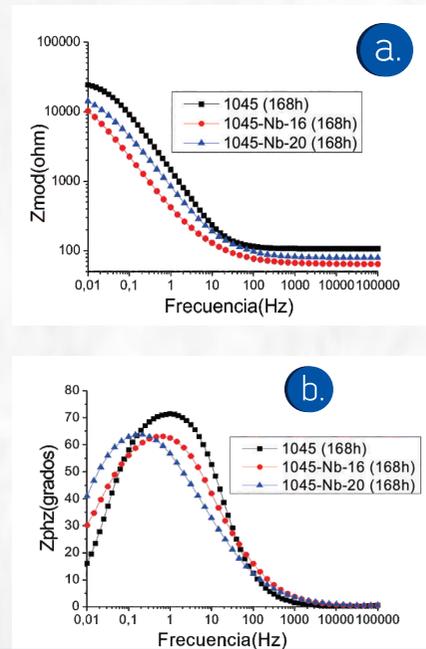
Estudios realizados por los autores (Orjuela, A., Rincón, R y Olaya, J.J. 2014) muestran algunos resultados interesantes respecto al comportamiento electroquímico. Las mediciones de EIS que se muestran en la figura 8 corresponden a la comparación de los resultados obtenidos después de 168 horas de inmersión para el acero AISI 1045 sin recubrir y las muestras recubiertas con 16 y 20 de niobio, las cuales ofrecieron mejor protección contra la corrosión respecto a menores porcentajes de ferroaleación. Se observa que el incremento en la concentración de la ferroaleación hace que las curvas de ángulo de fase vs. frecuencia tiendan a un ángulo de fase alto a bajas frecuencias, y de esta manera se obtiene una baja corriente de corrosión, lo cual evidencia que la presencia de la capa mejora la resistencia a la corrosión del acero AISI 1045, comparada con el acero sin recubrir. Sin embargo, la efectividad de la protección disminuye con el tiempo. Pasadas 24 horas, el ángulo de fase tiende a disminuir; esto puede ocurrir debido a la presencia de poros en la capa, los cuales de acuerdo con los análisis realizados se van incrementando con el tiempo y permiten que el electrolito penetre al sustrato y se genere el proceso de corrosión (Orjuela et al., 2014).

Propiedades de las capas obtenidas por difusión termo-reactiva

La adherencia de la capa al sustrato también es clave para garantizar la efectividad de la protección a través del tiempo. Con la técnica TRD se logra una buena adherencia de las capas, comparable con la adherencia que se consigue con la técnica

magnetron sputtering y deposición por láser pulsado reportada en otras investigaciones (Tang et al., 1997; Arai et al., 1991). El nivel de adherencia se valora conociendo la carga más baja (carga crítica) a la cual el recubrimiento presenta algún tipo de falla. Pruebas de rayado realizadas en recubrimientos de carburo de niobio sobre acero AISI D2 permitieron determinar cargas críticas de 76,5 N, con un comportamiento dúctil en la huella de rayado sin delaminación general de las capas, lo que corrobora la excelente adherencia a los sustratos (Orjuela, 2013).

Figura 8. Comparación de diagramas de Bode para AISI 1045 sin recubrir, 1045-Nb-16 y 1045-Nb-20



Por otro lado, estudios realizados muestran que el desgaste presentado en capas de carburos depositadas sobre aceros AISI H13 y D2 es de tipo abrasivo y por adhesión. La mejor resistencia al desgaste se obtuvo en capas de carburo de niobio depositadas sobre aceros de alto carbono como el acero AISI D2 (Orjuela, 2013).

La alta dureza es otra característica de las capas obtenidas con la técnica TRD (Sen y Sen, 1998; Orjuela, 2013; Arai et al., 1991). Así, algunos análisis de dureza llevados a cabo mostraron resultados de 2372 93 HV y 2461 112 HV para el NbC y para el UC, respectivamente, depositados sobre acero AISI D2 (Oliveira et al., 2006).

Otras aplicaciones de la técnica por difusión termo-reactiva

Frente a las perspectivas que presenta la técnica TRD se han planteado dentro del semillero de investigación en materiales Simat, adscrito al grupo Gimad del programa de Ingeniería Mecánica de la Fundación Universitaria Los Libertadores, otros proyectos de investigación que permiten caracterizar los recubrimientos obtenidos. Uno de los proyectos formulados pretende analizar el desgaste de una broca policristalina de

diamante compacto (PDC) con cortadores recubiertos con carburos ternarios, y otro proyecto busca medir el desgaste en herramientas de corte (buriles e insertos para torno y fresadora) recubiertas con capas depositadas mediante esta técnica, aprovechando los excelentes resultados en adherencia y dureza observados en las investigaciones realizadas por el semillero y por los autores del presente trabajo.

En el sector aeronáutico existen algunas aplicaciones en las que los componentes han de soportar elevadas temperaturas en atmósferas oxidantes. La técnica TRD para depositar recubrimientos duros en componentes de válvulas, trenes de aterrizaje, pistones neumáticos y álabes de turbinas representa un importante campo de investigación.

En general, la aplicación de recubrimientos duros a partes útiles a la industria, que busca incrementar su dureza y resistencia a la corrosión, aumentar la resistencia al desgaste y a la fatiga para lograr un incremento en la vida útil de dicha parte, es un tema atractivo en los nuevos materiales.

Conclusiones

La técnica TRD es ampliamente utilizada para depositar recubrimientos en aceros por la facilidad en las condiciones de trabajo y el bajo costo de los equipos utilizados; así mismo, permite depositar capas duras de carburo de niobio y carburo de vanadio con durezas mayores a 20 Gpa y con una excelente adherencia sobre aceros para herramientas y aceros estructurales como el AISI 1045.

Los resultados obtenidos de los ensayos de polarización potenciodinámica y de EIS evidencian que los recubrimientos obtenidos por la técnica TRD protegen al metal contra la corrosión, la cual se ve afectada por los poros que se forman sobre la capa.

Finalmente, la técnica TRD muestra ser una técnica con importante valor investigativo dentro del ámbito de la protección ante el desgaste y la corrosión, y se presenta como una alternativa económica para el desarrollo de nuevas aplicaciones tecnológicas en el país.

Referencias

- Aghaie-Khafri, M. y Fazlalipour, F. (2008). Vanadium carbide coatings on die steel deposited by the thermo-reactive diffusion technique. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 69(10), 2465-2470.
- Arai, T. (1979). Carbide coating process by use of molten borax bath in Japan. *J. Heat Treat*, 18(2), 15-22.
- Arai, T. y Komatsu, N. (1977). Carbide coating process by use of salt bath and its application to metal forming dies. *Proceedings of the 18th International Machine Tool Design and Research Conference*, 225-231.
- Arai, T., Toyota Central Research and Development Laboratories, Inc., S. H., Arvin TD Center y Arvin Industries. (1991). Thermoreactive Deposition Diffusion process for surface hardening of steels. Park, OH, USA: ASM Handbook, 447-448.

- A.S.T.M. International, ASTM Standard G52, (2011), Standard Practice for Exposing and Evaluating Metals and Alloys in Surface Seawater. West Conshohocken: Autor.
- Castela, A y Simoes, A. (2003). An impedance model for the estimation of water absorption in organic coatings. Part I: A linear dielectric mixture equation. *Corrosion Science*, 2003, (45), 1631-1646.
- Chen, F. y Lee, P. (1998). Thermal reactive deposition coating of chromium carbide on die steel in a fluidized bed furnace. *Materials Chemistry and Physics*, 53, 16-21.
- Galvele, J. R. y Duffó, G. F. (2006). Degradación de materiales corrosión (1ra. edición). Buenos Aires: Jorge Baudino Ediciones.
- Gee, M. G., Gant, A., Hutchings, I., Bethke, R. et al. (2003). Progress towards standardisation of ball cratering. *Wear*, 255, (1), 1-13.
- Glowachian, Z. y Jastrzebowski, K. (1984). Karbidbildungen und- umwandlungen beim vanadieren. *Neue Hütte*, 29(6), 220-222.
- Groysman, A. (2010). *Corrosion for everybody*. New York: Springer. pp.2-15.
- Guzman, A. (2011). Evaluación de la resistencia a la corrosión de sistemas de recubrimientos con altos sólidos por medio de espectroscopia de impedancia electroquímica (sin publicar). Medellín: Universidad nacional de Colombia.
- Koch, G. H., Brongers, M. P. H., Thompson, N. G., Uirmani, Y. P. y Payer, J. H. (2002). *Corrosion costs and preventive strategies in the United States*. Virginia: Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.
- Orjuela, A. (2013). Resistencia a la corrosión en recubrimientos de carburo de vanadio y carburo de niobio depositados con la técnica TRD. (sin publicar). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Orjuela, A., Rincón, R. y Olaya, J. J. (2014). Corrosion resistance of niobium carbide coatings produced on AISI 1045 steel via thermo-reactive diffusion deposition. *Surface and Coatings Technology*, 259, Part C, 667-675. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.10.012.
- Oliveira, C. K. N., Riofano, R. M. M. y Casteletti, L. C. (2006). Micro-abrasive wear test of niobium carbide layers produced on AISI H13 and M2 steels. *Surface and Coatings Technology*, 200(16), 5140-5144.
- Páez, J., & Navarrete, U. (1997). Formación de capas de carburos utilizando bórax fundido y ferroaleaciones (sin publicar). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Sen, S. y Sen, U. (2008). Sliding wear behavior of niobium carbide coated AISI 1040 steel. *Wear*, 264(3, 4), 213-219.
- Tang, J., Zabinski, J. S. y Bultman, J. E. (1997). TiC coatings prepared by pulsed laser deposition and magnetron sputtering. *Surface and Coatings Technology*, 91(69), 242-247.



Herramientas de empaque, embalaje y manejo de mercancías peligrosas para la Dirección de Comercio Exterior de la Fuerza Aérea Colombiana *

Packaging tools, packaging and handling of dangerous goods submitted to the Foreign Trade of the Colombian Air Force

Fechas de recepción: 04 de Junio 2015
Fecha de aprobación: 30 de julio de 2015

POR: DIANA PATRICIA CARRILLO CASTILLO.**

Resumen

El empaque y embalaje son dos de los procesos más importantes en la cadena logística, que buscan la protección de las mercancías mediante un transporte en condiciones óptimas a su destino. Por esta razón, es necesario revisar lo que se ha planteado frente a esta temática y establecer el posible empleo dentro de la institución. Esto se puede lograr tomando como referencia diferentes técnicas y procedimientos establecidos en la teoría y en la práctica. El propósito de este artículo es revisar y actualizar las herramientas de las áreas de clasificación y distribución de la Dirección de Comercio Exterior (Dicex) para el manejo de empaque y embalaje del material aeronáutico y mercancías peligrosas enviado a las unidades de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) y otras unidades militares (Armada y Ejército Nacional), teniendo como base principal las nuevas tecnologías utilizadas por la industria aeronáutica, la conducción eficiente de recursos financieros y humanos, y la fluidez en la cadena de distribución de material procedente. Esto con el fin de mejorar los tiempos de respuesta logística teniendo en cuenta los procesos actuales a nivel mundial y los requisitos técnicos, legales y ambientales guiados por diferentes decretos, normas, guías y cartillas nacionales e internacionales. Así, se pretende plantear la manera para reducir los tiempos y movimientos, a partir de la medición de tareas, fatiga, demoras personales y retrasos inexcusables propios del método de trabajo utilizado por Frederick Taylor en el siglo XIX., empleado con el desarrollo de la revolución industrial y que ha tenido gran acogida en el sector empresarial.

PALABRAS CLAVES: Dirección de Comercio Exterior FAC, clasificación de carga empaque, embalaje y herramientas industriales.

Abstract

Packaging and packing are two important processes in the supply chain because they seek to protect the goods when transporting them to the destination in optimal conditions. Therefore it is necessary to review what has been raised in relation to this issue and to establish possible uses within the institution. This can be achieved by referring to different established techniques and procedures both in theory and practice. The purpose of this article is to review and update the packing and packaging tools for the sorting and distribution areas of the Foreign Trade Department (DICEX) for handling and packing aeronautic equipment and dangerous goods of Colombian Air Force (FAC) and other military units (Navy and Army), with basis mainly on the new technologies used in the aviation industry, the efficient management of human and financial resources and the fluency in the chain of distribution of proper materials. This in order to improve logistics response times taking into account current global processes and the technical, legal and environmental requirements guided by national and international standards, decrees, and guideline documents. Thus, we propose a way for reducing time and movement, with basis on measuring tasks, fatigue, personal delays and inexcusable delays of the working method used by Frederick Taylor in the nineteenth century, which was used with the development of the industrial revolution and has had great success in the business sector.

Keywords: Directorate of Foreign Trade FAC, load rating packaging, packaging and industrial tools.

*Artículo de Revisión para optar al título de Especialista en Logística Aeronáutica.

**Profesional en Administración de Empresas, Universidad de Cundinamarca. Especialista en Logística Aeronáutica de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana.

Correo: dpcc@hotmail.com

Introducción

El estudio de las herramientas de empaque y embalaje es vital para determinar las mejores prácticas por utilizar en las empresas, el cual involucra transporte y distribución, coordinación e integración de fases y actividades asociadas al flujo de bienes, información y documentación (Frankel y Schmitz Whipple, 1996). Esto indica que dependiendo de la carga se puede determinar qué tipo de manipulación de la mercancía debe realizarse, destacando las siguientes actividades: carga y descarga, embalaje de productos, controles, estibas y desestibas, recuentos, preparación de pedidos, etiquetaje y paletización. Por lo tanto, en el transporte de material aeronáutico y mercancías peligrosas es necesario tener en cuenta que cada uno de los elementos involucrados en el proceso de empaque y embalaje posee características distintas de acuerdo con la clase y naturaleza de la carga.

Este proceso puede establecerse también apoyándose sobre manuales, como por ejemplo el manual de Legis (Moreno Dácila, 2014) que indica mejores prácticas en importación afirmando que entre los riesgos que puede sufrir el embalaje durante el ciclo de distribución están las caídas, golpes, contaminación, contacto con roedores, plagas, robos parciales y completos, o daños por polvo, vibración, compresión, choque lateral, temperaturas extremas y humedad, por lo cual se busca que un empaque proteja el producto en su camino hacia el consumidor (Pérez, 2013).

Adicionalmente, existen instituciones de regulación a nivel internacional en la materia como la Organización Internacional de Normalización ISO 9000 (gestión de calidad), ISO 14001 (gestión ambiental) y la BASC (alianza comercial para el comercio seguro), y se establece que las empresas deben ceñir su gestión de logística con la ISO 9001, OSHAS 18001 (seguridad y salud en el trabajo) y la norma UNE-CR 13908: 2002 (indicadores de gestión logística) sobre requisitos y métodos de medición utilizados para diagnóstico y mejora de procesos logísticos (Liu, 2009).

De forma similar, en cuanto a la manipulación de mercancías peligrosas dependiendo del tipo o categoría de seguridad de la carga, existen empaques y embalajes con características especiales que permiten un manejo y transporte adecuado, amparados con las normas de la Asociación de Transporte Aéreo Internacional (IATA) y las "recomendaciones para el transporte de muestras peligrosas de naciones unidas" (Terragno, 2005). Al hacer una revisión de estas, se puede evidenciar que todas estas normas o regulaciones permiten realizar un empaque y embalaje de forma eficiente y con calidad.

Por otro lado, es posible plantear que a través de los años las empresas, en especial las de transporte como lo son Servientrega, UPS, DHL, se han preocupado por mejorar la calidad de sus empaques, con la optimización de herramientas y la utilización de variada materia prima para el diseño de estos, así como con la utilización de empaques sustentables y ecológicos. Un ejemplo de esto son los "empaques inteligentes que están salvando vidas, previniendo enfermedades, reduciendo costos e impulsando a las marcas de los productos

que contienen" (Harrop, enero de 2004, pp. 1-6). Como lo plantean Villalobos y Erdmann, se puede afirmar que el mejoramiento continuo, como filosofía, es una nueva forma de administrar una organización (Veja y Lorenzini, 1996).

Dentro del campo de la industria aeronáutica se puede poner como ejemplo de ese mejoramiento continuo a la Corporación de la Industria Aeronáutica Colombiana (CIAC), compañía dedicada a la reparación y mantenimiento de aeronaves de la FAC, que para ser una compañía exitosa "realiza estudios y diagnósticos relacionados con la logística aeronáutica con el fin de mejorar los procesos logísticos".

Ahora bien, puede entenderse que la importancia en las diferentes industrias como American Logistic S.A.S., Transcarga Ltda., Fedex, en el cumplimiento de las normas vigentes y la sistematización de procesos efectivos para la entrega a tiempo y en buen estado de las mercancías según su clasificación o naturaleza, se da teniendo en cuenta dos tipos principales de carga, a saber: general, que se refiere a artículos individuales y a granel incluyendo líquido, sólido y ceca (Uillamizar, 20 de agosto de 2010), así como la naturaleza de la carga, la cual se divide en carga perecedera y carga peligrosa (López, 2014). Adicionalmente, el hecho de establecerse estándares de calidad, actualización de procesos e inversión en tecnologías más avanzadas y temas de sostenibilidad ambiental permitirá una entrega exitosa y altamente competitiva.

Dentro de los elementos que se deben considerar en este estudio de tiempos y calidad en la entrega de las mercancías o productos, se encuentra la cadena de valor en la cual los costos de empaque y transporte son fundamentales para definir el tipo de empaque por utilizar (Mollenkopf et al., 2005). Estos tipos de empaque y embalaje también se relacionan con la logística externa asociada con el tipo de almacenamiento de productos finales y distribución física de los mismos (Tovar del Mármol, 24 de octubre de 2012), dentro del almacenamiento de mercancías según su naturaleza o características como repuestos, herramientas, armamento terrestre, armamento aéreo, reparables y mercancías peligrosas se pueden incorporar estrategias que permitan llegar a la efectividad logística con la optimización de espacio, organización y control al centralizar los almacenes como por ejemplo en la FAC, con el diseño de un centro logístico para el Comando Aéreo de Transporte Militar (Floyd, 2008).

Particularmente, en la logística de transporte de la aviación militar de la FAC se tiene como objetivo la minimización de distancia en recorrido vs. el tiempo de entrega con los estándares de calidad; con la planeación de indicadores de desempeño, sistema de información de transporte, infraestructura, diseño y requerimientos organizacionales, y para ello es necesario establecer comunicación y optimización de rutas y operaciones que permitan reducir tiempos y sobrecostos en la movilización de mercancías (Arango, Gil y Zapata, 2009). Adicional, se debe tener en cuenta el desempeño óptimo del personal involucrado, entendiéndose esto como las capacidades, conocimientos y destrezas de los empleados y por supuesto de los directivos de la empresa (Mejía, Bravo y Montoya, 2013). Todo lo anterior relacionado con

la calidad en las entregas de material, y para que esto ocurra se debe realizar una buena gestión en empaque adecuado según el tipo de mercancía, cantidad y tiempo acatando las normas institucionales en apoyo directamente a las operaciones aéreas, las actividades de inteligencia aérea y las acciones de seguridad y defensa de la nación, lo cual se encuentra dentro de los procesos misionales establecidos por la FAC, que hacen parte importante para el cumplimiento de la misión institucional (Rubianogroot, 14 de noviembre de 2006).

Evidenciando que la cadena logística como potencial de la logística en la entrega de un producto puede generar una ventaja competitiva en lo que se refiere a la medición, evaluación y gestión integrada de la misma, varios estudios realizados avalan esta tesis (Campos, Taboada y Chalmeta, 2004) (Beamon, 1999) (Chalmeta y Grangel, 2003). Por lo tanto, debe estar en constante mejoramiento continuo y para esto es importante cada día actualizar los procesos e inyectarle tecnología acorde con las tendencias mundiales.

Por lo anterior, en la Dirección de Comercio Exterior de la FAC, actualmente en el proceso de empaque y embalaje de material aeronáutico y mercancías peligrosas se hace necesario optimizar tiempos, movimientos y calidad debido al gran volumen de carga o material aeronáutico que maneja. Esto se puede lograr con la implementación de nuevas herramientas con avance tecnológico como la pistola de poliuretano de alta presión que permite un alistamiento térmico, bolsas de espuma expandida especiales para productos frágiles instapak quik y bobinador semiautomático móvil que por medio de comandos programados y velocidad realiza la bobinación de un pallet sin manipulación constante. Estas herramientas y estos materiales novedosos de empaque y embalaje son tomados como referencia de empresas que utilizan esta tecnología como los operadores logísticos DHL, Fedex y a nivel industrial Coca-Cola.

Así mismo, con el fin de estudiar una mejora para el proceso de clasificación y distribución que adelanta actualmente la subdirección de control de material (Sucma-Dicex) FAC, se realizó una revisión de actividades, herramientas y procedimientos a nivel industrial con la búsqueda de herramientas más ágiles y tecnificadas que protejan y conserven el material de forma indicada para su transporte de un punto a otro, y permitir así que la entrega de material a las unidades u otras entidades sea más eficiente y oportuna. Con esto se contribuye a un óptimo alistamiento y aporte al mejoramiento del sistema de gestión de calidad en el indicador gestión de materiales del plan estratégico institucional (Fuerza Aérea Colombiana, 2011).

Objetivos

Objetivo general

Identificar herramientas para empaque y embalaje de la carga y manejo de mercancías peligrosas en la Dirección de Comercio Exterior de la FAC, de acuerdo con nuevas actividades empresariales.

Objetivos específicos

1. Enunciar el desarrollo histórico del empaque y embalaje con la revisión de experiencias a través de la historia.

2. Evidenciar el manejo del empaque y embalaje que realizan las personas en las áreas de clasificación y distribución de Dicex-FAC.

3. Identificar las actividades estándar de empaque y embalaje que predominan actualmente en la industria aeronáutica, tanto en carga general como para mercancías peligrosas.

4. Presentar la importancia de la utilización de nuevas herramientas de empaque y embalaje para Dicex.

Metodología

Para el desarrollo de la presente revisión se utilizó un enfoque cualitativo, en el cual se realizó una revisión bibliográfica a través de la consulta a diferentes documentos que van desde las bases de datos hasta fuentes secundarias de información, como lo fueron empresas logísticas DHL, UPS, MRW, Gefco, y se buscó revisar la evolución y nuevas herramientas tecnológicas a nivel industrial sobre logística, cadena de abastecimiento y mercancías peligrosas.

Ahora bien, la consulta de la fuente primaria se realizó en la Dirección de Comercio Exterior de la FAC con el análisis de tiempos y movimientos realizados al personal de clasificadores y distribuidores de material, y de esta manera se obtuvo como resultado nuevas actividades de empaque y embalaje manejadas a nivel nacional e internacional en empresas del sector aeronáutico que utilizan la logística de aprovisionamiento y que son aplicables a la dirección en mención, herramientas que hacen más eficiente el empaque y embalaje.

Desarrollo histórico del empaque y embalaje con la revisión de experiencias a través de la historia

Para contextualizar al lector, es necesario documentar después de una exhaustiva revisión el desarrollo del empaque y embalaje a través de la historia, evidenciando que el hombre consciente o inconscientemente utilizó la logística, trasladando artículos y productos de un lugar a otro, con la utilización de pieles, hierbas entrelazadas, vasijas, barriles, morrales, entre otros, con la finalidad de llevar sus productos en buen estado. Se observa que el hombre desde sus inicios por su necesidad de supervivencia ha tenido que utilizar la logística.

En el año 8000 antes de esta era, se utilizaban las vasijas de arcilla como recipientes; 1550 a. C, hojas de palma para envolver; en 750 d.C los chinos desarrollaron barriles de madera y el desarrollo del papel, en 1550 d. C en Alemania se creó el envoltorio impreso. Posteriormente, en 1700 d. C se da la fabricación de papel por Estados Unidos (Gabriela, 25 de abril de 2013). El hombre a través de la historia siempre ha buscado la innovación y mejora continua.

En 1841, en Estados Unidos, se crean las cajas de cartón de forma manual, y en 1890 aparecen las cajas de cartón impresas. En 1909 aparecen las cajas atadas con alambre para el embalaje a granel, mientras que en 1990 se crea el embalaje de madera (Castillo, Trejo y Muñoz, 2013). De esta manera, es posible evidenciar la evolución de gran variedad de productos utilizados para la protección de mercancías, haciendo parte de un desarrollo logístico para las organizaciones en pro de

mejorar la logística, como Donald Bowersox (1979) al indicar que las empresas buscan solucionar sus problemas de suministro y distribución; así como Sahid (1998) menciona que todos los procesos internos y externos de una organización deben estar integrados mediante la provisión y gestión de los flujos de energía, materia e información, para ser competitiva y en últimas satisfacer las necesidades del consumidor final. En esta misma fecha Douglas, Lambert, Cooper y Pagh la cadena de suministro es la que planifica, implementa y controla el flujo eficiente y efectivo de materiales con el aprovisionamiento y cumplimiento de los requerimientos del cliente; por lo tanto, el movimiento de los bienes debe cumplir con la cantidad adecuada hacia el lugar correcto en el momento apropiado (Franklin, 2004).

Dentro de dicho contexto histórico también es importante observar este tema desde el punto de vista de las guerras mundiales; cómo el empaque y el embalaje fueron parte fundamental en el aprovisionamiento de armas, combustible y comida, lo cual permitía que estos elementos llegaran en condiciones óptimas para su consumo y utilización, como se evidenció durante la Segunda Guerra Mundial. En esta los militares norteamericanos dieron nueva fuerza a una logística mucho más técnica y elaborada por tener que despachar por vía marítima, aérea y terrestre grandes cantidades de suministros, equipos y armas alrededor del mundo (Grizales, 2003). Se puede evidenciar con lo anterior cómo la necesidad de protección a la ciudadanía por medio del campo militar ha permitido el desarrollo de una logística más avanzada y especializada.

Más recientemente, en 1997, en otra parte del mundo nace la distribución física internacional (DFI), que consistía en la logística de sus actividades de llevar un producto de un punto a otro; esta es desarrollada en el siglo XX cuando nacieron las industrias del sector textil, hidroeléctrico, cervecero y cementero. Dentro del contexto nacional, se da un auge en la producción del café y el azúcar. Todo este impulso económico, sumado a las inversiones de Estados Unidos en Colombia (Guisao y Zuluaga, 2011) en las que intervienen varios aspectos importantes de un producto, como precio, competencia, calidad, transporte, negociaciones, costo y tiempo, importadores y exportadores, permitió la evolución de la logística y en especial la aérea de distribución y transporte.

Como resultado de esta evolución, y como se ha ido especificando a través de este escrito, unas de las actividades más importantes que hacen parte de la logística moderna son el empaque y embalaje de un producto, ceñido a unas especificaciones técnicas, dependiendo del tipo y de la naturaleza de la carga, si es general, a granel, carga perecedera, frágil, peligrosa, dimensiones y pesos especiales, así como su etiqueta o marcado y empaque. Esto buscaba proteger el producto desde el productor hasta el consumidor, ya que por la globalización y flujos de comercio e inversiones a nivel mundial se evidencia el manejo estandarizado de mercancías, sin dejar de mencionar el gran avance tecnológico, tanto en información como para la manipulación de la carga. Un ejemplo claro de ello son los embalajes inteligentes con la nanotecnología con la posibilidad de utilizar nano-sensores, que al ser combinados con el embalaje

permiten que este comunique al consumidor productor, y en ocasiones controle características del material embalado, como calidad microbiológica, condiciones de almacenamiento como la humedad, temperatura, luz, etc.

Sumado a esto, en la actualidad las comunicaciones y en especial el Internet le han dado un valor significativo al movimiento de mercancías a nivel mundial porque con solo hacer un clic se abre paso a todo un sistema logístico de aprovisionamiento y distribución (Pau Cos y de Navascués, 1998); aspecto que evidencia cambios y crecimiento en los procesos de comercialización de las empresas que buscan obtener mayor competitividad en un mercado con un mejoramiento continuo en cada eslabón de la cadena logística. Para ello la industria a nivel mundial ha desarrollado herramientas más sofisticadas que hacen que se reduzcan tiempos y movimientos con la minimización de errores y realización del trabajo con mayor calidad y eficiencia, como indicaba Frederick Taylor en el siglo XIX (Téllez y Alcántara, 2009).

En búsqueda de esa mayor eficiencia y tratando de mejorar la competencia de las compañías en la utilización de empaques y embalajes, se plantean estrategias de protección al medio ambiente, con la utilización de nuevos productos que causen menos riesgos a la salud y al ambiente. Para esto existe un sistema integrado de gestión que contempla los requisitos sobre fabricación, composición, la reducción en el uso de materiales, reutilización, recuperación y reciclado, sistemas integrados de gestión de residuos y envases usados, capacitación ambiental y un sistema de información, así como la responsabilidad en la utilización de sustancias químicas y mercancías peligrosas. Estas últimas deben ser fabricadas, transportadas, distribuidas y usadas de forma correcta para evitar efectos desfavorables en los trabajadores, bienes y medio ambiente, aspecto importante para las empresas en el cumplimiento en términos actuales de responsabilidad social, que también se puede indicar como responsabilidad social corporativa (RSC) o responsabilidad social empresarial (RSE). Dichas estrategias se pueden evidenciar con el uso de recicles, y en el campo de productos biodegradables pueden verse los biopolímeros provenientes de fuentes naturales (Navia y Villada, 2013).

Finalmente, se determina en la línea de evolución de los empaques y embalajes un contexto histórico que permite entender cómo la industria debe estar siempre presta a la innovación y desarrollo de productos acordes con las tendencias mundiales en empaque y distribución. Esto da a entender que la tecnología, la economía, la comunicación y el impacto ambiental se perciben con gran sensibilidad e interés, y se permite así el desarrollo social y económico de la industria del empaque y embalaje, cuyo propósito no solo es conservar y transportar un producto, sino el efecto económico y social que esta alcanza (Castillo, Trejo y Muñoz, 2013).

Manejo del empaque y embalaje que realizan las personas en las áreas de clasificación y distribución de Dicex-FAC

Ahora bien, tras haber realizado una breve contextualización histórica es preciso abordar el caso del empaque y embalaje

dentro de la FAC. Lo primero que se debe tener en consideración es el gran volumen de material aeronáutico y manejo de mercancías peligrosas que maneja actualmente el área de clasificación y distribución de material de la subdirección de control material de la Dirección de Comercio Exterior de la FAC, como lo son cinco toneladas mensuales aproximadamente, que van destinadas para las bases aéreas y unidades militares, tanto nacionales como internacionales. Esto implica que las personas que interactúan con el material realicen un sin número de actividades repetitivas y de gran responsabilidad, ya que si al ya que si al embalar o empacar un material se realiza de forma incorrecta, este puede sufrir golpes y caídas, y causar de esta manera que la carga no llegue a su destino en forma óptima.

Adicionalmente, debe considerarse que este trabajo realizado por los manipuladores de material se debe hacer de forma rápida, ya que por ser una entidad militar y la misión que debe cumplir el tiempo juega un papel muy importante para el envío del material, por lo que se hace necesaria la implementación de nuevas herramientas que contribuyan con el mejoramiento del alistamiento de las aeronaves, y den cumplimiento a las principales necesidades para el desempeño de las diferentes operaciones. Por lo tanto, la nueva tecnología e innovación en empaques y embalajes en la industria, como lo son la pistola de poliuretano de alta presión, las bolsas de espuma expandida y el bobinador semiautomático móvil, servirán como referencia para determinar herramientas que permitan obtener eficiencia y mayor desempeño en el mencionado proceso logístico.

Teniendo como base la importancia del proceso logístico dentro del cumplimiento de la misión constitucional dentro de la FAC, esta institución se ha preocupado por mejorar sus prácticas logísticas, lo cual se ha demostrado al recibir en 2009 el premio LoGyCA a la innovación en redes de valor, con el fin de introducir mejores prácticas logísticas en las empresas del país con mejores prácticas y estándares en la cadena de abastecimiento (Parra y Parra, 2009). Estas experiencias aplicarían directamente a las áreas de clasificación y distribución en el empaque y embalaje de mercancías para las unidades con la implementación de nuevas herramientas para la optimización y mejora del flujo logístico.

Otro avance importante en logística, evidencia de esta preocupación por la eficiencia institucional para la FAC, es la aplicación de las normas de salud y seguridad operacional (SYSO) en el Comando Aéreo de Mantenimiento (Caman), como estrategia para optimizar la productividad y efectividad en los procesos Aeronáuticos (Carlos y Perez, 2014), que al mejorar las condiciones de trabajo aplicarían directamente a las tareas repetitivas y fatiga de las áreas de clasificación y distribución de Dicex.

Sumado a estas importantes estrategias e iniciativas de la institución por el mejoramiento, uno de los ámbitos importantes que debe tener en cuenta la FAC es la logística inversa, entendida como la gestión correcta de eliminación de residuos generados por la cadena de suministro como función empresarial para gestionar eficientemente el flujo de retorno

de productos fuera de uso desde el consumidor hasta el productor. Este mecanismo nace con el fin de reducir los desechos o residuos que las personas o el mundo producen, y orientándose a lo que a este trabajo respecta, en cuanto a embalaje se pueden reducir los desperdicios y convertirlos en reutilizables. En este mismo sentido, la norma ISO 14001 certifica a las empresas que quieren tener metodologías adecuadas para la planificación, implementación y evaluación de un sistema de gestión ambiental. Esta norma se centra básicamente en dos aspectos: aprovechamiento de los recursos naturales y la correcta gestión de los residuos.

Por otro lado, se puede observar la importancia que tiene el proceso de empaque y embalaje en la cadena de abastecimiento de la FAC, en cuanto a mejorar la eficiencia del clasificador y distribuidor, sin olvidar la eliminación de desperdicios y reducción de esfuerzo humano con la aplicación de nuevas herramientas y utilización de embalaje más adecuado. Esto también contribuye a los procesos de calidad en cuanto al aumento de la satisfacción de los clientes internos y externos que maneja la entidad, como su gran capacidad de respuesta operacional y táctica. Es de anotar que esto aportaría gran beneficio a la distribución de material para las aeronaves que se encuentran en tierra (AOG) y que necesitan salir a vuelo de manera inmediata; por lo tanto, es necesario mejorar los tiempos y calidad en el alistamiento de entrega de los elementos, y contribuir así a la misión de la Jefatura de Operaciones Logísticas (JOL) (Castro y Ordóñez, 2009).

Actividades estándar de empaque y embalaje que predominan actualmente en la industria aeronáutica, tanto en carga general como para mercancías peligrosas

En los últimos diez años, y para mayor entendimiento del tema, se presentan experiencias significativas en torno al empaque y el embalaje que se deben tener en consideración, como las variables de materiales, las dimensiones, el número de unidades por agrupación, el diseño, el mercadeo, etc. (García y Prado, 2006), cuyas especificaciones deben ir en coordinación entre los fabricantes, proveedores, plataformas de distribución, detallistas, transportistas y operadores logísticos. Tener en cuenta todos estos elementos permite que exista una mayor eficiencia y aprovechamiento de espacios en la elaboración de los productos, para generar así la eficacia de la cadena de suministro, la cual depende del diseño adecuado de envases y embalajes.

Existen elementos importantes dentro de las actividades del empaque y embalaje; por ejemplo, para empacar y embalar un elemento se debe verificar primero el tipo de mercancía, si es general, carga peligrosa, peso, dimensiones, fragilidad; seguido de esto, se debe definir el tipo de empaque por utilizar, si es caja de cartón, madera o metálica, al igual que la asignación de sujetadores de la carga dentro de la caja como plástico burbuja, cartón y espuma, para luego realizar el cierre de la caja y posterior el marcado del embalaje. Así mismo, en el sector aeronáutico y en la dirección de comercio exterior de la FAC, este debe ir rotulado con cinta de inspección, nombre y

kg. En esta sección también se pueden encontrar tarimas de diferentes materiales como madera, madera ecológica, tablero, plástica y de hoja deslizante.

En este sentido, en Colombia para los embalajes de madera se deben tener en cuenta las especificaciones de la madera utilizadas en el comercio internacional NIMF No. 15, norma internacional de medidas fitosanitarias (Ananias y Venegas, 2005) y en cumplimiento de ello, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) exige en todas las importaciones y exportaciones tener en cuenta la Resolución 1079 de 2004. Lo anterior puede verse en la figura 4, donde se describen las medidas fitosanitarias a nivel internacional que disminuyen el riesgo de introducción o dispersión de plagas a través del embalaje de madera: por lo tanto, en Colombia la madera utilizada para el embalaje debe tener el presente sello.

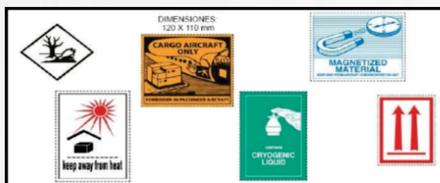
Figura No 4.: Marca y sello reglamentario NIMF No. 15



Fuente: Agropecuario (2005)

Otra de las técnicas de manejo de empaque que predominan en la industria aeronáutica es la manipulación de mercancías peligrosas que corresponden a aquellas que son nocivas o perjudiciales y que pueden causar daños a personas, instalaciones y al medio ambiente. Por consiguiente, su implementación ha tenido un aumento importante en pro de la seguridad, tanto de la carga como de los pasajeros, por lo cual su transporte debe seguir con los procedimientos de las autoridades aeronáuticas (Ardila y Pérez, 2013). Con este mismo propósito, la IATA desarrolló la primera reglamentación con el apoyo de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), en 1984, quienes ratificaron el documento 9284-AN905 que contenía las instrucciones para el transporte sin riesgo de mercancías peligrosas (anexo 18), y así proporcionar niveles de seguridad con requisitos establecidos, tanto para las aeronaves como sus ocupantes. En la figura 5 se indica cómo se manipula la carga peligrosa por medio de etiquetas cuando se transportan mercancías peligrosas en embalajes por la IATA en aviones de carga o pasajeros.

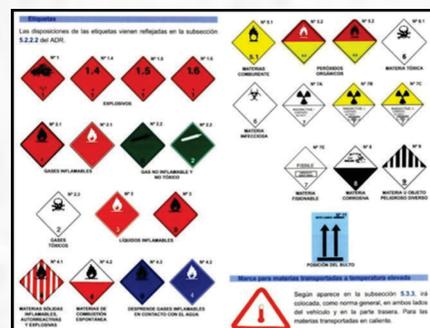
Figura No 5. Etiquetas de manipulación.



Fuente: Civil (2013), Didac Forner (16 de noviembre de 2014)

Igualmente, en la figura 6 se visualizan las etiquetas que abordan nueve clases diferentes del peligro que produce la carga o mercancía clase 1, explosivos: clase 2, gases: clase 3, líquidos inflamables: clase 4, riesgos de combustión espontánea: clase 5, sustancias comburentes y peróxidos orgánicos: clase 6, sustancias tóxicas y sustancias infecciosas: clase 7, material radiactivo; clase 8, sustancias corrosivas; clase 9, sustancias y objetos peligrosos varios o misceláneos (Alfaro, 2011), y que se deben tener en cuenta para la manipulación de la carga o en caso tal que se produzca algún incidente, ya que por medio de las instrucciones pictográficas le permiten al manipulador como transportador identificar la operación especial para este tipo de mercancías para que no vayan a causar daños al producto, otros productos que lo rodean, factores humanos o que se encuentren en su entorno, y daños al medio ambiente.

Figura No 6. Etiquetas de indicación de peligro



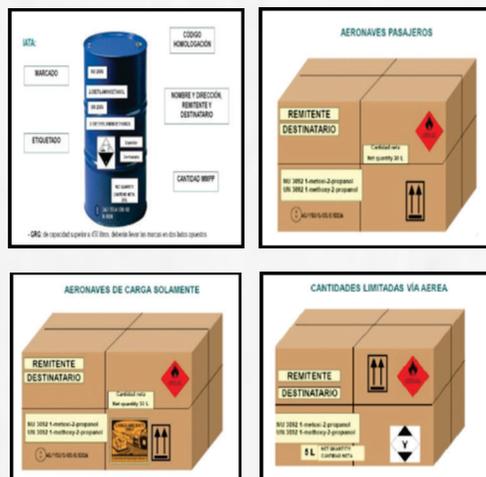
Fuente: Civil (2013) Didac Forner (2014)

Teniendo en cuenta la señalización y etiquetas de la carga peligrosa, en la figura 7 se muestra cómo se marcan los bultos o carga según su misión, si son aviones de carga o pasajeros; por ejemplo, en el marcado de bidones debe ir el código de homologación, nombre y dirección remitente y destinatario, cantidad, etiquetado, marcado y el símbolo de peligro; cuando las aeronaves llevan carga y pasajeros debe indicar remitente, destinatario, etiqueta que indica que posiblemente tiene líquidos, orificios de ventilación o recipientes con gases refrigerados y señalización de peligro. Cuando la aeronave es solo de carga debe llevar remitente, destinatario, etiqueta que indica que posiblemente tiene líquidos, orificios de ventilación o recipientes con gases refrigerados, señalización de peligro y etiqueta de manipulación; en cuanto a cantidades limitadas vía aérea debe llevar remitente, destinatario, etiqueta que indica que posiblemente tiene líquidos, orificios de ventilación o recipientes con gases refrigerados, señalización de peligro y llevan un rombo con el número UN o código para cada mercancía peligrosas asignado por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en el interior. Estas indicaciones de etiquetado y marcado permiten informar a las personas involucradas en el proceso de transporte y manipulación qué tipo de carga van a manejar, uso y ubicación dentro del transporte.

Adicionalmente, en Colombia el transporte de mercancías peligrosas en el espacio aeronáutico es regulado por la Unidad

Administrativa Especial de la Aeronáutica Civil (Uaeac), a través del reglamento de aviación colombiano, parte 10, RAC 10, donde se establecen las obligaciones y responsabilidades del expedidor en cuanto al embalaje, las instrucciones técnicas de etiquetas, marcas, idioma aplicado a las marcas, transporte, eliminación de la contaminación, separación y segregación. Otra norma importante en el manejo de mercancías peligrosas es la establecida en el Decreto 1609: "cada envío, cada viaje debe ir con una tarjeta de emergencia y con una información técnica adicional para que, en caso de una emergencia los organismos de control puedan saber cómo afrontarlo" (Gaviria, 2012).

Figura No 7. Marcapción y etiquetación de la carga.



Fuente: Civil. (2013) Didac Forner (2014)

Actualmente, en el aeropuerto El Dorado las aerolíneas, en compañía de la empresa Opain, tienen en cuenta como técnica para el manejo de mercancías peligrosas lo siguiente: "después de embalar (empacar) las mercancías peligrosas de acuerdo con su clasificación y la normatividad deben ser marcados con la denominación del artículo expedido y el número ONU, los riesgos, más la información de los documentos anexos al envío" (Opain, 2013). Las aerolíneas después de tener lista la carga tienen en cuenta su forma de almacenamiento dentro de la aeronave, según la naturaleza de la carga; es de aclarar que estas prácticas también son manejadas en todas las empresas de aviación, incluida la FAC.

En la actualidad la FAC transporta mercancías peligrosas como armamento, corrosivos, gases, líquidos inflamables y misceláneos, como los motores o vehículos, y para ello utiliza la Reglamentación Sobre Mercancías Peligrosas (DGR), donde la IATA trabaja junto a los Gobiernos locales y la OACI en la elaboración de estos reglamentos con el fin de que el transporte de mercancías peligrosas sea más eficaz y eficiente. Esta reglamentación es el único estándar reconocido por las compañías aéreas, e indica los requisitos de embalaje, nomenclatura, marcado e instrucciones; el tipo de empaque más utilizado son los contenedores metálicos, madera y plásticos. Dicha reglamentación debe ser actualizada cada año por la IATA (Capocciotti, Khare y Mildenberger, 2010).

Entre las actividades de empaque y embalaje, tanto de carga general como manejo de mercancías peligrosas a nivel empresarial, están los operadores logísticos (Gonzalez y Moralejo, 2012), que son empresas contratadas por otras para llevar procesos de la cadena de suministro, como aprovisionamiento, transporte, almacenaje y distribución. Según Margarita Rey Parra, de la empresa LOGyCA, en un estudio realizado sobre los clientes de operadores logísticos se demostró que el 40 % de las empresas colombianas está tercerizando la operación logística. Este panorama se ha venido dando debido a que uno de los indicadores de competencia de las compañías es la logística y para ello contratan empresas expertas. Entre esos operadores están DHL, MRW, AKI, GEFCO y UPS, compañías encargadas de realizar transporte de carga, almacenaje y distribución a nivel nacional e internacional, entre otras soluciones para la cadena de suministro. Por lo tanto, manejan sus propias actividades de empaque y embalaje que les permitan cumplir las expectativas de sus clientes desarrollando expresamente procedimientos avanzados con innovadores sistemas para la recogida, clasificación y embalaje, posicionamiento lógico de las zonas de recolección, ubicación por sistema de voz (Luca, 2010).

Estos operadores logísticos, debido a su gran volumen de carga, cuentan con un gran soporte logístico con la utilización de diversas herramientas que hacen que su trabajo se realice de forma ágil, óptima y oportuna como es el uso de bobinadores automáticos y semiautomáticos, bandas de transporte inteligente, pistola de poliuretano, bolsas de instapak, software con interface SAP, gestión de contenedores y envases vacíos utilizando un software para determinar los contenedores y su ubicación. Resumiendo, se evidencia la gran importancia logística que manejan las empresas de transporte de carga en sus actividades de distribución y transporte soportadas bajo normas, condiciones, reglas y requisitos que deben llevar los empaques y embalajes de mercancías según su naturaleza, si son carga general, a granel y mercancías peligrosas.

Por otro lado, así como existen operadores logísticos cuyo objetivo es la entrega inmediata de la carga y en excelentes condiciones, existen las empresas que, con el desarrollo de las comunicaciones han hecho posible las ventas internacionales a través de páginas de Internet, como es el caso de eBay o Amazon, dedicadas a la venta de productos a nivel internacional y que por la naturaleza de sus productos delicados y pequeños los vendedores se ven obligados a la utilización de empaque y embalaje efectivos y eficientes; para ello utilizan las bolsas de instapak quik y la pistola de poliuretano, con el fin de que sus productos conserven la calidad y sean recibidos por sus clientes en excelentes condiciones.

Importancia de la utilización de nuevas herramientas de empaque y embalaje para Dicex

La FAC lleva la bandera en el área de innovación y desarrollo, todo esto demostrado en los diferentes proyectos desarrollados, como lo fue en la escuela de suboficiales el diseño y construcción de un banco de alistamiento y embalaje

para el material por exportar en la sección de reparables de la dirección de comercio exterior. En el desarrollo de este proyecto se logró la optimización del tiempo y organización en el área de trabajo. Con el banco se puede hacer un registro fotográfico a medida que se realiza el embalaje sin necesidad de hacerlo con el material en el piso. Con este mismo entusiasmo por el desarrollo de investigación, la FAC en la búsqueda de nuevos y mejores métodos que garanticen sus operaciones a nivel nacional ha creado un Centro de Desarrollo Tecnológico Aeroespacial para la Defensa (CETAD), donde se busca emplear nuevas herramientas, como pistola de poliuretano de alta presión, bolsas de espuma expandida y bobinador semiautomático móvil, para mejorar otras aéreas que afectan directamente la logística en gestión de materiales.

Considerando la misión que cumple la dirección de comercio exterior, como lo es recibir, nacionalizar, clasificar, reexportar y distribuir el material aeronáutico (Fuerza Aérea Colombiana, 2011), el proceso de empaque y embalaje que lleva actualmente la Subdirección Control Material de la Dirección de Comercio Exterior, en las áreas de clasificación y distribución, cuenta con tareas específicas y personal idóneo para realizar dichas actividades, pero también debe considerarse que maneja un alto volumen de material aeronáutico y mercancías peligrosas.

Así pues, con un recibo a diario aproximado de 20 a 40 guías aéreas con un sinnúmero de elementos como repuestos, armamento aéreo, armamento terrestre, entre otros, los cuales deben ser despachados a las unidades de forma rápida e inmediata por las operaciones aéreas que maneja a diario la FAC y para dar cumplimiento en el alistamiento de las aeronaves, se evidencian demoras pues no se cuenta con maquinaria un poco más especializada y elementos de trabajo que permitan que las actividades a diario se hagan de forma más efectiva, sin sobreesfuerzos humanos.

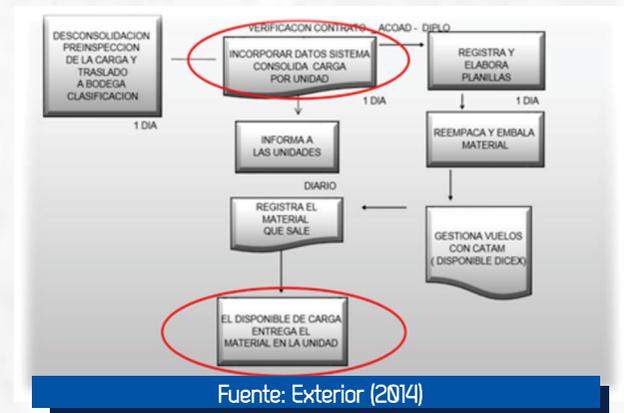
En consideración a esto, se propone en este artículo tener en cuenta la adquisición de las siguientes herramientas y materiales que reducirían tiempos y movimientos, así como fue planteado en su momento en la teoría de Taylor en el siglo XIX y como indican en su texto Campos, Taboada y Chalmeta (2004), relacionando la necesidad de evaluación del rendimiento que esté acorde con los objetivos estratégicos de la empresa, que es algo que no suele ocurrir con frecuencia (Sink y Tuttle, 1993), pero con la implementación de nuevas herramientas se permitirá que se realice de forma oportuna y en condiciones óptimas el envío de los materiales a su destino.

Así mismo, esto contribuiría a cumplir con la visión de la Dirección de Comercio Exterior y minimizar los tiempos de respuesta logística a tres días en exportaciones y cinco días en nacionalización y distribución del material. En la figura 8 se puede visualizar el flujo grama de distribución que maneja Dicex.

La elección del embalaje avala el éxito de la entrega del producto, pero para que la entrega al cliente finalice de forma perfecta es conveniente que el manejo de la carga se realice de manera óptima desde su clasificación, empaque, tipo de transporte, carga y descarga de la mercancía.

Acto seguido, se presentan las herramientas o implementos que por sus características físicas permitirán realizar el trabajo de una forma más eficiente con reducción de desperdicios y ahorro económico para la fuerza.

Figura 8. Flujo grama de distribución Dicex



Para ello se tomaron conceptos de manipulación, como por ejemplo lo planteado por Cristian Rubén (2010), quien indica que al tener maquinas accionadas por motor, como en este caso el bobinador semiautomático móvil (figura 9), la velocidad es rapidez y la cantidad se logra en determinado tiempo, como kilómetros por hora, metros por minuto, cajas por hora, metros cúbicos por día, etc.

Esta máquina tiene la facultad de analizar las revoluciones y vueltas por minuto, y dependiendo de la programación puede dar una vuelta cada tres minutos o cada hora, según la experiencia tomada. Todos estos conceptos son de velocidad; esta máquina se utilizaría para cargas palletizadas de cualquier forma, dimensiones y peso con filme extensible, dotado de panel de control de fácil acceso, que permite controlar los programas y la introducción de los parámetros de envoltura de modo simple y funcional integrado, que por sus características físicas no ocupa mucho espacio, y según lo analizado y las características de la maquina aplicaría las siguientes ventajas para el personal de clasificación que empaqa y embala: menor tiempo en embalar una caja o pallet; posibilidad de desplazar la maquina hasta el lugar de empaque de los elementos o rampa; y no causaría fatiga humana, ya que la maquina es automática.

Figura 9. Bobinador semiautomático móvil



Fuente: Norveg (2014)

Se puede sumar a esta práctica la experiencia de los vendedores eBay (2014), quienes indican que las bolsas instapak quik RT (figura 10) son el mejor envase que han encontrado para el embalaje de los ordenadores y otros artículos frágiles, y se afirma que el hecho de gastar un poco más en el envasado de sus artículos equivale a mejor, ya que con estas bolsas, por sus características físicas y sin el uso de máquinas, han reducido los problemas de los clientes al llegar el material en excelente estado, aspecto que permite mejorar la rentabilidad. En el caso de aplicar este implemento en la dirección de comercio exterior de la FAC, se tendrían las siguientes ventajas para el personal de clasificación que empaqueta y embala, a saber: la protección de los elementos pequeños, en especial los de consumo, frágiles y mercancías peligrosas; rapidez y facilidad de embalaje versátil, y ahorro de espacio. Además, por su fácil manejo no causaría desperdicios y fatiga humana.

Con la utilización de la pistola de espuma de poliuretano, bolsas de instapak quik RT, se reducirían en gran medida los desperdicios que actualmente se generan en Dicex con el papel burbuja para el embalaje de la mercancía, toda vez que al indagar con el jefe de clasificación de la subdirección control material de la dirección de comercio exterior de la FAC y al analizar los altos costos que genera para la FAC la utilización de plástico burbuja, se evidencia lo siguiente: anualmente se compran 1000 rollos de plástico burbuja con un costo para la institución de 50.000.000 de pesos y si se adquiriera la pistola de poliuretano su costo para año y medio es de solo 15.000.000 de pesos, lo que causaría un ahorro tanto para la institución como para el país de 35.000.000 aproximadamente.

Figura 10. Bolsa instapak quik RT móvil



Fuente: eBay (2014)

Por último, con el fin de mejorar otro de los procesos de empaque y embalaje para la dirección de comercio exterior de la FAC y según el análisis realizado, se presenta también la pistola de espuma de poliuretano (figura 11), que como se puede evidenciar por usuarios de la empresa francesa AKI (2014) es uno de los mejores métodos en lo que se refiere a trabajos de relleno por su gran adherencia y moldeo hacia las mercancías y por sus características físicas, ya que no ocupa mucho espacio, es ligera y resistente, y en este caso aplicaría las siguientes ventajas para el personal de clasificación que empaqueta y embala el material en la dirección de comercio exterior de la FAC: la protección de toda clase de

elementos pequeños y medianos, en especial los de consumo; protección de elementos frágiles y mercancías peligrosas. Igualmente, por su fácil manejo no causaría fatiga humana, y se suma la ventaja de que esta herramienta contribuye al medio ambiente ya que genera un empaque reutilizable para otras piezas similares, toda vez que reduciría desperdicios por su dosificación en cantidad de espuma.

Figura 11. Pistola de espuma de poliuretano



Fuente: Wurth (2014)

Conclusiones

Primeramente, mediante la revisión documental se logró evidenciar el desarrollo y la evolución que ha tenido la logística y en ella las técnicas de empaque y embalaje a través de la historia, iniciando con los desarrollos hechos por el hombre, el papel determinante que cumplieron las guerras mundiales, hasta llegar a la logística moderna con la búsqueda de mayor eficiencia de un producto, precio, competencia, calidad, transporte, negociaciones, costo y tiempo.

En un contexto de evolución se entiende cómo la industria procura estar presta a la innovación y desarrollo de productos a nivel mundial en empaque y distribución, entendiendo que la tecnología y las comunicaciones han permitido el desarrollo económico y social.

Por otro lado, con el análisis de las diversas fuentes se logró evidenciar las actividades de empaque y embalaje del material aeronáutico y mercancías peligrosas que maneja la dirección de comercio exterior de la FAC, y de esta manera se identificó que el manejo de material se realiza de forma manual, y para los tiempos de respuesta logística se relaciona la necesidad de tener de forma oportuna, óptima y sin margen de error lo que requieren a diario las unidades. Esto hace evidente la

introducción de mejores prácticas con la aplicación de experiencias empresariales para las áreas de clasificación y distribución.

De la revisión general realizada al empaque, embalaje del material aeronáutico y mercancías peligrosas en transporte y distribución, se hace evidente la aplicación de normas ISO, OSHAS, UNE-CR 13908: 2002 y las de comercio internacional reguladas por la IATA, OACI, RAC, que permiten tener una estandarización aplicada al transporte comercial y militar.

Posteriormente, al realizar un breve estudio sobre las herramientas más usadas en las actividades estándar de empaque y embalaje de material en el manejo de la carga general, como para mercancías peligrosas, se determinó gracias a las experiencias obtenidas de los operadores logísticos UPS, DHL, MRW, AKI, GEFCO que las herramientas como la mencionada pistola de espuma de poliuretano y el bobinador semiautomático (además se incluyeron otras que serían de gran ayuda para la protección de mercancías peligrosas, frágiles o elementos pequeños las bolsas de instapack quik RT empleadas por la empresa eBay) podrían ser de gran utilidad al cumplimiento de las necesidades de un buen proceso de empaque.

Mediante la revisión y el análisis presentado, se pudo evidenciar en la Dirección de Comercio Exterior que la utilización de la pistola de espuma de poliuretano, las bolsas de instapack quik RT y bobinador semiautomático móvil permitirían reducir desgastes físicos por tiempos y movimientos al personal de clasificación, así como la disminución de desperdicios de insumos, lo que haría más sustentables económica y ambientalmente los procesos de empaque y embalaje allí realizados.

Referencias

- Agropecuario, I. I. (2005). NIMF No. 15 - Reglamentación para embalajes de madera utilizados en el comercio internacional - Norma Internacional de Medidas Fitosanitarias, 1. Bogotá, Colombia.
- Alfaro, B. (2011). Transporte terrestre de mercancías peligrosas y su respuesta en caso de emergencias. Tecnoesufa, 15, 32-37.
- Ananias, R. A. y Venegas, R. (2005). Secado industrial del pino Radiata. Maderas Ciencia y Tecnología, 7(3), 179-188.
- Arango, M., Gil, H. y Zapata, J. (2009). Logística esbelta aplicada al transporte en el sector minero. Boletín de ciencias de la tierra, 25.
- Ardila, L. y Pérez, J. (2013). Transporte de mercancías peligrosas por vía aérea. Universidad Militar Nueva Granada, 2-19.
- Avella, O. (2005). Empaques, envases y embalajes: una propuesta normativa. Tecnogestión, 2(1).
- Beamon, B. M. (1999). Measurement supply chain performance. International Journal of Operations & Production Management, 9(3).
- Campos, J., Taboada, C. y Chalmeta, R. (2004). Metodología para la evaluación del rendimiento de la cadena logística. Información Tecnológica, 15(4), 77-84.
- Capocchitti, S., Khare, A. y Mildenberger, U. (2010). Industria de la aviación. Mitigar Impactos del cambio climático a través de la tecnología y política. Diario de la Gestión y la Innovación Tecnológica, 5(2).
- Carlos, J. y Perez, P. (2014). Aplicación de la normas SYSSO en el Comando Aéreo de Mantenimiento "Mayor (H) Justino Mariño Cuesto", como estrategia para optimizar la productividad y efectividad en los procesos aeronáuticos. 1-139.
- Castillo, A., Trejo, C. O. y Muñoz, U. M. (2013). Envase y embalaje a través de la historia. Revista Académica de Economía, 185.
- Castro, C. A. y Ordóñez, S. R. (2009). Propuesta de rediseño del canal "AOG" para la distribución de repuestos aeronáuticos de la jefatura de operaciones logísticas de la Fuerza Aérea Colombiana. Ciencia y Poder Aéreo, 4.
- Cepal. (1992). Canales, cadenas, corredores y competitividad: un enfoque sistémico y su aplicación a seis productos latinoamericanos de exportación. Cuadernos de la Cepal, 70. Santiago de Chile.
- Cervantes, E. (2011). Diseño e implantación de un sistema de logística en una industria aeronáutica (trabajo de grado). Universidad de Cadiz, España. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10498/12118>.
- Chalmeta, R. y Grangel, R. (2003). Ardien. Extension for virtual enterprise integration. Journal of Systems and Software, 67, 141-152.
- Civil, A. (junio de 2013). Reglamentos aeronáuticos de Colombia. Transporte sin riesgos de mercancías peligrosas por vía aérea. Bogotá, Colombia.
- Cruz, C., Rios, G., Macías, L., Martínez, R. et al. (noviembre de 2011). Manual de procedimientos para la exportación de muestrs para análisis por vía aérea. 20-134. México.
- Didac Forner, M. (16 de noviembre de 2014). Transporte intermodal de mercancías peligrosas. Marcaje y etiquetado de bultos, 1-56.
- Ebay, E. L. (2014). Bolsa Instapack Quik RT . Bogotá: .
- Exterior, D. d. (2014). Flujograma de Distribución DICEX. 30. Bogotá, Colombia.
- Fajardo Castillo, A. M. (2013). Capacidades dinámicas para la innovación del Centro del Desarrollo Tecnológico Aeroespacial para la Defensa CETAD (tesis de grado). Universidad EAN, Bogotá, Colombia.
- Floyd, C. A. (2008). Diseño de un centro logístico para el Comando Aéreo de Transporte Militar Catam. Tecnoesufa, 9.
- Frankel, R. y Schmitz Whipple, J. (1996). Alliance formation motives: a comparison of international perspectives. The International Journal of Logistics Management, 7.
- Franklin, E. (2004). Logística y competitividad. Organización de empresas, 2, 362.
- Fuerza Aérea Colombiana. (2011a). Mision Dirección de Comercio Exterior. Manual de procedimientos .
- Fuerza Aérea Colombiana FAC (2011b). Plan estrategico institucional 2011-2030. Fuerza Aerea Colombiana, 64.
- Gabriela, L. (25 de abril de 2013). Historia del embalaje y los envases. (2-6) .
- García, J. y Prado, J. (2006). La mejora de la eficacia en la cadena de suministro mediante el adecuado diseño de envases y embalajes. Universia Business Review, 10, 80-95.

- Gaviria, A. (julio de 2012). Logística. Mercancías Peligrosas, 17.
- Gonzalez, S. y Moralejo, A. (2012). Operadores logísticos de frío y coste del transporte de perecederos en carga fraccionada: aplicación a las exportaciones españolas realizadas al continente europeo. Ciencia e investigación agraria, 39(2), 265-278.
- Grizales, M. (2003). Historia de la logística y su relación con los empaques y embalajes. Envapack, 1.
- Guisao, E. Y. y Zuluaga, A. (2011). Distribución física internacional (DFI). Caso de aplicación a productos de panela pulverizada-biopanela. Revista EAN, (70).
- Harrop, D. P. (enero de 2004). IDTechEx. Descubra el mundo de los empaques inteligentes, 1-6.
- Liu, Y. J. (10 de octubre de 2009). Design of early warning indicator system of enterprise logistics risk based on supply chain management. 2nd International Conference on Intelligent Computing Technology and Automation, Zhangjiajie. 3804.
- López, O. R. (2014). Gestión logística de los negocios internacionales. EumedNet.
- Martínez, J. B. (2011). Diseño y construcción de un banco de alistamiento y embalaje para el material a exportar en la sección de reparables de la dirección de comercio exterior. Tecnoesufa, 16.
- Mejía, A., Bravo, M. y Montoya, A. (2013). El factor del talento humano en las organizaciones. Ingeniería Industrial, 34(1).
- Mollenkopf, D., Closs, D., Twede, S. y Lee, G. (2005). Assessing the viability of reusable packaging: a relative cost approach. Journal of Business Logistics, 169-197.
- Moncada (diciembre de 2007). Nanotecnología, aplicaciones en embalajes para alimentos y productos farmacéuticos, 14(2).
- Moreno Dávila, A. (2014). Manual legal de procedimientos y mejores prácticas en importaciones (1ra. edición). Bogotá: Legis..
- Murillo, J. A., Antonio, J. y Silva, G. (2008). Exportar e internacionalizarse. Exportar e internacionalizarse. Guía práctica para acceder a los mercados internacionales, 4, 501.
- Navas, M. F. (2011). La responsabilidad civil del transportador aéreo. Universitas, 603-636.
- Navia, D. y Ullada, H. (2013). Impacto de la investigación en empaques biodegradables en ciencia, tecnología e innovación. Bio.Agro, 11(2).
- Norveg, E. R. (2014). Bobinador Semiautomático móvil. 1.
- Opain. (2013). Mercancías Peligrosas. Revista SMS, 1, 28.
- Páez, J. A. (2012). Desarrollo de una propuesta de modelo de logística verde que permita reducir el impacto ambiental y los costos en la empresa Multainers Colombia en su línea de producto Cajas Juanita (tesis de grado). Bogotá, Colombia.
- Parra, J. y Parra, D. (2009). La Fuerza Aérea Colombiana a través del Instituto Militar Aeronáutico recibe el premio LoGyCA 2009 a la innovación en redes de valor. Ciencia y Poder Aéreo, 4(1).
- Pau Cos, J. y de Navascués, R. (1998). Manual de logística integral (vol. 1). Madrid: Díaz de Santos.
- Pérez, C. (2013). De empaques y TLC. Revista de Logística, 6(23), 61-66.
- Pérez, G. y Soto, A. M. (2012). Propuesta metodológica para el mejoramiento de procesos utilizando el enfoque Harrington y la norma ISO 9004. Universidad EAFIT, 41(139), 46-56.
- Petrelli, D. D. (2010). Propuesta para la optimización y redefinición de la cadena logística para el suministro de repuestos aeronáuticos AOG (Aircraft on Ground) (tesis de grado) Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Pinilla, T. S. (2013). Maple flag. Revista Aeronáutica, 4.
- Reyno, M. (2007). Responsabilidad social empresarial como ventaja competitiva (Vol. 1). (U. B. Review, Ed.)
- Rodríguez, J. M. (2011). Métodos de investigación cualitativa. Silogismo, 1(8).
- Rubianogroot. (14 de noviembre de 2006). www.fac.mil.co. Recuperado de <https://www.fac.mil.co/?idcategoria=15602>
- Rubio, S. (2003). El sistema de logística inversa en la empresa: análisis y aplicaciones (tesis de grado). Extremadura, España.
- Saghir, M. (2004). The concept of packaging logistics. Proceedings of the Fifteenth Annual POMS Conference, Cancun.
- Simbolocalidad. (2010). [Simbolos de Manipulación \(ISO 780:1999\)](http://www.simbolocalidad.com)
- Recuperado de www.simbolocalidad.com: <http://www.simbolocalidad.com/blog/simbolos-de-manipulacion-iso-7801999>
- Sink, D. S. y Tuttle, T. C. (1993). Planejamento e medição para a performance. 15. Brasil: La Serena.
- Téllez, J. y Alcántara, S. (2009). Formas organizacionales, perfiles gerenciales y satisfacción laboral. Observatorio de la Economía Latinoamericana, 121.
- Terragno, R. (2005). Transporte de especímenes para diagnóstico. Acta bioquímica clínica latinoamericana (217-223), 39.
- Toni, A. S. (2001). Performance measurement systems: models, characteristics and measures. International Journal of Operations & Production Management, 21, 46-70.
- Tovar del Mármol, I. (24 de octubre de 2012). Estudio del proceso de manipulación, expedición y transporte en una empresa del sector aeronáutico y propuestas para la mejora logística. Youscribe, 448.
- Urrego, J. (27 de mayo de 2013). Marcado y Rotulado. 1.
- Vargas, L. D. (2010). Escoger un operador logístico: ¿qué se debe saber? Revista de Logística, 5.
- Veja, N. y Lorenzini, E. (1996). Viabilidad de una propuesta de cambio para el mejoramiento continuo en una organización compleja. Latino-Am. Enfermagem, 4(3).
- Villamizar M, M. (20 de agosto de 2010). Logística y distribución física internacional: clave en las operaciones de comercio internacional. Recuperado de www.ccb.org.co.
- Wurth, E. (2014). Pistola de espuma de poliuretano. Madrid:
- Zavala, A. C. (2013). Envase y embalaje: a través de la historia (185). Observatorio de la Economía Latinoamericana. Recuperado de <http://www.eumed.net/cursocon/ecolat/mx/2013/embalaje.html>



Estudio computacional de un rotor de tres palas tipo Savonius para uso en aerogeneradores de eje vertical

Computational study of a Savonius-type three bucket rotor for use in vertical axis wind turbines

■ Fechas de recepción: 01 de Mayo de 2015
 ■ Fecha de aprobación: 30 de julio de 2015



CESAR NIETO LONDOÑO.*
 ALEJANDRO MEJÍA GIRALDO **

Resumen

Los aerogeneradores de eje vertical tipo Savonius tienen varias configuraciones dadas por las variables de diseño, como el número de palas, el diámetro del rotor, el radio de las palas, la relación de traslapo y el espacio entre palas. Algunos estudios (Shaheen et al., 2014) han concluido que el espacio entre palas y la relación de traslapo afectan considerablemente el rendimiento del aerogenerador, por lo que su optimización puede resultar útil en el diseño de una turbina eólica. Este trabajo buscó analizar un rotor de tres palas con una relación de traslapo de 0.15 por medio de la herramienta de análisis computacional de fluidos Flunet, del software Ansys, para estudiar la interacción aerodinámica.

PALABRAS CLAVES: aerogenerador, CFD, espacio entre palas, relación de traslapo, savonius.

Abstract

Savonius vertical axis wind turbines have several configurations given by design variables such as number of buckets, rotor diameter, radius of the buckets, overlap ratio and space between the buckets. Some studies (Shaheen et al., 2014) have concluded that the space between buckets and the overlap ratio considerably affect the performance of wind turbines, so optimization could be useful in the design of a wind turbine. This study sought to analyze a three bucket rotor with an overlap ratio of 0.15 through FluNet, a tool for the computational analysis of fluids, and ANSYS, a software to study aerodynamic interactions.

Keywords: Wind turbine, CFD, blade gap width, overlap ratio, Savonius

*César Nieto Londoño, Ph.D. Ingeniero Mecánico (B.S.) Universidad Nacional de Colombia, Medellín 2007. Maestría en Ingeniería Energética (M.Eng.) Universidad de Antioquia, Medellín 2009. Doctorado en Ingeniería (Ph.D.) Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín 2012. Profesor Titular. Coordinador Doctorado en Ingeniería. Investigador Grupo de Investigación en Ingeniería Aeroespacial. Investigador Grupo de Energía y Termodinámica, Instituto de Energía, Materiales y Medio Ambiente, UPB. cesar.nieto@upb.edu.co

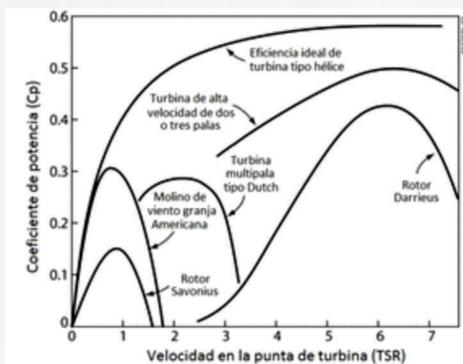
**Alejandro Mejía Giraldo, Ingeniero Aeronáutico (B.S.) Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín 2015. Estudiante Maestría en Ingeniería Aeroespacial (M.Sc. A.E), West Virginia University. Investigador Grupo de Investigación en Ingeniería Aeroespacial, UPB. alejandro.mejiagi@alfa.upb.co

Introducción

El uso de energías renovables, eólica, hídrica y solar, ha generado importantes desarrollos a nivel investigativo. En particular, la energía eólica representó un 32 %, de acuerdo con el European Wind Energy Association (EWEA), de toda la energía generada disponible en Europa en 2013, solamente superado por la energía solar. Hay una tendencia global hacia el uso de estas energías limpias que reduzcan la necesidad de otras fuentes de energía más perjudiciales para el medio ambiente como el carbón y el petróleo.

Aunque las turbinas eólicas han sido empleadas históricamente para numerosas aplicaciones, la eficiencia aerodinámica limita la cantidad de energía extraída del viento. Para el caso de las turbinas de eje vertical (VAWT), la eficiencia es baja. Por esto se han buscado maneras de optimizar sus diseños y lograr una mayor eficiencia. Los aerogeneradores tipo Savonius, que emplean un sistema de rotación por medio de arrastre aerodinámico, son una de las configuraciones más simples, pero también menos eficientes (15-20 %). En la Figura 1 se muestra el límite de Betz que establece el coeficiente de potencia (C_p) máximo para diferentes tipos de aerogenerador y donde se observa que la configuración Savonius es la de menor C_p .

Figura 1 - Límite de Betz



Fuente: Burton (2011).

Las turbinas eólicas tipo Savonius se han empleado para microgeneración de energía eléctrica en aerogeneradores portátiles de baja escala, como por ejemplo los diseños de la empresa WindPax, que busca ofrecer pequeños aerogeneradores (Figura No. 2). La mayor desventaja de esta configuración es su baja relación de velocidad en la punta de la pala, ($\lambda < 1$), que está limitada por ser de arrastre.

$$\lambda = \omega R / V_{\infty} \quad (1)$$

Donde:

ω velocidad angular [rad/s]

R radio del rotor del aerogenerador [m]

V_{∞} radio del rotor del aerogenerador [m]

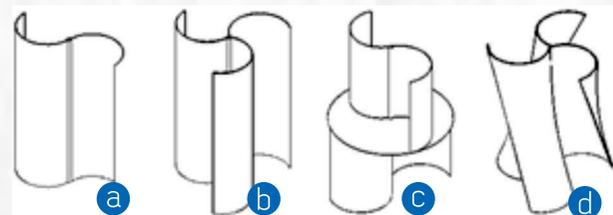
Figura 2 - Aerogenerador Wisp de WindPax



Fuente: Windpax <http://windpax.com>

Existen múltiples configuraciones de los aerogeneradores tipo Savonius. La muestra cuatro variaciones comúnmente usadas. Adicionalmente, hay algunos diseños que combinan los rotores Savonius y Darrieus. El rotor Darrieus se caracteriza por emplear perfiles aerodinámicos en las palas, lo que genera una fuerza de sustentación con el viento que hace que el aerogenerador gire.

Figura 3 - Aerogeneradores tipo Savonius



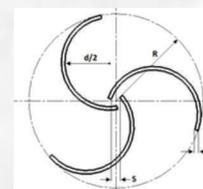
Fuente: Propia

Los aerogeneradores tipo Savonius con dos palas (a) tienen mejor desempeño aerodinámico que los de tres palas, los cuales pueden producir mayor torque y combinarse con una geometría en espiral tipo tornillo de Arquímedes (d). Existe también una variación que consiste en dos rotores de dos palas uno encima del otro (f.c) con un desfase de 90° que permite obtener una mejor eficiencia. En este trabajo se buscó analizar el efecto de relación de traslapo para un rotor de 3 palas, como el que se presenta en la (b).

En la Figura 4 se pueden observar las variables geométricas de un rotor de tres palas, y debido a que solo se analizó el rotor en dos dimensiones la altura no es considerada. Los parámetros más importantes en este caso son el espacio entre las palas (S) y la relación de traslapo (e) dada por la ecuación (2), siendo d el diámetro de la pala.

$$e = S/d \quad (2)$$

Figura 4. Rotor Savonius de tres palas



Fuente: Propia

En la tabla están los parámetros del rotor que se analizó. Para este caso se tuvieron en cuenta valores correspondientes a un rotor de un aerogenerador de pequeña escala con una relación de traslapo de 0.15.

Tipo de turbina	Savonius
Número de palas	3
Diámetro del rotor (2R)	26[cm]
Diámetro de la pala (d)	12[cm]
Espesor de la pala (t)	0.1[cm]
Espacio entre palas (S)	1.8[cm]
Relación de traslapo ($e=S/d$)	0.15

Análisis computacional

Para analizar los efectos aerodinámicos sobre el rotor se hizo uso de herramientas computacionales especializadas en dinámica de fluidos: se empleó la herramienta Flunet del software Ansys 15.0. El proceso de análisis de dinámica de fluidos por computador (CFD) requiere un modelamiento del fluido y un posterior enmallado que permita generar nodos para evaluar las ecuaciones de mecánica de fluidos pertinentes. El proceso de enmallado es complejo y su apropiado uso permite obtener resultados confiables. El estudio realizado se hizo para el rotor en dos dimensiones, enfocándose en el efecto de espaciado entre palas y la relación de traslapo.

Consideraciones Iniciales

El análisis computacional realizado corresponde a un flujo incompresible en el cual se discretizan y resuelven las ecuaciones de conservación de masa, cantidad de movimiento lineal (ecuaciones de Navier-Stokes) y energía. Este análisis iterativo permite identificar las características del flujo alrededor del rotor del aerogenerador. Así pues, debido a que el flujo es turbulento se hace uso de modelos que permitan considerar los efectos de la energía cinética de turbulencia generada por el rotor.

El flujo que atraviesa el rotor de una turbina eólica tipo Savonius se caracteriza por ser turbulento y en estado transitorio. Debido a esto se requiere un apropiado criterio en el momento de construir el modelo para el análisis computacional. Para este estudio se realizó un análisis bidimensional del rotor del aerogenerador ya que la geometría no varía verticalmente. Esto permite reducir la carga computacional que implica un análisis en tres dimensiones y también refinar la malla 2D. Se hizo uso del software Ansys 15.0 que por medio de la herramienta Flunet permite resolver las ecuaciones de Navier-Stokes promediadas, RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes equations) y las ecuaciones de masa y cantidad de movimiento.

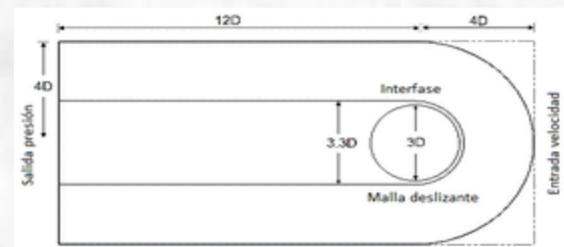
Usualmente los resultados de un análisis CFD se comparan con datos experimentales reportados por otros autores. Sin embargo, no hay suficiente información acerca de pruebas de rotores de tres palas y por lo tanto los resultados de este

estudio se validaron por medio de una investigación de independencia de malla y los resultados de un análisis computacional similar realizado para un rotor de dos palas (Shaheen et al., 2014), que a su vez se validó con resultados experimentales anteriores (Sheldahl et al., 1977). En estos estudios se trabajó con una relación de traslapo de 0.15 debido a que se concluyó que con este valor se presenta un máximo torque y coeficiente de potencia (Fujisawa y Gotoh, 1992).

Dominio Computacional

El dominio computacional, que representa el fluido por analizar, se generó usando el software de dibujo computarizado (CAD) Solid Edge ST5. En el análisis de un aerogenerador se trabaja con un flujo externo que requiere un dominio suficientemente grande para evitar efectos de bloqueo (Blockage effect) el cual ocurre para flujos internos, similar a un túnel de viento, que genera una aceleración del fluido debido a la interacción con algún objeto (Howell et al., 2010). Aunque existen diferentes recomendaciones y metodologías para dimensionar el dominio, se siguió el modelo utilizado por Echeverry y Molina (2013), que es basado en otros estudios similares (Simão Ferreira et al., 2007) y que permite obtener resultados precisos sin generar una malla demasiado grande. La muestra un dominio computacional que permite evitar efectos de aceleración del fluido sin aumentar demasiado el tamaño del mismo y por ende reducir el número de elementos al momento de hacer el mallado. Se siguió este dimensionamiento que está en función del diámetro del rotor.

Figura 5 - Dominio computacional



Fuente: Echeverry y Molina 2013

Modelo de Turbulencia

Para el análisis computacional, los modelos de turbulencia que mejor se adaptan al flujo rotatorio son de dos ecuaciones, como los modelos $k-\epsilon$ y $k-\omega$ SST (Shear Stress Transport por sus siglas en inglés). El modelo de turbulencia $k-\omega$, desarrollado por Wilcox, es ideal para tener en cuenta la capa límite y predecir los efectos de gradiente de presión adversa (Menter, 1994). Los aerogeneradores trabajan normalmente en bajos regímenes de número de Reynolds y los efectos de compresibilidad son inexistentes para el rango de velocidad de operación.

El $k-\epsilon$ es uno de los modelos de turbulencia más utilizados para el análisis CFD que por medio de dos variables k y ϵ determina la energía cinética de turbulencia y la tasa de disipación de energía, respectivamente. Aunque existen

variaciones, el modelo estándar $k-\varepsilon$, el cual es una simplificación del modelo original, se representa mediante las siguientes expresiones matemáticas (ec. 3 y 4).

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k U_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - Y_M + S_k \quad (3)$$

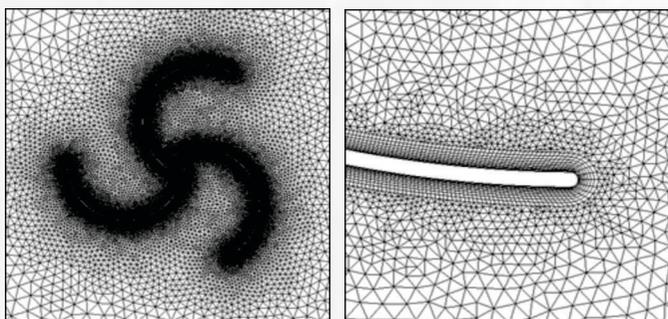
$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon U_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 \varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{v \varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{3\varepsilon} G_b + S_\varepsilon \quad (4)$$

Para estas ecuaciones G_k es la generación de energía cinética de turbulencia debido a los gradientes de velocidad, G_ε es la generación de energía cinética de turbulencia debido a la flotación, y Y_M es el efecto de la fluctuación de dilatación en turbulencia compresible sobre la tasa de disipación total. C_1 y C_2 son las constantes que han sido determinadas de forma experimental y se usan sus valores por defecto. σ_k y σ_ε son los números de turbulencia de Prandtl para k y ε , respectivamente. S_k y S_ε son términos fuente definidos por el usuario.

Mallado

Usando la herramienta para mallado de Ansys se obtuvo una malla no estructurada que por medio de una inflación generó una capa de diez niveles de nodos cuadrangulares en la zona equivalente a la capa límite de las palas (Figura 6); de esta manera se buscó obtener un valor de Y^+ menor a 20 y con un tasa de crecimiento (growth rate) por defecto de 1,2. Por fuera de esta zona se generaron elementos triangulares con un refinamiento general, sobre todo el dominio para analizar la estela turbulenta que se crea durante la simulación.

Figura 6 - Refinamiento de la malla



Fuente: Propia

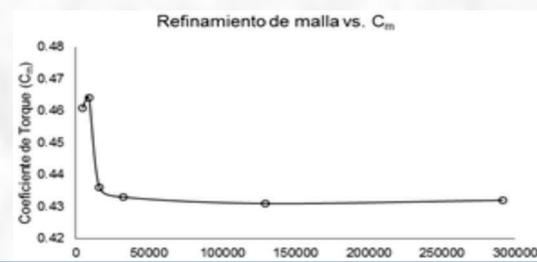
La malla se refinó hasta alcanzar una independencia en los resultados, lo cual de acuerdo con la Figura 7 es después de los 100,000 nodos (f.b). Los datos estadísticos de la malla que se usó están en la Tabla No. 2 con valores de referencia que indican una buena calidad de la malla. De acuerdo con estos datos la malla generada es aceptable para la solución numérica.

Así mismo, se crearon las fronteras en el dominio computacional equivalentes a la entrada de velocidad y salida de presión necesarias para simular el flujo de aire. También se creó la frontera de pared del rotor y un interfaz entre la zona estática de la malla y la zona móvil que simula la rotación del rotor y área circundante.

Tabla No. 2. Estadísticas de la malla

Propiedad	Valor	Recomendado
#Nodos	113,964	>100,000
#Elementos	166,741	-
Calidad de elementos	0.867	1
Relación de aspecto	1.689	<20
Oblicuidad	0.0494	0
Y^+	1.2	<5

Figura 7 - Refinamiento de la malla



Fuente: Propia

La Figura 7 indica que el resultado de la simulación no varía de manera significativa a partir de los 50,000 nodos para un análisis estático. Esto permite concluir que la simulación no requiere un mayor refinamiento de la malla y así se evita una alta carga computacional. Aunque es posible tener una mayor precisión, por cuestiones de tiempo y capacidad de procesamiento de los equipos es más práctico trabajar con una malla con menos nodos. Las áreas de simulación más importantes del modelo corresponden a la zona próxima a la pala (capa límite) y la estela turbulenta creada. Es por esto que el refinamiento se concentra en estas zonas para optimizar el número de elementos totales de la malla.

Con esta malla de 113,964 nodos se procedió a realizar las simulaciones del rotor para una velocidad de viento de 5 m/s.

Configuración de la Simulación

Se configuró Fluent para resolver el modelo planteado con un método basado a presión con una formulación de velocidad absoluta, debido al tamaño del rotor respecto al dominio

computacional. Esta configuración se usa cuando se pretende estudiar el flujo externo que circula al rotor. Así mismo, se dejaron las condiciones de aire atmosférico estándar a nivel del mar. El análisis estático se simuló con una configuración en estado estacionario.

El algoritmo usado por defecto para resolver las ecuaciones es el Simple (Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations). Adicionalmente, se crearon durante el mallado dos zonas para permitir una malla deslizante que permita rotar la zona del rotor para un modelamiento en estado transitorio.

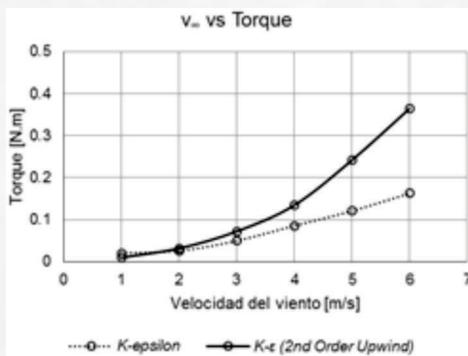
Resultados

Se realizó un primer análisis para observar el torque generado por el rotor para diferentes velocidades del viento con un mismo modelo de turbulencia, pero variando el método de solución para la energía cinética turbulenta; también se modificó el método usado por el software para poder analizar los efectos de la estela turbulenta creada.

En la se observa que el método 2nd Order Upwind produce una curva con una tendencia exponencial, mientras que la configuración estándar se asemeja a una tendencia exponencial casi lineal. Para una velocidad de viento de 5 m s, se obtiene un torque de 1.2 N m con el método de solución por defecto, mientras que al cambiar al método 2nd Order Upwind el resultado de torque para una misma velocidad es el doble. Esta diferencia entre los resultados demuestra que la configuración del método de solución puede generar resultados con un porcentaje de error significativo.

Otros estudios (Shaheen et al., 2014) también utilizaron el algoritmo 2nd Order Upwind en el Setup de Fluent para las ecuaciones de presión, movimiento lineal y turbulencia (energía cinética turbulenta y la tasa de disipación turbulenta) basado en estudios previos (Zhou y Rempfer, 2013).

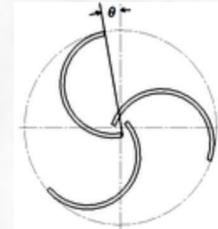
Figura 8 - Resultado de torque para diferentes velocidades de viento



Fuente: Propia

Adicionalmente, se simuló el rotor para diferentes posiciones del ángulo (θ), que corresponde al desplazamiento angular del rotor con respecto a una posición inicial de referencia en la cual una de las palas recibe el flujo de aire de manera perpendicular a su movimiento (Figura 9).

Figura 9 - Posición angular rotor (θ)

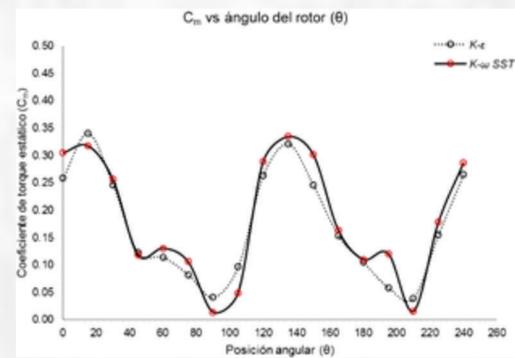


Fuente: Propia

La figura 10 muestra el resultado de esta simulación con dos modelos viscosos que son el modelo k-ε y k-ω. En ambas simulaciones se evidencia un máximo y un mínimo del coeficiente de torque estático (Cms) que se calcula mediante la ecuación (5).

$$C_{ms} = \frac{T_s}{0.5\rho V_{\infty}^2 R A_s} \quad (5)$$

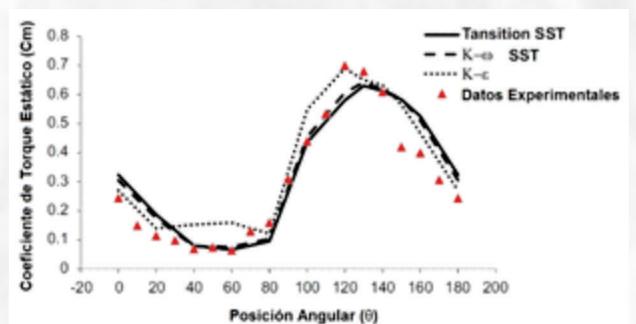
Figura 10 - Coeficiente de momento estático (Cms)



Fuente: Propia

Estos resultados se comparan con otro estudio similar realizado para un rotor Savonius de dos palas (Shaheen et al, 2014). En ese estudio igualmente se presentó un pico alto y bajo para el Cm, como se observa en la figura 11.

Figura 11 - Coeficiente de momento estático para un rotor Savonius de dos palas



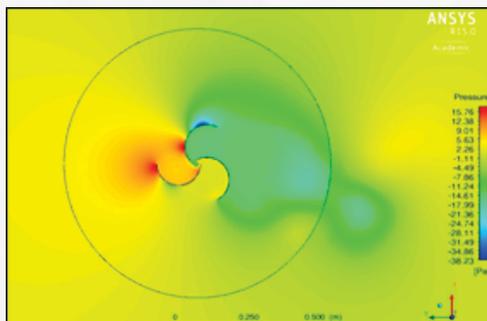
Fuente: Propia

Estos resultados con tres modelos diferentes se compararon con resultados experimentales, donde los modelos $k-\omega$ y Transition SST tienen mayor relación.

Las figuras anteriores muestran los picos del $C_{m,s}$ para cada rotor. En el de dos palas se observa un pico máximo por cada 180° , mientras que para el rotor de tres palas el pico máximo se da aproximadamente cada 120° . Esto se debe a que el rotor genera un mayor torque en la posición en la cual una de las palas enfrenta el flujo de aire, y por el desfase geométrico entre las tres palas de 120° existen tres picos por cada vuelta completa del rotor.

Adicionalmente, se realizó un análisis posterior para observar los contornos de presión y velocidad con el fin de cualitativamente estudiar los fenómenos aerodinámicos en el rotor. En el caso del contorno de presiones (Figura 12), se pueden identificar los puntos de estancamiento en las palas convexas que enfrentan al flujo.

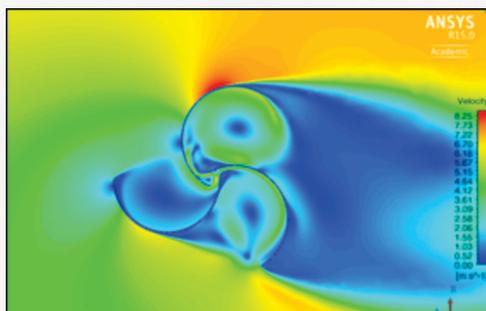
Figura 12 - Contorno de presiones sobre el rotor ($\theta=0^\circ$)



Fuente: Propia

En el contorno de velocidad (Figura 13) se observa la recirculación de aire en el interior del rotor debido al espacio entre las palas (relación de traslape). Igualmente, se observa un incremento en la velocidad en los extremos del rotor.

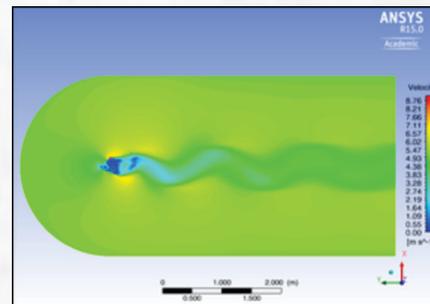
Figura 13 - Contorno de velocidad ($\theta=0^\circ$)



Fuente: Propia

Observando el contorno de velocidad de todo el dominio computacional se puede identificar la estela turbulenta (Figura 14) que se genera posterior al rotor. Esta estela se caracteriza por su comportamiento oscilante y fluctuante propio de un flujo con vórtices de von Kármán.

Figura 14 - Formación de estela turbulenta



Fuente: Propia

Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos, el rotor analizado presenta un torque relativamente bajo de $2 \text{ [N} \cdot \text{m]}$ para un viento de 5 [m/s] , lo que implica que su uso como aerogenerador eléctrico se limita a generación eléctrica de pequeña escala. Esto se conocía de antemano, pues la configuración tipo Savonius, que funciona mediante el arrastre producido por sus palas, es una disposición poco eficiente. Sin embargo, este tipo de rotor puede ser útil para aerogeneradores de baja escala, especialmente aquellos portátiles diseñados para suministro de energía a equipos de comunicación y otros similares.

Aunque este rotor puede alcanzar una mayor entrega de potencia por encima de la velocidad del estudio de 5 m/s , esta es poco común en la mayoría de las ubicaciones geográficas donde podría usarse, y realmente son velocidades de viento exclusivas de pocas zonas. Es por esto que la velocidad elegida para el análisis corresponde a datos que se pueden encontrar típicamente en muchas regiones.

De la figura 11, del coeficiente de momento estático, se encontró que el rotor genera un mayor torque de arranque cuando su posición angular está 20° después de que una de las palas pasa por el eje paralelo al flujo del viento. Esta posición coincide con el instante en el cual una pala se encuentra por detrás de las otras dos y cuando el rotor de tres palas más se asemeja a un rotor de dos. Igualmente, se presentó un menor torque cuando tiene un valor de 90° , momento en el cual el viento impactó en su mayoría la parte convexa del rotor, lo que hace que el coeficiente de arrastre aumente en el sentido opuesto al de rotación.

Uno de los fenómenos que no se percibe en este análisis debido a las simulaciones en estado estacionario es el efecto Magnus, que se produce cuando un objeto circular rota inmerso en un fluido.

Este efecto genera una fuerza aerodinámica de "sustentación" perpendicular a la dirección del viento y según la orientación de la rotación del objeto. Para un aerogenerador en funcionamiento este efecto puede crear una componente de fuerza adicional sobre su eje.

Referencias

- Akwa, J. U., Junior, G.A. y Petry, A. P. (2011). Discussion on the verification of the overlap ratio influence on performance coefficients of a Savonius wind rotor using computational fluid dynamics. *Renewable Energy*, 38(2012), 141-149.
- Bin HJ, N.A. (2013). Simulation study on the performance of vertical axis wind turbine. UTHO, Malaysia.
- Bhutta, M. M. A., Hayat, N., Farooq, A.U., Ali, Z. et al. (2012). Vertical axis wind turbine. A review of various configurations and design techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(2012), 1926-1939.
- Debnath, P. y Rajat, G. (2013). Flow physics analysis of three-bucket helical Savonius rotor at 90° twist angle using. *International Journal of Modern Engineering Research*, (2013), 739-746.
- Echeverry, S. y Molina, M. (2013). Diseño de un aerogenerador portátil de eje vertical. Universidad Pontificia Bolivariana.
- European Wind Energy Association [EWEA]. Wind in power: 2013 European statistics. Recuperado de [http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/EWEA Annual Statistics 2013.pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/EWEA%20Annual%20Statistics%202013.pdf)
- Fujisawa, N. y Gotoh, F. (1992). Visualization study of the flow in and around a Savonius rotor. *Experiments in Fluids*, 12, 407-412.
- Howell, R., Qin, N., Edwards, J. y Durrani, N. (2010). Wind tunnel and numerical study of a small vertical axis wind turbine. *Renewable Energy*, 35(2), 412-422.
- Malael, I. y Dumitrescu, H. (2014). Numerical simulation of UAWT flow using Fluent. *U.P.B. Sci. Bull.*, 76(1).
- Menter, F. R. (1994). Two equation eddy viscosity turbulence models for engineering applications. *AIAA Journal*, 32, 8.
- Shaheen, M., El-Sayed, M. y Shaaban, A. (2014). Numerical study of two-bucket Savonius wind turbine cluster. *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, 137(2015), 78-89.
- Sheldahl, R. E., Blackwell, B. F. y Feltz, L.U. (1977). Wind tunnel performance data for two- and three-bucket Savonius rotors. Sandia Report SAND, 77-0131.
- Simão Ferreira, C.J., Bijl, H., van Bussel, G. y van Kuik, G. (2007). Simulating dynamic stall in a 2D UAWT: modeling strategy, verification and validation with particle image velocimetry data. *Journal of Physics: Conference Series*, 75(2007) 012023.
- Tamayo, J. M. (2013). Optimización aerodinámica y estructural de un generador eólico de eje vertical. Universidad Pontificia Bolivariana.





Estudio operacional de los procedimientos de radiosondeo en Latinoamérica

Operational study on radiosonde procedures in Latin America

■ Fechas de recepción: 24 de Julio de 2015

■ Fecha de aprobación: 30 de julio de 2015



INGRID TATIANA SIERRA GIRALDO*

JULIO ENOC PARRA VILLAMARIN **

EDGAR LEONARDO GÓMEZ GÓMEZ ***

Resumen

En el presente artículo se presenta un diagnóstico de la operación de procedimientos de radiosondeo en diferentes países de Latinoamérica. Se identifica la institución a nivel nacional, quién realiza el radiosondeo, qué objetivos busca con el procedimiento y posteriormente la forma como es realizado. Además, se identifican aspectos importantes como la frecuencia de lanzamientos, los costos que ello implica, la tecnología involucrada y problemas relacionados con respecto al procedimiento actual en cada país. El estudio permitió identificar claramente problemáticas comunes en los diferentes países con el método utilizado para el radiosondeo, lo que abre las puertas a nuevas propuestas de tecnologías o métodos que optimicen el proceso en cuanto a costos, impacto ambiental y obtención de resultados.

Por otro lado, el hecho de mejorar los procesos de análisis de la atmósfera tiene una implicación directa en el área de la meteorología aeronáutica. Un adecuado análisis de esta permite incrementar los niveles de seguridad operacional en cada vuelo, optimizar rutas, obtener pronósticos más acertados y, lo más importante, salvar vidas que pueden ponerse en riesgo cada vez que se presentan condiciones meteorológicas adversas para una aeronave. La metodología utilizada para la realización del análisis fue a través de entrevistas directas con datos, tanto cualitativos como cuantitativos, a los responsables de este tipo de procedimientos en cada país, y un análisis estadístico de los resultados obtenidos.

PALABRAS CLAVES: atmósfera, Latinoamérica, meteorología aeronáutica, perfil atmosférico, radiosonda

Abstract

This article presents an analysis of radiosonde operation procedures in different Latin American countries. The national institution performing radiosonde observation is identified as well as the objectives it seeks with the process and how it is done. In addition, important aspects such as the launching frequency are identified, as well as the costs involved, the technology involved and problems regarding the current procedure in each country. The study led to clearly identify common problems in different countries with the method used for the radiosonde observation, which provides opportunities for new technology proposals or methods to optimize the process in terms of cost, environmental impact and achievement of results.

On the other hand, the improvement in the processes of atmosphere analysis has direct impact in the field of aeronautical meteorology. A proper analysis of this could increase the operational safety levels on each flight, optimize routes, obtain more accurate forecasts and, most importantly, save lives that may be at risk whenever there is bad weather for an aircraft. The methodology used to perform the analysis was direct interviews to those responsible for these procedures in each country, with both qualitative and quantitative data, and a statistical analysis of the results.

Keywords: Wind turbine, CFD, blade gap width, overlap ratio, Savonius

*Ingrid Tatiana Sierra Giraldo. Ingeniera Mecatrónica de la Universidad Autónoma de Occidente. Especialista en Meteorología Aeronáutica de la Aeronáutica Civil y Candidata a Magister en Ciencias Meteorológicas de la Universidad Nacional de Colombia. Amplia experiencia en el área de Meteorología de la Aeronáutica Civil y participación en proyectos de investigación con IDEAM y grupos de investigación como el grupo de Investigación en Ciencias Aeroespaciales de la Fundación Universitaria Los Libertadores. itataniasierra@gmail.com

**Julio Enoc Parra Villamarin Docente TC- Programa de Ingeniería Aeronáutica. Director del Grupo de Investigación en Ciencias Aeroespaciales-GICA. Candidato a maestría en ingeniería mecánica de la Universidad Nacional, desarrollando un proyecto en el comportamiento avanzado aeroelástico de alas de UAV. Ingeniero Aeronáutico de la Fundación Universitaria Los Libertadores. Ha sido docente en áreas muy específicas del diseño y comportamiento aeronaves de ala fija y rotatoria. Participación activa en la dirección y desarrollo de proyectos relacionados con aeronaves remotamente controladas como el CARDIO DRONE, UANT SOLVENDUS y Globo sonda SKY-UP. Ha apoyado los módulos de investigación de los seminarios de grado del programa presidiendo trabajos en normativa de UAV y aeronaves deportivas. jeparra@libertadores.edu.co

*** Edgar Leonardo Gómez Gómez. Ingeniero Electrónico egresado de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Especialista en Gerencia de Proyectos en Ingeniería de la Universidad de la Salle, y Magister en Ingeniería de Telecomunicaciones con Tesis de grado meritaria de la Universidad Nacional de Colombia. Certificado como Instructor Académico de la Fuerza Aérea Colombiana. Tiene varios años de experiencia laboral en el campo de las telecomunicaciones aeronáuticas y electrónica de aviación, debido a que se ha desempeñado como docente en las mencionadas áreas en la Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil y en los programas de Ingeniería Aeronáutica de la Fundación Universitaria Los Libertadores y la Universidad de San Buenaventura. leonardo54@hotmail.com

Introducción

Un radiosondeo es un procedimiento utilizado para construir el perfil vertical de la atmosfera en un determinado lugar. Los datos son tomados por un equipo radiotelemétrico llamado radiosonda, lanzado a la atmosfera atado a un globo lleno de helio o hidrógeno, el cual registra variables como temperatura, humedad relativa, presión y posición geográfica; de estas se derivan otras variables como altitud, punto de rocío, intensidad y dirección del viento, razón de mezcla, temperaturas virtuales e índices meteorológicos. Los países adscritos a la Organización Mundial de Meteorología (OMM) deben realizar este procedimiento diariamente en horarios previamente establecidos. Con la realización de los radiosondeos, es posible determinar la altura de las nubes, probabilidades de precipitación, actividades convectivas, tormentas eléctricas y granizadas, entre otros fenómenos severos. Para este fin deben ser utilizados índices y cálculos meteorológicos como gráficas termodinámicas.

Por lo anteriormente mencionado, el procedimiento de radiosondeo es una gran ayuda para la realización de pronósticos meteorológicos, que son un componente vital para diferentes campos de las ciencias meteorológicas, como por ejemplo la meteorología aeronáutica. La realización de operaciones aéreas con los adecuados niveles de seguridad operacional solo es posible si se tienen adecuados estudios de la atmosfera y pronósticos meteorológicos. Los radiosondeos además permiten estudiar el comportamiento dinámico y termodinámico en determinadas regiones, como se puede ver a manera de ejemplo con el experimento The South American Low Level Jet Experiment (Salljex) (Vera, et al. 2006).

En el lanzamiento, la radiosonda se desplaza con una deriva inconsistente debido a las ráfagas de viento, por ello divaga sin ningún tipo de control en el espacio aéreo hasta encontrar su destino en un lugar aleatorio, alejado del sitio de lanzamiento y en muchas ocasiones inaccesible. "Cuando el equipo vuelve a la superficie terrestre, puede destruirse por el impacto quedando inutilizable para un nuevo lanzamiento y debido al lugar de aterrizaje, la mayoría de las ocasiones ni siquiera se puede recuperar" (Gómez y Sierra, 2012). Esta situación puede representar un fuerte impacto económico para las instituciones que realizan dichos procedimientos y un impacto ambiental negativo para la región. Con este estudio, se busca identificar si la problemática económica y ambiental mencionada es común en los países de esta región.

Así pues, la importancia de esta investigación radica en que se busca identificar aquellos problemas que son comunes en los países latinoamericanos con respecto al procedimiento de radiosondeo. Una vez identificados, se pueden plantear soluciones, ya sean tecnológicas o de procedimiento, que optimicen el proceso de radiosondeo.

Generalidades del procedimiento de radiosondeo

El procedimiento de radiosondeo se encuentra estandarizado a nivel mundial por la OMM (1992), y es realizado de acuerdo con la normatividad de cada región a la que haga parte un país; integra, además, los requerimientos técnicos estipulados con

respecto a transmisiones de radiofrecuencias en la región (Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT, 2006). A continuación se describe como ejemplo el procedimiento de radiosondeo que se realiza en Bogotá por parte del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (Ideam) (2014). Los resultados obtenidos de estos radiosondeos son utilizados, entre otras cosas, para dar cumplimiento al servicio meteorológico aeronáutico, con el cual se contribuye a la seguridad, regularidad y eficiencia de la navegación aérea, tanto nacional como internacional (Organización de Aviación Civil Internacional OACI, 2007; Gómez y Sierra, 2012).

Para comenzar, el operador verifica el correcto estado físico de la radiosonda, y la ubica en el banco de pruebas conocido como Ground Check Set, y así realiza el chequeo en tierra. Adicionalmente, ajusta las frecuencias del emisor y del receptor, tanto de abordaje como de la estación en tierra; también verifica las señales de telemetría, poniendo a punto los sensores de temperatura, humedad y presión en superficie. Posteriormente, infla el globo de látex con 500 o 550 libras de helio, con las que alcanza un diámetro aproximado de dos metros, al cual se amarra la radiosonda (figura 1). Por último, se solicita autorización a la torre de control del aeropuerto El Dorado, y se procede a liberarlo a la atmosfera. El globo y la radiosonda entonces se elevan a una altitud entre 25 y 30 km, recorrido que tarda aproximadamente dos horas. Cuando alcanza su máxima altitud, el globo ha aumentado su diámetro hasta 12 metros, lo que hace que estalle y termina de esta manera con el proceso de medición de datos.

Después del lanzamiento y hasta antes de la explosión del globo, la radiosonda transmite los datos tomados por sus sensores a la estación en tierra. Envía datos inicialmente cada 10 segundos y posteriormente cada 30 segundos. Estos datos son codificados en el formato establecido internacionalmente por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y la OMM. La información transmitida está codificada en grupos de cinco números, los cuales indican el valor de la temperatura, el viento (dirección y velocidad) y la temperatura del punto de rocío, tomados por la radiosonda a medida que asciende en la atmósfera. Esta información además es enviada al banco de datos meteorológicos mundial para alimentar los modelos de predicción climática. Los lanzamientos rutinarios se realizan a nivel global en las horas 0000 UTC y 1200 UTC para proporcionar una foto instantánea de la atmosfera.

Figura 1. (a) Interior radiosonda marca Vaisala; (b) Globo meteorológico y antena de estación en tierra



Fuente: Gómez y Sierra (2012)

La red de radiosondeo mundial

La red de radiosondeo mundial es una red de altura que opera en el marco del programa de Vigilancia Meteorológica Mundial (UMM). Esta genera información meteorológica y climatológica mediante el uso de sensores de toma de datos y está conformada por estaciones en altitud: radiosondas y estaciones sobre aeronaves (AMDAR) en todo el mundo. Los datos navegan por un sistema de información llamado Sistema Mundial de Telecomunicación (SMT), el cual se encuentra compuesto por una red de enlaces de telecomunicaciones desde la superficie, satélites y centros operados por los diferentes países que interconectan a los servicios meteorológicos e hidrológicos nacionales (SMHN). Este SMT tiene el fin de recopilar, procesar, interpretar, alimentar algunos modelos numéricos y hacer públicos los datos. Además propicia el intercambio de avisos meteorológicos, hidrológicos y relacionados con el clima (OMM, 2010).

En la red de radiosondeo, se realizan mediciones de datos atmosféricos en un horario determinado. Esta información es enviada al Centro Nacional de Telecomunicaciones Meteorológicas (CNTM) y es retransmitido al Centro Meteorológico Mundial de Washington (CMMW) para su divulgación mundial, de acuerdo con convenios internacionales (Servicio Meteorológico Nacional de México [SMN], 2014).

Radiosondeos en Latinoamérica

Cada Estado latinoamericano cuenta con institutos prestadores de servicios meteorológicos e hidrológicos y son las entidades encargadas de realizar los procedimientos de radiosondeo, así como de alimentar las bases de datos a nivel mundial con la información obtenida de dichos procedimientos. Algunos de ellos se relacionan en la tabla 1.

Tabla No. 1 Instituciones que realizan radiosondeos en Latinoamérica

Pais	Ente prestador de servicios
Colombia	Instituto de Hidrologia, Meteorologia y Estudios Ambientales de Colombia (Ideam) www.ideam.gov.co
Cuba	Instituto de Meteorologia de Cuba (Insmet) www.insmet.cu
Ecuador	Instituto Nacional de Meteorologia e Hidrologia del Ecuador (Inamhi) Instituto Oceanográfico de la Armada (Inocar) www.serviciometeorologico.gob.ec
Venezuela	Servicio de Meteorologia de la Aviación de Venezuela (Sermetavia). Instituto Nacional de Meteorologia e Hidrologia de Venezuela (Inameh) www.meteorologia.mil.ve
México	Servicio Meteorológico Nacional de México (SMN)

Pais	Ente prestador de servicios
	Comisión Nacional del Agua (Conagua) http:// smn.cna.gob.mx
Paraguay	Dirección de Meteorología e Hidrología (DMH) Dirección Nacional de Aeronautica Civil del Paraguay (Dinac) www.dinac.gov.py
Costa Rica	Instituto Meteorológico Nacional (IMN) www.imm.ac.cr
Brasil	Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) www.mar.mil.br dhn chm meteo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (Decea) www.decea.gov.br Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (Infraero) www.infraero.gov.br Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) www.inmet.gov.br Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA) www.cta.br
Argentina	Servicio Meteorológico Nacional de Argentina (SMN) www.smn.gov.ar
Perú	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Senamhi) www.senamhi.gob.pe
Bolivia	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Bolivia (Senamhi) No se realizan radiosondeos en el país www.senamhi.gob.bo
Uruguay	No se realizan radiosondeos en el país
Guyana	No se realizan radiosondeos en el país

Estudio de la operación de los radiosondeos en los estados de Latinoamérica

El estudio de la operación ha permitido documentar cómo se están realizando los radiosondeos en diferentes países de Latinoamérica, con el propósito de identificar la tecnología usada, los costos de operación, si existe algún avance tecnológico o de procedimientos que optimice el proceso de radiosondeo, o si se presentan problemas de índole técnico o económico al realizarlos.

Dichos datos se analizan partiendo de la siguiente tesis planteada por los autores del estudio: los radiosondeos presentan elevados costos de operación para un país, debido a las características del procedimiento, en el que la radiosonda se pierde o se destruye en cada lanzamiento. Además, por esta causa el número de radiosondeos se reduce, y por esto se obtienen mediciones insuficientes para generar la cantidad de datos necesarios para alimentar idealmente los modelos meteorológicos.

Como herramienta de estudio, se diseñó una encuesta cualitativa y cuantitativa que se aplicó a representantes oficiales de los servicios de meteorología e hidrología de los

principales países de Latinoamérica durante octubre y noviembre de 2014, y se obtuvieron resultados de 12 países. lo cual representa una muestra significativa del 60 %. Dicha herramienta preguntó información básica acerca de los procedimientos de radiosondeo de cada país y sus resultados permiten evidenciar el panorama a nivel latinoamericano de la forma como se cumple dicho procedimiento y las ventajas o problemas que se pueden presentar en esta región. Además, señala el nivel de satisfacción que tiene cada Estado con los resultados de los radiosondeos y requerimientos de tecnologías futuras. La encuesta, orientada a manera de entrevista, se presenta a continuación en la tabla 2.

Tabla 2. Encuesta realizada a los servicios de meteorología e hidrología de los países latinoamericanos en octubre y noviembre de 2014

Ítem	Enunciado
Pregunta 1	¿Qué Institución realiza los radiosondeos en su país?
Pregunta 2	¿Qué tipo de radiosonda usan en los lanzamientos?
Pregunta 3	¿Cuántos lanzamientos se hacen al día?
Pregunta 4	¿Dónde se realizan dichos lanzamientos?
Pregunta 5	¿Se recuperan las radiosondas después de cada lanzamiento? De ser afirmativo ¿cómo?
Pregunta 6	¿Se reutilizan las radiosondas recuperadas?
Pregunta 7	¿Qué costo operacional tiene cada lanzamiento (en dolares)?
Pregunta 8	¿Desde qué año se realizan los radiosondeos?
Pregunta 9	¿Qué problemática han tenido con los radiosondeos ?
Pregunta 10	¿Le interesaría a su país obtener más radiosondeos en cada estación con mayor cantidad de datos por día ?
Pregunta 11	¿Le interesaría a su país adquirir un sistema radiotelemétrico que tome el perfil vertical de la atmosfera, que se pueda recuperar y reutilizar ?
Pregunta 12	Otra información?

Resultados del estudio

Los resultados obtenidos fueron analizados en el Grupo de Investigación en Ciencias Aeroespaciales (GICA) de la Fundación Universitaria Los Libertadores, con apoyo del Centro de Estudios de Ciencias Aeronáuticas de Colombia. De lo cual se describe a continuación el comportamiento latinoamericano con respecto a los procedimientos de radiosondeo.

Resultados cuantitativos

Como se puede ver en la tabla 1, en tres de los países de la muestra no se realizan radiosondeos, lo que representa el 25 %.

En la figura 3 se presenta la información relacionada con el tipo de radiosondas usadas en Latinoamérica. La mayor parte del grupo de países encuestados usa la radiosonda de referencia RS92 de la marca Vaisala, aunque no es la única. También son usadas radiosondas de otras marcas y referencias.

Figura 2. Porcentaje de países en los que se realizan y no se realizan radiosondeos

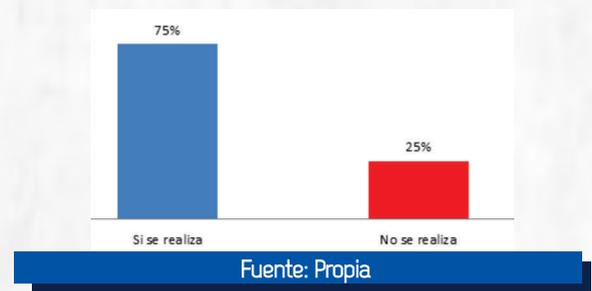
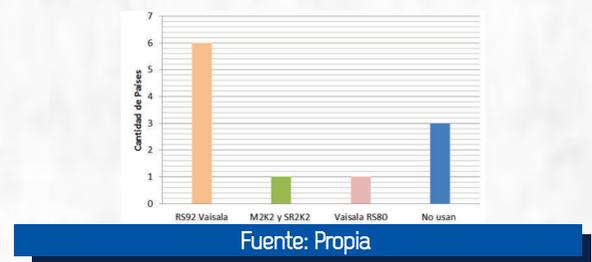


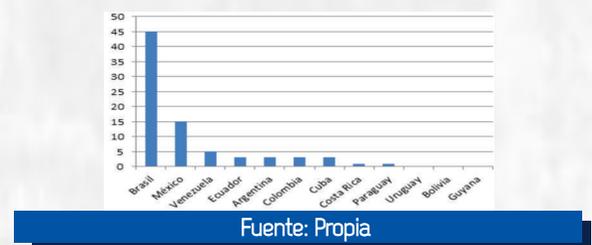
Figura 3. Marca y referencia de radiosondas utilizadas



El número de lanzamientos ejecutados en un país se relaciona directamente con el número de estaciones destinadas para ello. En cada una de las estaciones se realiza un lanzamiento por día a las 1200 UTC excepto en México, D.F. y Brasil, donde se hace otro lanzamiento también a las 0000 UTC. En la Figura 4 se presenta el número de lanzamientos en cada uno de los países objetos del estudio.

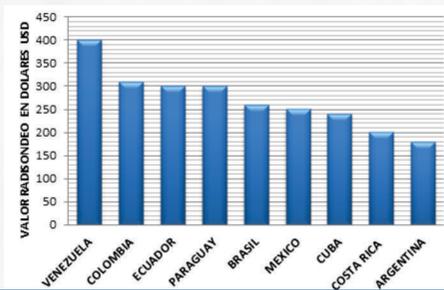
En relación con el costo operacional que demanda cada uno de los lanzamientos. El costo individual de cada lanzamiento en Latinoamérica tiene un promedio de USD 300. Evidentemente, los costos totales se incrementan proporcionalmente en cada uno de los lugares, de acuerdo con el número de lanzamientos realizados que se muestran en la figura 4. En la figura 5 se presenta un resumen de los costos de un lanzamiento de radiosondeo en cada uno de los países encuestados.

Figura 4. Número de lanzamientos



¹UTC: siglas en ingles del Tiempo Universal Coordinado.

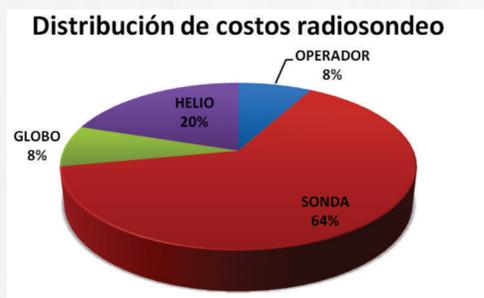
Figura 5. Costo de cada lanzamiento por país diarios en cada país



Fuente: Propia

De este costo total operativo directo, el 8 % corresponde al costo de personal; el 64 %, al valor de la radiosonda; el 8 % al valor del globo; y el 20 % restante, al gas usado en cada lanzamiento. En la figura 6 se presenta esta distribución porcentual de costos.

Figura 6. Distribución porcentual de costos de cada lanzamiento de la radiosonda



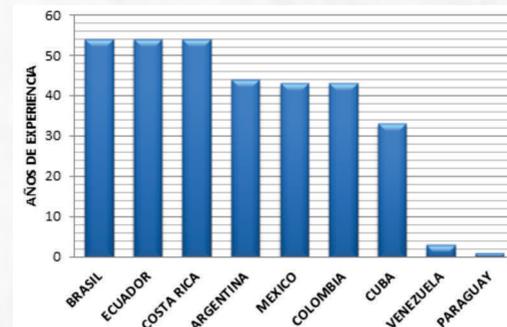
Fuente: Propia

Resultados cualitativos

En la totalidad de los países de la muestra se encontró que no se recuperan las radiosondas, debido principalmente a que el equipo está diseñado para utilizarse tan solo una vez y a la dificultad que representa el hecho de encontrar la radiosonda después de caer, ya que la deriva las ubica en sitios muy remotos y hasta inaccesibles. La respuesta de Colombia evidenció que se pudieron recuperar un par de radiosondas puesto que cayeron cerca del lugar de lanzamiento, pero no fue posible utilizarlas nuevamente.

Es importante conocer el tiempo de experiencia que tiene cada uno de los Estados en la realización de este tipo de procedimientos. Los primeros en realizar radiosondeos fueron Costa Rica, Ecuador y Brasil, que comenzaron en 1960. Luego siguieron Argentina en 1970, Colombia y México en 1971, Cuba en 1981, Venezuela en 2011 y finalmente Paraguay que en 2014 reinició los radiosondeos después de más de diez años de interrupción. De acuerdo con cada una de las respuestas, se presenta en la figura 7 el total de años de experiencia que tiene cada país latinoamericano encuestado.

Figura 7. Años de experiencia en procedimientos de radiosondeo



Fuente: Propia

Partiendo de dicha experiencia se indagó de forma directa en cada uno de los países cuáles son los problemas que han tenido con respecto a estos procedimientos, con el objetivo de conocer el nivel de satisfacción que tiene cada uno de los Estados con la forma de hacer el radiosondeo y de establecer si la problemática planteada como tesis al inicio de este artículo es común a los países encuestados. Se encontró que la totalidad de los países tuvo algún comentario al respecto, siendo una respuesta en común los altos costos que representan los lanzamientos. Algunas de las respuestas más concluyentes se resumen en la tabla 3 (nota: las respuestas son presentadas textualmente como fueron escritas en la respuesta a la encuesta).

Tabla 3 Problemas presentados por los Estados con respecto al radiosondeo

<p>Problemática Presentada con el método actual de radiosondeo</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Los costos elevados de cada lanzamiento. -La basura ambiental que representa cada radiosonda una vez es usada. -Pocos datos para la alimentación de modelos meteorológicos. -Daños a viviendas donde impactó la radiosonda. -No poder realizar los lanzamientos en más lugares. -Problemas técnicos con la conexión de la antena del GPS. -Poca portabilidad del sistema.
	<ul style="list-style-type: none"> -Solo funciona una vez y nunca se sabe si va a encender o no. -Una vez que se encienda, se puede perder el radiosondeo a medio camino si se apaga y se le acaba su vida útil. -El principal inconveniente de la interrupción fueron los repuestos para el generador de hidrógeno. -Se tuvo que adquirir uno nuevo para poder volver a realizar los lanzamientos. -Hoy día, a razón de ese tiempo se cuenta con equipos obsoletos. -Se debería de actualizar a los existentes en el mercado, pues los insumos (radiosonda) para el mismo han variado en este tiempo.
	<ul style="list-style-type: none"> -Es muy difícil la recuperación de las radiosondas en latitudes medias. -En nuestro caso los vientos medios de componente oeste la derivan hacia el océano
	<ul style="list-style-type: none"> -Los costos elevados de cada lanzamiento -Apoyo a las diferentes estaciones localizadas en las distintas regiones del país.

La totalidad de países, con excepción de Brasil (que respondió que su red de estaciones de altitud ya cubre todas sus necesidades), coincidieron en que si estarían interesados en aumentar la cantidad de lanzamientos y la cantidad de lugares desde donde lanzar las radiosondas, con el fin de incrementar la cantidad de datos con los cuales alimentar los modelos numéricos, y realizar constantes evaluaciones de los perfiles verticales de la atmósfera. Aumentar la toma de datos no ha sido posible debido a los altos costos generados por los radiosondeos, como se evidencia en este artículo.

Análisis de resultados y conclusiones

La encuesta fue enviada a la totalidad de los países de Latinoamérica, y se obtuvo el 60 % de cobertura de la población total. Esta muestra se considera una muestra válida para la realización del estudio, aunque sería importante aumentar los esfuerzos para conseguir la respuesta de los demás países. Esto ampliaría el estudio y reforzaría los resultados encontrados. Se propone entonces esta situación como trabajo futuro del presente estudio.

En cada uno de los países existe un ente que presta servicio especializado en meteorología e hidrología, lo que evidencia la importancia que tiene para cada país poder estudiar los fenómenos meteorológicos y climáticos dentro de sus territorios. El presente estudio se realizó acudiendo a los máximos entes en la materia de cada Estado, lo que le da relevancia a los resultados y permite conocer de primera mano la situación en Latinoamérica con respecto a los procedimientos de radiosondeo.

El alto costo de cada radiosondeo es una constante en la percepción que tiene cada uno de los países al respecto. Este alto costo limita las posibilidades de realizar más lanzamientos; en algunos casos como en Uruguay, Bolivia y Guyana, impide que estos se puedan llevar a cabo. Dichos costos no solamente radican en los costos operativos, sino también en los costos de adquisición del sistema. Una estación de tierra puede costar aproximadamente USD 300.000 (Gómez y Sierra, 2012).

El mayor porcentaje de los países usa la misma marca y referencia de radiosonda. Esta sonda está fabricada para ser utilizada una vez, por lo que los países se ven obligados a aceptar estas condiciones de operación y perder esta tecnología después de cada lanzamiento, además de pagar el precio por esta pérdida.

Por otro lado, existe una problemática común en los países latinoamericanos, lo que comprueba que la tesis postulada se cumple en un alto porcentaje. Un radiosondeo presenta elevados costos de operación para un país, el número de mediciones es insuficiente para generar la cantidad de datos necesarios para alimentar los modelos numéricos y el hecho de perder la radiosonda hace que el proceso de radiosondeo genere elevados niveles de contaminación electrónica.

Existe un interés común en aumentar la cantidad y la calidad de los datos tomados de la atmósfera, aumentando la frecuencia de los radiosondeos y el mayor número de estaciones dentro

de cada Estado para un cubrir estratégicamente el territorio de dichos Estados. Así mismo, el 90 % de los países busca adquirir una tecnología más avanzada que permita minimizar los costos de operación y así aumentar la cantidad de lanzamientos de las radiosondas. Se recomienda hacer estudios de cobertura de los radiosondeos según la extensión y orografía de cada Estado, así como los niveles de contaminación de los desechos de las radiosondas.

Una buena solución a esta problemática sería si las radiosondas se pudieran recuperar y reutilizar. El hecho de reutilizar la radiosonda representaría un ahorro del 64 % en cada uno de los lanzamientos.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a las personas que apoyaron el presente estudio; la aceptación de cada uno y el interés mostrado en el tema de investigación fue pieza fundamental para esta realización. Gracias al teniente coronel Adilson Cleómenes Rocha, especialista en Meteorología, jefe de División de Evaluación Docente del Instituto de Control de Espacio Aéreo de Brasil; al Meteorólogo Alexander Melgarejo, jefe Meteorología Aeronáutica Ideman de Colombia; al Dr. Orlando Lázaro Rodríguez, director del Centro de Radares del Instituto de Meteorología de Cuba; al Ingeniero Arturo Lomas, Jefe de Meteorología Aeronáutica del Ecuador; al Físico Leodegario Sansón Reyes, director del Centro Meteorológico de la Comisión Federal de Electricidad y presidente de la Organización Mexicana de Meteorólogos; al T.S.M. Raúl Enrique Rodas Franco, gerente de Sistemas de Observación Meteorológica de la Dirección de Meteorología e Hidrología de Paraguay; a la Dra. Inés Rodríguez, directora interina de Meteorología de Uruguay; al Teniente Coronel Alexander Quintero Mercado, jefe del Servicio de Meteorología de Venezuela; al Dr. Lyndon Alves, jefe Superintendente Superior, Oficial a cargo de la Unidad Táctica de Servicios Aéreos de Guyana; al Meteorólogo Rimort Edson Chavez del Instituto Nacional de Aviación Civil de Bolivia; a la Dra. Miriam Andrioli, GESEC, Servicio Meteorológico Nacional de Argentina; a la Dra. Martha Eugenia Pereira Molina, gestora de Meteorología Aeronáutica, departamento de Navegación Aérea (DGAC) de Costa Rica. Un agradecimiento especial al Oficial Jorge Armoa, representante de la OACI.

Referencias

- Comisión Nacional del Agua [Conagua] (marzo de 2010). Manual teórico práctico del observador meteorológico de superficie. México, D.F., Coyoacán: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Gómez, L. y Sierra, T. (2012). Propuesta de un sistema de recuperación para una radiosonda meteorológica. Congreso Internacional de Meteorología OMMAC, 50-60.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia [Ideam]. (27 de noviembre de 2014). Página Oficial Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Recuperado el 27 de 11 de 2014, de www.ideam.gov.co

- Instituto de Meteorología de Cuba [Insmet] (27 de noviembre de 2014). Página oficial Instituto de Meteorología de la República de Cuba. Recuperado de www.insmet.cu
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador [Inamhi] (27 de 11 de 2014). Página oficial Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología. Recuperado de www.serviciometeorologico.gob.ec
- Instituto Nacional de Meteorología [Inmet] (27 de noviembre de 2014). Página oficial del Instituto Nacional de Meteorología de Brasil. Recuperado de www.inmet.gov.br
- Organización de Aviación Civil Internacional [OACI]. (2007). Anexo 3. Servicio meteorológico para la navegación aérea internacional. Canadá: autor.
- Organización meteorológica Mundial (8-12 de marzo de 2010). Examen del plan técnico del comité y de su programa de ejecución para 2010 y más adelante. Trigésima segunda Reunión del Comité de Huracanes de la ARIU.
- Organización Meteorológica Mundial [OMM] (1992). Manual del Sistema Mundial de Proceso de Datos y de Predicción OMM 485. Manual del Sistema Mundial de Proceso de Datos y de Predicción Volumen II Aspectos Regionales. Ginebra: Organización Meteorológica Mundial.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [Senamhi] (27 de noviembre de 2014). Página oficial del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Bolivia. Recuperado de www.senamhi.gob.bo
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [Senamhi] (27 de noviembre de 2014). Página oficial del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Recuperado de www.senamhi.gob.pe
- Servicio de Meteorología de la Aviación de Venezuela [Sermetavia] (27 de 11 de 2014). Página oficial del Servicio de Meteorología de la Aviación de Venezuela. Recuperado de www.meteorologia.mil.ve
- Servicio Meteorológico Nacional de México (SMN) (27 de noviembre de 2014). Página oficial del SMN de México. Recuperado de <http://smn.cna.gob.mx>
- Servicio Meteorológico Nacional de México [SMN] y Comisión Nacional del Agua [Conagua] (27 de noviembre de 2014). Página oficial Servicio Meteorológico Nacional de México. Recuperado de smn.cna.gob.mx
- Unión Internacional de Telecomunicaciones [UIT] (21 de agosto de 2006). Características técnicas y criterios de calidad de los sistemas de radiosondas del servicio de ayudas a la meteorología en las bandas de frecuencias de 403 MHz y 1 680 MHz. Ginebra: Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT.
- Vera, C., Baez, J., Douglas, M., Emmanuel, B. et al. (2006). The South American Low Level Jet Experiment. American Meteorological Society, 63-77.





Estructuración de un sistema de seguridad operacional

Structuring of an operational safety system

- Fechas de recepción: 04 de mayo de 2015
- Fecha de aprobación: 30 de julio de 2015



MARION RESTREPO MEJÍA*
GERMÁN URREA QUIROGA**
GERMÁN ALBERTO BARRAGÁN DE LOS RÍOS***

Resumen

Las empresas aéreas encierran un gran número de condiciones peligrosas que aumentan en forma proporcional con sus operaciones, y alteran así su seguridad; por esta razón, los operadores deben concentrarse en la planificación de sistemas que ayuden a prevenir de alguna forma accidentes o incidentes. Así pues, dada la necesidad de disminuir y mitigar las condiciones peligrosas, debe hacerse un reconocimiento completo de peligros a través de los diferentes métodos de identificación y notificación para facilitar también la gestión de riesgos, evaluando sus consecuencias y tratando de controlarlos.

PALABRAS CLAVES: Seguridad, incidente, gestión, error, peligro, riesgo, la mitigación, la acción correctiva

Abstract

The airlines include a large number of hazardous conditions that increase in proportion to their operations altering their safety, for this reason, operators should focus on the planning of systems to assist in any way to prevent accidents and incidents.

Given the need to reduce and mitigate the hazardous conditions should be full recognition of hazard through different methods of identifying and reporting to facilitate risk management, assessing their consequences and to and trying to control them

Keywords: Certification, self-assessment, quality standard, aeronautics maintenance, technological program, military training, technological training.

* Ingeniera Aeronáutica, de la Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia. Correo electrónico: marioncito@msn.com

** Ingeniero Aeronáutico (Universidad de San Buenaventura); magíster en Administración (Universidad Pontificia Bolivariana), Profesor asociado Facultad de Ingeniería Aeronáutica, de la Universidad Pontificia Bolivariana. Correo electrónico: german.urrea@upb.edu.co

*** Ingeniero Aeronáutico (Universidad de San Buenaventura); magíster en Transporte Aéreo y Aeropuertos (Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Brasil). Profesor asociado Facultad de Ingeniería Aeronáutica, de la Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia. german.barragan@upb.edu.co

Introducción

El desarrollo económico e industrial de un país depende en una gran medida de mantener niveles elevados de productividad y calidad. A partir de esta premisa se crea la necesidad en todas las organizaciones por establecer soluciones y métodos para alcanzar una mayor productividad en sus operaciones, involucrando en ello la gestión de diferentes procesos como administrativos, financieros, de comunicación y los de manejo de recursos. Recientemente se ha requerido la incorporación de un nuevo proceso de gestión de la seguridad.

Desde su propia concepción, el transporte aéreo se ha caracterizado por ser una industria innovadora que guía el progreso económico y social. Sin embargo, a pesar de que las estadísticas lo muestran como el medio más seguro de transporte y de los grandes avances tecnológicos que se evidencian en las aeronaves y su entorno, los peligros están siempre latentes en las actividades diarias asociadas a este, y el error está implícito en la actuación humana. Es por ello que la búsqueda por mejorar e incrementar de manera permanente la seguridad y los estándares de seguridad es una labor importante e implacable dentro de las organizaciones que trabajan y hacen parte de esta industria.

El sistema de gestión de seguridad operacional (SMS) aparece entonces como una recomendación de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) para añadir la administración de la seguridad a los demás procesos de gestión de una organización, con lo cual se cambia el sentido reactivo que antes se le daba a la seguridad, cuando solo se buscaban medidas de solución a problemas después de que un evento indeseado se presentara, con el objetivo de evitar su repetición.

Este cambio de perspectiva se da hacia un enfoque más preventivo en el que se da inicio a la búsqueda de estos eventos antes de que aparezcan en la organización. Este planteamiento del SMS, basado en la identificación de peligros y gestión del riesgo, permite a la organización y en general a la aviación alcanzar niveles de efectividad y aceptación mucho más altos, puesto que mejoran la confianza de los usuarios precisamente por disminuir en gran medida la accidentalidad aérea.

La Autoridad Aeronáutica de Colombia, a fin de seguir las recomendaciones dadas por la OACI, establece en el RAC 22, las normas para la implementación de un sistema de seguridad operacional en todas las empresas aeronáuticas. Para efectos del presente documento se tiene en cuenta que aunque en general la accidentalidad de la aviación civil en el país ha disminuido en los últimos años, la Aerocivil indica en su página web que el sector que más accidentes ha experimentado corresponde a los trabajos aéreos especiales por encima de la aviación comercial regular, no regular y la aviación general. Por este motivo se debe seguir trabajando en la reducción de la accidentalidad con la implementación de estrategias, tales como el SMS.

El objetivo de este artículo es presentar una guía para que una organización de transporte pueda implementar un SMS.

El objetivo de este artículo es presentar una guía para que una organización de transporte pueda implementar un SMS, cumpliendo con todos los requisitos que abarca el sistema, que en general se fundamentan en el compromiso de los administradores para establecer un proceso bien definido para la identificación y tratamiento de condiciones negativas, teniendo siempre como referencia el concepto de organización como un sistema.

La estructuración de este sistema comprende la aplicación de los reglamentos e información suministrada por una empresa modelo, analizando su capacidad y características de operación para dar cumplimiento paso a paso a lo que, según su tamaño, exigen las regulaciones. Sin embargo, no se limita solamente a la aplicación en esta empresa, ya que puede entenderse como un patrón, como un archivo maestro para la seguridad operacional.

General

Concepto de seguridad operacional y sistema de gestión de seguridad operacional

Debido a que cometer errores es parte de la condición de ser humanos, es posible reafirmar que no existe ningún sistema creado por el hombre que sea totalmente seguro. Con total consciencia de ello, el hombre se ha interesado en establecer diferentes métodos y alternativas para tratar de identificar, analizar, reducir o mitigar condiciones inseguras. La seguridad operacional acepta la condición natural del ser humano, y por esto se encarga básicamente de gestionar los riesgos, y aceptar como sistema seguro aquel en el que los diferentes tipos de riesgos se presentan en un nivel aceptable. Se tiene entonces que un SMS es un proceso organizacional, cuya columna vertebral es la identificación de peligros y gestión de riesgo, involucrando un alto compromiso gerencial y una mayor disposición de los empleados frente a condiciones inseguras, así como también una descripción de responsabilidades, políticas y procedimientos necesarios.

Actividades competentes para los encargados de gestionar la seguridad operacional

A continuación se describen algunas de las actividades propuestas en la normatividad existente para las personas encargadas de gestionar la seguridad operacional dentro de las organizaciones.

- Determinar la política de la empresa frente al SMS.
- Distribuir y asignar de forma adecuada las responsabilidades al personal.
- Identificar y analizar riesgos y peligros, y tratar de reducirlos mediante acciones correctivas.
- Establecer un sistema de notificación y reporte de errores e incidentes, y gestionar adecuadamente esta información.
- Crear conciencia en el personal sobre la importancia del sistema que se está implementando.

Estructuración para el desarrollo del plan de implementación

Este es el primer paso que da la organización en el proceso de cumplimiento de lo establecido en la norma. Esta etapa direcciona el enfoque que la organización adoptará respecto a la instauración de su sistema de seguridad operacional

Descripción de la organización como sistema

Para hacer una buena descripción de la organización como sistema, es necesario realizar una investigación dentro de la organización sugerida por la autoridad aeronáutica y respaldada por el modelo Shell (software, hardware, Environmental, Liveware), en la cual se determinan y especifican los siguientes elementos:

- Interacciones de la organización con otros sistemas.
- Funciones del sistema.
- Componentes "software" del sistema.
- Componentes "hardware" del sistema: Medio ambiente operacional.
- Consideraciones de desempeño humano requeridas para la operación del sistema.

Figura 1. Modelo Shell



Fuente: Propia

Personal de seguridad operacional

Para la estructuración de un SMS es necesario distribuir las responsabilidades entre el personal existente en la organización. a continuación se muestra un ejemplo del personal requerido, con sus correspondientes responsabilidades.

Ejecutivo responsable o gerente de seguridad operacional

- Vigilar y aprobar el plan de implementación del SMS.
- Tomar autoridad en cuestiones financieras relevantes y los recursos humanos implicados en el SMS.
- Tendrá responsabilidad final en la rendición de cuentas durante el funcionamiento del sistema.
- Mantener bien documentados todos los informes provenientes de la rendición de cuentas hechas por los demás empleados.
- Comunicar a todo el sistema los informes de seguridad operacional cuando estos impliquen algún cambio de actividades o exijan algún requerimiento.
- Buscar solución a los posibles inconvenientes o a las incoherencias encontradas durante el funcionamiento del sistema.

Jefe de seguridad operacional

- Coordinar los cambios sistemáticos necesarios para implantar el SMS en la organización.

- Garantizar que la gestión de la seguridad operacional cuente con el mismo apoyo e importancia que los demás procesos realizados en la organización.
- Proveer periódicamente reportes sobre el avance y las necesidades de la seguridad.
- Debe coordinar las actividades de entrenamiento en SMS.
- Orienta a todo el personal sobre las inquietudes relacionadas con el funcionamiento del sistema.
- Coordina el desarrollo del manual del sistema de gestión de la seguridad operacional.
- Coordinación de una biblioteca para administrar la información exclusivamente concerniente al SMS.

Director de operaciones

Recibir y analizar los informes de riesgos operacionales para clasificarlos según su propio criterio en graves o no, y presentarlos ante el comité para su posterior evaluación. Velar por el cumplimiento oportuno de la ejecución de las acciones correctivas.

Comité de seguridad operacional

De este comité hacen parte tanto el personal mencionado anteriormente, como también el representante técnico y el despachador de la organización. Sus funciones son:

- Determinar la estrategia que llevara a cabo la organización para el sostenimiento del SMS.
- Realizar propuestas que impliquen cambio en el sistema, según las necesidades de las áreas analizadas.
- Examinar y sugerir criterios para la asignación y distribución de los diferentes recursos utilizados en el sistema.
- Analizar los informes de riesgos operacionales presentados por el director de operaciones para así planear e implantar soluciones o acciones correctivas.
- Documentar en la biblioteca del SMS la información relevante expuesta acá durante la reunión de este comité.
- Promueve la cultura de seguridad operacional.

Objetivos del sistema de gestión de seguridad operacional

- Implementar dentro de la organización un sistema de seguridad operacional, acorde a las exigencias del programa de seguridad del Estado y de acuerdo con lo sugerido por la OACI.
- Disminuir la posibilidad y el desenlace de situaciones peligrosas para evitar el desencadenamiento posterior de riesgos que amenacen la estabilidad de la organización.
- Fomentar una cultura de seguridad operacional a todo el personal en la organización para garantizar el éxito del sistema, manifestando un serio compromiso de la administración y la no penalización de la información reportada.
- Favorecer la identificación de peligros y contribuir en la gestión del riesgo.

Política de seguridad operacional

Para la puesta en marcha del sistema y el desarrollo oportuno y conveniente de este, la organización debe contar con la

disponibilidad para adaptarse al cambio. Así, se pretende facilitar al máximo de sus posibilidades todos los recursos necesarios para gestionar de una forma eficaz la seguridad operacional, inicialmente por medio de la gestación de la cultura de seguridad operacional (Dirección general de aeronáutica civil de Bolivia, 2009).

Desde el mismo momento de la planificación, así como en su progreso, la organización le delegará a la dirección la responsabilidad de apoyar y hacer perdurar el sistema como barrera de defensa ante las acciones inseguras que se presentan cotidianamente, tratando de reducir los riesgos relacionados con las operaciones de sus aeronaves.

Para hacer cumplir esta política, la organización dispone de una estructura plenamente definida e impuesta sobre las funciones actuales a los demás funcionarios de la organización, los cuales la conocen totalmente. La propuesta principal para que el sistema tenga éxito es hacer del sistema de notificación y reportes un asunto voluntario no punitivo, para garantizar así la verdad y la sensibilidad del notificador y de esta manera obtener una mayor garantía en el sistema de seguridad operacional.

Identificación de peligros

Identificar los peligros para el personal, la organización y la infraestructura en general es el segundo paso necesario para realizar una correcta gestión del riesgo (Organización de Aviación Civil Internacional, 2006). Este paso es fundamental, principalmente porque se debe procurar identificar todos o por lo menos la mayoría de los peligros en la organización, y evitar dejar eslabones sueltos que no puedan ser analizados para ser mitigados, hecho que puede causar cualquier incidente.

Definición peligro riesgo

Los siguientes son los significados de las palabras riesgo y peligro, según la Organización de Aviación Civil Internacional (2006).

Peligro: condición u objeto que potencialmente puede causar lesiones al personal, daños al equipamiento o estructuras, pérdida de material o reducción de la habilidad de desempeñar una función determinada.

Riesgo: la evaluación de las consecuencias de un peligro, expresado en términos de probabilidad y severidad, tomando como referencia la peor condición previsible.

En otras palabras, la diferencia está en que los peligros tienen la capacidad de causar daño y los riesgos son la probabilidad de que este daño ocurra en un tiempo determinado.

Métodos de identificación de peligros

Estos métodos que se mencionan son divididos en dos grandes grupos que permiten la identificación reactiva y proactiva de sucesos negativos en toda la organización.

Reactivos

- Investigación de accidentes.
- Investigación de incidentes: notificación y reporte (obligatorio y voluntario).

El sistema de notificación aparece como una fuente indispensable de recolección de datos, con la ventaja que permite tener un sistema realista; de esta manera, se obtienen datos de primera mano de aquellas personas que se equivocaron y cometieron un error, o que estaban de alguna manera relacionadas en algún incidente.

Preventivos

- **FDA:** aspectos específicos de las operaciones de vuelo.
- **Jornada de observación:** observaciones y encuestas.
- **Evaluación de confiabilidad humana:** gestión de errores humanos.
- **LOSA:** gestión de errores operacionales.

Política no punitiva sobre notificación de incidentes

A continuación se presentan ejemplos de la política no punitiva sobre notificación de incidentes.

- Teniendo en cuenta los criterios de protección de los activos de la empresa, de garantizar el éxito de la operación y del servicio, de proteger a las personas y el medio ambiente y proteger la viabilidad competitiva a largo plazo, la organización debe adoptar dentro de su política de seguridad y de gestión del riesgo la importancia de que el personal notifique sin inhibiciones todos los incidentes, las dificultades o inconsistencias que se puedan presentar e incidan en la operatividad y seguridad del servicio. La gestión del riesgo compromete a todos los miembros de la organización, por tanto, el empleado está en el deber de develar cualquier situación que pueda afectar la normal operación.
- Desde la premisa de que el riesgo nos afecta a todos los miembros de la organización, la compañía como política integral no adoptará mecanismos ni procedimientos coercitivos contra ningún miembro de la organización que dé a conocer cualquier irregularidad que incida en la realización normal de las operaciones en condiciones de seguridad. La compañía se compromete a no tomar medidas restrictivas contra aquel que comunique de forma oportuna y efectiva cualquier tipo de irregularidad.
- Hace parte de la política no punitiva y de prevención de riesgos de la empresa dentro del sistema de seguridad operacional el hecho de que el empleado sienta autonomía y libertad para dar a conocer oportunamente cualquier inconsistencia o amenaza que pueda incidir negativamente en la normal operatividad de la organización y del vuelo. Esto implica que es inherente a la condición de empleado que este conozca el tipo y las técnicas de identificación de peligros y riesgos, y que actúe en el evento en que a su juicio o intuición se prevea la ocurrencia de cualquier

inconsistencia que pueda atentar contra la normalidad de la operación.

- Queda implícito que la compañía no tomará ninguna medida punitiva contra ningún empleado que revele un incidente o suceso relacionado con la seguridad mientras, que sea este el que lo haga.
- La organización tomará los correctivos necesarios para contrarrestar su ocurrencia y valorará permanentemente a través de mecanismos de seguimiento y control las probabilidades de ocurrencia para proveer estrategias que permitan monitorear la efectividad de las acciones tomadas para mantener el riesgo bajo control.
- El método para recoger, registrar y difundir la información obtenida de los informes de seguridad aérea ha sido elaborado para proteger, en la medida permitida por la ley, la identidad de todo empleado que proporcione información sobre seguridad (Organización de Aviación Civil Internacional, 2006).
- La oportuna revelación de un mínimo riesgo por parte del personal hace parte integral de cultura de gestión de seguridad operacional que involucra a toda la organización.

Análisis y gestión de documentación

Este proceso inicia con el depósito de los informes por parte del personal, los cuales posteriormente son filtrados por el director de operaciones para clasificarlos en orden de importancia y llevarlos al comité para que se generen las pautas para las acciones correctivas y que estas sean también descritas. Lo anterior debe hacerse hasta el posterior almacenamiento en la biblioteca de seguridad operacional para llevar un registro, tanto de los reportes que se hicieron al identificar los peligros como de dichas acciones correctivas (Dirección General de Aeronautica Civil, Chile, 2015).

A medida que se realicen más reuniones en el comité, se analizará y verificará si se han generado nuevos peligros y si se están tratando convenientemente.

Gestión de riesgos

Para hacer una estimación sobre los riesgos operacionales, es necesario realizar un proceso en el cual el primer paso será identificar el tipo de riesgo que se está tratando, luego se hará un análisis para determinar qué tan probable es que ocurra y cuál es la capacidad de daño; por último, se determinan las características que ayudan a ejercer un control general de estos riesgos.

Los métodos utilizados para identificar los peligros se emplean al mismo tiempo para la identificación de riesgos; estos describen diferentes técnicas que muestran cómo el personal puede organizarse dentro de la compañía para implementar diversas técnicas de identificación. Algunas de estas pueden ser check lists, lluvia de ideas, HAZard and OPerability study (Hazop), entre otras.

Análisis del riesgo

Luego de haber identificado una serie de riesgos que causan problemas al sistema de seguridad operacional de la organización, es necesario hacer un análisis a estos riesgos encontrados y determinar las consecuencias y probabilidades, y clasificarlos de acuerdo con su ocurrencia o con su gravedad para identificar cuáles representan mayor amenaza y cuáles son los más frecuentes; y así de cierta forma determinar cómo se relacionan para más adelante hacer una evaluación, con el fin de determinar los índices de aceptación o tolerancia al riesgo.

Probabilidad: posibilidad de que un evento inseguro pueda ocurrir

Para facilitar la estimación de la probabilidad, la empresa debe tener en cuenta aspectos como la experiencia operativa y los datos de hechos que han ocurrido en el pasado para acercarse a una interpretación de cómo pueden comportarse en el futuro. La siguiente figura representa la clasificación de dicha probabilidad (Organización de Aviación Internacional, 2006).

Figura 2. Probabilidad del evento

PROBABILIDAD DEL EVENTO		
Definición cualitativa	Significado	Valor
Frecuente	Probable que ocurra muchas veces (ha ocurrido frecuentemente)	5
Ocasional	Probable que ocurra algunas veces (ha ocurrido infrecuentemente)	4
Remoto	Improbable, pero es posible que ocurra (ocurre raramente)	3
Improbable	Muy improbable que ocurra (no se conoce que haya ocurrido)	2
Extremadamente improbable	Casi inconcebible que el evento ocurra	1

Fuente: Organización de Aviación Internacional (2009)

Severidad: los posibles efectos de un evento o condición insegura, tomando como referencia la peor condición previsible

Para ayudar a determinar fácilmente en la organización la gravedad de los eventos, es necesario conocer y determinar si sus consecuencias tienen algún efecto sobre alguno de los componentes del modelo Shell y sobre otros aspectos organizacionales como la economía y el buen nombre e imagen de la compañía.

Puede parecer más conveniente para la organización analizar aquellos sucesos que pueden alterar de una forma más negativa la seguridad, aunque no sean muy frecuentes. Esto queda al criterio de la organización; sin embargo, se plantea que al asegurar que se proporcionen mayores recursos al tratamiento de los riesgos más importantes, todos los riesgos por menos grave que parezcan deben ser tratados de forma separada para plantear mejor su tratamiento y evitar así que se presenten efectos acumulativos o a largo plazo.

Figura 3. Severidad de los eventos

SEVERIDAD DE LOS EVENTOS		
Definiciones de aviación	Significado	Valor
Catastrófico	* Destrucción de equipamiento * muertes múltiples	A
Peligroso	* Una reducción importante de los márgenes de seguridad, daño físico o una carga de trabajo tal que los operadores no pueden desempeñar sus tareas en forma precisa y completa. * Lesiones serias * Daños mayores al equipamiento	B
Mayor	* Una reducción significativa de los márgenes de seguridad, una reducción en la habilidad del operador en responder a condiciones operativas adversas como resultado del incremento de la carga de trabajo, o como resultado de condiciones que impiden la eficiencia. * Incidente serio * Lesiones a las personas	C
Menor	* Interferencia * Limitaciones operativas. * Utilización de procedimientos de emergencia * Incidentes menores	D
Insignificante	* Consecuencias leves	E

Fuente: Organización de Aviación Internacional (2009)

Evaluación del riesgo

Para ejercer la evaluación de riesgos se propone establecer tres diferentes regiones de clasificación, según los resultados obtenidos en el análisis de probabilidad y severidad de un riesgo.

Figura 4. Evaluación del riesgo

PROBABILIDAD DEL EVENTO		
Definición cualitativa	Significado	Valor
Frecuente	Probable que ocurra muchas veces (ha ocurrido frecuentemente)	5
Ocasional	Probable que ocurra algunas veces (ha ocurrido infrecuentemente)	4
Remoto	Improbable, pero es posible que ocurra (ocurre raramente)	3
Improbable	Muy improbable que ocurra (no se conoce que haya ocurrido)	2
Extremadamente improbable	Casi inconcebible que el evento ocurra	1

Fuente: Organización de Aviación Internacional (2009)

Región no aceptable: el riesgo tiene tanto potencial dañino que en cualquier nivel en el que se evalúe no se permitirá su aceptación, excepto cuando se trate de una situación extraordinaria. Es fundamental ejercer un tipo de tratamiento sobre los riesgos, independientemente de los costos que esto implique.

Región tolerable: en esta región los riesgos necesitan ser mitigados o hacerlos tan bajos como sea razonablemente posible; se sugiere hacer un estudio de costo-beneficio para plantear qué tan factible resultará su tratamiento.

Región aceptable: el riesgo se acepta en su forma natural, solo debe ser monitoreado para garantizar su permanencia en este nivel.

Se refiere a la adopción de medidas de prevención y protección frente a los riesgos, así como a los mecanismos de mitigación de las consecuencias de estos. Este control puede obtenerse al segregar, evitar y reducir la exposición a dichos riesgos; sin embargo, otro método para ejercer control del riesgo son

las defensas, ya sea de tipo físico u organizacional, puesto que se convierten en barreras de protección frente a los peligros y riesgos comunes.

Auditoría de la seguridad operacional

El SMS está fuertemente relacionado con el sistema de calidad. Una organización que define políticas y objetivos respecto a la calidad y que garantiza así que los procedimientos se llevan a cabo como se estipulan, es un sistema en el que se tienen elementos necesarios para identificar problemas y reducir riesgos.

La empresa establecerá un proceso de auditoría interna (autoevaluación crítica) para su sistema de gestión de seguridad, puesto que la auditoría externa estaría a cargo de la autoridad aeronáutica o de alguna otra empresa que se dedique a este trabajo. Las etapas para desarrollarlas serán preparación, ejecución e informe.

La auditoría debe revisar que cada una de las partes de la organización interactúa como un sistema, que debe evaluar también si la forma como se identifican los peligros y se gestionan los riesgos coincide con lo acordado en el manual del SMS por la propia empresa, para determinar si existen procedimientos que podrían repercutir de forma negativa para la seguridad operacional.

Promoción de la seguridad operacional

La promoción de la seguridad está enfocada en difundir la información del sistema en cuanto a medidas preventivas, oportunidades de notificación, avance de la seguridad, entrenamiento y cualquier tipo de instrucción que se le brinde al personal sobre el SMS y la forma como se desarrolla en su empresa. La promoción de la seguridad está enfocada en difundir la información del sistema en cuanto a medidas preventivas, oportunidades de notificación, avance de la seguridad, entrenamiento y cualquier tipo de instrucción que se le brinde al personal sobre el SMS y la forma como se desarrolla en su empresa.

Esta difusión puede hacerse por medio de carteleros, ayudas audiovisuales, boletines, diálogos, correos electrónicos y cualquier otro tipo de comunicación que se haga en general para toda la organización y sus empleados, donde no solo la administración sea la encargada de gestionar estos métodos, sino también los empleados en su compromiso con el sistema pueden aportar sus ideas para mejorar la promoción que se haga al SMS exponiendo todo lo que consideren positivo.

Entrenamiento e instrucción sobre SMS

Es necesario asegurarse de que todo el personal comprende la política de seguridad operacional de la empresa, el funcionamiento del sistema, los medios de información y reporte, los mecanismos de retroalimentación, entre otros. Para esto se proponen algunas ayudas para la instrucción sobre SMS, como:

- Asistencia del personal al curso de SMS de la OACI.

- Exposición del documento de estructuración de SMS para una empresa de transporte aéreo no regular.
- Petición de la organización a los centros de instrucción que le prestan servicios, para que relacionen sus actividades con la seguridad operacional.

Cultura de seguridad operacional

Esta cultura contiene una combinación de prácticas y actitudes adoptadas por todo el personal de la organización partiendo desde la administración superior, que refleja su compromiso con el sistema, hasta los empleados con su comportamiento respecto a este. Una cultura de seguridad operacional positiva requiere que todos estén involucrados en ella, reconociendo la importancia de sus labores frente al sistema y las repercusiones que sus actos podrían tener en la seguridad. La administración confía en el buen desempeño y disposición de sus trabajadores, al mismo tiempo que los trabajadores confían en las buenas intenciones de la administración y las políticas de la empresa.

En el momento cuando la administración confíe en que el sistema de gestión de seguridad operacional será un buen mecanismo de reducción de riesgos; cuando los peligros se estén identificando y la notificación de incidentes sea constante, se crea una atmosfera positiva que caracteriza la cultura de seguridad operacional para el SMS de la organización.

Conclusiones

Se puede evidenciar un énfasis especial en materia de incidentes, puesto que siempre el manejo de la seguridad en cuanto a investigación se le ha dado a los accidentes y a la toma de acciones reactivas. Las aplicaciones del SMS requieren un concepto moderno para darle un sentido unificador a este, y obtener así información a partir de los métodos preventivos y los sucesos que por suerte son menos graves que un accidente. Esta estructuración constituye una más de las herramientas que una organización, en este caso de transporte no regular, puede aplicar en la implementación de un SMS.

La estructuración al SMS que se presenta se basa en los diez pasos de implementación propuestos por la OACI, algunos de ellos de forma implícita, dado que ciertos pasos debían repetirse o simplemente no aplicaban por el tamaño y la operación de la organización. A su vez, trataban de cumplir con la premisa fundamental de hacer el sistema más simple para garantizar su rápida adopción por parte de la compañía en general, y garantizar también la producción de buenos resultados a favor de la seguridad y productividad de la empresa.

Aunque un operador pequeño cuenta con poco personal para el establecimiento de un SMS de gran complejidad, la distribución de las tareas para este sistema se debe realizar bajo la reducción de la sobrecarga de tareas; sin embargo, es aconsejable que se establezca como mínimo el cargo de jefe de seguridad operacional, ya que este se encarga de las labores más relevantes del sistema.

Los métodos presentados en este documento para la identificación de peligros quedan a libre decisión de las empresas para su adopción en el sistema de seguridad y en su manual de SMS. En este sentido, se deja claro que la identificación de los peligros más relevantes se realizará a través del tiempo y la duración del sistema y organización. Con esto se espera que a medida que la empresa aplique estos métodos de identificación se cree una base de datos para que más adelante cuando en todo el país las organizaciones implementen el SMS, estas aporten y se beneficien de la colaboración nacional y posteriormente internacional; de esta manera, se mejorarían las prácticas y actividades respecto al sistema de seguridad y la gestión de riesgos.

Referencias

- Transportation Research Board, "Airport Cooperative Research Program, Report 1: Safety Management Systems for Airports. (2007). Retrieved from http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/acrp/acrp_rpt_001.pdf
- Appendix 1, AC120-92A(draft):Safety Management System framework. (2009). Retrieved from http://www.atcvantage.com/docs/AC_120-92A_draft.pdf
- SMS Partners, Providing Aviation SMS Software Tools, Manual and Training. (2009). Retrieved from <http://www.aviation-sms.com/Home.aspx>
- COLPISA. (2015, Marzo 23). Según las estadísticas, el avión es el medio de transporte más seguro. Diario de Navarra.
- Dirección General de Aeronautica Civil - Chile. (2015, 05 01). SISTEMA GESTIÓN DE LA SEGURIDAD OPERACIONAL. Retrieved from Eversium Global Learning: http://www.eversium.cl/eversium/images/stories/documentos/PCANCINO_CIAM4_sms_empresas_pcancino.pdf
- Dirección general de aeronáutica civil de Bolivia. (2009). Introducción a Sistemas de Gestión de la Seguridad (SMS).
- Dirección nacional de aeronáutica civil de Paraguay. (2009). Reglamento del sistema de gestión de la seguridad operacional (SMS).
- Federal Aviation Administration. (2007). Advisory circular 120-92A: voluntary implementation of Safety Management Systems (SMS).
- HAWKINS, F. H., & Orlady, H. W. (1993). Human Factors in Flight. England: Avebury Technical.
- ISO. (2002). Norma ISO; No 19011. Directrices para la auditoría de los sistemas de gestión de la calidad y o ambiental, 42. Ginebra.
- Maya Restrepo, A. (2009, Marzo 02). Importancia del transporte aéreo. El Mundo.
- OACI. (2006). Manual de Gestión de la Seguridad Operacional Doc. 9859. Montreal: OACI.

- OACI. (2006). Protección de datos sobre seguridad operacional. Revista de la OACI.
- Organización de aviación Civil Internacional . (2006). Manual de Gestion de la Seguridad Operacional .
- "The Evolution of Safety Management, SMS and its impact on Airports".(n.d.).Retrievedfrom http://www.she.com/presentations/sorrentino_052107.pdf
- UAEAC. (2013). Informe estadístico preliminar accidentalidad aérea año 2012. Bogotá.
- Unidad Administrativa Especial de Aeronautica Civil. (2014). Aeronautica Civil.Retrieved from <http://www.aerocivil.gov.co/Paginas/default.aspx>
- Zamacona Soto, R. (2015, 05 01). Colección de Tesis Digitales Universidad de Las Americas Puebla. Retrieved from <http://catarina.udlap.mx/udla/tales/documentos/lcp/zamaconasr>





Modelación matemática de cargas sobre una superficie alar

Mathematical modelling of loads on a wing surface

■ Fechas de recepción: 21 de julio de 2015
■ Fecha de aprobación: 30 de julio de 2015

POR: DIEGO GERARDO ROLDAN JIMENEZ*

Resumen

En este artículo se presentará un problema de tecnología aeronáutica donde se determinan diferentes cargas sobre una superficie alar. Se introducirá un proceso típico de cinco pasos en modelación matemática para determinar las ecuaciones que describen las cargas. El uso de paquetes simbólicos es mencionado en esta aplicación, y se muestra como pueden ser utilizados para evitar cálculos complicados. Adicionalmente, se obtuvo una expresión general que determina la distribución de cargas sobre una estructura alar. Finalmente, a través del método gráfico se halla una solución que permite dar una idea de la distribución de cargas con unos parámetros determinados.

PALABRAS CLAVES: Modelación Matemática, Optimización.

Abstract

This article presents a problem on aviation technology where different loads on a wing surface are determined. A typical five-step process in mathematical modelling will be introduced to determine the equations describing the loads. The use of symbolic packages is mentioned in this application, as well as its use in order to avoid complicated calculations. Additionally, a general expression that determines the distribution of loads on a wing structure was obtained. Finally, through the graphical method a solution that allows to give an idea of the distribution of loads particular parameters was found.

Keywords: Mathematical modelling, optimization.

* Matemático, Pd Eng (c) Matemáticas para la Industria. Universidad Tecnológica de Eindhoven. Eindhoven, Los Países Bajos. Correo electrónico: d.g.rolдан.jimenez@tue.nl

Introducción

Los problemas de optimización son quizá los mas frecuentes en las matemáticas aplicadas. Existen diferentes situaciones en la aeronáutica donde se pueden encontrar, por ejemplo, si se quieren minimizar costos de operación y mantenimiento en un taller aeronáutico, o si se quiere minimizar el tiempo de espera para abordar una aeronave, o si se quiere encontrar la mejor tarifa en la venta de tiquetes hacia un destino. Estos problemas clásicos tienen en común el hecho de que existen variables que se pueden controlar, y en ocasiones, como en este artículo, su complejidad se puede reducir al estudio de solo una variable. Los problemas de optimización buscan a partir de variables de entrada, determinar la mejor respuesta, con base en condiciones impuestas por el problema.

Se presentará una breve introducción a la modelación matemática através de un problema de optimización en una sola variable con aplicaciones en la tecnología aeronáutica. Este ejercicio puede ser utilizado en cursos de calculo diferencial en la escuela y brinda un complemento a la enseñanza tradicional de las matemáticas en el aula. Extensiones de este modelo, pueden ser discutidos sin ninguna dificultad, sin embargo aquí nos limitaremos al estudio de una sola variable.

Existen diferentes enfoques para hacer modelación matemática . Todos ellos siguen una estructura, paso a paso, donde hay ligeras variaciones en la cantidad de pasos y en el detalle de los mismos. Aquí introduciremos uno de ellos, quizá el mas simple, aun asi conserva los fundamentos y la esencia del proceso de modelación. Este proceso de modelación matemática empieza con una situación real, que necesita ser observada y simplificada, después de todo, un modelo matematico ofrece una aproximación confiable a la realidad. Durante esta simplificación, se necesitan hacer suposiciones razonables sobre el fenómeno, y asi mismo indentificar parámetros y variables (Meerschaeert, 2013). En este ejercicio, la habilidad en el dominio de terminología en matemáticas puede ser una gran ayuda. Se debe plantear las suposiciones en términos de dichas variables, y plantear claramente la pregunta, tanto en palabras como en términos matematicos.

El siguiente paso es seleccionar el enfoque matematico, o en otras palabras, elegir las matemáticas que pueden ser útiles para solucionar el problema. Por ejemplo, si se esta hablando de determinar máximos y mínimos, la optimización matemática puede ser una excelente alternativa. Plantear el modelo es el siguiente paso. Aquí se necesita considerar la pregunta hecha en el paso uno, y replantearla de acuerdo al enfoque elegido en el paso 2. El siguiente paso es resolver el modelo utilizando técnicas disponibles para trabajar problemas propuestos por las matemáticas elegidas en el segundo paso.

El paso final es responder la pregunta propuesta en el paso uno. Después de este proceso, es conveniente realizar pruebas que permitan determinar la veracidad del modelo, ya sea realizando variación de parámetros en el mismo y observando sus resultados. Como este artículo pretende mostrar el

proceso de modelación matemática, a través de un problema que surge desde la aeronáutica, nos limitaremos a introducir el proceso de cinco pasos, y no desarrollaremos un análisis posterior. Sin embargo, existe gran variedad de artículos y libros disponibles para análisis posteriores, alguno de ellos estan citados en las referencias, y para el lector interesado se sugiere la consulta adicional. Resumiendo, los pasos a seguir en modelación matemática son:

1. Formular la pregunta
2. Elegir el enfoque matematico
3. Formular el modelo
4. Solucionar el modelo
5. Responder la pregunta.

El problema original, surge desde una situación propuesta por tecnólogos aeronáuticos. Dada una aeronave, se quiere determinar el punto sobre un ala donde la distribución de cargas es máxima, dadas unas características especiales. Se supondrá que el ala es de tipo flecha (Figura 1), y que la distribución de cargas sobre la misma es elíptica. Esta suposición puede modificarse, a una distribución netamente lineales, sin embargo, por la distribución geométrica del ala y por cuestiones aerodinámicas, la distribución lineal es poco realista. La carga causada por el peso de la estructura alar será proporcional a la cuerda del ala, donde en la raíz será mayor y disminuirá hacia la punta del ala. Esto puede asumirse por la geometría alar.

En cuanto a la carga causada por el tanque de combustible, podemos asumir que solo será causada en una parte de la longitud total del ala, ya que el tanque no se extiende a lo largo de la misma, y también será proporcional al ancho del tanque. Adicionalmente, podemos suponer que la aeronave bajo estudio es pequeña, y tiene un tanque de combustible en cada ala.

Modelo

Es importante hacer una lista de variables y parámetros que se encuentren en el modelo, incluyendo unidades apropiadas. Así mismo, listar todas las suposiciones hechas sobre esas variables y determinar el objetivo del modelo en términos matematicos. A continuación, se muestran las variables, parámetros, suposiciones y objetivo.

Variables y Parámetros:

- x := Posicion a lo largo del ala (m)
- L := Longitud del ala (m)
- q_l := Cargas debido a la sustentacion (N)
- q_w := Cargas debido al peso de la estructura alar (N)
- q_f := Cargas debido al peso del tanque de combustible (N)
- q_t := Cargas total (N)
- c_l := Coeficiente de Lift (N m)
- c_w := Coeficiente del peso alar (N m)

- c_w := Constante asociada al tanque de combustible (N/m)
- η := Factor de Carga
- W_{T0} := Peso total de la aeronave (Kg)
- W_w := Peso total del ala (Kg)
- W_f := Peso del tanque de combustible (Kg)
- L_f := Longitud del tanque de combustible (m)
- C_o := Longitud de la cuerda en la raíz del ala (m)
- C_t := Longitud de la cuerda en la punta del ala (m)
- C_{of} := Ancho del tanque de combustible en la raíz del ala (m)
- C_{tf} := Ancho del tanque de combustible en L_f (m)

Suposiciones:

$$q_i = c_i \sqrt{L^2 - x^2}$$

$$q_w = c_w \left(C_o - \left(\frac{C_o - C_t}{L} \right) x \right)$$

$$q_f = \begin{cases} 0 & \text{si } L_f < x \\ c_f \left(C_{of} - \left(\frac{C_{of} - C_{tf}}{L} \right) x \right) & \text{si } L_f \geq x \end{cases}$$

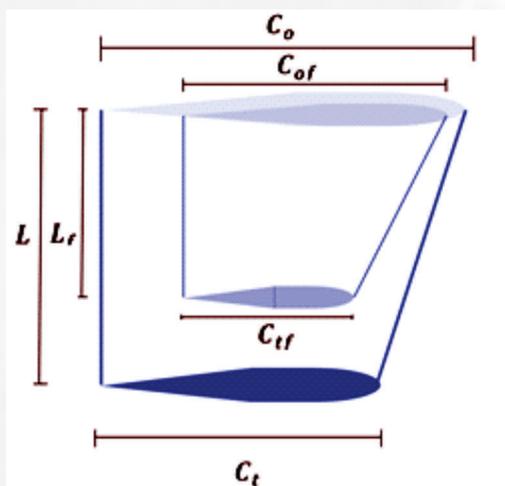
$$q_i = q_i + q_w + q_f$$

$$0 \leq x \leq L$$

Objetivo:

Encontrar el máximo de q_i .

Figura 1. Dimensiones del ala y el tanque de combustible



Fuente: Propia

Para estar seguros de las unidades es importante verificar las unidades en las ecuaciones, para verificar que las ecuaciones tienen sentido. Por ejemplo, para q y q se tendrá:

$$(q_i \text{ N}) = (c_i \text{ N/m}) \sqrt{(L \text{ m})^2 - (x \text{ m})^2}$$

$$(q_i \text{ N}) = (q_i \text{ N}) + (q_w \text{ N}) + (q_f \text{ N})$$

En este momento, tenemos el problema en términos matemáticos y necesitamos elegir las matemáticas adecuadas para solucionar este problema. Es claro que queremos hallar una carga máxima sobre el ala, por lo tanto estamos hablando de un problema de optimización, en particular optimización en una variable. Se plantea el enfoque que se va a tomar para solucionar este problema, más detalles se pueden encontrar en (Stewart, 2012).

Si tenemos una función real $y=f(x)$ diferenciable y definida sobre un subconjunto de la recta real A , se sabe por un teorema fundamental que si el máximo o el mínimo de la función esta en un punto x al interior de A entonces $f'(x)=0$. De forma que si dentro de A hay puntos que no satisfacen la condición, ellos serán descartados del análisis.

Ahora lo que tenemos que hacer es formular el modelo. Es bueno tener conocimiento alguno de la información disponible para solucionar el problema. En la lista de variables y parámetros se introdujo algunos parámetros sobre los cuales no hay certeza total. Nos referimos a los coeficientes de lift, peso alar y la constante asociada al tanque de combustible. La introducción de estos términos ayudó en el balance de las unidades de nuestras suposiciones, y tienen un significado físico que no será descrito en detalle. Sin embargo, podemos utilizar elementos de la teoría aerodinámica para nuestro beneficio.

Sabemos que el *Lift* se puede obtener integrando q_i a o largo de todo el ala. En términos matemáticos:

$$Lift = \int_0^L q_i dx = \int_0^L c_i \sqrt{L^2 - x^2}$$

Y también se sabe desde la teoría del diseño aeronáutico que $=Lift/ W_{T0}$. Por lo tanto,

$$\int_0^L c_i \sqrt{L^2 - x^2} = \frac{\eta W_{T0}}{2}$$

e integrando:

$$\frac{\pi c_i L^2}{4} = \frac{\eta W_{T0}}{2}$$

y desarrollando para c_l se tendrá:

$$c_l = \frac{2\eta W_{T_o}}{\pi L^2}$$

Finalmente, se reemplaza en q_l y la expresión de cargas respecto a la sustentación está dada por:

$$q_l(x) = \frac{2\eta W_{T_o} \sqrt{L^2 - x^2}}{\pi L^2}$$

Para simplificar el problema, se puede incluir una restricción adicional y es suponer que la aeronave tiene un factor de carga igual a uno, o en otras palabras que estamos considerando la situación donde la aeronave está en un vuelo recto y nivelado. En este caso, tendremos:

$$q_l(x) = \frac{2W_{T_o} \sqrt{L^2 - x^2}}{\pi L^2}$$

Podemos utilizar un argumento semejante para q_w :

$$\int_0^L q_w dx = \int_0^L c_w \left(C_o - \left(\frac{C_o - C_t}{L} \right) x \right) = \frac{\eta W_w}{2}$$

y así:

$$c_w = - \frac{\eta W_w}{L(C_o + C_t)}$$

por lo tanto:

$$q_w = - \frac{\eta W_w (C_o - \frac{x(C_o - C_t)}{L})}{L(C_o + C_t)}$$

Matemática Simbólica

Estos cálculos pueden ser algo engorrosos si se hacen manualmente. Por fortuna existen diferentes paquetes informáticos que pueden ayudar a simplificar la tarea, por ejemplo está Mathematica, o Matlab con su paquete de programación simbólica Mupad (Brian, Ronald, Rosenberg, 2014). Existen algunas versiones a bajo costo que pueden ser asequibles a estudiantes (Doherty, 2009). También hay opciones gratuitas como Scilab, con el complemento Scimax, que requiere la instalación de otro software muy popular

conocido como Maxima. Para calcular q_f se utilizó el paquete simbólico de Matlab:

Sabemos que:

$$q_f = \begin{cases} 0 & \text{si } L_f < x \\ c_f \left(C_{of} - \left(\frac{C_{of} - C_{tf}}{L} \right) x \right) & \text{si } L_f \geq x \end{cases}$$

Entonces para valores de $x > L_f$ no tenemos que preocuparnos. Sin embargo para $x < L_f$ se pueden seguir los comandos descritos en la Figura 2.

Figura 2. Paquete simbólico de Matlab (Mupad). Instrucciones para hallar

```

q_f := x-->cf*(Cof-x*(Cof-Ctf)/L)
x -> cf * (Cof - x*(Cof-Ctf)/L)
PesoTanque := int(q_f(x), x=0..L)
Lcf(Cof+Ctf)
eq := n*Wf/2 = PesoTanque
Wfn = Lcf(Cof+Ctf)
cf := solve(eq, cf) assuming L>0 and Cof+Ctf>0

```

Fuente: Propia

y reemplazando c_f en q_f se tendrá:

$$q_f = \begin{cases} 0 & \text{si } L_f < x \\ -\eta W_f \left(C_{of} - \left(\frac{C_{of} - C_{tf}}{L} \right) x \right) & \text{si } L_f \geq x \end{cases}$$

Por lo tanto la carga total q_t está dada por la siguiente expresión:

$$q_t(x) = \begin{cases} \frac{\eta(2W_{T_o}(C_o + C_t)\sqrt{L^2 - x^2} + \pi W_w((C_o - C_t)x - C_o L))}{L^2 \pi (C_o + C_t)} & \text{si } L_f < x \\ \frac{2W_{T_o}\eta\sqrt{L^2 - x^2}}{L^2 \pi} - \frac{W_w\eta(C_o x - C_o x + C_o L)}{L^2 (C_o + C_t)} - \frac{W_f\eta(C_{of}x - C_{of}x + C_{of}L_f)}{L_f^2 (C_{of} + C_{tf})} & \text{si } L_f \geq x \end{cases}$$

Resultados

La anterior expresión está presentada en su forma más natural. Sin embargo, para hallar el máximo de esta función, sería de gran ayuda el disponer de datos que nos permitan de alguna forma visualizar el comportamiento de la misma. Es por esto, que dijimos que estábamos considerando una aeronave pequeña, y para este tipo de aeronaves unos parámetros apropiados podrían ser:

$$W_{T_0} := 4800Kg$$

$$W_w := 600Kg$$

$$W_f := 650Kg$$

$$L := 7m$$

$$L_f := 3m$$

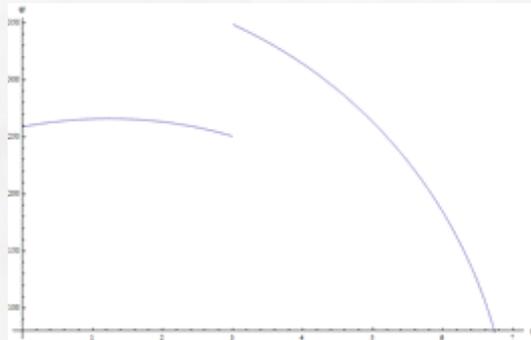
$$C_o := 1.8m$$

$$C_t := 1.5m$$

$$C_{of} := 1.1m$$

$$C_{yf} := 0.85m$$

La Figura 3 muestra como cambia el valor de qt a lo largo del eje x .

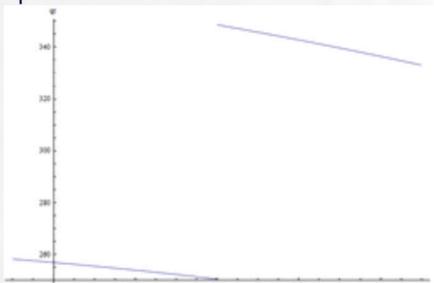


Fuente: Propia

La figura muestra claramente que hay un salto significativo en $x=L_f$. En efecto, esto se debe al diseño de la aeronave. Por lo tanto hay que tener en cuenta distintas características propias de la aeronave, entre ellas los materiales y la resistencia de los mismos, ya que la carga en este punto puede ser peligrosa debido al diferencial de más de 1000 Newtons. A esto hay que sumar el hecho de que se consideró un factor de carga igual a uno.

En cuanto a la respuesta de cuál es la máxima carga, evidentemente desde la figura se observa que corresponde al valor de:

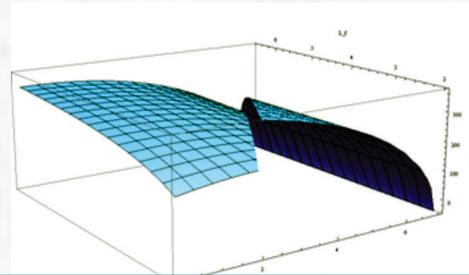
Figura 4. Ampliación sobre $x=3$



Fuente: Propia

Por último, por cuestiones de diseño, es posible que las dimensiones del tanque de combustible cambien pero los pesos se mantengan. Sin embargo, hay inquietud en cuanto a la distribución de cargas para diferentes dimensiones. En este caso, una gráfica de la función $qt(x, L_f)$ es de bastante utilidad porque se puede observar la evolución de las cargas a medida que la longitud del tanque cambia.

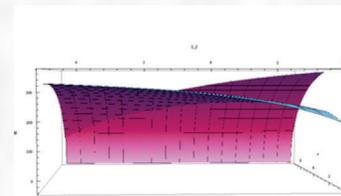
Figura 5. Distribución de cargas para distintos valores de L_f



Fuente: Propia

Si se quisiera determinar, la longitud L_f donde la carga en la parte complementaria del ala es igual a la carga de la raíz, una aproximación puede ser a través de la vista lateral de esta imagen. Se nota que en $L_f=4.5$ la carga del máximo es igual a la carga de la raíz.

Figura 6. Vista en el plano L_f, qt



Fuente: Propia

Conclusiones

El proceso de modelación matemática es muy útil como estrategia para resolver problemas en diferentes disciplinas, incluyendo la tecnología aeronáutica. A través de un sencillo problema de distribución de cargas, se pudo observar como a través de la estrategia de los cinco pasos, se pudo hallar una expresión general de cargas sobre una superficie alar.

Esta expresión, puede ser utilizada para distintas aeronaves con distintos parámetros y dimensiones. Las suposiciones de cargas elípticas pueden ser ligeramente modificadas teniendo en cuenta la geometría alar. Esta distribución de cargas pueden ser halladas desde datos obtenidos experimentalmente sobre la estructura alar.

En el desarrollo de las ecuaciones, algunos pasos pueden ser complejos y susceptibles a errores, por lo tanto el uso de software con paquetes simbólicos como Mupad, son una alternativa a considerar. Existen paquetes estudiantiles a muy bajo costo para aquellos que estén interesados en este tipo de problemas.

Adicionalmente, las gráficas fueron construidas con otro software llamado Mathematica, que permite un rápido análisis sobre las curvas a estudiar. El método gráfico que se mencionó, solo permite tener una idea de cómo es el comportamiento de la solución y no debe ser utilizado si se requieren un análisis profundo en problemas que requieran un cierto grado de exactitud.

Todos los modelos matemáticos deben ser validados y verificados, la verificación se realiza a través del modelador que fija soluciones que puedan ser utilizadas como punto de referencia y con modificaciones sobre parámetros del modelo, analiza los nuevos resultados y concluye si estos tienen sentido. Esto le brinda criterios para saber si el modelo matemático es apropiado o no. Adicionalmente, análisis de sensibilidad deben realizarse junto a la verificación para identificar parámetros sensibles y hallar la robustez en el modelo planteado. En cualquier caso si el modelo es capaz de describir el fenómeno para el cual fue creado y está dentro de los alcances del mismo, este se considera un modelo apropiado.

Referencias

- Brian R. Ronald L, Rosenberg J. (2014) A guide to MATLAB: For beginners and experienced users. Cambridge University Press
- Doherty D. (2009) Analytical Modeling of Aircraft Wing Loads using Matlab and Symbolic Matlab Toolbox. Matlab Digest, The Math-Works.
- Meerschaeert M. (2013) Mathematica Modeling, Academic Press.
- Stewart J. (2012) Cálculo. Brooks Cole Cengage Learning, Séptima edición.



Instrucciones 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@gmail.com - investigacion.academico@gmail.com

Comandante Escuadrón Investigación encargado: Capitán Erwin Alfonso Sierra Salazar

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@gmail.com - investigacion.academico@gmail.com

Deputy Research Squadron Commander: Captain Erwin Alfonso Sierra Salazar

Editor: Patricia Cadena Caicedo