



Centro de Estudios Aeronáuticos  
Institución Universitaria

# III ENCUENTRO DE INVESTIGACIÓN DESARROLLO E INNOVACIÓN

---

## EN EL SECTOR AERONÁUTICO

**E-BOOK Memorias**



Edición 03  
Compiladores; Ingeniera Luisa Camila Arias Sabogal  
Mg. Alicia del Pilar Martínez Lobo  
ISSN 2665-5713  
Periodicidad anual



AERONÁUTICA CIVIL  
UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL

## **COMITÉS**

### **DIRECTIVOS**

Juan Carlos Salazar Gómez  
Director General Aeronáutica Civil

### **COMITÉ ORGANIZADOR**

Jorge Iván García Sepúlveda  
Jefe Centro de Estudios Aeronáuticos

Coordinador Grupo de Investigación Académica  
Luisa Camila Arias Sabogal

Coordinador Grupo de Relaciones Interinstitucionales  
María Cristina Pabón Contreras

Docente Asesor Grupo de Investigación Académica  
Alicia Del Pilar Martínez Lobo

Profesionales Grupo de Relaciones Interinstitucionales  
Sonia Pérez Méndez  
Enrique Benavides  
Lina Geraldine Huertas  
Laura Michell Salinas  
Camilo Steven  
Angela Bibiana

### **Moderadores Ponencias**

Camilo Stiven Leal / Sala 1  
Daniel Enrique Angulo Justinico / Sala 2  
Santiago Molano / Sala 3  
Lina Geraldine Huertas Bernal / Sala 4  
Alejandra Rincón y Ivonne Quesada / Sala 5

### **Moderadores Galerías Poster**

Mónica Cecilia Peña Ante  
Andrés Felipe Fierro  
Alejandra Flores  
Valentina Suarez Rodríguez  
Laura Salinas

### **Coordinador Coworking**

Alicia del Pilar Martínez Lobo

**Edición N°. 03**

Compiladores: Luisa Camila Arias Sabogal

[luisa.arias@aeronicivil.gov.co](mailto:luisa.arias@aeronicivil.gov.co)

Alicia del Pilar Martínez Lobo

[Alicia.martinez@aerocivil.gov.co](mailto:Alicia.martinez@aerocivil.gov.co)

# CONTENIDO



## 1 Introducción.

**1.1** Propósito.

**1.2** Público del Encuentro.

**1.3** Lugar y fecha de la actividad.

**1.4** Modalidades de presentación de trabajos.

**1.5** Agenda del III E-IDEA 2020.

**1.6** Conferencistas invitados.

**1.7** Metodología.

**1.8** Recepción de trabajos.



# CONTENIDO



**2** Desarrollo III E-IDEA 2020.

**2.1** Coworking.

**2.2** Ciclo de ponencias.

**2.3** Galería de Posters.

**3** Artículos cortos ponencias.

**4** Grupo de Investigación  
Aeronáutica - GINA

**5** Conclusiones.



## 1. INTRODUCCIÓN

El Centro de Estudios Aeronáuticos continuando con su compromiso al fomento y fortalecimiento de la investigación, organizó su III Encuentro de Investigación, Desarrollo e Innovación en el Sector Aeronáutico III E-IDEA 2020, cuyo propósito fue convocar a investigadores, docentes, estudiantes, en general comunidad académica nacional e internacional y al sector de la industria, a compartir y socializar sus experiencias académicas, científicas y tecnológicas que aportan al campo del conocimiento aeronáutico y de la aviación civil.

El 23 de octubre, se realizó el III E-IDEA 2020. el cual, contó con la participación de expertos internacionales de Argentina, Holanda y Brasil, quienes enriquecerán con sus conferencias la jornada académica, al abordar temáticas de alto nivel relacionadas con áreas del conocimiento como simulación y optimización, aeropuertos digitales en el contexto de planeación estratégica, aspectos ambientales relacionados con el transporte aéreo, y en el contexto nacional con la temática de educación superior en el sector aeronáutico.

Hoy, orgullosamente el III E-IDEA 2020 es un referente en la comunidad científica y académica, al propiciar un entorno para la discusión sobre las tendencias nacionales e internacionales en ciencia, tecnología e innovación, y su relación con las necesidades de las entidades vinculadas al ecosistema aeronáutico.

Se realizó una convocatoria a nivel nacional e internacional con el fin de dar la oportunidad a investigadores, docentes, estudiantes y personal de la industria aeronáutica de presentar sus propuestas de investigación y mostrar los resultados de su trabajo. Consecuencia de ello, se contó con la participación de universidades, centros de investigación e industria en la modalidad de ponencia, poster y coworking, así como una amplia asistencia de la comunidad académica y científica del sector aeronáutico

Las áreas de conocimiento abordadas se enmarcaron en las líneas de: servicios a la navegación aérea, servicios aeroportuarios, electrónica, robótica, gestión tecnológica, aeronaves no tripuladas, aviónica, seguridad operacional, logística aeronáutica, mantenimiento aeronáutico, regulación, certificación, factores humanos, educación en aeronáutica, entre otros.

Con este encuentro, igualmente, se asumió un reto con la virtualidad, rompiendo los paradigmas de presencialidad, la modalidad online permitió llegar a una audiencia mayor, manteniendo los estándares de calidad y excelencia y ampliando la capacidad de responder a necesidades e interrogantes planteados por la comunidad académica, científica y productiva del sector aeronáutico y aeroespacial.

### 1.1. Propósito

El Encuentro propicia un entorno para la discusión sobre las tendencias nacionales e internacionales en ciencia, tecnología e innovación, y su relación con las necesidades de las entidades vinculadas al ecosistema aeronáutico, además del desarrollo en el mediano y largo plazo del sector del transporte aéreo del país, favoreciendo la creación de nuevos lazos de cooperación.

### 1.2. Público del Encuentro

El público que asistió al evento bajo la modalidad virtual estuvo conformado por comunidad académica, científica y productiva a nivel nacional e internacional del sector aeronáutico

### 1.3. Lugar y Fecha de la Actividad

Centro de Estudios Aeronáuticos, octubre 23 de 2020, de 7:30 am – 5:30 pm

### 1.4. Modalidades de Presentación de Trabajos

**Ponencia.** Con esta actividad académica las instituciones participantes tuvieron la oportunidad de presentar los resultados de un trabajo de investigación a través de una exposición respaldada por un artículo de investigación, el cual es publicado en las memorias del evento que cuenta con el ISSN 2665-5713.

**Poster.** Consistió en una exposición del diseño gráfico, en el cual, está plasmado un desarrollo fruto de una investigación dirigida a cualquier área del conocimiento del sector aeronáutico. que se realizó de manera online, mediante la organización de salas Esta modalidad contó con el desarrollo de un E-BOOK el cual puede ser consultado en el siguiente enlace: <https://n9.cl/vwro>

**Coworking.** Se recibieron capítulos completos resultados de investigaciones, los cuales, son evaluados por pares académicos nacionales o internacionales según el área de conocimiento, los aceptados, son presentados para ser parte libro de investigación editado por La Universidad ECCI – CEA.

### 1.5. Agenda del III E-IDEA 2020

- Las conferencias y ponencias pueden ser consultadas en el siguiente enlace: <https://bit.ly/2VhEQ3l>

- Los posters pueden ser consultados en el siguiente enlace: <https://bit.ly/3mnRHND>

## 1.6. Conferencistas invitados

Para el desarrollo del evento se contó con la participación de conferencistas internacionales y nacionales, de trayectoria y reconocimiento en el sector aeronáutico, quienes expusieron temáticas de alto impacto para la comunidad científica.

En la jornada de la mañana se contó con dos conferencias.

1. **La importancia del uso de la simulación y optimización en el estudio de problemas aeronáuticos**



The slide features a dark blue background with white text and logos. At the top left, it reads 'ENCUENTRO DE INVESTIGACIÓN DESARROLLO E INNOVACIÓN EN EL SECTOR AERONÁUTICO'. In the top right corner, there are logos for 'CEA Centro de Estudios Aeronáuticos' and 'AERONÁUTICA CIVIL UNED AMSTERDAM URUGUAY'. The name 'Miguel Mujica Mota' is prominently displayed in the center. Below the name is a circular portrait of the speaker. A block of text provides a detailed biography of Miguel Mujica Mota, mentioning his roles at the University of Applied Sciences in Amsterdam, the Autonomous University of Barcelona, and his involvement with EUROSIM and the International Group for Research in Aviation and Multimodal Transport. The E-IOEA logo is located at the bottom left of the slide.

**ENCUENTRO DE INVESTIGACIÓN  
DESARROLLO E INNOVACIÓN  
EN EL SECTOR AERONÁUTICO**

**CEA**  
Centro de Estudios  
Aeronáuticos

**A**  
AERONÁUTICA CIVIL  
UNED AMSTERDAM URUGUAY

**Miguel Mujica Mota**

Es profesor asociado e investigador en la Academia de Aviación de la Universidad de Ciencias Aplicadas de Amsterdam en Países Bajos. Ha sido subdirector de los estudios de aviación en la Universidad Autónoma de Barcelona. Tiene un PhD y una maestría en informática por la Universidad Autónoma de Barcelona y un doctorado en investigación de operaciones por la UNAM en México. Actualmente es el presidente de EUROSIM (Federación de Sociedades de Simulación en Europa) y presidente de la Sociedad de Simulación en la región de Benelux. Fundó el Grupo Internacional en Investigación en Aviación y Transporte Multimodal con científicos reconocidos de diferentes áreas del conocimiento. Actualmente estudia el sistema multiaeroportuario de México y Países Bajos.

**E-IOEA**

## 1.2 Aeropuertos digitales en el contexto de la planeación estratégica

**ENCUENTRO DE INVESTIGACIÓN DESARROLLO E INNOVACIÓN EN EL SECTOR AERONÁUTICO**

**CEA** Centro de Estudios Aeronáuticos | **A** AERONÁUTICA CIVIL (ASOCIACIÓN ARGENTINA DE INGENIEROS AERONÁUTICOS)

**Danielle De Sá Quirino Costa**

Licenciada en Ingeniería Civil y en Derecho. Máster en Ingeniería Geotécnica, Asesora del Director de Operaciones de Aeropuertos y del Director de Ingeniería. Gerente Nacional de Planificación y Monitoreo de inversiones aeroportuarias, Superintendente Nacional de Proyectos, coordinadora del proyecto "Aeropuerto Digital". Actualmente trabaja en la Secretaría Nacional de Aviación Civil de Brasil, en el Departamento de Planificación y Gestión.



**E-IQOEA**

En la jornada de la tarde se contó con otras dos conferencias:

### 1. Aspectos ambientales de la operación aérea

**ENCUENTRO DE INVESTIGACIÓN DESARROLLO E INNOVACIÓN EN EL SECTOR AERONÁUTICO**

**CEA** Centro de Estudios Aeronáuticos | **A** AERONÁUTICA CIVIL (ASOCIACIÓN ARGENTINA DE INGENIEROS AERONÁUTICOS)

**Alejandro Di Bernardi**

Ingeniero Aeronáutico (UNLP-Argentina) y Máster en Sistemas Aeroportuarios (UPM-España). Profesor de grado en la carrera de Ingeniería Aeronáutica / Aeroespacial en la UNLP. Además, ha dictado cursos de postgrado, clases, conferencias o charlas en más de 40 instituciones y universidades en 19 países. Director de la "Unidad de Investigación, Desarrollo, Extensión y Transferencia" UIDET "GTA-GIAI" del Departamento de Aeronáutica - UNLP. Co-autor de varias publicaciones en las áreas de: aeropuertos, transporte aéreo y motores aeronáuticos. Con experiencia profesional en más de 100 aeropuertos. Integrante de la junta Directiva de la RIDITA y experto del TCP de ICAO.



**E-IQOEA**

## 1.2. Prospectiva del Centro de Estudios Aeronáuticos como Institución de Educación Superior en la ruta al 2030.

The infographic is titled "ENCUENTRO DE INVESTIGACIÓN DESARROLLO E INNOVACIÓN EN EL SECTOR AERONÁUTICO". It features the logos of CEA (Centro de Estudios Aeronáuticos - Institución Universitaria) and AERONÁUTICA CIVIL (UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA). The central figure is Jorge Iván García Sepulveda, identified as the "Jefe Centro de Estudios Aeronáuticos CEA".

**Jorge Iván García Sepulveda**

Ingeniero Aeronáutico de la Universidad de San Buenaventura. Magíster en Energía Térmica con énfasis en tecnología de turbinas de gas. Se ha desempeñado como ingeniero de control de calidad e ingeniero de reparaciones estructurales, también como profesor asociado de la facultad de Ingeniería Aeronáutica de la Universidad Pontificia Bolivariana. Posteriormente fue director de la misma facultad por 6 años.

Dentro de su trabajo académico, ha participado en proyectos de educación en Ingeniería, creación de currículos, al igual que en desarrollos de RPAS e incluyendo cursos de análisis estructural de aeronaves de la Universidad de Kansas y de Boeing.

Actualmente se desempeña como Jefe del Centro de Estudios Aeronáuticos CEA

**Jefe Centro de Estudios Aeronáuticos CEA**

E-IOEA

## 1.7. Metodología

El encuentro de Investigación estuvo liderado por el Grupo de Investigación Académica con el apoyo de la dirección del CEA y el Grupo de Relaciones Interinstitucionales.

El Grupo de Investigación Académica y el Grupo de Relaciones Interinstitucionales, coordinaron todas las acciones relacionadas con las invitaciones a las instituciones de educación superior y la industria para su asistencia al evento, se realizó una difusión masiva a través de los medios de comunicación institucional y las redes sociales.

La metodología propuesta para el desarrollo del Encuentro consistió en la participación de instituciones de educación superior con programas académicos relacionados con el conocimiento aeronáutico civil y militar, empresas y centros de investigación, quienes presentaron sus trabajos resultados de investigación y temáticas de desarrollo tecnológico.

Dada la situación vivida en el país y el mundo con la pandemia del Covid-19, se requirió el desarrollo del evento de manera virtual, por ello, el encuentro se desarrolló en un día, con el soporte de la plataforma Teams, una jornada que duró ocho horas, distribuidas en tres actividades, 4 conferencias magistrales, 18

ponencias, y 21 poster. Se contó con la asistencia de 700 personas según el registro establecido en la plataforma. Por su parte la modalidad de Coworking, fue una actividad previa en la que se enviaron los artículos a revisión y aprobación por parte del comité editorial del libro resultado de investigación, para la publicación en conjunto con el CEA-ECCI.

## 1.8. Recepción de Trabajos

La recepción de trabajos se realizó en 3 etapas:

**Etapa 1:** Recepción de propuestas hasta el 30 de agosto de 2020. Las cuales fueron recibidas a través del correo electrónico: [alicia.martinez@aerocivil.gov.co](mailto:alicia.martinez@aerocivil.gov.co), la solicitud y un resumen de la propuesta, explicando la modalidad, la temática, objetivo, propósito de la investigación, metodología y resultados. Formato libre.

**Etapa 2:** Recepción del documento completo el 30 de septiembre del 2020. Se recibió por parte del comité organizador, mediante correo electrónico en el formato establecido, dependiendo de la modalidad del trabajo presentado y aceptado.

**Etapa 3.** Presentación del trabajo en el Encuentro de Investigación, Desarrollo e Innovación en el Sector Aeronáutico, el 23 de octubre de 2020, en los espacios virtuales establecidos en la plataforma Teams institucional por el equipo del CEA.

Todos los trabajos aceptados y presentados en el III E-IDEA 2020, fueron resultado de actividades de investigación, desarrollo e innovación y garantizada su originalidad por parte de los ponentes.

## 2. Desarrollo tercer encuentro de investigación

Se inició con el saludo y apertura del encuentro por parte del doctor Juan Carlos Salazar Gómez, Director General de la Unidad Administrativa Especial de la Aeronáutica Civil, quien resaltó la calidad del evento al contar con conferencias magistrales de alto impacto nacional e internacional, agradeció igualmente la acogida que tuvo el III E-IDEA 2020, y motivo al equipo del CEA a continuar generando espacios académicos – científicos que promuevan la divulgación y socialización de los avances tecnológicos y de conocimiento en el sector aeronáutico del país.

## 2.1. Coworking

Para esta estrategia se contó con el concurso de 10 artículos, los cuales, fueron enviados a pares evaluadores nacionales e internacionales, quienes apoyaron para la revisión y valoración científica de los mismos.

Como resultado de las evaluaciones, los artículos aprobados pasaron al proceso editorial del libro editado conjuntamente con la ECCI.

#	Institución	Ciudad / País	Participante	Tema	Título
C1	FAC- Dirección Ciencia Tecnología e innovación	Bogotá D.C	TC. Jorge Giovanni Jiménez Sánchez, PhD.	Meteorología	La Corriente en Chorro del Orinoco y sus efectos en las operaciones aéreas
C2	Fuerza Aérea Colombiana	Bogotá D.C	Luz Giovanna Munar Casas, Lina María Rodríguez Gallego, Andrés Felipe Rodríguez Daza, Alicia del Pilar Martínez Lobo	Gestión Humana	Componente clima organizacional en el marco del proyecto de gestión humana de la FAC "Ingenium 2030"
C3	Escuela de Aviación de Ejercito	Bogotá D.C	Alejandra Flórez Yara, Andrés Felipe Fierro Russi	Bioseguridad	La aviación como medio de transporte para la propagación del covid- 19 y sus consecuencias en el medio aeronáutico
C4	Centro de Estudios Aeronáuticos CEA	Bogotá D.C	Alicia Martinez Lobo, Andrés Felipe Fierro	I+D+I	Planeación estratégica Centros de I+D+I en Colombia: Un análisis comparativo
C6	Universidad ECCI	Bogotá D.C	Sandra Patricia Romero Nieto, José Luis Sanabria Salazar, German Alfonso Castro Pinto,	Ambiental	Procesamiento de materiales a partir de residuos sólidos como una alternativa económica ambiental y social en Colombia.

#	Institución	Ciudad / País	Participante	Tema	Título
C6	Escuela de postgrados EPFAC	Bogotá D.C	Julio Ernesto Rodríguez Piraquive, Jeimmy Nataly Buitrago Leiva,	Logística Aeronáutica	Papel de los encadenamientos productivos en el desarrollo de la industria aeronáutica colombiana
C7	Universidad Distrital Francisco José de Caldas	Bogotá D.C	Leonardo Gomez	Tecnologías / Navegación aérea	Integración de tecnologías satelitales y convencionales para el servicio de Vigilancia Aérea en Colombia
C8	Escuela de postgrados EPFAC	Bogotá D.C	Nora Patricia Gutiérrez Rodríguez, Juan Pablo Carrillo Restrepo, Lina María Pinzón Perilla, Claudia Patricia Martínez Sotelo,	Gestión	Identificación del clúster aeronáutico dos quebradas y valle del cauca
C9	Escuela Militar de Aviación "Marco Fidel Suárez"	Cali / Valle	David Felipe Jaramillo Galvis, Oscar Sebastián Sánchez Sánchez	Equipos de control	Desarrollo de un módulo ADS-B para un sistema UAV en el aeródromo guabito de la Fuerza Aérea Colombiana
C10	Escuela Militar de Aviación "Marco Fidel Suárez".	Cali / Valle	Valeria Ardila Duarte, Gabriela Cuspoca Martínez, Juan Camilo Gómez Basto	Prospectiva	Estudio prospectivo para el diseño de una hoja de ruta al año 2030 para el desarrollo de piezas aeronáuticas de fabricación local en la aviación de instrucción primaria de la Fuerza Aérea Colombiana

## 2.2 Ciclo de ponencias

Se logró la participación de 18 ponencias, las cuales abarcaron las temáticas determinadas en el III E-IDEA y se consolidó un artículo resultado de la investigación.

Las ponencias se presentaron durante la jornada de manera paralela en cinco aulas virtuales.

#	Institución	Ciudad / País	Participante	Tema	Título
A1	Universidad Pontificia Bolivariana	Medellín / Colombia	Juan Carlos Perafan López, Germán Alberto Barragán de los Ríos, Melissa López Tejada, Estefanía Villamil	Aeronaves no tripuladas RPAS	Metodología de obtención de elementos estructurales para aeronaves no tripuladas utilizando optimización topológica y manufactura aditiva
A2	Universidad de Antioquia	Medellín / Colombia	Vallejo Ciro María Isabel Carvajal Loaiza Manuel José, Ocampo De Los Ríos Juan, Bustamante Gómez, Liliana Marcela Villarraga. Ossa Junes Abdul	Seguridad Operacional	Análisis estructural de fatiga y riesgo para una flota de aviones Piper PA-28, caso de estudio.
A3	Escuela de Posgrados Fuerza Aérea Colombiana EPFAC	Bogotá D.C / Colombia	Walter Camargo Castellanos	Seguridad Nacional	Efectos del delito organizado transnacional (DOT), con sus movimientos ilegales aéreos, en el espacio aéreo colombiano
A4	Centro de Estudios Aeronáuticos CEA	Bogotá D.C / Colombia	Mariela Rodríguez Acosta	Gestión de Aviación.	Definición del Marco Nacional de Cualificaciones de la aviación civil
A5	FAC -/ KIRVIT LTDA, Empresa de base tecnológica	Bogotá D.C / Colombia	Luis Carlos Villamil, Gabriel David Castillo Pinzón	Simulación / Formación	Diseño y desarrollo FTD aeronave C-130 fase I: entrenador de procedimientos y emergencias

#	Institución	Ciudad / País	Participante	Tema	Título
A6	SECAD / FAC	Madrid Cundinamarca / Colombia	Mauricio López , Juan David Pava, Alejandro Mayorga Betancourt, Vladimir Silva Leal, Gabriel Talero Rojas, Diego Triviño Velásquez	Bicombustible e aeronáutico	El reto de iniciar, involucrar y proyectar a Colombia en el mercado de Biocombustible Aeronáutico
A7	Corporación Universitaria de Asturias, Fundación Universitaria del Área Andina, Unidades Tecnológicas de Santander UTS	Bucaramanga / Colombia	Jorge E. Chaparro Medina v, Isabel Cristina Rincón Rodríguez, Mauricio A. Hernández Anzola, Marcela Garzón Posada, Lida Neidu Murillo Moreno, Lida Neidu Murillo Moreno	Gestión Administrativa	La gerencia moderna vista desde los resultados de la gestión
A8	Corporación Universitaria de Asturias, Fundación Universitaria del Área Andina, Unidades Tecnológicas de Santander UTS	Bucaramanga / Colombia	Isabel Cristina Rincón Rodríguez, Jorge E. Chaparro Medina , Mauricio A. Hernández Anzola, Marcela Garzón Posada, Lida Neidu Murillo Moreno	Gestión del conocimiento / Factores humanos	Las estrategias de competitividad desde la gestión del conocimiento
A9	Escuela de Posgrados Fuerza Aérea Colombiana EPFAC	Bogotá D.C / Colombia	Bernardo Steven Martinez Romero	Educación	Aplicación de modelos de distribución en la cadena de abastecimiento del transporte Aéreo
A10	Fuerza Aérea Colombiana	Bogotá D.C / Colombia	Guillermo Alfonso Giraldo Martinez, Gerson Ricardo Jaimes Parada	Gestión administrativa	Estudio de correlación entre indicadores de productividad de valor agregado y su afectación por indicadores

#	Institución	Ciudad / País	Participante	Tema	Título
					claves de la economía de defensa de las economías más grandes del mundo.
A11	Universidad de San Buenaventura	Bogotá D.C / Colombia	Mabel Fernanda Hernández González, Andrés Stiven Ramírez herrera, Nixon Danilo hincapié Monroy, Fabio Alejandro Merchán Rincón,	Estructuras	Diseño preliminar del sistema de combustible de la aeronave SKIRON categoría FAR 23
A12	Universidad Pontificia Bolivariana	Medellín / Colombia	Juan Pablo Alvarado Perilla, Jose Daniel hoyos Giraldo, Jesus Hernan Jiménez Giraldo, Camilo Echavarría Martínez	Estructuras	Optimización geométrica multi-objetivo de hélices
A13	Universidad de Buenos Aires / Universidad Distrital Francisco José de Caldas	Bogotá D.C / Colombia	Laura Camila Ruíz Pedroza, Edgar Leonardo Gomez Gomez	Regulación	El principio de no militarización del espacio ultraterrestre y la nueva carrera espacial
A14	Universidad de San Buenaventura	Bogotá D.C / Colombia	Juan Sebastián Bonilla Romero. José Alejandro Urrego Peña, Rubén Darío Salazar Buitrago, Wilson Pinzón Velasco	Regulaciones y normas	Desarrollo arquitectural de un módulo de visualización del estado operacional de la infraestructura de sistemas de comunicaciones y vigilancia (CNS) para el apoyo en la toma de decisiones en colaboración (CDM)

#	Institución	Ciudad / País	Participante	Tema	Título
A15	Universidad Distrital Francisco José de Caldas	Bogotá D.C / Colombia	Edgar Leonardo Gomez	Seguridad	Integración de tecnologías satelitales y convencionales para el servicio de Vigilancia Aérea en Colombia
A16	Centro de Investigación en Tecnologías Aeroespaciales -	Cali / Colombia	Lorena Cárdenas, Sonia Rincón, Ing. Luis Guarnizo	Logística	Prospectiva de capacidades espaciales de a Fuerza Aérea Colombiana en la Antártida
A17	Centro de Estudios Aeronáuticos CEA	Bogotá D.C / Colombia	John Sabogal Corredor, Alexandra Rincón Meza	Simulación	Desarrollo arquitectural de un módulo de visualización del estado operacional de la infraestructura de sistemas de comunicaciones y vigilancia (CNS) para el apoyo en la toma de decisiones en colaboración (CDM)
A18	Cranfield University	Singapore / Asia	Gonzalo Ibarra Candia	Tarifas aeroportuarias	Asignación de Costos Aeroportuarios por Actividades y su Relación con la Prestación de Servicios Aeronáuticos

## 2.3 Galería de Poster

Esta modalidad tuvo una alta participación y acogida por parte de los investigadores e instituciones, se inscribieron 21 trabajos de poster, los cuales fueron socializados ante la comunidad asistente al evento mediante la habilitación de salas, en las que los autores pudieron hacer una presentación de su poster y responder a las inquietudes del personal asistente. Como resultado de esta modalidad se generó un libro virtual y en formato pdf, con el propósito de tener memorias de la participación, el libro virtual puede ser consultado en el siguiente enlace: <https://n9.cl/vwro>.

#	Institución	Ciudad / País	Participante	Tema	Título
B1	Fundación Universitaria Los Libertadores y Centro Tecnológico de Innovación Aeronáutica	Bogotá D.C / Colombia	Yeinson Alfonso Castellanos Sanabria, Germán Wedge Rodríguez Pirateque	Aeronaves eléctricas	Aeronaves Eléctricas de Entrenamiento en Colombia: Una Revisión del Diseño, Fabricación y Factibilidad
B2	CEA / ESAVE	Bogotá D.C / Colombia	Alicia Martínez Lobo, Andrés Felipe Fierro	I+D+I	Centro de I+D+I: Una propuesta conceptual para la aeronáutica civil en Colombia
B3	Escuela de aviación del ejército /Asesor de Proyectos de Ciencia y Tecnología - Ejército Nacional	Bogotá D.C / Colombia	Fabián Steven Garay Rairan, Diana Carolina Contreras Gutiérrez, Oscar Edilson Gómez Vargas, Carlos Arturo Cabrera Arias	I+D+I	Modelo para el desarrollo de proyectos de innovación en tecnología para la aviación: Caso de estudio banco de pruebas digital para las pruebas caza fallas de la GCU de la aeronave Beechcraft King C-90, 200, B200, 300 y 350

#	Institución	Ciudad / País	Participante	Tema	Título
B4	Centro de Investigación en Tecnologías Aeroespaciales CITAE / FAC	Cali / Colombia	Paola Andrea Zárate Luna, Steven Parra Giraldo,	Sistemas	Detección de patrones de minería ilegal a cielo abierto usando redes neuronales profundas aplicadas a imágenes satelitales del FACSAT-1 FASE I
B5	Centro de investigación es biomédicas aeronáutica CIBAE / FAC	Bogotá D.C / Colombia	Cristhian Campos Chaparro, María Alejandra Corzo, Angie Catherine Alvarado Yepes	Factores humanos	Necesidades y riesgos para el desarrollo de operaciones análogas espaciales Colombianas en Antártida y en Colombia.
B6	Centro de Investigación en Tecnologías Aeroespaciales CITAE / FAC	Cali / Colombia	Wilmer Chacón Ardila, Dib Ziysri Salek Chaves, Santiago Muñoz Giraldo. Jorge Andrés Jaramillo Neme, Lorena Paola Cárdenas Espinosa	Simulación	Sistema de navegación del simulador de vuelo de la aeronave Calima T-90c
B7	Fuerza Aérea Colombiana	Bogotá D.C / Colombia	Luz Giovanna Munar Casas, Lina María Rodríguez Gallego, Andrés Felipe Rodríguez Daza, Alicia del Pilar Martínez Lobo	Factores humanos	Modelo de gestión estratégica del talento humano de la Fuerza Aérea Colombiana – una visión sistémica (Fase I) – Proyecto “Ingenium 2030”
B8	Fundación Universitaria Los Libertadores	Bogotá D.C / Colombia	Pedro Fernando Melo Daza, Manuel Esteban Alarcón Lemus	Seguridad	Diseño de la envolvente de un globo aerostático vigilante para las fronteras colombianas.

#	Institución	Ciudad / País	Participante	Tema	Título
B9	Escuela de postgrados EPFAC	Bogotá D.C / Colombia	José Fernando Chacón Torres, Bernardo Steven Martínez Romero	Logística Aeronáutica	Implementación del modelo de Cantidad Económica de Pedido (EOQ) para la gestión de abastecimiento de repuestos aeronáuticos.
B10	Fuerza Aérea Colombiana - CACOM 2 - Grupo Técnico No 23	Villavicencio / Meta	Jesús Felipe Tovar Olmos, Julio Ernesto Rodríguez Pirateque	Logística Aeronáutica	Modelo de planeación, seguimiento y control para el mantenimiento programado de aeronaves
B11	Vortex Deflector	Medellín / Colombia	Julián Sierra Pérez, Juan Felipe Correa Escobar	Gestión de procesos	Biomimética aplicada en el incremento de productividad en plataforma
B12	EASY FLY	Medellin / Colombia	David Giraldo Echeverri	Mantenimiento aeronáutico	Equipo de soporte en tierra para mantenimiento de aeronaves: mitigación de riesgos operacionales
B13	MAPGEO SAS	Envigado / Antioquia	Isabel Cristina Roldan Hoyos, Esteban Villegas Arbeláez, Juan Felipe Correa Escobar	bioseguridad	Aproximación desde la biomimesis y los fluidos transitorios a la aerodinámica del virus
B14	Universidad Pontificia Bolivariana / Institución Universitaria Pascual Bravo	Medellin / Colombia	Cesar Isaza Merino, Andrés Benítez Vergel, Mateo Duarte Garcia, Andres Pava Cano, Katuska Gómez Iglesias	Materiales Nanotecnología	Manufactura para materiales nanocompuestos de matriz metálica por medio de la técnica tipo sándwich para aplicaciones aeroespaciales

#	Institución	Ciudad / País	Participante	Tema	Título
B15	Escuela de postgrados EPFAC	Bogotá D.C / Colombia	Juan David Pava, Sandra Patricia Romero Nieto, Erika Juliana Estrada Villa	Materiales	Hacia el desarrollo de materiales compuestos sostenibles
B16	Universidad San Buenaventura	Bogotá D.C / Colombia	Sofía Calderón Herrera, Nelson Andrés Tulcá, José Alejandro Urrego Peña	Aeronaves no tripuladas	Análisis de las características operacionales de la réplica del cohete USB Rocket –I construido por métodos de manufactura aditiva Fase II.
B17	Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez”	Cali / Valle	Fanor Andrés Marroquín Garcés, Juan Esteban Rico Betancur.	Normatividad	Requerimientos de certificación para el diseño de una maqueta de entrenamiento de tripulantes de cabina para Satena
B18	Dirección General de Aviación Civil del Ecuador	Quito / Ecuador	Gabriel Arturo Lomas Villareal	Meteorología	Implementación del modelo de predicción numérica de mesoescala, Weather Research and Forecasting Model (WRF) en la Dirección General de Aviación Civil del Ecuador (DGAC)
B19	Cranfield University	Singapore / Asia	Gonzalo Ibarra Candia	Economía / Logística	Desarrollo de Propuestas de Derechos Aeroportuarios mediante Creación e Implementación de un Sistema de Costos por Actividades

#	Institución	Ciudad / País	Participante	Tema	Título
B20	CEA	Bogotá D.C / Colombia	Alicia Martínez Lobo, Bernardo Martínez	Educación	Las bases de datos como recurso académico por parte de las IES en Colombia.

### 3. Artículos cortos ponencias

Como resultado de los trabajos de investigación aceptados en la modalidad de ponencia se solicitó la entrega de un artículo corto, en formato IEEE. Es así como en esta sección se publican para su socialización los artículos relacionados a cada una de las ponencias que contaron con la autorización de los autores para su publicación.

### 4. Grupo de Investigación Aeronáutica - GINA.

El Grupo GINA se encuentra registrado en Colciencias con el código COL0177112 reconocido y categorizado en C

**Líder.** Alicia del Pilar Martínez Lobo

**Líneas de Investigación: Seguridad Operacional de Aviación.** Proyectos e Investigaciones sobre Control de Tránsito Aéreo (Air Traffic Service, ATC) + Información Aeronáutica (Aeronautical Information Service, AIS) + Meteorología Aeronáutica (MET) + Procedimientos de tránsito aéreo + cartografía aeronáutica + Sistemas CNS (Comunicaciones, Navegación y Vigilancia) + Aeronavegabilidad en cuanto a mantenimiento y fabricación de partes o aeronaves + Operación de aeronaves + operación de aeródromos + Servicios de Salvamento y Extinción de Incendios, (SEI) + Factores Humanos en aviación + Proyectos e Investigaciones para el desarrollo e innovación en Seguridad aeroportuaria y facilitación.

# ARTÍCULOS CORTOS PONENCIAS

III **ENCUENTRO DE  
INVESTIGACIÓN  
DESARROLLO E INNOVACIÓN**  
EN EL SECTOR AERONÁUTICO

**E-BOOK Memorias**



# 1

**Asignación de costos aeroportuarios por actividades y su relación con la prestación de servicios aeroportuarios.**

**III** **ENCUENTRO DE INVESTIGACIÓN DESARROLLO E INNOVACIÓN**  
EN EL SECTOR AERONÁUTICO

**E-BOOK Memorias**



## Asignación de Costos Aeroportuarios por Actividades y su Relación con la Prestación de Servicios Aeroportuarios

Gonzalo Ibarra Candia  
Cranfield University  
Singapur, Asia

[gonzaloibarracandia@hotmail.com](mailto:gonzaloibarracandia@hotmail.com)

**RESUMEN**— El objetivo principal de la investigación es el análisis de costos aeroportuarios y su asignación con el área de servicio, para crear una base ajustada de costos para el establecimiento de derechos aeroportuarios.

La metodología parte de la base de un análisis de costos de proveer servicios aeroportuarios operacionales en las diferentes áreas (campo de vuelos, edificios terminales, accesos), la cual es ajustada para reflejar solo los costos por servicios aeroportuarios operacionales, deduciendo todos aquellos que no guardes relación con éstos, como los costos de explotación de áreas comerciales.

La metodología fue desarrollada para un operador aeroportuario con dos aeropuertos bajo su administración, y la prestación de selectos servicios de navegación aérea. El primero, internacional (Aeropuerto Principal) con 16 operadores aéreos de tráfico regular, incluyendo uno base con operaciones en red hub and spoke; El segundo, con tráfico de aviación de negocios y general y escaso tráfico

regular de pasajeros (Aeropuerto aviación de negocios). Los servicios de navegación aérea incluyen ATC, aproximación y control. A su vez el operador aeroportuario pertenece a un holding con varias empresas del estado miembro.

Los resultados de la investigación demuestran que, si bien se cuenta con una contabilidad financiera de acuerdo con la normativa del estado miembro, se hace necesario establecer una contabilidad de gestión que pueda determinar con precisión la asignación de costos por áreas o líneas de servicio para el establecimiento de los derechos aeroportuarios.

Por ende, se ha creado un manual de procedimientos con una matriz de asignación de costos que cumple con el procedimiento establecidos en el documento de OACI 9562 *Manual sobre los Aspectos Económicos de los Aeropuertos*, Tercera edición – 2013 (Doc 9562).

**ABSTRACT**— The main objective of the research is the analysis of airport costs and their allocation to specific

service areas, in order to create an adjusted cost base for the establishment of airport charges.

The methodology is based on a cost analysis for providing operational airport services in the different areas (airfield, terminal buildings, accesses), which is adjusted to reflect only the costs for operational airport services, deducting all those that do not are related to these, such as the operating costs of commercial areas.

The methodology was developed for an airport operator with two airports under its administration, and the provision of select air navigation services. The first, international (Main Airport) with 16 regular traffic air operators, including a base with hub and spoke network operations; The second, with business and general aviation traffic and little regular passenger traffic (Business Aviation Airport). Air navigation services include ATC, approach and control. In turn, the airport operator belongs to a holding company with several member state companies.

The results of the research show that, although the airport operator follows financial accounting in accordance with the regulations of the member state, it is necessary to establish a management accounting system that can accurately determine the allocation of costs by areas or lines of service for the establishment of airport fees.

Therefore, a procedures manual has been created with a cost allocation matrix that complies with the procedure established in ICAO document 9562 Airports Economic Manual, Third Edition - 2013 (Doc 9562).

## 1) INTRODUCCIÓN

El documento de OACI 9082 *Políticas de la OACI sobre derechos aeroportuarios y por servicios de navegación aérea, Sección 2, Punto 2 ii)*, establece que, *Al determinar la base de costos para la imposición de derechos aeroportuarios, ii) En general, no deberían cobrarse derechos por el suministro de instalaciones y servicios que los explotadores de aeronaves y otros usuarios del aeropuerto, incluyendo los usuarios finales, no utilicen, aparte de los previstos y puestos en servicio de acuerdo con el plan regional de navegación aérea.* De esta forma se establece que los costos aeroportuarios deben guardar relación con los servicios prestados a los explotadores de aeronaves y otros usuarios del aeropuerto, siendo responsabilidad de cada estado miembro, velar por el cumplimiento de dichos principios.

La inclusión del principio arriba descrito reconoce ciertas situaciones en las cuales los explotadores de aeronaves y usuarios del aeropuerto sufragan (mediante derechos aeroportuarios), el costo de suministro de instalaciones y servicios que no utilizan.

De allí que surge la necesidad de establecer una relación de causalidad entre costos y derechos aeroportuarios.

Para dar cumplimiento a esta relación de casualidad, el Doc 9562 establece un procedimiento donde se asignan los costos aeroportuarios por actividades, servicios y áreas del aeropuerto.

El procedimiento comienza por la obtención de costos para la base de derechos. Para ello se procede a: (1) determinar la base de costos por área de servicio; (2) Transferir costos a/de otras dependencias; (3) Ajustar diferencias de depreciación e intereses; (4) Deducir costos de actividades fuera del aeropuerto; (5) Deducir costos imputables a vuelos militares; (6) Deducir costos imputables a servicios en ruta;

Tabla 4-4. Ejemplos de áreas de servicio

Área de servicio	Derechos aeroportuarios (relacionados)	Centros de costos (que brindan apoyo)
Parte aeronáutica	Derechos de aterrizaje Derechos de estacionamiento	Mantenimiento parte aeronáutica Servicio de salvamento e incendios Taller mecánico Seguridad de la aviación Servicios de navegación aérea (ANS)
Despacho de pasajeros	Derechos por servicios a pasajeros Derechos por medidas de seguridad de la aviación	Mantenimiento de la terminal Seguridad de la aviación Instalaciones de calefacción Información sobre vuelos
Concesiones	Arrendamiento de locales Porcentaje sobre ventas	Mantenimiento de la terminal Seguridad de la aviación Instalaciones de calefacción Comercialización
Arrendamiento del predio	Arrendamiento de superficies Recuperación por servicios públicos Cargos por mantenimiento	Instalaciones de calefacción Seguridad de la aviación Mantenimiento parte aeronáutica Mantenimiento de parte pública

Fig. 1. Ejemplo de áreas de servicios (Doc 9562)

Luego, a partir de los costos ajustados, se puede: (i) proceder con el principio de caja única, deduciendo los ingresos por servicios aeroportuarios no operacionales; (ii) proceder con el principio de caja doble, separando los ingresos por servicios aeroportuarios operacionales y no operacionales; (iii) proceder con un régimen mixto donde algunos servicios se les atribuye un régimen u otro.

Finalmente, los costos por servicios aeroportuarios son distribuidos entre centros de costos, áreas de servicios y categorías de usuarios para establecer la base específica de cada derecho.

El Doc 9562 establece el procedimiento, sin embargo, la metodología para ejecutarlo queda a determinación del ente regulador de cada estado miembro o del operador aeroportuario.

En el caso de estudio se ha procedido a analizar la estructura de costos e ingresos del operador aeroportuario, diciendo establecer un sistema de asignación de costos atendiendo a sus necesidades específicas, y sus centros de costos. De allí que la solución propuesta fue un sistema mixto donde se analiza en profundidad los costos para el suministro y provisión de servicios aeroportuarios operacionales.

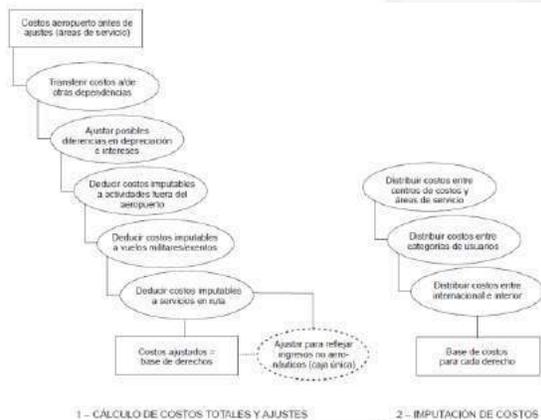


Fig. 2. Pasos a seguir para el cálculo de derechos aeroportuarios (Doc 9562)

Esta ponencia viene a presentar la metodología como fue aplicado el procedimiento.

## 2) CONCEPTOS

### a) Centros de costos

El proceso de asignación de costos por actividades, servicios y áreas conlleva el diseño y creación de centros de costos para los diferentes costos del aeropuerto (operativos y de capital). Estos centros de costos son después relacionados con la ejecución de actividades propias del aeropuerto cuyo fin último es la prestación de un servicio a las aeronaves, los pasajeros y la carga.

La aplicación de la metodología de costeo basada en actividades, parte de los centros de costos actuales para el Aeropuerto Principal, los cuales a pesar de mezclar varios tipos de

costos y áreas de servicio nos permiten estimar previo un ejercicio empírico con cada jefe de Departamento, cuánto de esos centros y cuáles porcentajes son destinados a actividades para la prestación de servicios aeroportuarios operacionales.

1 Año 2013	
2	
3 Suma de Valor \$	
4 Centro Cto	Nombre C Costo
89	3202 Servicios Aeronáuticos
90	3203 Plataforma de Estacionamiento
91	3205 Edificios
92	3206 Activos fijos obsoletos
93	3207 Edificio Terminal de Pasajeros, (ETP), 1ra. Planta
94	3208 Edificio Terminal de Pasajeros, (ETP), 2da. Planta
95	3209 Edificio Terminal de Pasajeros, (ETP), 3ra. Planta
96	3210 Pista Principal
97	3211 Pista de Rodaje
98	Total general

Fig. 3. Centros de costos del Aeropuerto Principal

El proceso de asignación de costos por actividades, servicios y áreas conlleva el diseño y creación de centros de costos para los diferentes costos del aeropuerto (operativos y de capital). Estos centros de costos son después relacionados con la ejecución de actividades propias del aeropuerto.

### b) Actividades

Una actividad (o un conjunto de actividades) es una acción que realiza un departamento del Aeropuerto Principal con la finalidad de prestar un servicio. e.g. el Departamento Administrativo realiza la actividad de facturación de la tarifa de aterrizaje. Esta actividad forma parte del servicio de atención a aeronaves prestado por

el Aeropuerto Principal. Las actividades pueden dividirse a su vez en subactividades ya sea por su naturaleza o por el área de servicio donde se prestan.

Se ha identificado un listado de 106 actividades macro que realiza el Aeropuerto Principal, y cuyos costos son necesarios para determinar una base de tarifas por áreas de servicio. De éstas 106 actividades, 87 corresponden al Aeropuerto Principal, 13 a Navegación aérea y 6 a Aeropuerto Aviación General.

Nombre de Centro de Costo	Supervisión de SMS para Campo de vuelos (Pista, Calles de Rodaje, Plataforma ETP, Calles perimetrales, Vallado, Peligro aviario y fauna silvestre)	Inspección de Seguridad Operacional para Campo de Vuelos (Pista, Calles de Rodaje, Plataforma ETP, Plataforma ETC, Calles perimetrales, Vallado, Peligro aviario y fauna)	Supervisión de SMS para servicios de navegación aérea (Radar, Papi, ILS, VOR, MET, Procedimientos ARR/DEP)	Supervisión de SMS para ETP (Plataformas, calles perimetrales, operaciones de apoyo terrestre ETP)
---------------------------	--	---	--	--

Fig. 4. Ejemplo listado de actividades, campo de vuelos

Además de las actividades se han incluido los proyectos por áreas pendientes de liquidar. También se han separado los pagos a la Autoridad Aeronáutica (cargos adicionales a los derechos aeroportuarios), así como los intereses de deuda. Estos conceptos se presentan en el listado de actividades, pero se separan de las actividades en que los mismos son recursos y si bien los recursos deben cuantificarse e incluirse para el cálculo y asignación de costos, los mismos no deben confundirse con las actividades.

Luego algunas actividades se llaman activos, estas son las actividades que se realizan o para la obtención o para

el mantenimiento de un activos (pistas, plataformas, drenajes, edificios, accesos, equipamiento, vehículos), pero en definitiva son actividades y no recursos.

### c) Áreas de servicio

Las áreas de servicio corresponden al sitio físico donde se prestan los servicios del Aeropuerto Principal. La sumatoria del conjunto de actividades en determinado sitio permitirá estimar los costos de explotación de esa área. Para el Aeropuerto Principal se han definido las siguientes áreas de servicio: (i) Campo de vuelo (pista, calles de rodaje, calles perimetrales, plataformas; (ii) Terminal de Pasajeros (estacionamiento este y oeste, vestíbulo de salidas, mostradores de facturación, control de seguridad, inmigración salidas, pasillos lado aire, salas de embarque, área comercial, inmigración llegadas, sala recogida de equipajes, vestíbulo de llegadas, oficinas líneas aéreas, oficinas policía y otros organismos del estado, unidad médica aeroportuaria, sala vip, oficinas Aeropuerto Principal, terraza de observación, entre otros espacios de la terminal); (iii) Terminal de Carga, (oficinas de empresas y otros depósitos administrados por el Operador Aeroportuario); (iv) Accesos, comprende las vías de acceso al aeropuerto; (v) Navegación aérea: comprende los equipos de navegación aérea instalados en el Aeropuerto Principal e Aeropuerto Aviación General, además de las oficinas donde se prestan los servicios

de navegación aérea; (vi) Área comercial (tanto dentro como fuera del Terminal de Pasajeros, incluye estacionamiento concesionado, cocina de vuelo, combustible, mantenimiento aeronaves, entre otros).

Adicionalmente para la estructura de costos del Aeropuerto Aviación General se ha considerado dicho aeropuerto como un área de servicio aparte y separada del Aeropuerto Principal.

Las actividades destinadas al área comercial no son imputables a la base de tarifas por servicios aeroportuarios operacionales.

#### d) Servicios aeroportuarios

Atendiendo al Manual de Servicios Aeroportuarios 9137/V8 de OACI, los servicios aeroportuarios, se clasifican en **servicios aeroportuarios operacionales** que son aquellos que atañen a la seguridad y eficiencia de las operaciones de aeronaves y **los servicios aeroportuarios no operacionales** que son aquellos relacionados con la administración económica de los aeropuertos y servicios prestados a los pasajeros.

En el caso de estudio se ha recomendado el establecimiento de la clasificación arriba descrita, a partir de la cual los **servicios aeroportuarios operacionales** y los **servicios de navegación aérea**, deben cubrirse mediante derechos aeroportuarios,

sujetos al proceso de fijación mediante la metodología de costos basada en actividades.

#### e) Base de Costos

La base de costo para la fijación de tarifas por servicios aeroportuarios operacionales es aquella resultante de estimar el costo de todas las actividades por área de servicio en el aeropuerto, después de realizar los ajustes correspondientes mencionados en la introducción y la Fig. 2.

### 3) METODOLOGÍA

#### a) Costos del aeropuerto

Primero: Preparación de hoja Excel  
En una hoja de Excel se colocan en columnas las 106 actividades por área de servicio del Aeropuerto Principal más las demás columnas necesarias por concepto de proyectos pendientes de liquidar, pagos a la Autoridad Aeronáutica e intereses de la titularización; y por las filas se colocan los 98 centros de costos actuales más las inversiones pendientes de liquidar en los centros de costos.

Segundo: Distribución de centros de costos según actividades  
Se procede en conjunto con los responsables de cada centro de costo a tomar cada centro de costos y a dividirlo (expresado en porcentaje) entre las actividades descritas en las columnas. Solo cada responsable de cada centro estará capacitado para estimar cuanto esfuerzo se dedica a

cada una de estas actividades.

Código de Centro de Costo	Nombre de Centro de Costo	Supervisión de SMS para Campo de vuelos (Pista, Calles de Rodaje, Plataforma ETP, Plataforma ETC, Calles perimetrales, Vialidad, Peligro aviario y fauna silvestre)	Inspección de Seguridad Operacional para Campo de Vuelos (Pista, Calles de Rodaje, Plataforma ETP, Plataforma ETC, Calles perimetrales, Vialidad, Peligro aviario y fauna silvestre)	Supervisión de SMS para servicios de navegación aérea (Radar, PWS, LS, VOR, MDT, Procedimientos AWY/DAT)	Supervisión de SMS para ETP (Plataformas, calles perimetrales y operaciones de apoyo terrestre en ETP)	Supervisión de SMS para ETC (Plataformas, calles perimetrales y operaciones de apoyo terrestre en ETP)	Supervisión de SMS para el estacionamiento o los accesos al ETP y al ETC (Accesos al área de vuelo, operación de seguridad operacional en centro comercial aerocentro)
2400	GERENCIA AEROPORTUARIA						
2401	Seafatura Gerencia Aeroportuaria						
2402	Edecanes						
2403	Unidad Ambiental						
2404	S.M.S.	30%	30%	10%	10%	10%	10%
2500	DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO						

Fig. 5. Distribución de centro de costo n° 2404 entre actividades.

En la Fig. 4 el centro de costo 2404 ha sido dividido entre 6 actividades por área de servicio, a saber: 30% para actividades de supervisión de SMS en campo de vuelo Aeropuerto Principal; 30% para actividades de inspección de Seguridad Operacional en campo de vuelo; 10% para actividades de supervisión SMS para servicios de navegación aérea; 10% para actividades de supervisión de SMS para Terminal de Pasajeros; 10% para actividades de supervisión de SMS para Terminal de Carga; 10% para actividades de supervisión de SMS para estacionamientos y accesos al Terminal de Pasajeros y Terminal de Carga. Total 100% de los cuales 90% son atribuibles al Aeropuerto Principal, y 10% a navegación aérea.

Este ejercicio debe efectuarse para cada uno de los 98 centros de costos, así también como para las inversiones pendientes de liquidar<sup>1</sup>. El ejercicio

<sup>1</sup> En el presente trabajo de investigación se ha utilizado la dedicación de tiempo de cada departamento para cada actividad, si bien existen otras formas de asignación, e.g. en

anterior debe repetirse en hoja separada para navegación aérea y para Aeropuerto Aviación General.

Tercero: Insertar y distribuir costos totales. Este paso consiste en estimar los costos de las actividades para el Aeropuerto Principal, el Aeropuerto de Aviación General y Navegación Aérea. Los valores por cada centro de costos y por cada inversión, se insertan en la hoja de Excel.

Cuarto: Cálculo de costos específicos por actividad. En este proceso se calculan los costos específicos en base los costos totales y a cada actividad. Para ello se distribuyen los costos para cada centro de costo, mediante una simple multiplicación entre el costo total de ese centro de costo y el porcentaje de actividad que le es aplicable.

#### b) Costos de las áreas de servicio

Los costos totales por actividad aparecen en cada columna, siendo cada total distribuido entre las diferentes áreas, para obtener el total de cada actividad por área. Las actividades que no pueden asignarse a un área en concreto son entonces clasificadas como de apoyo. e.g. columna IT Titularización actividades destinadas a consultorías.

base a la superficie dedicada a la prestación de servicios aeroportuarios operacionales.

### c) Ajustes a la base

Actividades en otras dependencias: El primer ajuste que realizamos es eliminar todas las actividades ejecutadas en otras dependencias, esto incluye Operador Aeroportuario Central y Aeropuerto Aviación General.

Actividades de apoyo: El segundo ajuste que debe efectuarse es el correspondiente a las actividades de apoyo, que son las que no pueden ser atribuibles directamente a una sola área de servicio, independiente del departamento que las ejecute.

Por ejemplo, las actividades de recepción, almacenaje, despacho y control de bienes vinculados departamento de mantenimiento, o las actividades de mantenimiento del edificio de mantenimiento no puede ser atribuido solo a un área de servicio.

Las actividades de apoyo son distribuidas porcentualmente según el peso de cada área de servicio de conformidad con la normativa OACI. En el presente caso la actividad de apoyo ha sido distribuida entre el campo de vuelos (32%), el Terminal de Pasajeros (46%), el Terminal de Carga (16%) y el área comercial (6%).

Actividades de accesos: En vista que el costo de las actividades de accesos representa apenas el 1% de todos los costos, se decide distribuir esta área

entre el Terminal de Pasajeros y Terminal de Carga por igual.

Actividades Área Comercial: El cuarto ajuste efectuado responde a deducir los costos del área comercial de todo cálculo de tarifas por servicios aeroportuarios operacionales, ya que estos servicios no están sujetos a derechos aeroportuarios sino a tarifas de mercado.

Vuelos exonerados: Otro ajuste a efectuar del costo del campo de vuelo es la deducción de los costos de los vuelos exonerados, que para el Aeropuerto Principal se estiman en un 9% entre vuelos nacionales, militares o de estado.

Otros ajustes: Queda en libertad de realizar otros ajustes correspondientes sean por depreciación, inclusión de nuevas actividades, entre otras.

## 4) RESULTADOS

Los costos así ajustados forman la **base para fijar las tarifas por servicios aeroportuarios operacionales**, que será luego utilizada para el establecimiento de los derechos aeroportuarios.

## 5) CONCLUSIONES

El Doc 9082 establece los principios que los estados miembros deberían aplicar a la base de costo para la imposición de derechos aeroportuarios. Entre ellos, destaca la

relación de causalidad que deben tener los costos con los servicios aeroportuarios prestados, cuando establece que *al determinar la base de costos para la imposición de derechos aeroportuarios, ii) En general, no deberían cobrarse derechos por el suministro de instalaciones y servicios que los explotadores de aeronaves y otros usuarios del aeropuerto, incluyendo los usuarios finales, no utilicen, aparte de los previstos y puestos en servicio de acuerdo con el plan regional de navegación aérea.* Para establecer esta

Para dar cumplimiento a esta relación de casualidad, el Doc 9562 establece un procedimiento donde se asignan los costos aeroportuarios por actividades, servicios y áreas del aeropuerto. Sin embargo, deja en libertad del ente regulador, la aplicación de la metodología que mejor se adecue a sus necesidades.

El presente caso de estudio, se analizan los costos aeroportuarios y su relación con las actividades y los servicios aeroportuarios prestados en diferentes áreas de servicio, para un operador aeroportuario responsable de un Aeropuerto Principal, uno de Aviación General y los servicios de Navegación Aérea de su competencia.

La metodología presentada define 106 actividades aeroportuarias, desarrolladas en el (i) Campo de vuelos; (ii) Terminal de Pasajeros; (iii) Terminal de Carga; (iv) Accesos; (v) Navegación aérea; (vi) Área

comercial, cuyos costos son analizados a profundidad dentro de un régimen de caja mixto, donde los costos por servicios aeroportuarios no operacionales se excluyen de la base de costo para la imposición de derechos.

La base de costos es además ajustada, eliminando costos de otras dependencias gubernamentales, distribuyendo las actividades de apoyo equitativamente entre las áreas, eliminando el costo de vuelos exonerados del pago de derechos (militares, gubernamentales, de estado). De esta manera los resultados se presentan en una base sólida de costos aeroportuarios ajustados, que refleja con precisión el costo que los explotadores de aeronaves y demás usuarios deben sufragar, para el cálculo de los derechos aeroportuarios.

### Referencias

- [1] Documento de OACI 9562 *Manual sobre los Aspectos Económicos de los Aeropuertos*, Tercera edición – 2013, ISBN 978-92-9249-339-4.
- [2] Documento de OACI 9082 *Políticas de la OACI sobre derechos aeroportuarios y por servicios de navegación aérea*, Novena edición – 2012, ISBN 978-92-9249-073-7.

### INFORMACIÓN DEL AUTOR

Gonzalo Ibarra Candia  
(Air Transport Economist Expert)  
Cranfield University  
73 Farrer Dr, Singapur, 259280  
+65 92421074 / +34 695276788  
[gonzaloibarracandia@hotmail.com](mailto:gonzaloibarracandia@hotmail.com)

# 2

**Prospectiva del Centro de Estudios Aeronáuticos como Institución de Educación Superior y su visión de investigación en la ruta al 2030.**

**III ENCUENTRO DE INVESTIGACIÓN  
DESARROLLO E INNOVACIÓN  
EN EL SECTOR AERONÁUTICO**

**E-BOOK Memorias**





AERONÁUTICA CIVIL  
UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL



Centro de Estudios Aeronáuticos  
Institución Universitaria

ENCUENTRO DE  
INVESTIGACIÓN  
DESARROLLO E INNOVACIÓN  
EN EL SECTOR AERONÁUTICO

## **Prospectiva del Centro de Estudios Aeronáuticos como Institución de Educación Superior y su visión de investigación en la ruta al 2030.**

Ing. Jorge Iván García Sepúlveda  
Mag Mariela Rodríguez Acosta  
Mag Esperanza Tabares  
Mag Alicia del Pilar Martínez lobo

:

### **Resumen**

Para dar respuesta al tema planteado en esta conferencia y que el auditorio reconozca el camino recorrido por el Centro de Estudios Aeronáuticos, nos remontaremos a sus orígenes para adentrarnos en su evolución y transformación como Institución de Educación Superior proyectada hacia la formación en ciencias aeronáuticas en las diferentes áreas que componen el sector de la aviación civil. De manera particular, se mostrará el avance y proyección de la función de investigación tema que nos convocó el día de hoy en este Encuentro.

### **El Centro de Estudios Aeronáuticos como Centro de Instrucción Aeronáutico de Aviación Civil**

El Centro de Estudios Aeronáuticos tiene una trayectoria educativa de más de 50 años en los cuales ha respondido por la cualificación de personal aeronáutico a través del desarrollo de una oferta educativa exclusiva que guarda coherencia con los lineamientos de la Organización de Aviación Civil Internacional OACI y lo propuesto en los Reglamentos

Aeronáuticos de Colombia RAC, su tarea ha sido vital para que el personal aeronáutico del país de las áreas de los servicios a la navegación aérea, servicios aeroportuarios, seguridad de la aviación civil y vigilancia (inspección de operaciones, aeronavegabilidad, servicios a la navegación aérea...) tengan las competencias necesarias para que el transporte aéreo se desarrolle cumpliendo los estándares de seguridad operacional.

A través de su vasta oferta, ha venido capacitando talento humano de las áreas de Servicios de Tránsito Aéreo, Servicios de Información Aeronáutica, Servicio de Meteorología Aeronáutica, Servicios Aeroportuarios, Servicios de Búsqueda y Salvamento, Servicio de Extinción de Incendios, SMS, Inspección de Aeronavegabilidad, Inspección de Operaciones, principalmente.

Es así como, el CEA a través de estos más de 50 años ha tenido que responder a la dinámica del sector actualizando casi que permanentemente sus programas para atender a fenómenos como el

avance de la tecnología, los cambios de los procedimientos, la emisión de nueva normatividad, son una constante el fin ha sido, lograr la pertinencia académica y la pertenencia social de sus currículos con las necesidades del sector.

### **El CEA hacia su consolidación como Institución de Educación Superior**

Aunque la Ley 105 de 1993 le brindó la posibilidad de convertirse en Institución de Educación Superior fue en el año 2015 que inició la ruta hacia la educación superior y que se concretizó en el año 2018 mediante la resolución 02909 de 2018 por la cual el Ministerio de Educación Nacional reconocía al CEA como Institución Universitaria. Era claro su compromiso de elevar el nivel de formación para atender un sector exigente y necesitado de un talento humano muy calificado para atender los retos imperantes en el contexto nacional e internacional. Es así como, centra su misión en la *formación integral de profesionales competentes en la aplicación de las ciencias aeronáuticas, con principios y valores que promuevan el desarrollo sostenible del país, a nivel económico, social y ambiental, desarrollando funciones de docencia, investigación, extensión y proyección social e internacionalización.*

Así pues, consolida su organización en el marco de las funciones sustantivas y desarrolla acciones para que éstas se desarrollen en el marco

de las exigencias del Ministerio de Educación Nacional y la Aeronáutica Civil.

Comienza así, un camino de transformación para dar respuesta a una nueva realidad: “*ofertar programas de Educación Superior relacionados con las Ciencias Aeronáuticas*”, donde, se formarán profesionales de alto nivel, habilitados, para responder a la demanda que requiere la sociedad en el mercado nacional e internacional. Y es a partir de esta premisa, que propuso el primer programa de educación superior dedicado a un área del conocimiento que adolecía de una formación con un alto índice de profundización y fundamentación dado el impacto que tenía en la seguridad de las personas que utilizan el transporte aéreo, es así como, propuso el programa Tecnología en Gestión de Tránsito Aéreo, el cual hoy tiene registro calificado. Con este pregrado vendrán otros programas, que priorizarán el conocimiento de las ciencias aeronáuticas.

El propósito que enmarca su Proyecto Educativo obliga a impulsar el desarrollo de las funciones sustantivas de: Docencia, Proyección Social y Extensión, Investigación, e Internacionalización. De manera particular, la docencia, el CEA la concibe a través del cumplimiento de la misión, que se centra en una formación integral que se cristaliza a través del desarrollo de currículos integrados conformando un entramado en el que se entrelazan las

ciencias aeronáuticas con básicas y las humanísticas. Como lo reza su Modelo Pedagógico se busca formar un profesional integral - reflexivo a través de un enfoque curricular por competencias que esté en la capacidad de asumir los retos que impone el desarrollo del sector aeronáutico a nivel mundial.

Con relación a la Proyección Social y la Extensión, su desarrollo se enmarca en su tradición educativa, y se ha visto reflejada a través de la atención a necesidades de cualificación en las áreas antes descritas, procurando siempre que el talento humano desarrolle las competencias para atender los diferentes escenarios técnicos, tecnológicos y logísticos del sector y que lo haga de manera eficiente y con el respeto de la normatividad que orienta los procedimientos y los procesos del sector.

Estas dos funciones sustantivas tienen como compromiso al 2030 *Alcanzar una amplia oferta de capacitación orientada a la gestión aeronáutica integral, en todos los niveles y campos: aeroespaciales, aeronavegabilidad, mantenimiento, seguridad operacional y de la aviación civil, servicios a la navegación aérea, servicios aeroportuarios, servicios entierra y gestión de aerolíneas, carga, RPAS, aspectos ambientales o aquellos nuevos campos que aparezcan en el tránsito del plan estratégico.*

Respecto de la internacionalización, el CEA la contempla como otra función sustantiva y este concepto parte de la premisa que si hay algo globalizado es la aviación. Su dinamización dentro de la institución se ha dado a partir del establecimiento de relaciones muy estrechas con instituciones, organizaciones y entidades extranjeras. Una forma clara de visibilizar este impacto de las relaciones y su influencia es que su oferta educativa se circunscribe en el cumplimiento de la normatividad atendiendo lineamientos internacionales, lo que le ha facilitado suscribir convenios de cooperación académica a nivel regional (CAR SAM). Hoy posee convenios con instituciones de educación superior, entidades del sector productivo a nivel nacional e internacional y centros de investigación, desarrollo e innovación, con las que ha buscado de manera permanente establecer alianzas académicas, científicas y empresariales para la generación de redes de conocimiento e impulso al sector productivo aeronáutico y aeroespacial.

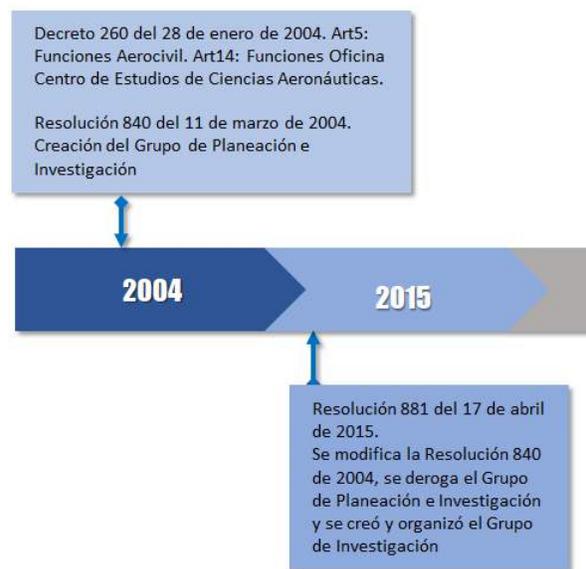
En su prospectiva al 2030 el CEA esta función tiene el reto de *Promover la suscripción de convenios con entidades extranjeras, para propiciar el intercambio de experiencias y conocimientos*, y con estos convenios se busca propiciar la movilidad de su comunidad académica y facilitar la internacionalización de su oferta educativa.

## La función de investigación en el CEA

Dado que uno de los focos de esta conferencia era la investigación en el CEA se hará un barrido desde sus inicios y su prospectiva.

## La investigación desde el Centro de Estudios Aeronáuticos como CIAC

El desarrollo de la función de investigación tiene su inicio previo a constituirse en institución de educación superior, y ello parte desde el decreto 260 y se consolida en el decreto 823 de 2017 y las resoluciones 881 y 1357 de 2017.



Fuente: Grupo de Investigación Académica



Fuente: Grupo de Investigación Académica

Previo a la obtención del reconocimiento como IES se llevaron a cabo varias gestiones:

Entre el 2015 y 2016:

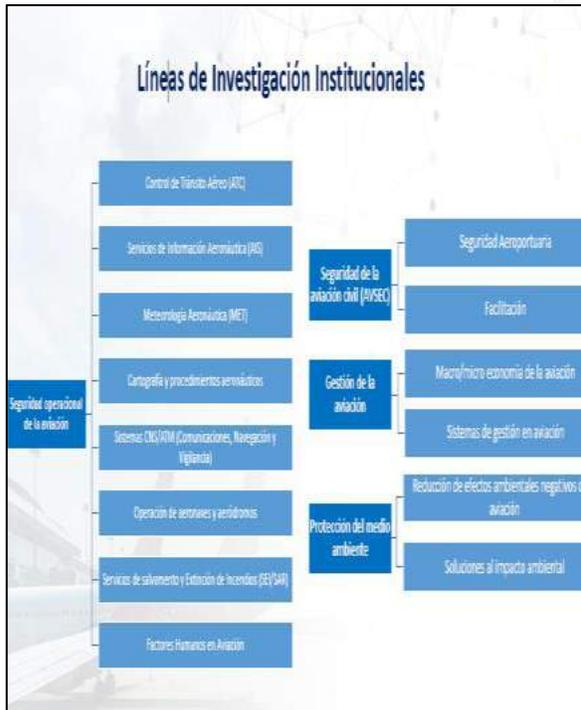
- Se crea el grupo de Investigación Académica mediante la resolución 881 de 2015
- Se crea en Colciencias el perfil institucional de investigación INSTITULAC
- Se crea el GrupLAC del Grupo de Investigación Aeronáutica
- Se desarrolla el primer proyecto de Investigación Software para el Túnel de Viento del CEA

Entre los años 2017 y 2018

- Comienza a desarrollar la gestión de proyectos
- Dirección de trabajos de grado de otras Instituciones de Educación Superior
- Comienza la generación y publicación de productos de investigación

- Se desarrolla el primer encuentro de investigación.

Determina las siguientes líneas de Investigación:



Fuente: Grupo de Investigación Académica

### La investigación desde la IES

Como Institución de Educación Superior logra el reconocimiento y clasificación en Categoría C del grupo GINA por parte de Colciencias y continua con el desarrollo de Encuentros de Investigación como en el que hoy nos reúne.

En su política de Investigación, el CEA considera ésta como “eje transversal para la formación y desarrollo del pensamiento crítico y creativo de los

miembros de su comunidad académica”. Por tanto, el propósito de la Investigación, es consolidar la función sustantiva en el área del conocimiento aeronáutico.

### Enfoques de la investigación.

En el Modelo Pedagógico (2018) se plantea que la investigación en el CEA se debe desarrollar dentro de dos enfoques la investigación Formativa y la Investigación aplicada. Acorde a esos lineamientos el Grupo de investigación Académica plantea dos vertientes:



Figura 1. Enfoque de la investigación. del CEA

En concordancia con el nuevo paradigma investigativo para las IES, la Institución planteará sus currículos orientados a desarrollar una cultura investigativa en el aula, para aprender a aprender, construir y resolver problemas del contexto tecnológico, social y natural.

Por otro lado, desde la investigación aplicada, se proyecta entonces, por consolidarla, al llevar los resultados de

investigación al desarrollo tecnológico y por qué no, a completar el ciclo de innovación, Esta función se viene dinamizando desde antes de consolidarse como institución de educación superior, a través del desarrollo de proyectos de investigación alrededor de las líneas y temáticos de interés orientados hacia las áreas de: seguridad operacional, seguridad de la aviación civil, gestión de la aviación y protección del medio ambiente. La intención es trascender y responder desde sus capacidades a las necesidades del sector interno y externo, nacional e internacional.

Algunos de los proyectos presentados y ejecutados por nuestro personal de docentes y funcionarios de la institución con el apoyo de instituciones del país se relacionan en las siguientes tablas:

(1) [Tablas en la siguiente hoja](#)



Año	Nombre Proyecto	Línea de investigación	Instituciones participantes
2016	Desarrollo e implementación de software para la medición de fuerzas aerodinámicas en un túnel de viento subsónico	Seguridad Operacional de la aviación	- Centro de Estudios Aeronáuticos - Grupo de Investigación Académica - Universidad de San Buenaventura - Programa de Ingeniería Aeronáutica
2017	Diseño e implementación de un sistema de acceso remoto centralizado, para el monitoreo y control de radio ayudas a la navegación aérea de la Aeronáutica Civil en la regional Antioquia	Seguridad Operacional de la aviación	- Dirección Regional Antioquia - Grupo de Soporte Técnico Aerocivil - Centro de Estudios Aeronáuticos - Grupo de Investigación Académica
	Diseño de un laboratorio meteorológico aeronáutico adaptado con equipos reincorporables de la UAEAC para fines académicos y de investigación en el CEA	Seguridad Operacional de la aviación	- Dirección de Servicios a la Navegación Aérea - Grupo de Meteorología Aeronáutica - Dirección de Telecomunicaciones y Ayudas a la Navegación Aérea - Grupo Sistemas para la - Meteorología Aeronáutica - Centro de Estudios Aeronáuticos - Grupo Académico - Universidad Piloto de Colombia - Programa de Ingeniería Mecatrónica
	Metodología general para la estimación del potencial energético solar existente en las zonas de ubicación de las Estaciones Aeronáuticas en Colombia.	Seguridad Operacional de la aviación Protección del Medio Ambiente	- Centro de Estudios Aeronáuticos - Grupo de Investigación Académica - Universidad Distrital Francisco José de Caldas - Programa de Ingeniería Eléctrica
	Elaboración de un Perfil Laboral y de Salud Física y Mental del Controlador de Tráfico Aéreo en Colombia usando historias de vida	Seguridad Operacional de la aviación	- Centro de Estudios Aeronáuticos - Grupo Académico - Universidad Nacional de Colombia
	Evaluación del modelo de gestión de los aeropuertos administrados por la Unidad Administrativa Especial de la Aeronáutica Civil.	Gestión de la Aviación	Centro de Estudios Aeronáuticos - Grupo de Extensión y Proyección Social
2018	Implementación de Sistemas de Aeronave Remotamente Tripulada (RPAS) en la Escena de Accidentes Aéreos	Seguridad Operacional de la aviación	- Dirección General - Grupo de Investigación de Accidentes - Centro de Estudios Aeronáuticos - Grupo de Investigación Académica - Universidad de San Buenaventura - Programa de Ingeniería Aeronáutica

	Medición, cálculo y determinación de la capacidad de los sectores ATC del área terminal de Bogotá (TMA-BOG).	Seguridad Operacional de la aviación	- Dirección de Servicios a la Navegación Aérea - Grupo Gestión de los Servicios de Tránsito Aéreo - Centro de Estudios Aeronáuticos - Grupo de Investigación Académica - Universidad de San Buenaventura - Programa de Ingeniería Aeronáutica - Fundación Universitaria Los Libertadores - Programa de Ingeniería Aeronáutica
	Diseño de un sistema de generación solar fotovoltaico en el aeropuerto José María Córdova de Rionegro	Protección del Medio Ambiente	- Dirección Regional Antioquia - Grupo de Soporte Técnico Aerocivil - Centro de Estudios Aeronáuticos - Grupo de Investigación Académica - Universidad Distrital Francisco José de Caldas - Programa de Ingeniería Eléctrica
2019	Estrategia pedagógica para la formación en sistemas de energía solar fotovoltaica en el sector aeronáutico	Protección del Medio Ambiente	- Centro de Estudios Aeronáuticos - Grupo de Investigación Académica y Grupo Académico - Universidad Distrital Francisco José de Caldas - Programa de Ingeniería Eléctrica
	Desarrollo de un modelo pedagógico para la instrucción en el puesto de trabajo para controladores aéreos mediado por TIC	Seguridad Operacional de la aviación	Dirección de Servicios a la Navegación Aérea - Grupo Gestión de los Servicios de Tránsito Aéreo Centro de Estudios Aeronáuticos - Grupo de Investigación Académica Universidad Distrital Francisco José de Caldas - Programa de Licenciatura en Pedagogía
	Estructura metodológica en el estudio de imágenes satelitales en la identificación de nubes convectivas que afectan la aviación	Seguridad Operacional de la aviación Protección del Medio Ambiente	- Dirección de Servicios a la Navegación Aérea - Grupo de Meteorología Aeronáutica - Centro de Estudios Aeronáuticos - Grupo Académico y Grupo de Investigación Académica - Universidad Distrital Francisco José de Caldas - Programa de Ingeniería Catastral
	Desarrollo arquitectural de un módulo de visualización del estado operacional de la infraestructura de sistemas de comunicaciones, navegación y vigilancia (CNS) para el apoyo en la tomad e	Seguridad Operacional de la aviación	- Dirección de Servicios a la Navegación Aérea - Grupo Gestión de los Servicios de Tránsito Aéreo - Centro de Estudios Aeronáuticos - Grupo de Investigación Académica

	decisiones en colaboración (CDM)		- Universidad Distrital Francisco José de Caldas -Programa de Ingeniería de Sistemas
	Caracterización de la normatividad colombiana para la regulación de RPAS en Colombia y su incidencia en la seguridad operacional de la aviación	Seguridad Operacional de la aviación	- Centro de Estudios Aeronáuticos - Grupo de Investigación Académica - Dirección Regional Antioquia - Grupo Aeronavegación - Fuerza Aérea Colombiana - Escuela de Suboficiales CT. Andrés M. Díaz
2020	Proyecto marco nacional de cualificaciones sector aviación civil	Gestión de la Aviación	- Centro de Estudios Aeronáuticos - Grupo de Investigación Académica
	Propuesta Conceptual: Creación del Centro de Investigación, Desarrollo e Innovación Aeronáutica CEA	Todas las Líneas	- Centro de Estudios Aeronáuticos - Grupo de Investigación Académica

(2) Contenido en la siguiente hoja



## La investigación y su prospectiva al 2030

En el marco de lo establecido en el Plan Estratégico Aeronáutico 2030 el CEA viene desarrollando acciones que se enfocan en el eje temático de desarrollo del talento humano para el sector y cuyo eje estratégico gira alrededor de *“Fortalecer la gestión del conocimiento para lograr el desarrollo integral y sostenible del talento humano, en línea con el crecimiento de la aviación civil en Colombia”*<sup>1</sup> y para el alcance de este objetivo se generaron dos compromisos también al 2030 que tienen que ver con la función de investigación en particular:

- Cualificar el talento humano desarrollando el Marco Nacional de Cualificaciones de la aviación civil para asegurar las competencias y propiciar la movilidad laboral en el país y en la región.
- Consolidar la investigación en los campos aeronáuticos y aeroespaciales, con el apoyo de la industria, la academia y la cadena de investigadores, integrados en un centro de investigaciones aeronáutico.

Para comenzar a generar acciones conducentes al cumplimiento de estos dos compromisos, en el año 2019 el CEA contempló en su plan de acción 2020 consolidar dos proyectos de investigación con los cuales se diera inicio de la ruta hacia el 2030.

El primero de estos, está orientado al compromiso de *Cualificar el talento humano desarrollando el Marco Nacional de Cualificaciones de la aviación civil para asegurar las competencias y propiciar la movilidad laboral en el país y en la región*, y cuyo primer paso consiste en construir el Marco Nacional de Cualificaciones de la Aviación Civil. Este Marco será la primera pieza clave para determinar las competencias del talento humano que requiere el sector de la industria para atender los retos que su dinámica le impone. La investigación partió de reconocer las características del sector y su dinámica para adentrarse en el reconocimiento de las brechas de capital humano existentes entre la oferta educativa y la demanda y oferta laboral que conducirán a saber la cantidad necesaria, así como, la calificación que debe poseer el talento humano para satisfacer las necesidades y avances del sector.

Los resultados del proyecto del Marco de Cualificaciones de la Aviación Civil serán el basamento para la consolidación del Sistema Nacional de Cualificaciones de Colombia con el cual el país persigue atender la política de generación de empleo y formación para el trabajo, por un lado, y de igual manera, potencializar los diferentes sectores productivos del país entre éstos el sector aeronáutico. En la ruta al 2030 corresponde llevar a cabo su implementación, en la cual se hace muy relevante la participación del Ministerio de Educación y la Aeronáutica Civil.

---

1

Con relación al segundo compromiso relacionado con *Consolidar la investigación en los campos aeronáuticos y aeroespaciales, con el apoyo de la industria, la academia y la cadena de investigadores, integrados en un centro de investigaciones aeronáutico*, en su plan de acción 2020 el CEA estableció como meta iniciar por la fase de Conceptualización del Centro de I+D+i, partiendo de un análisis de los diferentes centros existentes en el país, orientados al impulso de la investigación, desarrollo e innovación en el sector aeronáutico y aeroespacial, para ello, se viene haciendo una revisión de los mismos, y se pretende hacer un diagnóstico de sus capacidades científicas y tecnológicas con el propósito de identificar las áreas a las cuales el centro del CEA puede encaminar sus esfuerzos con el fin de fortalecer aquellas líneas de investigación de interés en este ecosistema aeronáutico.

Estos nuevos retos a los que el CEA se está enfrentado, estamos seguros tanto directivos como nuestra comunidad académica, generaran espacios a nivel nacional e internacional para el fortalecimiento y avance en el campo del conocimiento aeronáutico y aeroespacial.

## Referencia

- [1] Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil, Plan Estratégico Aeronáutico, (2018) disponible en <http://www.aerocivil.gov.co/aerocivil/II-2018-2020/Foro2030/Documents/2.%20Presentación%20Plan%20Estratégico%20Aeronáutico%202030.pdf>

# 3

**Metodología de obtención de elementos estructurales para aeronaves no tripuladas utilizando optimización topológica.**

A silhouette of a person holding a drone against a sunset background. The person is on the left, holding the drone with their right hand. The drone is in the center, and the sunset is on the right. The background is a gradient of orange and yellow.

**III ENCUENTRO DE INVESTIGACIÓN  
DESARROLLO E INNOVACIÓN**  
EN EL SECTOR AERONÁUTICO

**E-BOOK Memorias**

## METODOLOGÍA DE OBTENCIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES PARA AERONAVES NO TRIPULADAS UTILIZANDO OPTIMIZACIÓN TOPOLÓGICA.

Juan Carlos Perafan-López, Germán Alberto Barrágan de los Ríos, Melissa López-Tejada, Stefania Villa-Avila  
Universidad Pontificia Bolivariana  
Medellín, Colombia  
[Juan.perafan@upb.edu.co](mailto:Juan.perafan@upb.edu.co)

**Resumen:** Este trabajo presenta una propuesta metodológica para mejorar la relación resistencia/peso de una sección estructural de una aeronave no tripulada por medio de la optimización topológica. Se propone como caso de estudio la reducción de la masa para el chasis de un dron de carreras utilizando el módulo de optimización topológica de SolidWorks 2018. De forma preliminar se presenta una validación por medio de un estudio de independencia de malla del Análisis por Elementos Finitos (AEF). A partir de la optimización topológica se pudo reducir el peso de la estructura en aproximadamente 40%.

This work presents a methodologic proposal in order to enhance the strength/weight ratio in a structural section of an unmanned aircraft using topology optimization. As a case of study, the reduction in mass of a racing drone's chassis is proposed using SolidWorks 2018 topology optimization module. A validation process is presented by a mesh

independence study for the Finite Element Method. Using the topology optimization method, it was achieved a reduction in weight in almost 40%.

*Palabras clave— Análisis por elementos finitos, Diseño asistido por computador, Optimización topológica, RPAS.*

### I. Introducción:

Las aeronaves no tripuladas son sistemas que ofrecen avances tecnológicos de última generación, utilizados en diferentes misiones que pueden ser militares o civiles [1]. Este tipo de aeronaves no cuentan con tripulación, lo cual las hace idóneas para realizar misiones en condiciones extremas donde no se pone en riesgo la vida de personal a bordo y que, además, funcionan de manera remota con vuelo controlado y sostenido.

Desde la perspectiva del diseño óptimo estructural de aeronaves que incluye los "Remotely Piloted Aircraft System" (RPAS), se plantea que para aumentar la capacidad de la carga útil se requiere mejorar la relación resistencia/peso [2]. No obstante, es

poco común una propuesta de diseño óptimo para la fabricación nacional de componentes estructurales de aeronaves no tripuladas.

Un proceso prometedor para la mejora de la relación resistencia/peso es la optimización topológica, la cual tiene como finalidad proponer una configuración estructural de acuerdo a una función objetivo que prioriza la resistencia de la estructura conservando un volumen de material deseado. Hasta hace poco, era impensable materializar los resultados obtenidos de una pieza diseñada por medio de optimización topológica debido a limitaciones con la manufactura [3].

Uno de los métodos que se utiliza en conjunto con la optimización topológica es el método "Solid Isotropic Material with Penalty" (SIMP) SIMP el cual tiene como objetivo utilizar la densidad relativa como única variable de optimización y lo que busca es en una fracción de volumen, maximizar la rigidez de la estructura. Algunos artículos en los que se utiliza o realizan investigaciones preliminares con este método son [4], [5], [6], [7].

Como respuesta a este tipo de limitaciones, se propuso la utilización de la manufactura aditiva, por la cual, se logran geometrías intrincadas al adicionar material capa por capa siguiendo un sistema coordinado en tres dimensiones.

En la actualidad, como lo plantea [8], la manufactura aditiva a partir a partir de un componente creado por medio

del diseño asistido por computador ha demostrado la importancia de estos programas que permiten la capacidad de personalizar, evaluar rápidamente y probar virtualmente soluciones para reducir el tiempo y el costo.

Asimismo, [9], muestran como la manufactura aditiva permite una metodología de diseño ágil al permitir una iteración rápida y eficiente de los prototipos durante el proceso de diseño. Hoy en día, la construcción y manufactura de partes aeronáuticas es un desafío ya que estos deben cumplir ciertos requisitos especiales que hacen que su manufactura tienda a ser más compleja.

No obstante, [10] propone un diseño y construcción de un ala por medio de manufactura aditiva e incentiva el uso de la impresión 3D como un método viable para la fabricación de componentes aeronáuticos.

Ahora bien, el resultado de la implementación de ambas temáticas ha permitido encontrar una metodología de diseño y fabricación. Ferro et al. [11] incorporaron la optimización topológica a la investigación de los drones para minimizar el peso de la estructura y maximizar el tiempo de vuelo, el alcance y la carga útil, y también, producir más piezas en menos tiempo, mejorando la rentabilidad del proyecto por medio de la manufactura aditiva.

De igual manera, el trabajo de Tomlin y Meyer [12], explora el uso de la optimización topológica y manufactura aditiva en materiales metálicos para la obtención de un soporte de la nacela

de una aeronave Airbus A320 que como resultado alcanzó una disminución de la masa del 64%. Otras referencias de trabajos relacionados con Optimización topológica y con Manufactura adictiva son [13], [14], [15], [16].

Sin embargo, estos procesos están en etapas tempranas de implementación debido a que aún no se logra controlar variables de importancia en el proceso de fabricación como lo son la homogeneidad del material y la quasi-isotropía del mismo [17].

Por otro lado, aunque los sistemas RPA, cuenten con equipos que implican altos riesgos económicos, sigue siendo más factible reducir factores de seguridad y redundancias en algunos componentes estructurales, es decir, se pueden llevar al límite de diseño.

Adicionalmente, los sistemas RPA se proyectan como una industria promisoría en el panorama nacional, [18], [19]. Por lo tanto, es de gran interés, conocer cuáles serían las capacidades tecnológicas relacionadas a procesos de fabricación actuales para la obtención de elementos estructurales que sean parte de un RPAS con las herramientas disponibles localmente.

## II. Optimización topológica:

La topología es la rama de las matemáticas que estudia la continuidad y las propiedades espaciales de una figura geométrica [20]. Por otro lado la optimización topológica desde una perspectiva del

diseño estructural intenta encontrar una configuración óptima de la estructura partiendo de unas funciones objetivo, restricciones y condiciones de frontera seleccionadas con anterioridad [3].

La optimización topológica se ha afianzado como parte de un nuevo método para el diseño de estructuras aeronáuticas. Con ella es posible optimizar una pieza aeronáutica a partir de la relación peso/resistencia manteniendo un peso fijo y mejorando los materiales con los que está construido a partir de propiedades de interés como el módulo de elasticidad, la densidad y/o la resistencia a la fatiga.

Por lo contrario, también se puede desarrollar una geometría la cual cumpla con unos requisitos de peso mínimo conservando una cantidad de material específico.

Aunque existen distintas aproximaciones para realizar una optimización topológica, existe una metodología que sobresale entre las demás y es usada por la mayoría de softwares CAD/CAM/CAE comerciales debido a su simplicidad y fácil interpretación del modelo. El método "Solid Isotropic Material with Penalty" (SIMP) es un proceso en el cual un material isotrópico es penalizado exponencialmente a partir de una variación en la densidad del elemento (1).

$$P(\eta_i) = \eta_i^p, \quad (1)$$

Donde  $\eta_i$  son las pseudo-densidades del elemento y  $p$  es el factor de penalidad que oscila entre 0 y 1. Este

factor de penalidad se refleja físicamente en la rigidez deseada de la estructura y la relación con el material que se desea conservar.

### III. Metodología:

De acuerdo a las capacidades que tiene la Universidad Pontificia Bolivariana se propone el rediseño de una pieza de un sistema RPA el cual hace parte de su estructura primaria o secundaria y que no tenga piezas móviles e.g. bisagras, ejes, etc. La pieza debe ser de un tamaño razonable en relación con las máquinas de manufactura aditiva disponibles.

Después de seleccionar la pieza se identifica el material y su geometría ya que esto define el comportamiento mecánico del elemento. Además, es necesario modelar las cargas a las cuales está sometido el elemento. En este caso se estudiará el elemento a partir de cargas estáticas.

Se debe realizar un levantamiento de la pieza original utilizando un software de CAD para que este pueda ser estudiado utilizando análisis por elementos finitos (AEF) y por consiguiente optimizado a partir de un estudio topológico teniendo en cuenta las restricciones de peso y manufactura.

El desarrollo del estudio computacional se realizó utilizando un computador de escritorio con Windows 7 (Intel Core i7, procesador 2:2 GHz, 6GB de RAM y disco duro de 500GB).

#### IV. Caso de estudio

Como caso de estudio se presenta el chasis de sistema RPA de carreras

llamado "Eachine Aurora 100", el cual cuenta con un espesor constante de 3mm y una masa aproximada de 12,36g, refiérase a Fig. 1 y Fig. 2.



Fig. 1. Vista isométrica general del RPAS de carreras "Eachine Aurora 100"

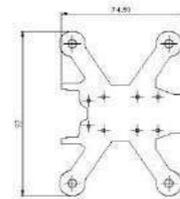


Fig. 2. Dimensiones generales en milímetros del chasis del RPAS de carreras "Eachine Aurora 100".

#### a. Estudio de cargas

En este caso las cargas se definen a por el empuje máximo que genera cada motor y por el peso medio de su carga útil. El sistema RPA de carreras es un cuadricoptero en el cual se asume que cada motor genera un empuje medio aproximado de 5N.

El peso de la carga útil se concentra en la mitad del elemento y es la suma del peso de su estructura, motores, hélices y carga útil. Este estudio se limita a cargas estáticas.

### V. Resultados y discusión:

#### a. Generación de geometría:

Para trabajar la geometría del modelo se utilizó el módulo de operaciones sólidos de SolidWorks 2018.

b. Estudio de cargas utilizando análisis por elementos finitos:

El análisis por elementos finitos (AEF), fue desarrollado en el módulo de simulación de SolidWorks 2018. Inicialmente se plantea un proceso de validación del modelo de AEF por medio de la teoría de vigas dentro del rango elástico propuesta por Euler-Bernoulli. Esta sugiere que la deflexión máxima para una viga homogénea de sección transversal uniforme sometida a flexión bajo una carga puntual en un extremo es definida por (2).

$$\delta_{max} = \frac{PL^3}{3EI}, \quad (2)$$

donde  $P$  es la carga,  $L$  la longitud de la viga,  $E$  el módulo de elasticidad e  $I$  el momento de inercia de la sección transversal respecto al eje de giro de referencia.

Con el fin de validar el método numérico empleado por el software, se utiliza una viga en voladizo con una longitud  $L=500\text{mm}$ , y sección transversal rectangular de  $50 \times 50\text{mm}$ , la cual conserva una relación  $L/t \geq 10$ , por lo cual su deflexión si puede ser calculada bajo el modelo Euler-Bernoulli, ver Fig. 3.

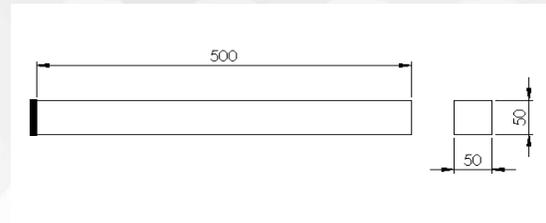


Fig. 3. Viga en voladizo utilizada para la validación del método numérico.

El cálculo del tamaño del elemento de la malla se realiza basado en el error relativo entre la deflexión máxima analítica y la deflexión máxima del AEF (3).

$$\%Error = 100 \left( \frac{\delta_{an} - \delta_{FEM}}{\delta_{an}} \right). \quad (3)$$

Los AEF se realizaron a partir de tetraedros con una distribución homogénea a lo largo del elemento, el resultado del error relativo es presentado en la Tabla 1.

Tabla 1. Estimación del tamaño de malla para el AEF.

Número de elementos	$\delta_{max}$ FEM [mm]	$\delta_{max}$ E-B [mm]	Error relativo [%]
674	0,778	0,784	0,747
1835	0,779	0,784	0,671
5775	0,781	0,784	0,382
21712	0,782	0,784	0,268
47240	0,783	0,784	0,265

El ensayo con un número de elementos de 47240 y un error relativo del 0,265% corresponde a la configuración más aproximada a la analítica, sin embargo, si se desea menor costo computacional, se puede utilizar el AEF con 21712 elementos debido a que su error porcentual es relativamente el mismo.

Por tanto, previo al análisis de optimización topológica se hace un

estudio de cargas de la estructura original; como material de estudio se seleccionó el Nylon 101, con un módulo elástico de 1GPa y un límite elástico de 60MPa. En el análisis preliminar se encuentra que las cargas generan unas tensiones máximas de Von-mises de 1,7MPa aproximadamente y los esfuerzos y deformaciones se concentran en las zonas cercanas a las secciones donde van montados los motores, ver Fig. 4.

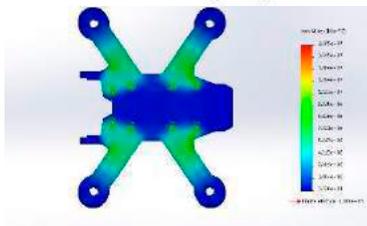


Fig. 4. Análisis por elementos finitos del chasis original del sistema RPAS de carreras.

#### c. Optimización topológica

Se utiliza el módulo de optimización topológica de Solid Works 2018. El objetivo de esta optimización es reducir el peso a partir de una variación en la geometría conservando una resistencia mecánica adecuada.

Para realizar dicha optimización se debe seleccionar un objetivo de % de reducción de peso y restringir algunas secciones de acuerdo a la manufactura y funcionamiento de la estructura. El objetivo en este caso es de una reducción en la masa de 40%. En el caso de la optimización topológica es importante conservar secciones de la superficie necesarias para el ensamblaje final. La restricción

en el caso del chasis del RPAS se concentra en la superficie superior e inferior con el fin de que tenga un acabado uniforme, y en los agujeros los cuales tienen una restricción que permite conservar 2mm de profundidad. Es además seleccionada la superficie media del chasis como la superficie de desmolde, no obstante, esta restricción no es tan importante si se trabaja con impresión 3D. Utilizando esta metodología de optimización se alcanza una convergencia en relación al objetivo deseado (40% de reducción de masa) con aproximadamente 16 iteraciones.

La masa alcanzada es de 6,08g, la remoción de material se concentra en la zona media del chasis de RPAS debido a que en esta sección no se presentan cargas relativamente altas, ver Fig. 5.

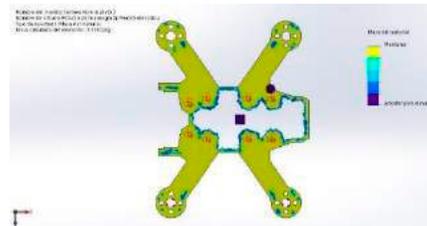


Fig. 5. Análisis estructural por medio de optimización topológica con un objetivo de masa de 40%.

#### d. Propuesta de diseño

El modelo se reconstruye teniendo en cuenta una superficie más limpia para evitar posibles concentraciones de esfuerzo. Además, es en este punto donde es posible utilizar recursos del diseño mecánico con el fin de suavizar o armonizar el diseño generado por la optimización topológica. No obstante,

es posible que exista un aumento de peso debido al arreglo del diseño, ver Fig. 6.

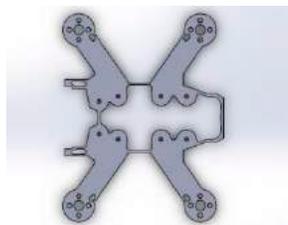


Fig. 6. Generación de propuesta del diseño del chasis del sistema RPA utilizando el módulo de operaciones sólidos de SolidWorks 2018.

Por último, es necesario realizar de nuevo un AEF con el fin de identificar secciones que puedan generar posibles fallas estructurales debido a su bajo espesor o debido a que concentran esfuerzos y deformaciones, como se observa en la Fig. 7. la propuesta de diseño no genera ningún aumento significativo en los esfuerzos de Von-mises, con unos valores máximos aproximados a 2,59MPa, muy por debajo de su límite y tiene una masa de 6,19g.

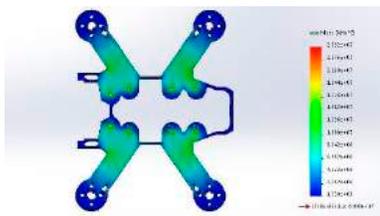


Fig. 7. Análisis por elementos finitos de la propuesta de diseño del sistema RPAS.

En la Fig. 8, se presenta el ensamble final del sistema RPA con el chasis

modificado por medio de la optimización topológica.



Fig. 8. Ensamble final del sistema RPA con el chasis modificado por medio de la optimización topológica.

## VIII. Conclusiones:

En este trabajo se adoptó una estructura de un dron de carreras “Echine Aurora 100” con el fin de aumentar su relación resistencia/peso utilizando el módulo de optimización topológica del software de diseño computacional SolidWorks 2018, las conclusiones más sobresalientes se presentan a continuación:

La optimización topológica se presenta como una rama del diseño estructural con una capacidad extensa para explotar dentro del ámbito de las estructuras aeronáuticas.

Se facilita la interpretación de la optimización topológica gracias a los softwares CAD comerciales que permiten un desarrollo de una propuesta estructural con un objetivo deseado.

Se debe interpretar de manera adecuada la optimización topológica teniendo en cuenta el contexto de la estructura; gran parte del éxito se encuentra enfocado en las

restricciones adicionales que se generen.

### INFORMACIÓN DE AUTORES

• Nombre Completo: Juan Carlos Perafan Lopez.  
• Afiliación: *Grupo de Investigación en Ingeniería Aeroespacial, Universidad Pontificia Bolivariana, Circular 1 70-01, Medellín, 050031, Colombia.*  
• Dirección Completa: *Universidad Pontificia Bolivariana, Circular 1 70-01, Medellín, 050031, Colombia.*  
• Números telefónicos o Fax: 034-3544522 / 3505196609.  
• Correo electrónico: [juan.perafan@upb.edu.co](mailto:juan.perafan@upb.edu.co).

• Nombre Completo: Germán Alberto Barragán de los Ríos.  
• Afiliación: *Grupo de Investigación en Ingeniería Aeroespacial, Universidad Pontificia Bolivariana, Circular 1 70-01, Medellín, 050031, Colombia.*  
• Dirección Completa: *Universidad Pontificia Bolivariana, Circular 1 70-01, Medellín, 050031, Colombia.*  
• Números telefónicos o Fax: 034-3544522.  
• Correo electrónico: [german.barragan@upb.edu.co](mailto:german.barragan@upb.edu.co)

• Nombre Completo: Stefania Villa Avila.  
• Afiliación: *Facultad de Ingeniería Aeronáutica, Universidad Pontificia Bolivariana.*  
• Dirección Completa: *Universidad Pontificia Bolivariana, Circular 1 70-01, Medellín, 050031, Colombia.*  
• Números telefónicos o Fax:  
• Correo electrónico: [stefania.villa@upb.edu.co](mailto:stefania.villa@upb.edu.co)

• Nombre Completo: Melissa López Tejada  
• Afiliación: *Facultad de Ingeniería Aeronáutica, Universidad Pontificia Bolivariana.*  
• Dirección Completa: *Universidad Pontificia Bolivariana, Circular 1 70-01, Medellín, 050031, Colombia.*  
• Números telefónicos o Fax:  
• Correo electrónico: [melissa.lopezt@upb.edu.co](mailto:melissa.lopezt@upb.edu.co)

### REFERENCIAS:

- [1] R. Vann, *Remotely piloted aircraft system (rpas) concept of operations (conops) for international IFR operations*, OACI, 2017.
- [2] C. Niu, *Airframe stress analysis and sizing*, AD Adaso/Adastra Engineering LLC, 1997.
- [3] J.-H. Z. W.-H. X. L. Zhu, «Topology optimization in aircraft and aerospace structures design,» *Archives of Computational Methods in Engineering*, vol. 23, nº 4, pp. 595-622, 2016.
- [4] W. a. S. K. Zuo, «Multi-material topology optimization using ordered SIMP interpolation,» *Structural and Multidisciplinary Optimization*, vol. 55, nº 2, pp. 477--491, 2017.
- [5] G. a. N. M. a. H. J.-L. e. a. Marck, «Topology optimization

- using the SIMP method for multiobjective conductive problems,» *Numerical Heat Transfer, Part B: Fundamentals*, vol. 61, nº 6, pp. 439--470, 2012.
- [6] V. a. D. O. a. Y. U. Kandemir, «Topology optimization of 2.5 D parts using the SIMP method with a variable thickness approach,» *Procedia Manufacturing*, vol. 17, pp. 29--36, 2018.
- [7] P. a. C. P. a. S. J. P. Uarac, «Optimización topológica bidireccional con esquema de penalización de material y restricciones de desplazamiento,» *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 23, nº 1, pp. 75--84, 2015.
- [8] A. A. a. B. J. a. C. Q. a. D. R. a. M. B. a. P.-C. R. a. S. L. Shapiro, «Additive manufacturing for aerospace flight applications,» *Journal of Spacecrafts and Rockets*, pp. 952--959, 2016.
- [9] M. a. T. E. a. F. F. a. K. S. Bronz, «Mission-Oriented Additive Manufacturing of Modular Mini-UAVs,» de *AIAA Scitech 2020 Forum*, 2020.
- [10] J. Hiemenz, «Additive manufacturing trends in aerospace,» *White Paper, Stratasys, USA*, pp. 1--11, 2014.
- [11] C. a. G. R. a. S. C. e. a. Ferro, «Additive manufacturing offers new opportunities in UAV research,» *Procedia CIRP*, vol. 41, pp. 1004--1010, 2016.
- [12] M. a. M. J. Tomlin, «Topology optimization of an additive layer manufactured (ALM) aerospace part,» de *Proceeding of the 7th Altair CAE technology conference*, 1--9, 2011.
- [13] M. R. Williamson, «Utilization of Unmanned System Technology in Transportation Engineering: A Case Study,» de *International Conference on Transportation and Development 2019: Innovation and Sustainability in Smart Mobility and Smart Cities*, Reston, VA, 2019.
- [14] M. V. Viana Colino, *Optimización topológica de una pieza metálica para adaptarla a fabricación aditiva*, 2015.
- [15] *Análisis de optimización topológica de estructuras mediante elementos finitos*.
- [16] J. a. T. V. a. T. H. a. G. P. a. D. J. a. H. J. Eves, «Topology optimization of aircraft with non-conventional configurations,» de

*8th World Congress on  
Structural and Multidisciplinary  
Optimization, 2019.*

- [17] J. a. P. A. Plocher, «Review on design and structural optimisation in additive manufacturing: Towards next-generation lightweight structures,» *Materials and Design*, vol. 183, pp. 108--164, 2019.
- [18] M. B. Jurado, *Los Drones, un nuevo socio en el espacio aéreo de Colombia*, Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada, 2014.
- [19] J. A. López Acosta, *El gran reto aeronaves no tripuladas*, Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada, 2013.
- [20] P. A. a. G. C. F. Firby, *Surface topology*, Elsevier, 2001.

# 4

**Diseño de un instrumento de  
medición de conocimiento en  
factores humanos en  
mantenimiento aeronáutico  
para la FAC**

**III ENCUENTRO DE  
INVESTIGACIÓN  
DESARROLLO E INNOVACIÓN  
EN EL SECTOR AERONÁUTICO**

**E-BOOK Memorias**





AERONÁUTICA CIVIL  
UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL



Centro de Estudios Aeronáuticos  
Institución Universitaria

## DISEÑO DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN DE CONOCIMIENTO EN FACTORES HUMANOS EN MANTENIMIENTO AERONÁUTICO PARA LA FAC

Rafael Andrés Rincón Barrera  
EPFAC-FAC  
Bogotá-Colombia

Email: [rafael.rincon03@gmail.com](mailto:rafael.rincon03@gmail.com)

**Resumen**— El propósito de esta investigación fue la de diseñar un instrumento de medición del conocimiento en factores humanos en mantenimiento aeronáutico para la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), con el fin de determinar el nivel de conocimiento del personal que labora en mantenimiento aeronáutico y de esta forma obtener datos que permitan identificar los programas de instrucción adecuados para fortalecer la seguridad operacional, teniendo en cuenta que los programas basados en factores humanos han demostrado ser eficaces en la administración de los riesgos generados por personas en el desarrollo del mantenimiento y operaciones aéreas. Esta investigación que tiene un enfoque de carácter mixto, utiliza en sus análisis datos cuantitativos y cualitativos para tratar el problema de investigación, a través del estudio de la población, la determinación del tamaño de la muestra, la identificación del tipo de herramienta adecuada de acuerdo al tamaño de la muestra y la aplicación del mismo. Por último, la investigación concluye entre otras cosas que existe una oportunidad de mejorar la Seguridad Operacional para la FAC, a través de la identificación del nivel de conocimiento en factores humanos en mantenimiento con el fin de estructurar programas de instrucción

acordes a las necesidades y de ésta forma fortalecer la seguridad operacional.

**Palabras clave**— *FAC (Fuerza Aérea Colombiana), MxHF (Factores Humanos en Mantenimiento), SMS (Sistema de Seguridad Operacional), Normatividad FAC (Manuales y Mensajes Técnicos Regulatorios para el mantenimiento de aeronaves en la FAC) y FH (factores humanos).*

**Abstract** — The purpose of this research is to design an instrument for measuring knowledge of human factors in aeronautical maintenance for the Colombian Air Force (COLAF), in order to determine the level of knowledge of the people working in aeronautical maintenance in this area of knowledge. and by this way obtain data that allows the identification of adequate training programs to strengthen operational safety, taking into account that programs based on human factors have proven to be effective in managing the risks generated by people in the development of maintenance and aeronautical operations. This research, which has a mixed focus, uses quantitative and qualitative data in its analysis to deal with the research problem, this through the study of the population, the determination of the sample size, the identification of the

type of an appropriate tool according to the size of the sample and its application. Finally, the research concludes, among other things, that there is an opportunity to improve Operational Safety for the COLAF, through the identification of the level of knowledge in human factors in maintenance in order to structure training programs according to the needs and thus strengthen operational safety.

Keywords— *COLAF (Colombian Air Force), MRM (Maintenance Resource Management), SMS (Operational Safety System), FAC Regulations (Manuals and Technical Regulatory Messages for aircraft maintenance in the FAC) and FH (human factors).*

## I. Introducción

El Informe de Fiabilidad Operacional del año 2019 emitido por la Inspección General de la FAC (IGEFA) [1] señala que durante ese año se volaron más de 63.000 horas y se presentó una mejoría en el número de novedades de seguridad operacional.

La Tasa de Accidentalidad es el indicador primario del rendimiento de la Seguridad Operacional en la Fuerza Aérea Colombiana, esta muestra por cada 10.000 horas de vuelo la cantidad de accidentes presentados. Para el 2019 este indicador mostró una disminución del 0.1% comparado con el año inmediatamente anterior conservando de esta forma una tendencia hacia la mejora.



Fig. 1. Tasa de accidentalidad de la FAC.

Fuente: Tomado de [1]

Las estadísticas de frecuencia de accidentalidad de los últimos 12 años de la FAC muestran una tendencia a la disminución de estos, la capacitación en CRM, las mejoras en cultura del reporte y las políticas y programas abordados para la mitigación del riesgo han aportado en gran medida a esta situación. Sin embargo, el mismo informe en mención relaciona que el factor técnico de mantenimiento en la taxonomía de los eventos no catastróficos ocurridos es el de mayor ocurrencia.

Teniendo en cuenta lo anterior y a sabiendas de que uno de los compromisos de la seguridad operacional es contribuir en la mitigación de accidentalidad desde la formación del personal encargado en los diferentes ejes de actuación en la aviación esta investigación parte de la necesidad de conocer el nivel de conocimiento del personal que labora en el mantenimiento de aeronave en la FAC, con el fin de determinar los aspectos más relevantes para ser tenidos en cuenta en los futuros programas de instrucción proyectados en el área de seguridad operacional, con línea de investigación en factores humanos y eje temático en Factores humanos en el Mantenimiento Aeronáutico.

## II. Metodología

### Tipo de la Investigación

La presente investigación según su naturaleza se considera no experimental, por su tipo de uso es de carácter descriptiva y explicativa, teniendo en cuenta que “busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis” [2], así mismo explicativa puesto que “está dirigida a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Se enfoca en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, o por qué se relacionan dos o más variables” [2]. Así mismo, por su temporalidad se define de carácter transversal teniendo en cuenta que se hace un corte en el tiempo y se realiza en el presente.

### Enfoque de la Investigación

El enfoque de esta investigación por el tipo de datos es de carácter mixta (cualitativa y cuantitativa), dado a que extrae datos numéricos históricos, así como conocimiento y experiencia del personal técnico de mantenimiento.

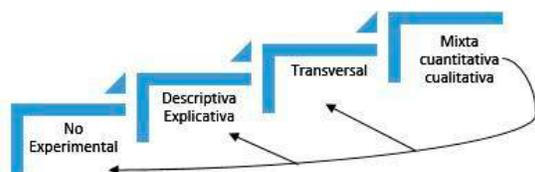


Fig. 2. Áreas del conocimiento a medir.

Fuente: Elaboración propia

### Población y muestra

#### Población objeto de investigación

El público objetivo de investigación es el personal militar perteneciente a la FAC que labora en Mantenimiento de Aeronaves en la FAC.

#### Quiénes son

Personal militar perteneciente a la FAC, que presta su servicio al interior de los Grupos Técnicos, donde realizan trabajos de mantenimiento a las aeronaves asignadas a cada unidad.

#### Dónde se encuentran

Este personal se encuentra en labores diarias de mantenimiento en aeronaves, residen tanto dentro como fuera de las Unidades donde laboran.

#### Características demográficas

Estaba compuesto en el año 2018 por hombres y mujeres, 212 de ellos oficiales, 1450 suboficiales pertenecientes a la FAC, con rangos de edades entre 18 y 47 años, de nacionalidad colombiana nacidos en diferentes lugares del país.

#### Características geográficas

La FAC, cuenta con diferentes bases aéreas a lo largo y ancho del territorio colombiano.

### Muestreo

Se utiliza el muestreo aleatorio simple partiendo de que se conoce la población y se solicitó la participación de forma voluntaria para el diligenciamiento del instrumento de recolección de datos de forma digital a través, de sus dispositivos móviles o computadores.

### Tamaño de la muestra

Para determinar el tamaño de la muestra a usar para la aplicación del instrumento de recolección de datos se aplica la siguiente fórmula tomada de [3].

$$n = \frac{Z^2 \cdot e^2 \cdot N}{e^2 \cdot (N - 1) + Z^2 \cdot e^2}$$

Donde:

n: Tamaño de la muestra.

N: Tamaño de la población, para el 2018 está definida en 212 oficiales, 1450 suboficiales y 356 civiles para un total de 2018 personas.

Z: Puntuación típica asociada al nivel de confianza adoptado = 1.96.

e: Error estándar = 6%.

Remplazando los datos numéricos por las variables se obtiene:

$$1.96^2 * 0,5 * 0,5 * 2018$$

$$n = 0,05^2 * (2018 - 1) + 1.96^2 * 0,5 * 0,5$$

n = 236 individuos

### **Validación y desarrollo del Instrumento**

La FAC basa su Sistema de Gestión del Riesgo Operacional en las normativas emanadas por la Organización de Aviación Civil Internacional OACI [4], normalizándolo a través de un modelo propio de SMS (Operational Safety System) [5] ajustado a las necesidades de la misión propia de la FAC. Por tanto, el diseño del instrumento de medición se conformó a través de una encuesta con 15

preguntas de conocimientos divididas en tres áreas específicas SMS (5 preguntas), factores humanos HF (5 preguntas) y conocimiento normativo de la FAC como se muestra en el ANEXO1.



Fig. 3. Áreas de evaluación.

Fuente: Elaboración propia

El instrumento se diseñó para su ejecución y transmisión de forma digital, a través, de la aplicación de Google Forms, con el fin de hacerlo llegar a las diferentes unidades militares de la FAC donde se

desarrollan labores de mantenimiento aeronáutico por correo electrónico o aplicaciones móviles como WhatsApp, Telegram, Teams, entre otros, que permiten la transmisión de una URL para abrir un cuestionario en línea.

### Instrumento Piloto

La validación del instrumento, tiene diferentes fases una inicial por la revisión de expertos la cual consistió en la evaluación de las preguntas por dos expertos del área de seguridad operacional en operaciones de mantenimiento aeronáutico quienes realizaron ajustes preliminares al cuestionario. Posteriormente se realizó el pilotaje del instrumento de forma exitosa, los resultados de este fueron publicados en una revista de divulgación científica, bajo el título de: “Nivel de conocimiento en Maintenance Resource Management (MRM) en el CACOM-3 de la Fuerza Área Colombiana” [6]

### Fiabilidad del instrumento piloto

La fiabilidad del instrumento se basó en la medición del alfa de cronbrach del instrumento piloto que arrojó un resultado de 0.73, colocándolo en la escala de Muy Bueno de acuerdo a [7].

Índice	Nivel de fiabilidad	Valor de Alfa de Cronbach
1	Excelente	]0.9, 1]
2	Muy bueno	]0.7, 0.9]
3	Bueno	]0.5, 0.7]
4	Regular	]0.3, 0.5]
5	Deficiente [	0, 0.3]

Tabla 1. Áreas del conocimiento a medir.

Fuente. Tomado de [7]

### Validación del instrumento por pares

La validación del instrumento por pares consistió en la participación de un comité de evaluación liderado por expertos de la EPFAC, al igual que los evaluadores del artículo sometido en la revista Inventum, quienes evaluaron que el instrumento cumplía las características necesarias para su utilización.

### Consideraciones Éticas

La evaluación del cumplimiento de consideraciones éticas se hizo a través de un comité citado por la EPFAC para evaluar estas con la participación de 3 doctores en la materia ya que esta investigación, de acuerdo con la resolución 008430 del

04 de octubre de 1993, se clasifica en la categoría A “Investigación sin riesgo”, debido a que no incluye ningún procedimiento invasivo por el contrario, se realizó un estudio empleando técnicas y métodos de investigación a través de encuestas digitales, anónimas, en la cual se le da la posibilidad de realizarla de forma voluntaria a través, de medios tecnológicos como computadores o su teléfono celular, sin vulnerar las variables biológicas, fisiológicas, psicológicas o sociales de los participantes, a quienes se les brindó información oportuna sobre los objetivos, métodos, beneficios esperados, riesgos previsibles e incomodidades originadas de la investigación tal como se evidencia en el consentimiento informado incorporado en el encabezado de la encuesta. Los participantes al dar clic en el cuestionamiento de si desea participar voluntariamente en el instrumento de medición, dejan en claro su libre derecho a participar en la

investigación. Mediante este medio se garantiza el respeto a los principios éticos fundamentales de autonomía, confidencialidad, beneficencia, equidad y justicia durante la intervención y el análisis de los resultados de la información, en donde en ningún momento se utilizaron nombres, grados y distintivos de llamado, preservando la identidad de los pilotos. Sus datos fueron empleados solamente para cumplir con los objetivos de la presente investigación.

Se tomaron todas las precauciones para proteger la intimidad a los participantes en el desarrollo del instrumento de recolección de datos sin afectar la integridad física, mental y su personalidad. La investigación se llevó a cabo previa aprobación por parte del Comité de Ética de la Escuela de Postgrados de la FAC con la aprobación de los tres jurados.

### III. Resultados Aplicación del instrumento

El instrumento fue distribuido al total de la población objeto de investigación, de esta población 369 personas ingresaron al instrumento y 340 decidieron aplicarlo de forma voluntaria. De acuerdo con la intencionalidad del instrumento se describen las respuestas que inciden en la estructura del programa a plantearse en esta investigación:

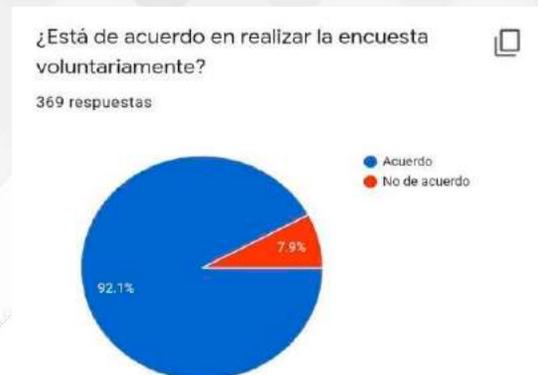


Fig. 4. Participación del personal de mantenimiento aeronáutico en el instrumento

Fuente. Elaboración propia

Las Unidades militares de la FAC que participaron en el instrumento son ilustradas en la siguiente figura:



Fig. 5. Participación de las Unidades militares de la FAC en el instrumento

Fuente. Elaboración propia

### Fiabilidad del instrumento final

La fiabilidad del instrumento se basó en la medición del alfa de cronbrach del instrumento que arrojó un resultado de 0.70, colocándolo en la escala de Muy Bueno de acuerdo a [7].

## Evaluación

La evaluación final de los datos obtenidos se realizó a través de la recolección de la matriz de información arrojada por Google Forms, posteriormente se tabulo y organizo para obtener un diagrama de barras conforme a las 3 areas estudiadas.

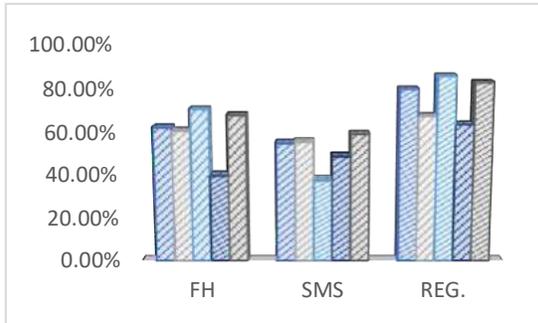


Fig. 6. Resultados del instrumento

Fuente. Elaboración propia

Finalmente, de acuerdo a los estándares requeridos los porcentajes de conocimiento se distribuyen en una escala de conocimiento cualitativa así: BAJA 0%-59%, MEDIO 60%-79% y ALTO del 80% al 100%.

## IV. Conclusiones

- ❖ Este instrumento permite medir con una muy buena fiabilidad el conocimiento en factores humanos en mantenimiento aeronáutico en la FAC.
- ❖ Realizar un estudio demográfico de los individuos a los cuales se desea tomar la muestra permite establecer la cantidad de la muestra necesaria.
- ❖ Utilizar los medios digitales en este caso la herramienta de Google Forms permitió llegar con el instrumento a diferentes unidades

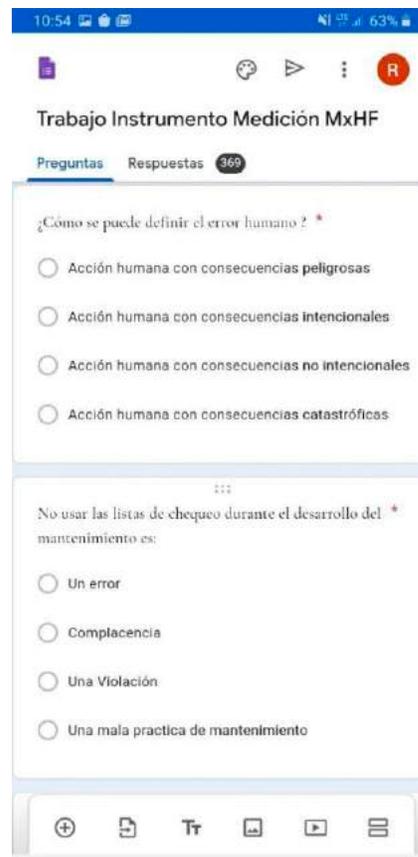
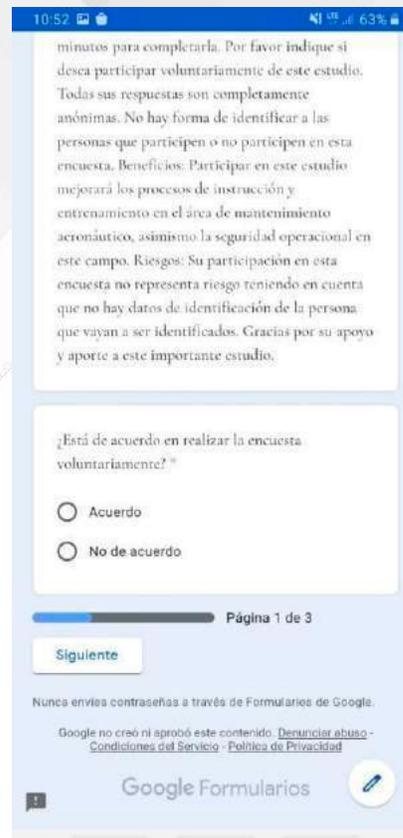
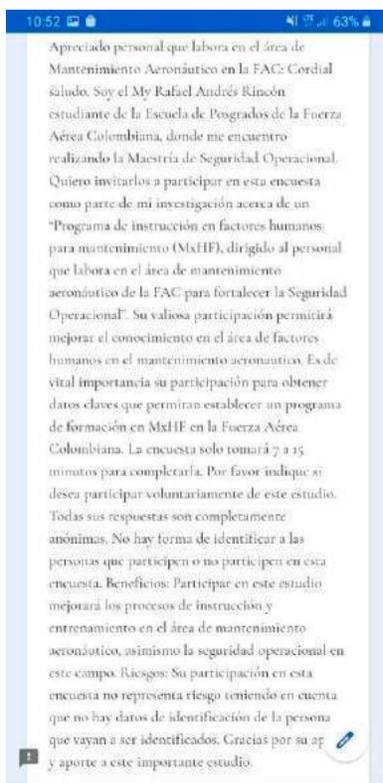
militares de la Fuerza Aérea al mismo tiempo.

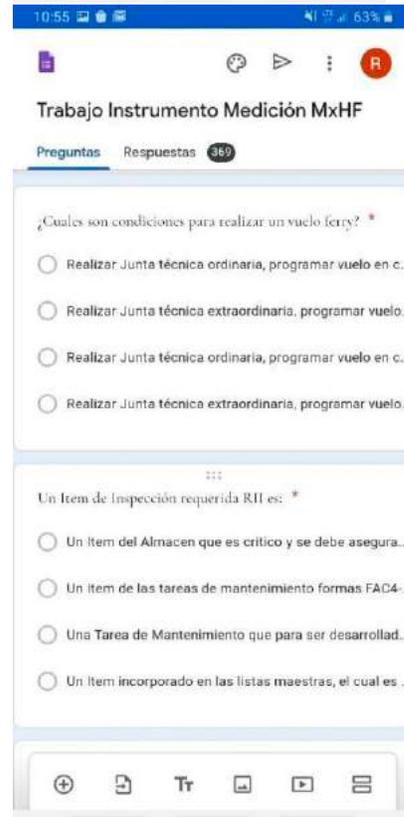
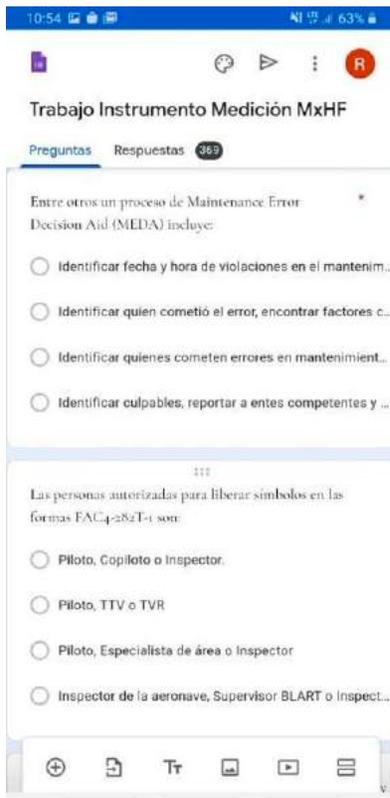
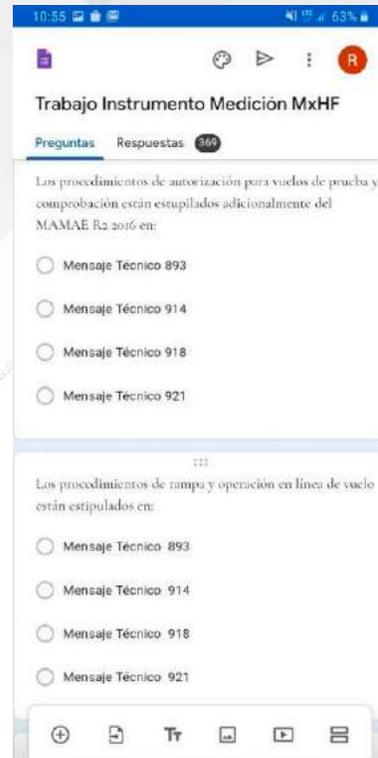
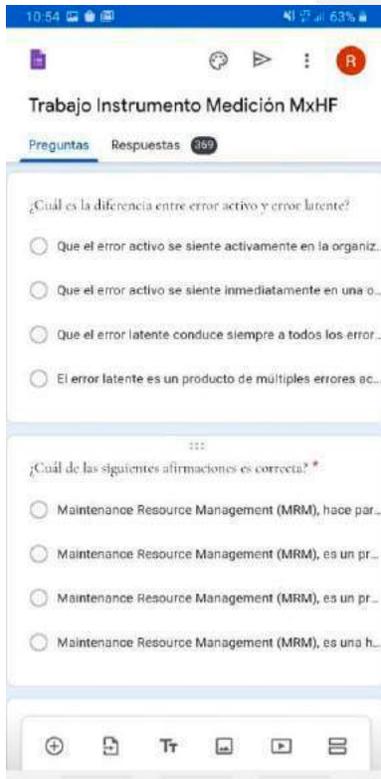
- ❖ Medir el nivel de conocimiento en factores humanos al personal que labora en esta actividad permite diseñar estrategias de entrenamiento en pro de mejorar la seguridad operacional.

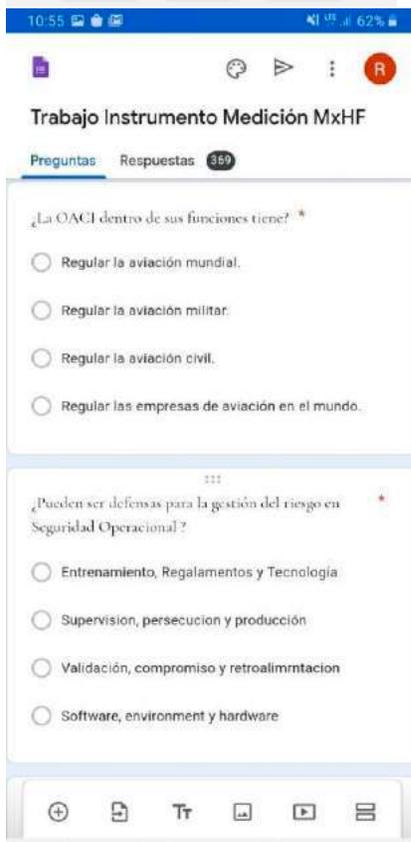
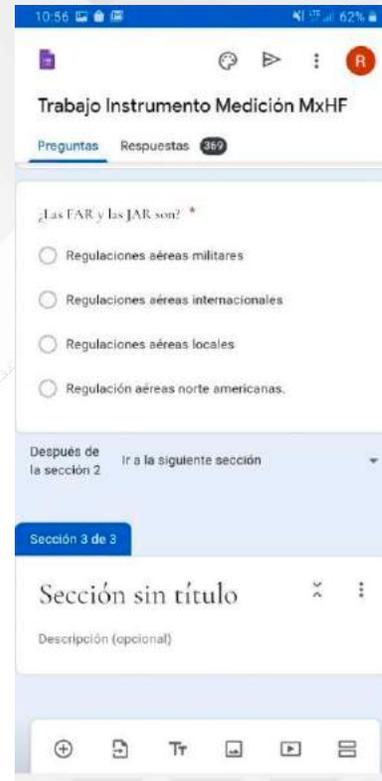
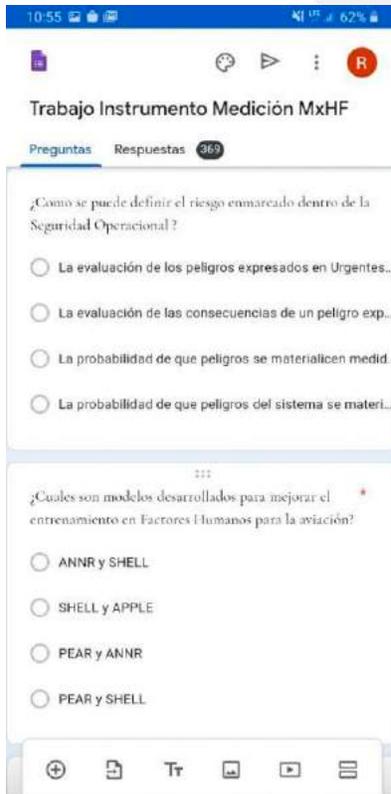
## V. Referencias

- [1] FAC-IGEFA-Informe de fiabilidad 2019. (2019). Fuerza Aerea Colombiana. Bogotá: IGEFA-FAC: 5-6
  - [2] Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). Metodología de la Investigación. México: Mc Graw Hill: 98
  - [3] S. Ortega, Metodologia de la Investigación MAESO, Bogotá, D. C.: Universidad EAN, 2018.
  - [4] OACI Anexo 19 segunda edición. (2016). Gestión de la Seguridad Operacional. Boulevard, Montréal, Quebec, Canada: OACI.
  - [5] OACI doc 9859 AN/474 tercera edición. (2013). Manual de gestión de seguridad operacional SMS. University Street, Montréal, Quebec, Canada: OACI.
  - [6] Rincón, R. (2019). Nivel de conocimiento en maintenance. Inventum: 61-69.
  - [7] \*Tuapanta Dacto, Jorge Vinicio, Duque Vaca, Miguel Angel, \*Mena Reinoso, Angel Patricio (2017) Alfa de Cronbach para validar un Cuestionario de uso de TIC en Docentes Universitarios. Ent 1 ESPOCH, Riobamba 060155, Ecuador:41
- ### INFORMACIÓN DE AUTORES
- Rafael Andrés Rincón Barrera
  - EPFAC-FAC
  - [rafael.rincon03@gmail.com](mailto:rafael.rincon03@gmail.com)

## ANEXO 1.







# 5

**Estrategia pedagógica: Aplicación de modelos de distribución en la cadena de abastecimiento del transporte aéreo.**

**III ENCUENTRO DE INVESTIGACIÓN DESARROLLO E INNOVACIÓN EN EL SECTOR AERONÁUTICO**

**E-BOOK Memorias**





AERONÁUTICA CIVIL  
UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL



Centro de Estudios Aeronáuticos  
Institución Universitaria

## Estrategia pedagógica: Aplicación de Modelos de distribución en la cadena de abastecimiento del transporte Aéreo

Bernardo Steven Martínez Romero, MSc  
Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea (EPFAC)  
Bogotá-Colombia  
Email: bernardomaro@gmail.com

### Resumen

El siguiente artículo de investigación en aula, se desarrolló durante la formación de posgrado en el área de logística aeronáutica, tiene como enfoque la aplicación y exposición de resultados de modelos heurísticos para el transporte de mercancías o prestación de servicios en una red logística, buscando minimizar costos de distribución mediante el uso de coordenadas y distancias con la herramienta de Google Maps. Es un ejercicio práctico donde se calculan costos y tasas de reaprovisionamiento basado en pesos colombianos COP por kilómetros recorridos y kilogramos transportados según una demanda estimada para la distribución de suministros entre las bases de la Fuerza Aérea Colombiana durante un horizonte de tiempo de un año. Se utiliza modos de transporte mixtos, terrestre y aéreo.

### Abstract

The following classroom research article was developed during postgraduate course in the aeronautical logistics area, the application and presentation of the results of Heuristic models for the transport of goods or services in a logistics network looking to minimize distribution costs by using coordinates and distances with the Google Maps tool. It is a practical exercise where sourcing costs and rates are calculated based on Colombian pesos COP per kilometers traveled and kilograms transported according to an estimated demand for the distribution of supplies between the Colombian Air Force bases during a time horizon of one year. Mixed modes of transport, land and air, are used.

### Palabras clave

*Logística, Ruteo de vehículos, Cadenas de Suministros, Herramientas TICs, Google Maps, Modos de transporte, Costos de distribución.*

## I. Introducción

El artículo es resultado de la actividad y experiencia en aula, enfocada a la aplicación de modelos matemáticos heurísticos para toma de decisiones. asociadas a la distribución de suministros a través de localizaciones logísticas al interior de una cadena de abastecimiento. El objetivo del caso práctico es obtener el menor costo de distribución garantizando la atención a las bases aéreas. Una heurística es una estrategia sistémica, un procedimiento práctico, que busca generar alternativas de solución de forma inmediata o gradual. En ingeniería se utiliza para resolver problemas a través de criterios, metodologías y procesos establecidos [3].

Los factores decisivos a la hora de programar el ruteo de vehículos en redes logísticas son las siguientes:

### Factor económico:

La definición de rutas de transporte en el marco de redes logísticas es parte esencial de la configuración de cadenas de abastecimiento sostenibles debido los costos operativos y niveles de servicio al cliente que representa esta actividad en el día a día.

Es importante tener claridad que estas inversiones económicas son significativas tanto en los costos fijos y variables asociados al mantenimiento

de vehículos y personal capacitado de transporte como en la compra o arrendamiento de los equipos logísticos adecuados para el negocio y deben ser analizadas con rigurosidad en términos de análisis financieros asociadas al presupuesto.

### Factor Demanda

La demanda es uno de los principales insumos (parámetros) para los modelos de distribución de mercancías, sus características están asociadas a la concentración de los puntos a visitar, es decir, la ubicación (coordenadas) de los clientes y proveedores dentro de la cadena de abastecimiento, junto con el flujo de mercancías o servicios requeridos en cada uno de estos puntos.

### Capacidad de los vehículos según modo de transporte

La capacidad de los vehículos utilizados en la operación es fundamente para saber cuántas rutas serán necesarios a la hora de satisfacer la demanda de los clientes.



Fig. 1. Ejemplo de múltiples rutas

Toda decisión económica requiere un plazo de tiempo para recuperar la inversión ROI (Retorno sobre la inversión). En el caso de decisiones asociadas a los problemas de ruteo de vehículos VRP (Vehicle Routing Problem), el periodo de tiempo se considera a mediano y corto plazo. Lo anterior ligado a la naturaleza y el nivel táctico y operativo que se considera a la hora de diseñar planes de distribución al interior de las cadenas de suministros. [1]

Este artículo se enfoca en la aplicación de modelos matemáticos para generar alternativas, es decir, posibles soluciones en términos de secuencias de rutas, es decir, orden de visita a los puntos de la red logística principalmente el factor demanda y capacidad de transporte como parámetros fundamental y decisivo de los resultados de las heurísticas.

Finalmente, se evalúan y comparan los costos de abastecimiento de las alternativas generadas con los modelos aplicados simulando dos modos de transporte: Aéreo y terrestre

## II. Metodología

Como punto de partida se definió un caso problema en aula de clase sobre la necesidad de distribuir suministros en la red logística de bases de la Fuerza aérea colombiana. El caso es el siguiente:

La Fuerza Aérea colombiana ha decidido adquirir un helicóptero de transporte multiutilitario referencia

Bell- 212 y un camión para ser parte de la nueva estrategia de abastecimiento de provisiones y materiales de mantenimiento entre bases aéreas.



Fig. 2. Mapa de las Bases aéreas FAC

Se desea elegir la mejor metodología (Rutas) para hacer la distribución de las mercancías (minimización de distancias y costos).

La Fuerza Aérea ha decidido abrir un Centro de Distribución capaz de satisfacer las necesidades de todas las bases. Esta nueva bodega se encuentra ubicada Popayán. Triangulo negro

Se cuenta que es un helicóptero por lo que se debe calcular las distancias entre todos los puntos (matriz de distancias) basado en el teorema de Pitágoras, es decir, calcular las distancias euclidianas utilizando la herramienta de Google Maps. Todos los costos de las rutas se expresarán en pesos colombianos y en distancias en km.

La demanda de suministros de por cada base aérea se resume en la siguiente tabla:

Coordenadas y Demanda estimada	
Base Aérea	Demanda estimada en Kg de suministros
Fuerza aérea Colombiana Madrid Cundinamarca	800
Base aérea de Tres Esquinas	900
Base aérea Militar Marco Fidel Suarez	1520
Base aérea BG Arturo Lema Posada FAC	1000
Base aérea Fac, Melgar, Tolima (Luis F Pinto)	700
Base Aérea GACAS	600
Gómez Niño <a href="#">Ajr_Base</a>	1200

Tabla 1. Demandas de suministros en kg

### Cálculo de coordenadas Google Maps

Se utilizó la herramienta Google Maps para encontrar las coordenadas de las bases de la Fuerza aérea colombiana a visitar

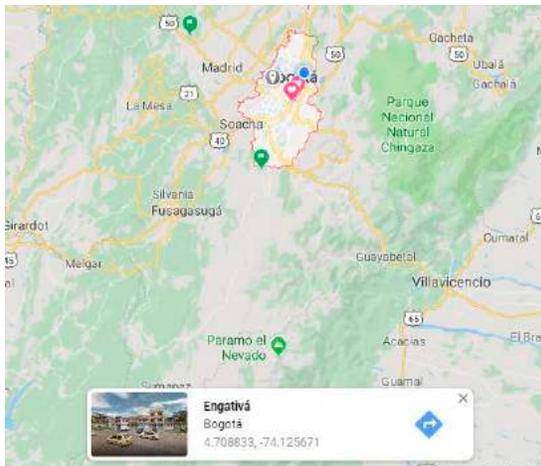


Fig 3. Coordenadas Google Maps Fuente-Tomado de [www.google.com.co/maps/](http://www.google.com.co/maps/)

### Cálculo de distancias Google Maps

Se utilizó la herramienta Google Maps para encontrar las distancias en kilómetros tanto para el modo de

transporte terrestre (línea azul) como el aéreo (línea negra)

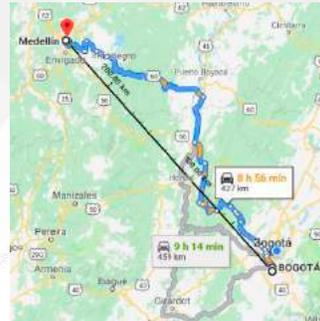


Fig 4. Distancias Google Maps Fuente-Tomado de [www.google.com.co/maps/](http://www.google.com.co/maps/)

### Heurísticas seleccionadas

Los modelos matemáticos seleccionados fueron:

Método de barrido: Este método se caracteriza por utilizar los ángulos geométricos para hacer un barrido secuencial y así definir la ruta para visitar a todos los clientes. Hay tres tipos de barrido, pero utilizaremos en barrido con ángulos geométricos absolutos respecto al depósito. Por lo anterior, es necesario contar con la ubicación de los puntos en un mapa o plano cartesiano.

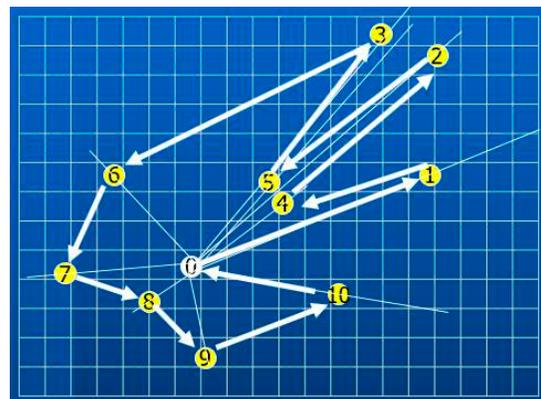


Fig. 5. Ejemplo gráfico de barrido.

Método de Vecino más cercano: Con base en una matriz de distancias cuadrada no necesariamente simétrica se empieza en el centro de distribución y se va al punto más cercano y así sucesivamente, hasta completar la visita a todos los clientes.

En caso de que la capacidad del vehículo se supere se debe regresar al origen y empezar de nuevo formando varios circuitos.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	-	xx									
1	xx	-	xx								
2	xx	xx	-	xx							
3	xx	xx	xx	-	xx						
4	xx	xx	xx	xx	-	xx	xx	xx	xx	xx	xx
5	xx	xx	xx	xx	xx	-	xx	xx	xx	xx	xx
6	xx	xx	xx	xx	xx	xx	-	xx	xx	xx	xx
7	xx	-	xx	xx	xx						
8	xx	-	xx	xx							
9	xx	-	xx								
10	xx	-									

Fig. 6. Ejemplo de matriz de distancias

Método de ahorros Clarke and Wright: Este modelo busca encontrar los enlaces que generen el mayor ahorro y así generar rutas optimizadas en términos de distancias recorridas. [2]

Los pasos son los siguientes:

1. Asignar una ruta para cada cliente i, con origen y retorno al depósito
2. Calcular los ahorros netos para cada pareja de clientes (i,j), y asignarlos a una matriz de ahorros
3. Identificar en la matriz de ahorros netos, la celda (i,j) que contiene el máximo ahorro neto no examinado y enlazar los clientes i y j consolidando las

rutas si y solo si se satisfacen las siguientes condiciones:

- Existe un trayecto simple (i,0) y otro trayecto simple (0,j)
- Los clientes i y j no están en la misma ruta
- Al enlazar los clientes i y j, agregando el camino (i,j) y quitando (i,0) y (0,j) no se viola ninguna restricción del problema (CVRP -VRPTW) Es decir que no viola ninguna restricción de capacidad o de ventanas de atención.

4. Volver al paso 3 hasta que no queden ahorros netos por examinar

### III. Resultados

El primero paso fue calcular la tasa R del costo de distribución en pesos colombianos por km recorrido.

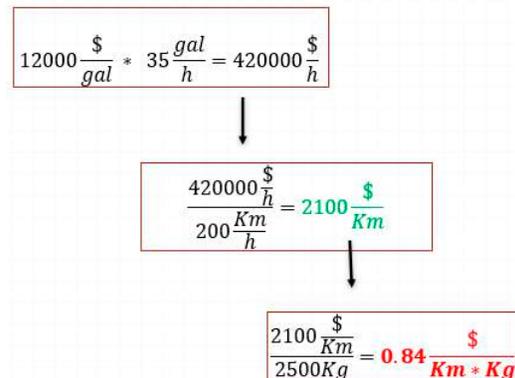


Fig 7. Cálculo de tasa R para el costo de transporte

Los resultados están divididos en dos categorías.

El primer en enfoque se calculó suponiendo que los vehículos no tenían restricción de capacidad.

Las distancias euclidianas con la herramienta Google Maps son:

	A	B	C	D	E	F	G	H
A	0	363	242	113	434	295	566	384
B	363	0	456	284	204	70	218	107
C	242	456	0	332	603	392	598	415
D	113	284	332	0	324	223	500	333
E	434	204	603	324	0	233	348	310
F	295	70	392	223	233	0	277	120
G	566	218	598	500	348	277	0	189
H	384	107	415	333	310	120	189	0

Tabla 2. Km de distancias entre los puntos analizados.

A	Alcaldía Municipal de Popayán (CD)
B	F A Colombiana Madrid Cundinamarca
C	B.A de Tres Esquinas
D	B.A Marco Fidel Suarez
E	B.A BG. Arturo Lema Posada
F	B.A Luis F Pinto
G	B.A GACAS
H	Gómez Niño Air Base

Tabla 3. Significado de las letras de la matriz de distancias

Después de aplicar el método de barrido se obtuvo la siguiente secuencia de visita.



Fig 8. Secuencia definitiva Barrido tipo Los costos y distancias finales del recorrido son:

Secuencia	Distancias km	Costos
Empezando en Popayán		
Gomez Niño Air Base	384	\$ 805.770
B.A GACAS	189	\$ 397.362
B.A Luis F Pinto	277	\$ 581.763
F A Colombiana Madrid Cundinamarca	70	\$ 146.181
B.A BG. Arturo Lema Posada	204	\$ 428.757
B.A Marco Fidel Suarez	324	\$ 680.610
B.A de Tres Esquinas	332	\$ 697.158
Alcaldía Municipal de Popayan	242	\$ 508.200
<b>Total</b>	<b>2022</b>	<b>\$4.245.801</b>

Tabla 4. Resultados en distancia y costos del modelo de barrido

A continuación, se aplicó el método de ahorros siguiendo el paso a paso de la heurística y se encontró la siguiente tabla matriz de ahorros con los enlaces correspondientes.

	A	B	C	D	E	F	G	H
A	0	0	0	0	0	0	0	0
B	0	0	150	192	593	588	711	640
C	0	150	0	23	73	145	210	211
D	0	192	23	0	223	185	179	164
E	0	593	73	223	0	496	652	508
F	0	588	145	185	496	0	584	559
G	0	711	210	179	652	584	0	761
H	0	640	211	164	508	559	761	0

Tabla 5. Matriz de ahorros.

La secuencia obtenida según heurística de ahorros optimizando los enlaces es:



Fig 9. Secuencia Clarke and Wright

Los costos y distancias finales del recorrido son:

Secuencia	Distancias km	Costos
Empezando en Popayán		
Gomez Niño Air Base	113	\$ 237.300
B.A GACAS	324	\$ 680.610
B.A Luis F Pinto	204	\$ 428.757
F A Colombiana Madrid Cundinamarca	218	\$ 458.325
B.A BG. Arturo Lema Posada	189	\$ 397.362
B.A Marco Fidel Suarez	120	\$ 251.748
B.A de Tres Esquinas	392	\$ 822.549
Alcaldía Municipal de Popayan	242	\$ 508.200
<b>Total</b>	<b>1802</b>	<b>\$3.784.851</b>

Tabla 6. Resultados en distancia y costos del modelo de ahorros

Si comparamos estos dos métodos se puede observar que claramente en este caso el método de Clarke and Wright genera una ruta más eficiente con un ahorro de \$ 460.950 en cada día de programación para las visitas y entrega de suministros a estas bases.

Finalmente, con el fin de mostrar las bondades de los modelos de distribución de vehículos con restricción de capacidades se aplica el método de vecino mas cercano teniendo en cuenta la demanda en cada una de las bases y así determinar el momento necesario de volver al Centro de distribución a cargar de nuevo la mercancía y visitar los nodos faltantes.

		DISTANCIAS EUCLIDIANAS (KM)							
Numero		0	1	2	3	4	5	6	7
		A	B	C	D	E	F	G	H
A	0	363	242	113	434	295	566	384	DEMANDA
B	363	0	456	285	204	70	218	107	800
C	242	456	0	332	603	392	599	415	900
D	113	285	332	0	324	223	500	333	1520
E	434	204	603	324	0	233	348	310	1000
F	295	70	392	223	233	0	277	120	700
G	566	218	598	500	348	277	0	189	600
H	384	107	415	333	310	120	189	0	1200

Tabla 7. Matroz del vecino mas cercano con restricciones de capacidad.

Se encuentran tres rutas (circuitos) para visitar a los clientes teniendo en cuenta las restricciones de capacidad de 2500 kg del modo de transporte aéreo.

Los resultados de las rutas son:

	Ruta 1	Ruta 2	Ruta 3
CAPACIDAD	2500	2500	2500
Secuencia	0-D-F-0	0-C-H-0	0-B-E-G-0
Distancia	631,09	1041	1481,5
Costo ruta 1	\$1.325.289	\$2.186.100	\$3.111.150
Peso	2220	2100	2400
Utilizacion Camion	88,80%	84,00%	96,00%

Con la introducción de las restricciones de capacidad se evidencia la necesidad de visitar a todas las bases con circuitos independientes maximizando la capacidad utilizada.

#### IV. Conclusiones

Esta simulación como estrategia pedagógica en aula permite al estudiante desarrollar competencias asociadas a la identificación, formulación y resolución de problemas de ruteo de vehículos.

Con este ejercicio se fortalece el uso de herramientas TICs gratuitas que permiten trabajar con datos reales y enfrentar al estudiante a situaciones problema para la toma de decisiones en su contexto laboral

Este tipo de ejercicios son aplicables a la logística en cualquier modelo de cadena de abastecimiento y para todo tipo de modo de transporte.

Existen variedad de heurísticas que se pueden utilizar para la solución de este tipo de problemas. Es importante aplicar más de un método con el fin de tomar decisiones con múltiples alternativas.

#### V. Referencias

[1] ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN Y LAS OPERACIONES, Steven Nahmias. 5ta Edición (2007)

[2] LOGISTICA. ADMINISTRACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTRO.

Ballou, Ronald. Pearson – Prentice-Hall - 2004 (5 edición)

[3] DESIGNING AND MANAGING THE SUPPLY CHAIN\_ CONCEPTS, STRATEGIES, David Simchi-Levi, Philip Kaminsky, Edith Simchi-Levi, David Simchi-Levi, Philip Kaminsky, Edith Simchi-Levi- Cases (1999)

#### INFORMACIÓN DE AUTORES

- Bernardo Steven Martínez Romero
- Docente Asociado Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea EPFAC
- Carrera 13 # 142-51
- 314 3823768
- bernardomaro@gmail.com

# 6

**Definición del marco nacional de  
cualificaciones de la aviación  
civil.**

**III ENCUENTRO DE  
INVESTIGACIÓN  
DESARROLLO E INNOVACIÓN  
EN EL SECTOR AERONÁUTICO**

**E-BOOK Memorias**





AERONÁUTICA CIVIL  
UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL



Centro de Estudios Aeronáuticos  
Institución Universitaria

## DEFINICIÓN DEL MARCO NACIONAL DE CUALIFICACIONES DE LA AVIACIÓN CIVIL

*Mariela Inés Rodríguez Acosta  
Alexandra María Rincón Meza  
Centro de Estudios Aeronáuticos-CEA  
Bogotá Colombia  
mariela.rodriguez@aerocivil.gov.co  
alexandra.rincon@aerocivil.gov.co*

**Resumen**— La Definición de un Marco Nacional de Cualificaciones de la Aviación Civil se enfoca en estructurar y clasificar las cualificaciones por niveles de formación con el propósito de orientar de manera efectiva la oferta educativa del país dirigida al sector, atender el cierre de brechas en el mercado laboral, promover la movilidad y la progresión educativa y laboral del talento humano y orientar a los empleadores para promover el desarrollo de todos los subsectores que lo componen.

**Palabras clave**— *Cualificaciones, ecosistema, aeronáutica, aviación civil, subsector*

### *Abstrac*

The Definition of a National Civil Aviation Qualifications Framework focuses on structuring and classifying qualifications by levels of training in order to effectively guide the country's educational offer aimed at the sector, address the closing of gaps in the labor market, promote mobility and the educational and labor progression of human talent and guide employers to

promote the development of all the subsectors that comprise it.

### **A. Introducción**

El Sector de la aviación civil obedece a una dinámica global en tanto que realiza procesos y procedimientos que se encuentran estandarizados por la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI) y corresponde a cada Estado miembro cumplirlos en todas las actividades relacionadas con la prestación de servicios a la navegación aérea, servicios aeroportuarios especializados de apoyo terrestre a la operación de aeronaves, servicios de seguridad de la aviación, explotación de aeronaves, servicios de mantenimiento aeronáutico, fabricación de partes y aeronaves. Es en este sentido que, para efecto de su cumplimiento, cada Estado a través de la Autoridad Aeronáutica, debe desarrollar las actividades relacionadas con la vigilancia, certificación y regulación.

Es claro que, el sector de aviación civil viene manifestando en los últimos años un aumento en el número de operaciones aéreas que impacta desde luego la infraestructura

aeroportuaria, y demanda mayores acciones respecto de la seguridad y el impacto ambiental. Así mismo, es claro que, este sector demanda la inclusión de alta tecnología para estar en la capacidad de desarrollar operaciones aéreas seguras en el lado tierra y el lado aire.

El escenario descrito, obliga a pensar sobre un factor importante para atender la dinámica planteada, el talento humano. Es así como, surgieron interrogantes, como: ¿están alineados los actores del ecosistema aeronáutico con la academia para atender la dinámica del sector de la aviación civil?, ¿la formación del talento humano es correspondiente con las necesidades del sector en todos sus campos?, ¿cuáles deben ser las competencias que deben desarrollar las personas para asumir los retos que se generan?, estos interrogantes conducen a revisar estrategias o mecanismos que alineen la gestión del conocimiento con los actores del ecosistema que integran el sector aeronáutico y en concreto de la aviación civil, como una

parte estructural para inducir mejora o para desarrollar en el sector ventajas competitivas, así como, para determinar qué es lo que requiere en materia de talento humano cada uno de los subsectores que componen el sector de la aviación civil.

## B. Marco de referencia

Desde el referente internacional se ha planteado una problemática relacionada con el talento humano en

tanto que se manifiesta un fenómeno relacionado con la necesidad de llevar a cabo un relevo generacional y contar con personas altamente calificadas. En este sentido, la OACI vislumbró en el año 2009 la necesidad de garantizar profesionales de la aviación calificados y competentes para operar, gestionar y mantener el futuro sistema de transporte aéreo internacional [1] para lo cual presentó la iniciativa “*Nueva Generación de Profesionales de la Aviación*” [2] (NGAP por sus siglas en inglés) en la cual plantea que se hace necesario atraer, educar y retener un número mayor de profesionales para atender las crecientes necesidades del Sector.

Respecto de lo anterior, la OACI propone a los Estados miembros de esta Organización, promover estrategias para desarrollar el talento humano en línea con los cambios, reconociendo el papel de los actores que participan en el mismo, identificado el nivel de intervención y el compromiso, así como, las posibles brechas que existen para desarrollar el Sector de la aviación de manera competitiva.

En este orden de ideas, la Aeronáutica Civil trazó como estrategia primaria atender la necesidad de alineación de los actores del ecosistema entendiendo que como lo plantearon Kis y Field (2009) [3] “*no existe un sistema bien desarrollado que permita a los empleadores comunicar sus necesidades a las instituciones de educación superior, lo que puede deberse a razones culturales de dos mundos que operan en paralelo, con pocas interconexiones sistémicas, debido a la ausencia de una*

*institucionalidad que los vincule y también estructurales, las que se grafican en la composición relativamente inflexible de la educación superior”.*

De otra parte, cabe resaltar que a través de lo expuesto en cada uno de los ejes temáticos planteados en el Plan Estratégico Aeronáutico 2030: competitividad; institucionalidad; industria y cadena de suministro; seguridad operacional y de la aviación civil e infraestructura y sostenibilidad ambiental se evidenció la necesidad de contar con talento humano cualificado y que esto solo se podría lograr si se generaba una articulación de los actores que conforman la triada Estado – Industria – Academia.

De igual forma, se revisó la Recomendación 195 de la OIT [6] que proponía a los países miembros lo siguiente: **Desarrollar un Marco Nacional de Cualificaciones** que facilite el aprendizaje permanente, ayude a las empresas y a las agencias de colocación a conciliar la demanda con la oferta de competencias, oriente a las personas en sus opciones de formación y de trayectoria profesional, y facilite el reconocimiento de la formación, las aptitudes profesionales, las competencias y la experiencia previamente adquiridas; dicho marco debería ser adaptable a los cambios tecnológicos y a la evolución del mercado de trabajo, y dar cabida a las diferencias regionales y locales, sin que ello le reste transparencia en el plano nacional.

Es importante destacar que, a parte de la OIT, Organizaciones como: la Organización para la Cooperación y el

Desarrollo Económico (OCDE) y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO por sus siglas en inglés) han considerado que el desarrollo de un Marco de Cualificaciones es una oportunidad para un país dadas las circunstancias actuales de desarticulación entre la academia y la industria que afectan directamente la productividad y crecimiento de un sector.

Con base en los referentes anteriores, se propuso en el Plan Estratégico Aeronáutico 2030 el objetivo *“Cualificar el talento humano desarrollando el Marco Nacional de Cualificaciones de la aviación civil para asegurar las competencias y propiciar la movilidad laboral en el país y en la región [4]”* como parte del eje temático Desarrollo de Talento Humano para el sector aeronáutico.

De acuerdo con este propósito institucional, el Centro de Estudios Aeronáuticos – CEA planteó el desarrollo de una investigación que girara alrededor de la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuáles son las cualificaciones que se deben establecer como marco nacional de la aviación civil para responder al direccionamiento estratégico 2030 y al Plan Nacional de Desarrollo 2018 – 2022 en materia del desarrollo integral y sostenible del talento humano del sector?

### C. Marco conceptual

#### Definición de Marco de Cualificaciones

Para el Centro Europeo para el Desarrollo de Formación Profesional - CEDEFOP, el Marco de Cualificaciones *“Es un instrumento para el desarrollo y clasificación de las cualificaciones, a escala nacional o sectorial, con arreglo a un conjunto de criterios (por ejemplo, con ayuda de descriptores) correspondientes a niveles específicos de resultados de aprendizaje o bien un instrumento de clasificación de las cualificaciones en función de un conjunto de criterios correspondientes a determinados niveles de aprendizaje, cuyo objeto consiste en integrar y coordinar los subsistemas nacionales de cualificaciones y en mejorar la transparencia, el acceso, la progresión y la calidad de las cualificaciones en relación con el mercado de trabajo y la sociedad civil”* [8].

#### Objetivos del Marco de Cualificaciones

Desde diferentes autores se proponen cuatro objetivos que debe cumplir un Marco de Cualificaciones [10]:

- a. Establecer, en el ámbito nacional, normas o niveles relativos a los resultados del aprendizaje en forma de conocimientos, destrezas y competencias.
- b. Fomentar, a través de la normativa, la calidad en la oferta de educación y formación.
- c. Crear un sistema de coordinación y/o integración de cualificaciones, y permitir compararlas

estableciendo correspondencias entre ellas.

- d. Facilitar el acceso a la formación, la transferencia de resultados de aprendizaje y la progresión en los itinerarios de aprendizaje.

### D. Marco Normativo que fundamenta el Marco Nacional de Cualificaciones para Colombia

El marco normativo bajo el cual se orienta la construcción del Marco Nacional de Cualificaciones se establece en:

- Ley 1955 de 2019 Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2018 - 2022 Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad [9], g. Objetivo 7: Alianza por la calidad y pertinencia de la educación y formación del talento humano

*“Con el fin de impulsar la calidad y pertinencia de la educación y formación del talento humano, se consolidará e implementará el Sistema Nacional de Cualificaciones (SNC). Este sistema requiere la definición de una institucionalidad y gobernanza, además de un conjunto de instrumentos, políticas, procesos y arreglos necesarios para alinear la educación y la formación a los requerimientos actuales y anticiparse a las necesidades sociales y productivas del país. Facilita la adecuación entre la oferta y la demanda del mercado de trabajo, promueve la educación y formación a lo largo de la vida, y fomenta la movilidad educativa, formativa y laboral de las personas. El SNC incluye, entre sus componentes, el Marco Nacional de Cualificaciones*

*(MNC), el subsistema de aseguramiento de la calidad de la educación y formación, un esquema de movilidad educativa y formativa, la plataforma de información que permita orientar la oferta de formación; el subsistema de normalización de competencias, y el de evaluación y certificación de competencias”*

### **E. Importancia de un Marco de Cualificaciones para el sector de Aviación Civil**

La importancia de desarrollar un Marco Nacional de Cualificaciones para el sector de la aviación civil radica en la necesidad de impulsar la industria del sector a partir de promocionar la calidad y la pertinencia de la educación y la formación del talento humano como lo plantea el Plan Nacional de Desarrollo (2018 – 2022).

Para el caso particular del sector de la aviación civil la definición de un Marco de Cualificaciones permite lo siguiente:

- Atender un contexto cambiante y con alta dosis de innovación.
- Atender la Recomendación 195 de 2004 [5], de la Organización Internacional del Trabajo, relativa al desarrollo de recursos humanos focalizada su atención en el desarrollo de competencias, el aprendizaje permanente y la estrecha relación entre empleos de calidad, calidad de vida y equidad», y resaltaba «la importancia de la innovación, la competitividad, la productividad, el crecimiento económico, la creación

de trabajo decente y la empleabilidad de las personas.

### **F. Objetivos del proyecto**

#### **Objetivo General**

- Definir las cualificaciones que se deben establecer como Marco Nacional de la Aviación Civil para responder al direccionamiento estratégico 2030 y al Plan Nacional de desarrollo 2018 – 2022 en materia de desarrollo integral y sostenible del talento humano del sector

#### **Objetivos específicos**

- Caracterizar el sector de la aviación civil para tener un referente de su representatividad en el país y las variables que promueven su desarrollo a través del análisis de las tendencias nacionales e internacionales, la normatividad que lo regula y su dinámica ocupacional
- Identificar las brechas de capital humano que se presentan en el sector de la aviación civil en relación con la cantidad, calidad y pertinencia de la formación para efecto de reconocer las variables que afectan el equilibrio entre la oferta y la demanda laboral
- Definir el sistema de valor del sector aeronáutico, estableciendo: la misionalidad de cada uno de los actores y su contribución de valor al mismo, las articulaciones clave entre estos y las cadenas de valor (procesos y subprocesos) de cada

Definición clara y precisa de objetivos, Diagnósticos de la situación actual, Selección de alternativas y toma de decisiones. (Eafit.).

Una empresa que practique el coaching se distingue por sus objetivos claros y concretos, interactividad, responsabilidad compartida, respeto y adaptación al cambio.

La finalidad de esta herramienta gerencial es buscar los caminos a los objetivos organizacionales planteados. Por eso desde que se decide empezar con este proceso debe existir una claridad de la meta a la cual se quiere llegar. El tutor brinda ayuda, información acompañamiento y guiará en el proceso pero cada uno de los entrenados debe desarrollar la capacidad de resolver los problemas y encontrar el camino al conocimiento.

El coaching es una herramienta fundamental para conseguir los objetivos en una empresa debido a que se basa en que un tutor le da herramientas a los trabajadores para que puedan mejorar su desempeño en las diferentes labores. Con el coaching se consigue, además de lo anteriormente mencionado, desarrollar habilidades en los trabajadores, las cuales facilitaran su labor en la organización. (Eafit.)

Expone el autor Prieto que si de tener la menor cantidad de inventarios se trata, la mega- tendencia “Just in Time” es la que abarca todo este mundo, siempre que se visualizan los inventarios como un elemento un poco

difícil de manejar. Los inventarios generan costos, los cuales se ven reflejados en la utilidad de los productos o servicios a ofrecer, siendo el Justo a Tiempo un instrumento para contrarrestar los obstáculos generados con los inventarios. (Prieto, 2015). Este sistema es muy importante porque permite disminuir los costos de las organizaciones al reducir la cantidad de inventario quieto en bodega. Para ello es necesario reorganizar la producción, con lo cual se produce lo necesario en el momento indicado, sin generar excedentes.

Con el Justo a Tiempo, se pretende lograr un proceso continuo en la producción de una empresa, porque logran reducir los tiempos de producción y tener un bajo inventario que les ayude a reducir los costos, se logra mediante la reducción de las actividades que no generan un valor agregado dentro del proceso de producción.

Esta tendencia administrativa se viene imponiendo debido a su funcionalidad y su aporte al logro de la calidad total en las empresas. La puesta en marcha de sus enunciados no consiste en cambiar la apariencia física y estética de la compañía sino en generar una serie de hábitos sanos vivir en armonía con nuestros compañeros de trabajo creando un nuevo estilo de vida.

Las cinco S, es un programa que compromete a toda la organización y para ello desarrolla actividades puntuales cuyo objetivo es lograr un

uno de ellos y la correspondiente definición del conocimiento necesario para estar dentro de las mejores prácticas

- Estructurar las cualificaciones a partir de la caracterización del sector, de la definición del sistema de valor y sus procesos misionales, de las brechas de capital humano para orientar los diseños curriculares de los programas académicos orientados hacia el sector de aviación civil

### **G. Metodología de la investigación**

Para el desarrollo de esta investigación se utilizarán los métodos deductivo e inductivo. Por una parte, el deductivo permitirá analizar la información contenida en diferentes tratados, normas, teorías y metodologías que son orientadores del sector, y por el otro lado, el inductivo permitirá analizar de manera particular las variables y establecer una correlación con fundamento en el tratamiento de la información obtenida a través de técnicas de investigación como entrevistas con grupos de valor o cuestionarios. Los grupos de valor lo constituyen: los prestadores de diferentes servicios del sector como: empresas, organizaciones, agremiaciones, la Academia y la Autoridad Aeronáutica representada por la Secretaría de Seguridad Operacional y de Aviación Civil y la Oficina de Transporte Aéreo.

Se busca desarrollar una investigación de tipo descriptivo, ya que este tipo de investigación busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno

que se analice describe tendencias de un grupo o población y por el otro lado, la investigación correlacional asocia las variables mediante un patrón predecible para un grupo o población [6]. Con base en este concepto se considera que los objetivos de la investigación se lograrán mediante este tipo de estudio

El enfoque será mixto (cualitativo cuantitativo) emplear el enfoque cualitativo permitirá obtener insumos necesarios para realizar un análisis de la documentación, la estructuración de entrevistas con grupos de valor, el enfoque cuantitativo se utilizará en el análisis de datos estadísticos, así como, los generados en aplicación de cuestionarios.

### **H. Ruta Metodológica**

El diseño de las cualificaciones en los diferentes subsectores conlleva a desarrollar un trabajo colectivo con los actores del ecosistema aeronáutico en el cual se sigue la ruta metodológica establecida por el Ministerio de Educación Nacional [7] en la cual se demarcan etapas y dentro de éstas el desarrollo de fase así:

#### **Etapas A: Caracterización del Sector**

- Fase 1: Importancia del sector y características socioeconómicas, tecnológicas, ocupacionales, tendencias, normativas y regulación.

- Fase 2: Cadena de valor del sector
- **Etapa B: Identificación de brechas de capital humano**
  - Fase 3: Análisis del mercado laboral, análisis de la oferta educativa, prospectiva laboral e indicadores de brechas de capital humano.
- **Etapa C: Delimitación de áreas ocupacionales y funcionales**
  - Fase 4: Análisis de actividades económicas respecto a los procesos y subprocesos de la cadena de valor. Ubicación del espectro ocupacional respecto al nivel de toma de decisiones.
  - Fase 5: Análisis funcional
- **Etapa D: Estructuración de la Cualificación**
  - Fase 6: Identificación y perfil de competencias.
  - Fase 7: Verificación de la Identificación y perfil de competencias
  - Fase 8: Referentes para la educación y formación y Parámetros de calidad
  - Fase 9: Verificación de Referentes y parámetros de calidad.
  - Fase 10: Incorporación de las cualificaciones en el CNC

Con el proyecto del Marco Nacional de Cualificaciones para la Aviación Civil, la Aeronáutica Civil busca apoyar a la industria en la mejora de su productividad, contribuir en su desarrollo y crecimiento, entendiendo que uno de los pilares para cumplir con estos propósitos, es contar con un Talento Humano con las competencias pertinentes.

Por lo anterior, se busca impactar organizaciones y empresas del sector en cada uno de los actores de la cadena de valor: fabricación y conservación de aeronaves y equipos aeronáuticos, explotación de aeronaves, prestación de servicios aeroportuarios especializados de apoyo terrestre a la operación de aeronaves, seguridad de la aviación civil, prestación de servicios a la navegación aérea, así como, todo lo concerniente a la vigilancia y certificación propio de la Autoridad Aeronáutica.

Las cualificaciones obtenidas se convertirán en un referente fundamental en los siguientes ámbitos [11]:

### **Educativo**

- Serán un referente para el diseño y desarrollo de currículos
- Se convierten en una oportunidad para que las instituciones educativas puedan alinear la oferta educativa con las necesidades y requerimientos del mercado laboral.
- Facilita la articulación con procesos de movilidad educativa y

## **I. Alcance del proyecto**

laboral, así como, el reconocimiento de competencias

### **Laboral**

- Facilitan la búsqueda de personas con las competencias requeridas para responder a las necesidades del sector
- Se estructuran perfiles ocupacionales acordes con las necesidades del mercado laboral y las expectativas sociales, regionales, nacionales e internacionales

### **Gubernamental**

- Otorgan al Gobierno y sus instituciones bases para el desarrollo e implementación del MNC

Facilitan el desarrollo de política pública relacionada con el fortalecimiento del capital humano y la productividad del país

### **Subsectores objeto de estudio**

- Servicios a la navegación Aérea
- Construcción y conservación de aeronaves y equipos aeronáuticos
- Explotadores de Aeronaves
- Servicios Aeroportuarios especializados de apoyo terrestre a la operación de aeronaves
- Seguridad de la Aviación Civil
- Regulación Certificación y Vigilancia

### **Regiones Objeto de Estudio**

- Antioquia
- Cundinamarca
- Orinoquia
- Valle del Cauca

### **J. Conclusiones**

Contar con el desarrollo de un Marco de Cualificaciones para su aplicación en el sector, significa tener un instrumento para el desarrollo, clasificación y reconocimiento de competencias pertinentes con las necesidades de éste. En este sentido, el proyecto busca identificar y diseñar las cualificaciones para los actores del sistema de valor de la aviación civil, de tal manera, que éstas se conviertan también en una oportunidad para promover el desarrollo de una oferta educativa pertinente y de calidad, que responda a los requerimientos y a las necesidades del sector.

### **Referencias**

[1] Organización Internacional de la Aviación Civil OACI- NGAP: Gestión de recursos humanos para la nueva generación de profesionales de la aviación mundial. Recuperado en febrero 2020 en: <https://www.icao.int/safety/ngap/Pages/NGAP-Programme.aspx>.

[2] Unidad Administrativa Especial Aeronáutica Civil. (2018) Nota de estudio Articulación de los actores que intervienen en el fomento del desarrollo integral y sostenible del Talento Humano para el Sector Aeronáutico, Recuperado en marzo

2020[http://www.aerocivil.gov.co/aerocivil/foro2030/Documents/NOTA%20DE%20ESTUDIO\\_\\_Desarrollo%20del%20Talento%20Humano%20en%20el%20Sector.pdf](http://www.aerocivil.gov.co/aerocivil/foro2030/Documents/NOTA%20DE%20ESTUDIO__Desarrollo%20del%20Talento%20Humano%20en%20el%20Sector.pdf)

[3] Kis, V. y Field, S. (2009) Un Marco de Cualificaciones para la Capacitación y la Certificación de Competencias Laborales en Chile (SA) citando a «Learning for Jobs. OECD Reviews of Vocational Education and Training. Chile: A first report». 2009. Recuperado en marzo 2020<https://scielo.conicyt.cl/pdf/caledu/n39/art09.pdf>

[4] Unidad Administrativa Especial Aeronáutica Civil, Plan Estratégico Aeronáutico, (2018) Recuperado en marzo 2020 <http://www.aerocivil.gov.co/aerocivil/II-FORO2030/Documents/2.%20Presentación%20Plan%20Estratégico%20Aeronáutico%202030.pdf>

[5] Organización Internacional Del Trabajo, R195 Recomendación sobre el desarrollo de los recursos humanos, (2004), Recuperado en marzo 2020 [https://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100\\_ILO\\_CODE:R195](https://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_ILO_CODE:R195)

[6] Roberto Hernández Sampieri (2006) Metodología de la Investigación 4ª edición, México pp (103 – 104)

[7] Ministerio de Educación Nacional, Marco Nacional de Cualificaciones

[8] Centro Europeo para el Desarrollo de Formación Profesional CEDEFOP,

(2014) Recuperado en marzo 2020 [https://www.cedefop.europa.eu/files/4117\\_en.pdf](https://www.cedefop.europa.eu/files/4117_en.pdf) p. 94

[9] Departamento Nacional de Planeación. Bases del Plan Nacional De Desarrollo 2018 - 2022 Pacto por Colombia, Pacto por La Equidad Recuperado en marzo 2020 <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Plan-Nacional-Desarrollo-2018-2022-Bases.pdf>

[10] Coles, M. A.: *Review of International and National developments in the use of Qualifications Frameworks*. ETF, 2006. Citado por Arbizu Francisca

[12] Ministerio de Educación Nacional, Catálogo de Cualificaciones Sector Aeronáutico, Plan Piloto 2017, Recuperado en febrero 2020 [https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-362821\\_recurso.pdf](https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-362821_recurso.pdf)

## INFORMACIÓN DE AUTORES

- Mariela Inés Rodríguez Acosta
- Asesora y Docente del Grupo de Investigación Académica – Centro de Estudios Aeronáuticos.
- Av. Dorado No 103 -23 Bogotá, Colombia
- 3015944825
- [mariela.rodriguez@aerocivil.gov.co](mailto:mariela.rodriguez@aerocivil.gov.co)

Alexandra María Rincón Meza

- Docente investigadora Grupo de Investigación Académica CEA
- Avenida El Dorado No 103 – 23 Bogotá – Colombia
- 3114938703
- [alexandra.rincon@aerocivil.gov.co](mailto:alexandra.rincon@aerocivil.gov.co)  
– [alexrincon82@gmail.com](mailto:alexrincon82@gmail.com)

# 7

Las estrategias de competitividad desde la gestión del conocimiento.

III **ENCUENTRO DE INVESTIGACIÓN DESARROLLO E INNOVACIÓN**  
EN EL SECTOR AERONÁUTICO

**E-BOOK Memorias**





AERONÁUTICA CIVIL  
UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL



Centro de Estudios Aeronáuticos  
Institución Universitaria

## LAS ESTRATEGIAS DE COMPETITIVIDAD DESDE LA GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO

**Isabel Cristina Rincón Rodríguez PhD.**

Corporación Universitaria de Asturias

Bucaramanga - Colombia

isabel.rincon@asturias.edu.co - irincon15@hotmail.com

**Jorge E. Chaparro Medina CDBA**

Fundación Universitaria del Área Andina, Corporación Universitaria de Asturias,

Unidades Tecnológicas de Santander UTS

Bucaramanga - Colombia

jchaparro22@areandina.edu.co, Jorge.Chaparro@asturias.edu.co,

jchaparro@correo.uts.edu.co

**Mauricio A. Hernández Anzola**

Fundación Universitaria del Área Andina

Bogotá - Colombia

mhernandez171@areandina.edu.co

**Marcela Garzón Posada PhD.**

Fundación Universitaria del Área Andina

Bogotá - Colombia

mgarzon3@areandina.edu.co

**Lida Neidu Murillo M.**

Fundación Universitaria del Área Andina

Bogotá - Colombia

lmurillo46@areandina.edu.co

### Summary

The objective of this article analyzes the reality of small and medium-sized entrepreneurs who are constantly in search of the growth of their organizations with strategies that recognize the obtaining of a competitive advantage in favor of the internationalization and globalization of markets, being the knowledge management and competitiveness strategies articulated in the work of companies which can guarantee them to grow and be productive. The development focuses on how the

execution of the strategies places entrepreneurs in the scenario of having an opportunity that allows the identification of how knowledge is managed within organizations making their management tools, it is significant to highlight that only with a good understanding and execution of these administrative mechanisms can be achieved that allow them to potentiate the companies in which they are executed at a competitive level. Methodologically, the research carried out had a qualitative approach and

bibliographic exploration. It is concluded that small and medium-sized companies have competitive advantages over large companies that can ensure their future.

### **Resumen**

El objetivo de este artículo analiza la realidad de los pequeños y medianos empresarios quienes están de forma constante en la búsqueda del crecimiento de sus organizaciones con estrategias que reconozcan la obtención de una ventaja competitiva en pro de la internacionalización y globalización de los mercados, siendo la gestión del conocimiento y estrategias competitivas articuladas en el quehacer de las empresas las que les puede garantizar crecer y ser productivas.

El desarrollo se enfoca en cómo la ejecución de las estrategias colocan a los empresarios en el escenario de tener una oportunidad que permite la identificación de cómo se gestiona el conocimiento al interior de las organizaciones haciendo uso de las herramientas gerenciales, resultando significativo resaltar que solo con un buen entendimiento y ejecución de estos mecanismos administrativos se puede lograr que éstos permitan potencializar en nivel competitivo de las empresas en las cuales se ejecutan. Metodológicamente la investigación llevada a cabo contó con un enfoque cualitativo y de exploración bibliográfica. Se concluye que las pequeñas y medianas empresas tienen ventajas competitivas frente a las grandes empresas que pueden asegurar su futuro.

### **1. De las estrategias de competitividad a la gestión de conocimiento**

Por un lado, en lo que respecta al contexto histórico de las tendencias, se hace referencia principalmente a los siguientes pioneros expuestos por Cardona en el análisis e identificación de tendencias que afectan de manera directa al mundo. Alvin Toffler con *El shock del futuro* (1970) y *La Tercera Ola* (1980), Naisbitt y Aburdene con *Mega-tendencias 2000* y Peter Drucker con *Gerencia para el Futuro*, el decenio de los 90 y más allá, quienes lograron describir el futuro posible teniendo en cuenta las grandes tendencias de ese presente y en diferentes contextos. (Cardona, 2016)

Según El Grupo de Desarrollo del Tecnológico de Monterrey define el término como una dirección que toma simultáneamente varios aspectos de la sociedad (Tecnologías, sistemas de producción, nuevos productos, preferencias de consumos, comportamientos, etc.) cuyo impacto es perceptible a un amplio segmento importante de la sociedad por un largo tiempo, de las cuales algunas se convierten en parte de la cotidianidad. (Monterrey., 2009) Pues bien, en construcción personal, las tendencias gerenciales son definidas como una serie de herramientas que utiliza la gerencia de una organización a lo largo de los diferentes departamentos, niveles, programas, y estrategias de la empresa de tal forma que con su ejecución se optimicen los procesos internos y externos de la misma, se logre crear y potencializar una ventaja

competitiva con respecto a las demás organizaciones, se responda de forma puntual y eficaz a las exigencias de los mercados actuales (desglosados a partir de la globalización de mercados) y finalmente se logren articular los anteriores pilares para generar procesos de mejora continua de dicha empresa.

En este entendido, expone Elsa del Castillo que; tradicionalmente, las organizaciones han vivido contextos de estabilidad que luego son alterados por breves e intensos momentos de transición hacia cambios radicales, para luego volver a niveles de equilibrio. Esa dinámicas, en las épocas actuales, se están convirtiendo en una constante y, en ese contexto, la organización afronta una serie de riesgos que debe saber gestionar para lograr ese relativo equilibrio y, por supuesto, su sostenibilidad en el largo plazo. (Del Castillo, 2013).

Ahora bien, es importante resaltar que existen tendencias aplicables a cada empresa; dependiendo de sus necesidades y expectativas, como a continuación se describen.

Es sustancial definir y destacar las principales características de cada uno de los pilares que se analizan para así identificar que de una empresa a otra existe un abanico amplio de posibilidades a explorar y por ende encuadrar el nivel de competitividad adquirido con la ejecución de las mismas. La calidad total empresarial se comprende según Prieto, como una forma de hacer las cosas bien desde

el comienzo y continuar mejorando cada día en busca de la excelencia. Esto hace que la calidad no pueda ser una moda o un programa gerencial sino que sea una cultura, una filosofía, una forma de vida, que como tal debe identificar a una persona, una empresa y porque no a un pueblo. (Prieto, 2015).

La cultura de calidad total (CCT) aplicada a las organizaciones es una filosofía administrativa que se basa en el concepto de mejoramiento continuo cuyo propósito es satisfacer a los clientes internos y externos de cualquier compañía; entendiendo además que la satisfacción de ese cliente interno (agentes que conforman la empresa) permite sin duda alguna una ventaja competitiva en sí para lograr la satisfacción de ese cliente externo. Se identifican una serie de etapas para lograr alcanzar la denominada Calidad total; *Planear*: Identificar las necesidades del cliente proponiendo acciones para satisfacerlas totalmente y mejorarlas según su evolución.

*Ejecutar*: Luego de planear, se realiza, ejecuta lo previsto en el plan mediante el trabajo en equipo. *Comprobar*: Se realiza una comparación entre los planes iniciales y la ejecución, a través de la medición de resultados, verificándolos con los indicadores establecidos. (Prieto, 2015) *Actuar*: Establecer la eficiencia y eficacia de los procesos. En este punto termina el ciclo de gestión empresarial y se establece si se continuará o volverá a la fase de planeación para retroalimentar la rueda. (Prieto, 2015)

La reingeniería según Prieto, es un reordenamiento radical de los procesos del negocio (estructura, tecnología, sistemas gerenciales, valores empresariales y otros) para alcanzar mejoras espectaculares en el desempeño de la empresa (Costo, Calidad, oportunidad y servicio) mediante la revisión fundamental de los mismos. (Prieto, 2015)

El proceso de apertura, globalización y conquista de los mercados nacionales e internacionales ocasiona que las empresas colombianas tengan que hacer un cambio profundo en su administración no solo para garantizar la supervivencia dentro de la competencia sino el crecimiento del negocio con utilidad y para ello surgió esta mega tendencia llamada: La Reingeniería. (Prieto, 2015). El benchmarking es la búsqueda de aquellas mejores prácticas que conducen al desempeño excelente de una compañía, en otras palabras la lucha por ser el mejor de lo mejor. Toda empresa que empieza la aplicación del Benchmarking deberá primero establecer cuáles son los propósitos u objetivos que busca al implementar su desarrollo, algunas lo aplican de manera global como alternativa de solución a los diferentes problemas que posee con el fin de mejorar sustancialmente su organización. (Amorós, 2008).

El Benchmarking se convierte en una herramienta fundamental para el desarrollo y crecimiento de la empresa porque la impulsa a explorar su interior y exterior en búsqueda de nuevas ideas, puntos de vista y alternativas

que le permitan apropiarse nuevos conocimientos, métodos y elementos para fortalecer su estructura operacional y administrativa en pro de lograr una mejor posición de liderazgo de la empresa. En el desarrollo de esta tendencia, las empresas pueden encontrar algunas ventajas, que en la mayoría de los casos las incentiva a continuar con su aplicación: Es una herramienta importante de mejora continua que conlleva al logro de la calidad total y la excelencia en las empresas.

Le permite a la empresa identificar e incorporar desde su exterior otros puntos de vista que le son útiles para mejorar su desempeño mediante la aplicación de nuevas ideas y estrategias. Permite el mejoramiento de los diferentes procesos desarrollados dentro de la empresa y por ende el mejoramiento de los servicios y productos.

Cuando es aplicado en los procesos internos permite descubrir e indagar cuáles son las mejores prácticas que aplican las empresas. Ésta es una tendencia mundial de la comunidad empresarial que consiste en contratar a una compañía especializada (outsourcer) para que dirija y opere uno de los procesos o servicios que no pertenecen a la razón de ser de la empresa contratante, ahorrándole a la misma bastante dinero para invertir en actividades esenciales del negocio, logrando un crecimiento y una mayor productividad. (Brealey, 2007).

Los beneficios del sistema outsourcing se presentan en todas las áreas de las empresas: nómina, contabilidad, facturación, archivo, cartera, producción, ventas, estadística, plan operativo, evaluación de impacto, diseño y desarrollo de sistemas de información, logística empresarial, etc, facilitando la toma de decisiones en la gestión administrativa de los ejecutivos y generando un mayor tiempo para la formulación de nuevas estrategias dentro del mercado competitivo. (Brealey, 2007)

Ahora bien, es claro que el outsourcing funciona muy bien como megatendencia gerencial, pero sin duda alguna limita cuando dicha subcontratación desconoce los verdaderos derechos de la fuerza laboral y la misma empieza a ejecutarse de forma discriminada generando como consecuencia la tercerización laboral; fenómeno actual que tanto preocupa y alerta a los gremios sindicales; destacando así una serie de desventajas puntuales.

La empresa pierde contacto con las nuevas tecnologías por lo que los productos y procesos se estancan y la innovación es casi nula. Se disminuye el control sobre las diferentes actividades y procesos a desarrollar, porque el proveedor outsourcing puede tomar decisiones tecnológicas, de implementación, etc. La empresa outsourcing se puede convertir en competidor porque adquiere conocimientos técnicos y de fabricación sobre el producto, es decir se pierde la confidencialidad. Alto costo en el cambio de proveedor Outsourcing cuando este no satisface las expectativas de la empresa contratante. Pérdida del talento

humano experto y mejoramiento de los procesos.

Este es considerado como la reestructuración administrativa y operativa de una compañía. El downsizing aparece como una estrategia más para mejorar el contexto organizacional, ayudando a mejorar la productividad de las empresas y haciendo que las mismas sean más eficientes todo a través de la reestructuración administrativa y operativa pero aun así es una herramienta que al aplicarla se debe tener cuidado de no causarle daños psicológicos a los empleados por causa del despido. (Confederación Empresarial d. M.). Se presenta porque algunos empresarios consideran que la práctica de esta moda administrativa reduce costos y mejoran la eficiencia al eliminar personas deficientes, creando una mejor estructura orgánica con nuevas personas.

El Downsizing es una tendencia que está cobrando bastante fuerza, teniendo en cuenta que la sociedad en la que actualmente vivimos está en un constante cambio en cuanto a tecnología, la cual es indispensable si se quiere permanecer en el mercado global. El Indomarketing es uno de los procesos más productivos que puede desarrollar una entidad, empresa o compañía, no sólo porque permite el desarrollo personal de los trabajadores, sino que además fortalece la productividad de su capital humano.

Es cierto que hay muchos otros aspectos que aumentan la productividad pero este además, fortalece también el tejido social intra-empresarial, generando así confianza y compromiso de los trabajadores para con la compañía. Las organizaciones deben definir primero su estrategia y luego pensar en la estructura, porque esta secuencia les facilita la identificación precisa del perfil de las personas que realmente necesitan y evita crear falsas expectativas en los candidatos. Pero no deben quedarse ahí deben crear los sistemas de apoyo para lograr la estrategia y consolidar la estructura. (Cardona, 2016).

Por eso es importante la selección de persona, pues allí se detectan las inquietudes, tendencias, apetencias, fortalezas, debilidades, temores y otros aspectos del individuo y comienza su proceso de satisfacción interna en la empresa incluyendo cuando se va de la misma y lo apreciamos en ese importante instrumento de medición como la entrevista de salida.

El Indomarketing debe enfocarse en el área de desarrollo humano porque en esta área es donde se pueden mejorar las falencias y premiar los beneficios que los empleados le generan a la empresa pues en esa área e incluso desarrollar planes gerenciales para que empleados pueda tener un desarrollo constante y así optimizar los resultados empresariales.

La importancia que esta estrategia gerencial se concentra al interior de la empresa, pues las compañías han

visto la necesidad de generar un trabajo en equipo eficiente, que los procesos dentro de la compañía se alineen y que las iniciativas sean un elemento al cual se le preste mucha atención; teniendo como fundamento principal la satisfacción del denominado cliente interno. Significa dejar actuar con responsabilidad, liderazgo y dando información oportuna, decidiendo en el momento en que el cliente lo necesita; es decir hacerlos sentir creadores de su propio trabajo y dueños de la empresa. (Callejas, 2012)

El Empowerment, traducido como empoderamiento, busca que la empresa se base en la creatividad, automotivación, compromiso y responsabilidad en la actuación diaria y en especial en la toma de decisiones rápidas y eficaces. La delegación de funciones con objetivos claros y específicos permite tomar decisiones sin consultar con las altas esferas de la organización y hace que el empleado piense como dueño de la misma y tome la vía más indicada para todos. (Del Castillo, 2013)

El Empoderamiento, es una forma de actuar con liderazgo. Se busca actuar y ejercer roles de la mejor manera, permitiendo que las personas pueden tomar su propias decisiones, (en la medida de sus posibilidades y buscando un beneficio en general). Coaching es una forma de dialogo entre un tutor (coach) y un aprendiz (coachee) dentro de un escenario competitivo para lograr resultados comunes. Las reuniones de coaching tienen cuatro grandes secciones:

ambiente de trabajo ordenado, limpio y confortable, eliminando el despilfarro y haciendo buen uso de las maquinas, equipos y herramientas disponibles. (Prieto, 2015). Las cinco S, son cinco palabras de origen japonés (Masaaki:1991), con significado diferente pero que nos llevan a tener un ambiente agradable de trabajo y se convierten para nuestro caso así: Seiri: Consiste en clasificar y separar los elementos necesarios de aquellos que no lo son, retirando del sitio de trabajo cualquier cosa que no se vaya a utilizar dentro de los próximos 30 días; desarrollando el sentido de la utilización. Seiton: Consiste en disponer de manera ordenada todos los elementos después de haberlos separado, minimizando el tiempo de búsqueda y el esfuerzo en el aislamiento; desarrollando el sentido del orden.

Seiso: Consiste en limpiar el entorno y los elementos de trabajo como máquinas, herramientas, pisos, paredes y otras áreas comunes, detectando fugas de aceite, exceso de polvo y cualquier problema que se está formando, desarrollando el sentido de limpieza.

Seiketsu: Consiste en mantener el aseo y limpieza de la persona usando la ropa de trabajo adecuada y especializada; desarrollando el sentido de la salud. Shitsuke: Consiste en comprometerse con las anteriores "S" estableciendo normas de actuación como una filosofía de trabajo; desarrollando el sentido de la autodisciplina.

Para mejorar el ambiente laboral y que

todos dentro de la empresa se sientan a gusto y cómodos en su trabajo, esta mega-tendencia ofrece un mejor ambiente laboral: clasificando, ordenando, limpiando, aseando y manteniendo la autodisciplina.

En otras palabras, el objetivo de las cinco S, es organizar la empresa para que el trabajo se haga de manera rápida y eficiente. Se busca clasificar los elementos que se necesitan de los que no; se busca ordenar los elementos para saber en dónde encontrarlos y se realice más rápido el trabajo (Prieto, 2015).

## **2. La gestión de conocimiento**

Puntualizando las razones que instan la búsqueda de esta certificación, se destaca que: Dicho respaldo potencializa la mejora de productos y/o servicios ofrecidos. Lo que incrementa las oportunidades de negocios.

Se presenta una contribución a un mejor posicionamiento de la empresa en el rubro específico y en el mercado general, ya que la certificación es una herramienta eficaz para la competencia leal entre empresas. (Callejas, 2012). Satisface las necesidades de los distintos actores involucrados pues no solo beneficia al empleador, sino también a sus proveedores, clientes y consumidores, a partir de la defensa de sus derechos y de la confianza que les garantiza. (Callejas, 2012). Promueve el desarrollo productivo y tecnológico de la compañía en la búsqueda de la excelencia, en sus diferentes aspectos de la elaboración, gestión y servicio.

Le otorga un plus de reconocimiento a escala local pero, por sobre todo, en el ámbito internacional, gracias a la validez global de la certificación, lo cual facilita la apertura de nuevos mercados. De otra parte, es importante resaltar que existen condiciones muy puntuales de este tipo de empresas que facilitan el logro de dichas ventajas. Por ejemplo, el contacto del gerente o los directivos de la empresa con los clientes actuales de la misma es más cercano entre sí, por lo que está más al día de la opinión que estos tienen sobre los productos y servicios que ofrecen. Esto supone una información de un valor incalculable a la hora de ofrecer mejoras, de solucionar problemas o de anticiparse a una posible crisis.

Igualmente, ese contacto personalizado hace que tratar un posible descontento de un cliente sea más sencillo y, por lo general, más efectivo. Las pequeñas y medianas empresas manejan mejor los reclamos que las grandes, lo que deriva en un cliente más satisfecho. Nada molesta más a un cliente que tener que hablar con tres departamentos distintos para solucionar una queja. (Del Castillo, 2013).

También es más sencillo para la pequeña y mediana empresa captar a los clientes que demandan un trato personalizado. Las pymes ofrecen un trato más directo, generalmente un mismo trabajador puede hacerse cargo de un cliente durante todo el proceso. En otros casos, distintos departamentos cubren los distintos servicios que dicho cliente necesita,

pero el contacto del mismo con la empresa suele ser a través de una única persona con la que siempre mantiene el trato. Otro factor importante que repercute directamente en la satisfacción del cliente es la menor rotación del personal. En las grandes empresas, la plantilla cambia con mucha más facilidad y en muchas ocasiones, cuando el cliente empieza a conocer al trabajador, éste es reemplazado. (Del Castillo, 2013)

### **3. Conclusiones**

Las crecientes tendencias de la globalización y de la integración comercial internacional elevaron la necesidad y el interés de los gobiernos nacionales y locales sobre las políticas públicas para incentivar la competitividad de sus empresas.

En este orden, como se ha podido establecer, las pequeñas y medianas empresas tienen algunas ventajas competitivas frente a las grandes empresas que pueden asegurar su futuro, siempre que las manejen adecuadamente y se adapten al cambiante entorno y a las nuevas tecnologías. Por todo ello la reflexión sobre el sector en el que una empresa se encuentra ubicada y dónde podría estar, así como sus amenazas y oportunidades, sobre las acciones que puede tomar y de lo que debe huir, se convierte en imprescindible para su futuro.

El solo requerimiento de lograr ventajas competitivas no es sinónimo de alcanzarlas y en muchos casos se requiere que desde la alta gerencia se

ejecuten entonces estrategias gerenciales como las conocidas mega-tendencias gerenciales para que el proceso y las etapas para alcanzar dichas ventajas sean articulados y formalizados de la forma más óptima por las empresas.

Finalmente, se debe reconocer la importancia para todo tipo de empresa de investigar y desarrollar las posibilidades que se han desarrollado con el auge de las tecnologías de la información y las comunicaciones ya que son facilitadoras y propulsoras de la correcta administración empresarial, su optimización y posicionamiento en el mercado. Y además, impulsar el valor que juegan de forma concreta el conocimiento de existencia de las analizadas megatendencias gerenciales, que como se indicó. Según la necesidad de cada organización pueden ser aplicadas desde una microempresa hasta una gran empresa generando ventajas competitivas estables y duraderas.

### Referencias

Amorós, J. (2008). El proceso de creación de empresa.

Anna, M. (2014). Innovation, human capital and trade competitiveness: how are they connected and why do they matter? Innovation, Technology, and Knowledge Management. Suiza: Springer.

Banco, M. (2007). Colombia: contribuciones para políticas de competitividad sub-regional. Banco Mundial: Unidad para la reducción de la pobreza y gestión económica de

América Latina y el Caribe.

BID. (2007). Estrategia de infraestructura para la competitividad. Banco Interamericano de Desarrollo. Banco Interamericano de Desarrollo. . Brealey, M. &. (2007). Fundamentos de Finanzas Corporativas.

Callejas, A. C. (2012). VENTAJAS COMPETITIVAS PARA LAS PYMES CON BASE EN LA PLANEACIÓN ESTRATÉGICA. Medellín.

Cardona, J. (2016). Análisis de las megatendencias de negocios y formulación estrategia de emprendimiento: como generar ventas en tiempo record. Pereira.

CEPAL, Juan Carlos Ramírez J. (2015). Escalafón de la competitividad de los departamentos de Colombia, 2015. Santiago de Chile, Chile.

Confederacion Empresarial, d. M. (s.f.). La Innovación: un factor clave para la competitividad de las empresas.

Del Castillo, E. (04 de 07 de 2013). Las megatendencias, los riesgos y el liderazgo gerencial. Obtenido de Las megatendencias, los riesgos y el liderazgo gerencial: <http://blogs.gestion.pe/reinventarse/2013/07/las-megatendencias-los-riesgos.html>

Eafit., U. (s.f.). Conceptos básicos del Coaching.

Gitman. (2003). Principio de Administración Financiera.

Grupo de Desarrollo Regional, I. d. (2009). Las Megatendencias sociales actuales y su impacto en la identificación de oportunidades estratégicas de negocios.

(s.f.). LA IMPORTANCIA DE LAS VENTAJAS COMPETITIVAS EN LAS PYMES .

Porter, M. (1991). La Ventaja Competitiva de las Naciones (1990) Edición en español: . Javier Vergara Editor SA, Bs.As.

Prieto, J. E. (01 de 05 de 2015). Gestión Estratégica Organizacional.

Van Horne, y. W. (s.f.). Fundamentos de Administración Financiera décimo tercera edición.

## **AUTORES**

### **Isabel Cristina Rincón Rodríguez PhD.**

Doctora en Administración SMC UNIVERITY. Maestría en Administración con énfasis en Finanzas, Especialista en Finanzas y Administradora de Empresas. Directora General del IMEBU Alcaldía de Bucaramanga. Profesora Investigadora Senior MinCiecnias. Corporación Universitaria de Asturias  
Correos electrónicos:  
isabel.rincon@asturias.edu.co  
irincon15@hotmail.com

### **CDBA. Jorge E. Chaparro Medina**

Doctorando en Administración. Master en Administración y Gerencia Pública, Máster en Dirección y Gestión.

Estudios de Maestría en Planificación y Administración del Desarrollo Regional. Sociólogo. Con Estudios en Historia y Filosofía. Profesor Investigador Senior MinCiencias. Fundación Universitaria del Área Andina. Corporación Universitaria de Asturias, Unidades Tecnológicas de Santander UTS

Bucaramanga. Santander

Correos electrónicos:

jchaparro22@areandina.edu.co

Jorge.Chaparro@asturias.edu.co

jchaparro@correo.uts.edu.co –

profesorjorechaparrom@gmail.com

### **Mauricio A. Hernández Anzola**

MBA. Universidad San Pablo CEU. Especialista en Derecho Administrativo y Contratación. Conciliador en Derecho. Especialista en Medicación Cognitiva para el Desarrollo Cultural del Aprendizaje Autónomo.

Abogado Decano Nacional Facultad de Ciencias Administrativas, Económicas y Financieras. Fundación Universitaria del Área Andina. Bogotá - Colombia. Correo electrónico: mhernandez171@areandina.edu.co

### **Marcela Garzón Posada PhD.**

Doctora en Ciencias Económicas y Administrativas. Magister en Docencia. Especialista en Gerencia Financiera. Administradora de Empresas. Profesora Investigadora reconocida por Colciencias. Directora Programa de Administración de Empresas Virtual. Fundación Universitaria del Área Andina. Bogotá

– Colombia. Correo electrónico:  
mgarzon3@areandina.edu.co

**Lida Neidu Murillo M.**

Magister en Gerencia Financiera.  
Especialista en Gerencia Financiera.  
Administradora de Empresas.  
Docente Investigadora reconocida por  
Colciencias. Fundación Universitaria  
del Área Andina. Bogotá - Colombia.  
Correo electrónico:  
lmurillo46@areandina.edu.co



# 8

**Análisis estructural de fatiga y riesgo para una flota de aviones PIPER PA-28, caso de estudio.**

**III ENCUENTRO DE INVESTIGACIÓN  
DESARROLLO E INNOVACIÓN  
EN EL SECTOR AERONÁUTICO**

**E-BOOK Memorias**





AERONÁUTICA CIVIL  
UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL



Centro de Estudios Aeronáuticos  
Institución Universitaria

## ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE FATIGA Y RIESGO PARA UNA FLOTA DE AVIONES PIPER PA-28, CASO DE ESTUDIO

Vallejo Ciro María Isabel<sup>1</sup>  
Carvajal Loaiza Manuel José<sup>1</sup>  
Bustamante Goéz Liliana Marcela<sup>1</sup>  
Villarraga Ossa Junes Abdul<sup>1</sup>  
Ocampo de los Ríos Juan David<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia

<sup>2</sup>St. Mary's University, San Antonio, EEUU

*Manejo de fatiga, Métodos probabilísticos, PA-28, raíz del ala.*

### Resumen

En este artículo se muestra el estudio realizado sobre el comportamiento a la fatiga en la raíz del ala en la flota de aviones PIPER PA-28. Se utilizan métodos probabilísticos a través de la herramienta computacional SMART|LD siguiendo la metodología mostrada en el *Advisory Circular AC 23-13A* publicada por la Administración Federal de Aviación de EE. UU. El modelo inicial fue optimizado para calibrarlo basado en datos de fallas en aviones encontrados en la Junta Nacional de Seguridad en el Transporte de EE. UU, NTSB por sus siglas en inglés. Con este resultado, se pronosticaron las horas a la falla de los aviones y su distribución de vida. Se realizó un análisis de riesgo sobre una flota de 46 aviones y se propuso una opción para la mitigación del riesgo. La distribución de falla evidenció que los aviones tienen una condición insegura. Como posible corrección para el manejo del riesgo se propone implementar “*doublers*” en los largueros de las alas.

Palabras clave

*Análisis de falla, Fatiga en aviones,*

### Abstract

This paper shows the study performed regarding the fatigue behavior in the wing root on a PIPER PA-28 fleet. Probabilistic methods are performed using the computational tool SMART|LD following the methodology shown in the *Advisory Circular AC 23-13A* issued by the Federal Aviation Administration from the USA. Starting from initial analysis and optimizing it based on field failure data found on the National Transportation Safety Board. With the optimized model, the hours to failure of the airplane and the distribution of life are predicted. A risk analysis was done on a fleet of 46 airplanes and a risk mitigation alternative is proposed. The distribution showed that the fleet has an unsafe condition. As a possible correction for risk management is implementing doublers in the wing spars.

Keywords

*Failure analysis, Airplane Fatigue, Fatigue Management, Probabilistic methods, PA-28, wing root.*

## I. Introducción

Las fallas por fatiga se presentan en materiales que son sometidos a esfuerzos variables, repetidos, alternantes y la magnitud de estos esfuerzos está siempre por debajo del límite elástico del material. Cuando son muchas las repeticiones de cambios de esfuerzos (ciclos), se comienzan a crear microgrietas, las cuales crecen con los ciclos siguientes, hasta llegar a un punto en que sucede una fractura con crecimiento inminente e inestable, provocando la separación de la pieza [1]. Este proceso es irreversible debido a que, si la grieta no es detectada en la etapa temprana, ya no es posible reparar el material. Estas fallas son de las más comunes en el sector aeronáutico y es complejo hacer estimaciones confiables de la resistencia de un sistema a fatiga debido a que múltiples factores aleatorios influyen en el material y en las cargas producidas en el sistema, sin embargo, en los últimos años se ha mejorado la capacidad de predicción del comportamiento de las grietas, y hay mejores equipos y métodos para detectar grietas cada vez de menor tamaño, mediante líquidos penetrantes, ultrasonido o radiografías. Todo ello ha permitido, especialmente en la industria aeronáutica, el desarrollo de diseños

basados en la denominada tolerancia al daño, que ha supuesto un aumento de la seguridad de los aviones ante la fatiga [2]. Esto significa que el avión es diseñado para soportar grietas de determinada longitud, motivo por el cual, el mantenimiento es una tarea de gran importancia en el momento de detección de grietas y microgrietas en la estructura, con el fin de evitar accidentes en vuelo o sobrecostos en reparaciones posteriores.

En Colombia el mantenimiento de aviones se ha basado principalmente en inspecciones, limpieza, cambio de piezas, reparaciones superficiales y localizadas, reparación de motores, entre otras acciones que son preventivas o correctivas, pero no es común que se realicen detecciones de grietas o estudios de riesgo, para predecir cuándo ocurrirá el daño de una pieza.

Este estudio se enfoca en el análisis de las fallas por fatiga en la raíz de la estructura del ala de los aviones de referencia PIPER PA 28, los cuales son utilizados comúnmente para entrenamiento, uso personal e inspección aérea, este avión fue certificado desde 1960 por la Administración Federal de Aviación en Estados Unidos (FAA, por sus siglas en inglés) usando el método de vida segura (*safe life*) [3]. El primer registro encontrado de un accidente por la falla de fatiga, en la ubicación estudiada, se

presentó en marzo de 1987 en Texas, EE.UU, este avión era utilizado en patrullaje de tuberías y en el momento del accidente llevaba 7.878 horas de servicio; el último accidente reportado de esta familia fue en abril de 2018 en Florida, EE.UU, con 7.691 horas de servicio y era utilizado para instrucción. Para predecir la iniciación de grieta con la cual se establecen los vuelos o las horas a la falla de estos aviones se utilizó el programa SMART LD [4], patrocinado por la FAA, el cual está basado en sus normativas de seguridad (AFS-120-73 [5] y *Advisory Circular AC-23-13A* [3]); este software emplea variables de tipo probabilístico como las curvas de excedencias de carga en turbulencia y maniobra, propiedades del material, perfiles de vuelo, entre otras y determinístico como los factores límites de carga, para estimar la distribución de horas a la falla, además, SMART LD también puede calcular el daño acumulado y la probabilidad de falla ingresando la demografía en horas de vuelo de la flota.

Con los resultados obtenidos, se puede aportar a la programación de un mantenimiento predictivo, el cual podría evitar accidentes y altos costos de reparación a futuro. Además, se propone una opción para el manejo del riesgo que permita reducir la probabilidad de falla presentado en la flota.

## II. Metodología

Se recreó una flota de 46 aviones PIPER PA 28 con los datos de horas de vuelo y uso de los siguientes modelos: PA-28-140/ -150/ -151/ -160/ -161/ -180/ -181/ -235, PA-28R-180/ -200/ -201/ -201T, PA-28RT-201/ -201T y PA-32-260/ -300, pertenecientes al boletín de servicio 886 de la empresa fabricante [6], los cuales tienen la misma configuración de larguero; los aviones fueron tomados de los que están en venta en diferentes países. Se sabe que PIPER a la fecha ha fabricado más de 35.000 aviones de estas referencias, pero por diferentes eventos como abandono, caídas al agua, pérdida total, entre otros; se asumió que a la fecha están volando 22.500 aviones, que corresponde al 64% de la flota aproximadamente.

En la página de la Junta de Seguridad de Transporte Nacional de Estados Unidos (NTSB por sus siglas en inglés), se realizó una búsqueda de accidentes causados por fatiga en la raíz de las alas de los modelos mencionados, los cuales se han recopilado en la Tabla 1 con las horas de servicio y el uso.

En la Fig.1a se puede observar de manera esquemática la unión entre el larguero y el fuselaje y en la Fig. 1b un registro fotográfico del accidente más reciente [7], referenciado en la primera fila de la Tabla 1.

**Tabla 1. Registro de accidentes por fatiga.**

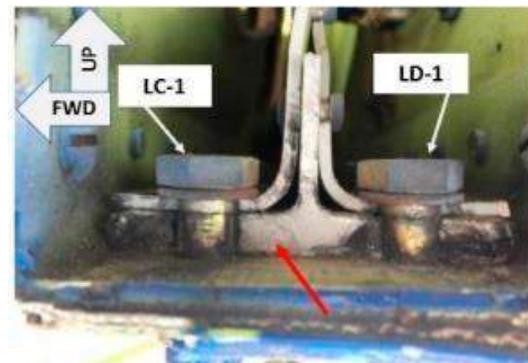
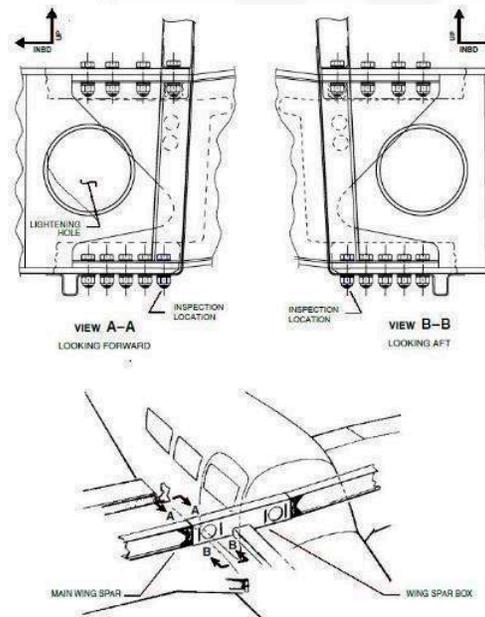
Nº	Piper PA-28R	TIPO DE USO	HORAS DE VUELO
1	201 (N106ER)	Instrucción	7.691
2	201 (N104ER)	Instrucción	7.661
3	181 (N8191V)	Patrullaje	7.490
4	181	Patrullaje	7.878
5	181 (N2093A)	Personal	11.683
Promedio horas			<b>8.480</b>

Para realizar el análisis de riesgo y manejo de fatiga en esta flota de aviones, se empleó el programa SMART|LD [4], el cual utiliza variables probabilísticas como excedencia de cargas en turbulencia y maniobra, velocidad del avión y duración del vuelo, también de las propiedades de los materiales como las curvas S-N y el índice de daño y variables determinísticas como los factores límite de carga de maniobra y de turbulencia.

El programa sigue la metodología incluida en el AC23-13A y está basado en métodos probabilísticos, que consisten en representar cada uno de los parámetros del modelo mediante funciones de distribución en lugar de hacerlo mediante estimaciones puntuales, tal como se haría en un análisis determinístico [8]. El programa crea el espectro de esfuerzos utilizando todas las variables ingresadas y en este caso,

usa el método de MonteCarlo para computar la distribución de vida para los aviones y poder cuantificar el riesgo de la flota.

Las propiedades utilizadas durante el análisis se clasifican en 2 grupos, constantes y variables.



**Fig. 1 a) Unión entre larguero y fuselaje y b) Registro fotográfico de accidente.**

Para los datos constantes, presentados en la Tabla 2, se asumió el esfuerzo en tierra del avión como -

1.000 psi, el esfuerzo a una gravedad (*1g stress*) como 9.000 psi y la pendiente de la curva del coeficiente de sustentación de las alas del avión como  $0,1 \text{ grados}^{-1}$ , esta información fue suministrada por expertos en el tema.

Del manual de operación del piloto del avión se obtuvo la velocidad máxima calibrada, la cual es 122 nudos y los factores límites de carga para maniobra 2,8 y 1,0.

Utilizando el AC-23-13A, se calcularon los factores límites de carga de turbulencia utilizando la pendiente de la curva del coeficiente de sustentación y la velocidad máxima del avión, dando como resultado 2,85 y -2,85. Se utilizaron los espectros de aceleración para uso personal y de instrucción mostrados allí también.

Se utilizó una distribución de usos 50% personal y 50% instrucción basados en los aviones encontrados para la flota.

Para los datos variables, indicados en la Tabla 3, en el primer análisis se utilizó el material sugerido en AC-23-13A apéndice 2, una distribución de la regla de Miner con media 1,0 y desviación estándar 0,1, se usaron vuelos de 1,0 hora de duración y a velocidad máxima.

**Tabla 2: Datos constantes.**

<b>DATOS CONSTANTES</b>	
Esfuerzo en tierra	1.000 PSI
Esfuerzo a una gravedad	9.000 PSI
Velocidad máxima	122 KCAS
Factor límite de carga superior de maniobra	2,8
Factor límite de carga inferior de maniobra	1,0
Factor límite de carga superior de turbulencia	2,85
Factor límite de carga inferior de turbulencia	-2,85
Espectros de excedencias	Personal o Instrucción
Uso	50% Personal 50% Instrucción

Posteriormente se realizaron tres calibraciones para adaptar el modelo a condiciones reales de operación. En la primera calibración, se modificó la curva S-N del material por un ajuste de curva ASTM contenido en el software SMART-LD, que tiene en cuenta la disposición física de la pieza, incluyendo sus concentradores de esfuerzos.

Para la segunda calibración se modificó la matriz de duración de vuelo y velocidades, se utilizaron tres duraciones de vuelo, 15 minutos, 30 minutos y una hora, cubriendo 35%, 35% y 30% del total de los vuelos respectivamente y un rango de velocidades desde 80% hasta 100% de la velocidad máxima, la distribución se muestra en la Tabla 4. Para la última calibración, se utilizó una nueva

**Tabla 3: Datos variables.**

DATOS VARIABLES	
Material	AC23-13A
Distribución de la regla de Miner	$\mu = 1,0$ $\sigma = 0,1$
Matriz de velocidades	de Velocidad máxima
Duración de los vuelos	1.0 hora

distribución de Miner con media 0,7248 y 0,113 basados en el manual del usuario del programa teniendo en cuenta las condiciones de esfuerzos presentes en la pieza y el uso de la aeronave. Por último se modificó la matriz de duración y velocidades, esta nueva mostrada en la Tabla 5.

Luego de tener la última calibración, se graficó la función de riesgo de falla

instantánea, que indica la frecuencia de falla por unidad de tiempo y utilizando las horas de vuelo de los 46 aviones encontrados para la flota, se realizó una proyección de cuál es el riesgo que existe en la flota para sufrir nuevas grietas en las próximas 100, 500 y 1.000 horas.

Por último, se analizó una alternativa de posible manejo del riesgo, que consiste en utilizar *doublers* como refuerzo en la unión entre el larguero y el fuselaje para aumentar el área de la sección transversal, este método disminuye un 10% el esfuerzo al que está sometida la pieza. Se realizó un nuevo análisis usando los datos de la última calibración con 90% del esfuerzo a una gravedad.

**Tabla 4. Matriz de duración de vuelo y velocidades inicial**

Duración de vuelo y porcentaje de los vuelos		Porcentaje de velocidad máxima y perfil de velocidades (%)		
Duración (h)	%	80	90	100
0,25	35	50	50	0
0,5	35	30	40	30
1,0	30	0	50	50

**Tabla 5. Matriz de duración de vuelo y velocidades final**

Duración de vuelo y porcentaje de los vuelos		Porcentaje de velocidad máxima y perfil de velocidades (%)		
Duración (h)	%	80	90	100
0,25	30	50	50	0
0,5	40	20	50	30
1,0	30	0	50	50

### III. Resultados y Análisis

Con el número de accidentes encontrados y el número de aviones en vuelo se obtiene que la probabilidad a la falla es de 0,00022 en 8.480 horas de vuelo, promedio de horas de la Tabla 1. Este punto es con el que se calibra el modelo probabilístico para saber si es una distribución cercana a las condiciones de operación reales. En el primer análisis se obtuvo que la probabilidad de falla buscada ocurría a las 2.667 horas. Continuando con el proceso de calibración se cambió el material y se ascendió a 9.362 horas, posteriormente se introduce la matriz de duración de vuelo y velocidades y se obtiene que la falla ocurriría a 11.966 horas, con la última calibración, utilizando la nueva distribución de Miner y la nueva matriz de duración de vuelo y velocidades, se obtiene que la probabilidad de falla de 0,00022 ocurre a 8.313 horas de vuelo, este valor tiene una desviación de 0,019 del valor real, por lo que se asume que esta es la distribución real de falla en el avión, en la Fig. 2 se observa la densidad de probabilidad y la probabilidad acumulada en función de las horas a la falla para esta calibración.

La gráfica de la función de riesgo de falla para la última calibración se muestra en al Fig. 3, en la que se encuentra la frecuencia de falla por unidad de tiempo de cada avión de la

flota, posteriormente se integra en el intervalo de 100, 500 y 1.000 horas desde las horas actuales de vuelo de la flota, dando como resultado 0,006, 0,031 y 0,062 respectivamente, esto significa que en las próximas 100 horas de vuelo de 6 de cada 1.000 aviones presentarán una nueva grieta, en 500 horas, 31 de cada 1.000 aviones y para 1.000 horas 62 de cada 1.000 aviones presentarán una grieta.

De acuerdo con la distribución calibrada y la nueva simulación de análisis de riesgo, implementando *doublers* en los largueros, se obtiene la distribución de falla en función de horas a la falla mostrada en la Fig. 4, en la cual, el tiempo a la falla para la probabilidad de 0,00022 son 13.939 horas, comparadas con 8.313 horas del último modelo, significa un aumento del 64% en las horas de vuelo para los aviones en uso.

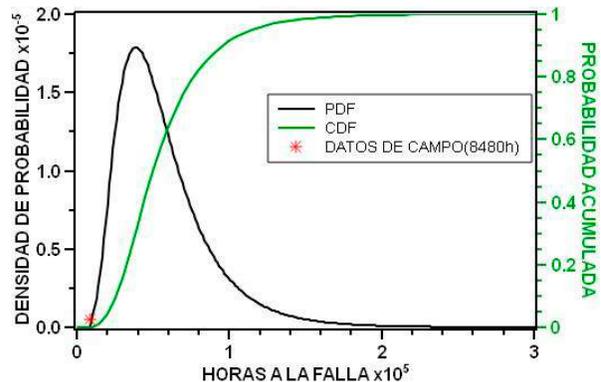


Fig. 2 PDF y CDF última calibración.

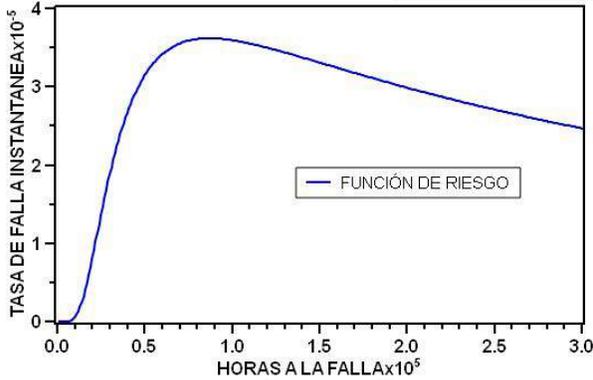


Fig. 3 Función de riesgo de la flota.

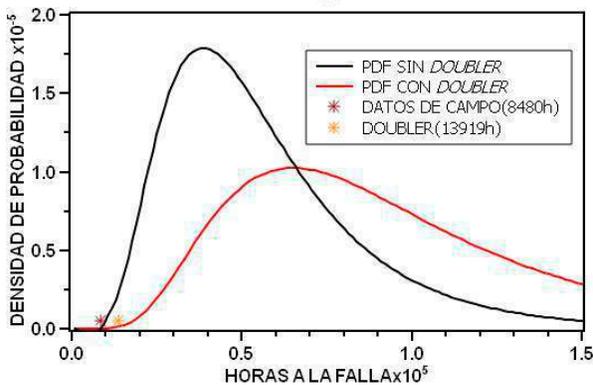


Fig. 4 Función de probabilidad de densidad de modelo con doubler.

#### IV. Conclusiones

Se realizó un análisis de falla por fatiga en la unión de la raíz del ala y el fuselaje en una flota de 46 aviones PIPER PA-28. Se hicieron diferentes calibraciones para obtener un modelo aproximado al real.

Esta metodología es nueva referente a lo que se realiza tradicionalmente en Colombia en mantenimiento y puede ser de gran relevancia, debido a que un buen uso de esta permite establecer con buena exactitud, las horas a las cuales se deben realizar

los mantenimientos para mitigar los riesgos de falla,

El análisis de la distribución de probabilidad de falla muestra que en esta flota existe una condición insegura porque se presentan fallas por fatiga a muy tempranas horas de vuelo. Lo que hace necesario una corrección para manejar ese riesgo preexistente. Con el manejo de riesgo analizado de *doublers* en los largueros, se disminuye la probabilidad de falla en un 64%, lo que ayuda a mitigar el riesgo de la flota.

Con la proyección de probabilidad de fallas, teniendo el historial de los aviones de la flota y conociendo cuál será el pronóstico de horas de vuelo para un año futuro, se puede decidir si debe intervenir la flota dependiendo de cuál sea el riesgo que se quiera tomar, teniendo como prioridad los aviones con altas horas de vuelo y bajo uso a futuro, y los aviones con pocas horas de vuelo y alto uso a futuro.

#### Referencias

- [1] Budynas, R. G., Nisbett, J. K., y Shigley, J. E. (2011). Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley. Nueva York: McGraw-Hill.
- [2] Dominguez, J. (2018). El Mundo. Obtenido de <https://www.elmundo.es/economia/2018/01/16/5a5de0e4e5fdeaad3c8b45e5.html>
- [3] Federal Aviation Administration. (2005). Fatigue, Fail-Safe, and Damage Tolerance Evaluation of

Metallic Structure for Normal, Utility, Acrobatic, and Commuter Category Airplanes. (AC-23-13A)

[4] Ocampo, J. (2011). Development of a Probabilistic Linear Damage Methodology. AIAA, 17.

[5] Federal Aviation Administration. (1973). Fatigue Evaluation of Wing and Associated Structure on Small Airplanes. (AFS-120-73-2)

[6] Piper Aircraft Corporation. (1988). Wing Spar Inspection. (SB 886)

[7] National Transportation Safety Board. (2018). Aviation accident final report (ERA18FA120)

[8] Ang, A. H.-S., Tang, W. H. y Ang, A. H.-S. (2007). Probability concepts in engineering: Emphasis on applications in civil & environmental engineering. Nueva York: Wiley.

### **Agradecimientos**

Los autores de este estudio agradecen a St. Mary's University por la financiación que ha hecho posible este estudio. Igualmente, a la Administración Federal de Aviación por la financiación que permitió el desarrollo de la metodología en SMART-LD. Finalmente los autores agradecen a Chris Hurst, Marv Nuss, y a Harry Millwater por las contribuciones técnicas realizadas.

### **INFORMACIÓN DE AUTORES**

- María Isabel Vallejo Ciro
- Estudiante
- Calle 67 # 53-108 of: 20-404, Medellín, Colombia.
- (034) 2198551
- misabel.vallejo@udea.edu.co
  
- Manuel José Carvajal Loaiza
- Estudiante
- Calle 67 # 53-108 of: 20-404, Medellín, Colombia.
- (034) 2198551
- manuelj.carvajal@udea.edu.co
  
- Liliana Marcela Bustamante Góez
- Profesora
- Calle 67 # 53-108 of: 20-404, Medellín, Colombia.
- (034) 2195550
- liliana.bustamante@udea.edu.co
  
- Junes Abdul Villarraga Ossa
- Profesor Asociado
- Calle 67 # 53-108 of: 20-404, Medellín, Colombia.
- (034) 2198551
- junes.villarraga@udea.edu.co
  
- Juan David Ocampo De Los Ríos
- Profesor Asociado
- One Camino Santa Maria Treadaway -144 San Antonio, Texas 78228
- (+01) 210-436-3916
- jocampo@stmarytx.edu

# 9

**Desarrollo de criterios normativos y protocolos de seguridad para experimentación con cohetería dentro del territorio colombiano.**

**III ENCUENTRO DE INVESTIGACIÓN DESARROLLO E INNOVACIÓN EN EL SECTOR AERONÁUTICO**

**E-BOOK Memorias**





AERONÁUTICA CIVIL  
UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL



Centro de Estudios Aeronáuticos  
Institución Universitaria

## DESARROLLO DE CRITERIOS NORMATIVOS Y PROTOCOLOS DE SEGURIDAD PARA EXPERIMENTACIÓN CON COHETERÍA DENTRO DEL TERRITORIO COLOMBIANO.

*Autor:* Est-inv Juan Sebastián Bonilla Romero ([grjuan@academia.usbbog.edu.co](mailto:grjuan@academia.usbbog.edu.co))  
*Coautores:* Ph.D. José Alejandro Urrego Peña ([jurrego@usbbog.edu.co](mailto:jurrego@usbbog.edu.co)), M.Ing. Rubén Darío Salazar Buitrago ([rsalazar@usbbog.edu.co](mailto:rsalazar@usbbog.edu.co)) y M.Sc. Wilson Pinzón Velasco ([wpinzon@usbbog.edu.co](mailto:wpinzon@usbbog.edu.co))  
Universidad de San Buenaventura  
Bogotá, Colombia

**Resumen-** La evolución mundial de la industria aeroespacial ha motivado a Colombia en el desarrollo de nuevas tecnologías, regulaciones e investigaciones en este ámbito, motivación que fue el impulso del proyecto aquí descrito. En este proyecto se tiene como objetivo principal proponer y desarrollar criterios normativos y protocolos de seguridad para experimentación de vehículos tipo cohete dentro del territorio colombiano, el cual fue dividido en dos fases. En la primera se estableció todo lo referente a los criterios normativos de clasificación de diferentes normativas internacionales condensadas en una matriz; para la segunda fase (no finalizada), se partió de esta matriz y se sugirió un código de seguridad normativo, junto con una aplicación móvil en fase beta, en la que se resumen todos los protocolos para experimentación con cohetería. A la fecha, faltan aún por realizarse las pruebas de validación de los resultados anteriormente expuestos, pero aún así, se puede argumentar que se está contribuyendo a solucionar en parte, la falta de regulación en este campo, a la

vez que se aporta al desarrollo y a la divulgación del sector aeroespacial colombiano; además de tener herramientas que faciliten, regulen y condensen estos procesos en una base de datos técnica para uso público.

**Palabras clave:** aeroespacial, aeronáutica, ingeniería, normativa, protocolos de seguridad, vehículo tipo cohete.

**Abstract-** The evolution of the aerospace industry worldwide has motivated Colombia to promote the development of new technologies as well as regulations and research in this field. This motivation encouraged the project described in this document. The main objective of this project is to propose and develop normative frameworks and safety protocols in order to experiment with rocket-type vehicles within the Colombian territory and which was divided into two phases. The first phase established classifications of normative criteria based on several international regulations consolidated in one database. The second phase (not yet concluded) divided the database and suggested a regulatory security code along with a mobile

application in beta-testing phase in which all the protocols for experimentation with rocketry will be summarized. To this date, validation tests of the results explained above are yet to be implemented; nevertheless, it is safe to argue that this research has been partly contributing to solve the absence of regulation in this field while contributing to the development and dissemination of the Colombian aerospace sector. Additionally, this research has the access to tools that facilitate, regulate and consolidate these processes in a technical database that can be used for public use.

*Keywords:* aerospace, aeronautic, engineering, normative, safety protocols, rocket-type vehicle

## I. Introducción

Al igual que toda la humanidad, Colombia ha soñado con volar alto, llegar lejos y conocer qué hay más allá. Se ha visto desde los años 60, que inspirado en eventos internacionales el país ha sido participe de diferentes lanzamientos experimentales de vehículos tipo cohete dentro de su territorio, con muchos éxitos, pero a la vez muchos fracasos que han provocado prohibiciones y problemas dentro de marcos regulatorios y legales, pero así mismo, han enseñado mucho a los experimentadores para avanzar y aprender de diversos aspectos como lo son las estructuras, sistemas y procedimientos, además de tomar como base y ejemplo la experiencia y normativa internacional. A pesar de lo anterior, actualmente a nivel nacional no existe

evidencia de normativas ni protocolos de seguridad establecidos netamente para el lanzamiento y experimentación con vehículos de este tipo, así como tampoco bases de datos que informen de lanzamientos realizados anteriormente; esto ha ido restringiendo el desarrollo estructurado, seguro y sistemático de este campo de investigación tecnológico y científico de gran perspectiva de desarrollo a futuro [1], y que por lo tanto ha permitido identificar la necesidad de estructurar un proyecto de investigación que tenga como fin proponer protocolos de seguridad basados en normativas internacionales adaptadas al contexto nacional, en los que se plasme un conjunto de procedimientos que abarquen las etapas previas, durante y posteriores a los lanzamientos de este tipo de vehículos y así desarrollar una propuesta futura de implementación a nivel nacional.

Este proyecto de investigación tiene como objetivo principal el desarrollo y la aplicación de criterios normativos y protocolos de seguridad para lanzamiento y experimentación de vehículos tipo cohete dentro del territorio colombiano. Para lograr lo anterior, el proyecto se dividió en dos fases; para la primera fase se tomaron como marco teórico de referencia las normativas de cohetaría utilizadas en los Estados Unidos, en el Reino Unido y en Argentina, países en los que estos procedimientos están completamente informados y normalizados para su segura experimentación; estos datos fueron sintetizados en una matriz y se dividieron de acuerdo a diferentes parámetros de clasificación para su comparación. Para la segunda fase, se condensaron las

normativas y se adaptaron al contexto colombiano, generándose la propuesta aún en proceso, de un lineamiento técnico que oriente un proceso de normativa aplicado al territorio nacional para un futuro código o normativa de seguridad. Por otro lado, se tomaron como base formularios, procedimientos y protocolos realizados a nivel nacional e internacional en este ámbito y se estructuró una aplicación móvil que actualmente se encuentra en su estado beta en el software Microsoft Excel™, para poder generar una base de datos que en primera instancia facilite la organización de los procedimientos y los requerimientos por la entidad encargada de la supervisión y validación de los mismos; como segunda instancia, permitirá el almacenamiento de datos de los lanzamientos que pueden ser útiles como antecedentes en misiones futuras. Finalmente, se planea evaluar esta aplicación por medio de una simulación de misión con ayuda de la Universidad de San Buenaventura sede Bogotá en la cual se establezca su efectividad y gracias a ello corregir las falencias identificadas y de este modo con base en la experiencia construir la versión final y estable de la aplicación móvil.

## II. Desarrollo

### A. Normativa base

La primera fase del proyecto se enfocó en establecer criterios normativos preliminares que rijan el procedimiento de lanzamiento y experimentación de vehículos tipo cohete dentro del territorio nacional [2]. En esta fase se tomaron como guía las siguientes asociaciones normativas internacionales junto con sus

regulaciones al respecto de manipulación de este tipo de vehículos:

#### - *NAR (National Association of Rocketry)*

Esta es la asociación deportiva de cohetes más antigua y grande del mundo fundada en 1957 en los Estados Unidos [3]. El código de seguridad utilizado por la NAR está dividido en tres segmentos importantes: cohetes a escala [4], programa de entrenamiento para oficiales de seguridad encargados del control al momento de la experimentación [5] y cohetes de alta potencia [6].

#### - *TRA (Tripoli Rocketry Association)*

Esta es una organización sin fines lucrativos con propósitos de avance tecnológico y operación de cohetes de alta potencia, creada a finales de 1964 en los Estados Unidos [7]. A diferencia de la NAR, esta organización fomenta el crecimiento científico de la experimentación con vehículos tipo cohete de alta potencia. La normativa utilizada en esta organización está subdividida en siete partes: reglas y políticas exclusivas para lanzamientos de investigación de Trípoli [8], uso de cohetes de alta potencia [9], oficial de

seguridad en el rango de experimentación [10], recomendación de uso de materiales en cohetes de alta potencia, especialmente metales [11], recomendaciones dadas para llevar a cabo los procesos de experimentación con seguridad [12], motores certificados para cohetes por la unión entre las asociaciones TRA, NAR S&T (Standards and Testing Committee) y CAR

(Canadian Association of Rocketry) [13] y una guía resumida de los códigos y políticas de seguridad de los lanzamientos [14].

- *UKRA (United Kingdom Rocketry Association)*

Esta asociación regula los cohetes modelados, de potencia media y alta elaborados por aficionados o aquellos de carácter experimental en el Reino Unido desde el año 1996 [15]. Esta asociación, cuenta con una certificación dividida en dos categorías, la categoría para mayores de 18 años que a su vez está subdividida en tres niveles, dependiendo cada nivel del tipo de motor acondicionado al cohete. El primer nivel es para el lanzamiento de cohetes de impulso tipo H o I (entre 160 N-s y 640 N-s), el segundo nivel corresponde a motores de impulso tipo J, K o L (entre 640 N-s y 5.120 N-s), el tercer nivel corresponde al lanzamiento de motores de impulso tipo M u O (mayor a 5.120 N-s) [16]; de igual forma cuenta con un cuarto nivel que corresponde a los oficiales de seguridad de rango o RSO por sus siglas en inglés [17]. Por otro lado, se encuentra la certificación junior (de 12 a 18 años de edad), la cual está subdividida en dos niveles con la misma restricción de los dos primeros niveles de la categoría para mayores [18].

- *NFPA (National Fire Protection Association)*

Desde el año 1896 en los Estados Unidos esta asociación sin ánimo de lucro mantiene los estándares de seguridad para la prevención de lesiones, pérdidas económicas o la misma muerte causados por incendios, riesgos eléctricos o

relacionados con estos ensayos [19]. De esta asociación puede extraerse de su conjunto de normas los siguientes códigos:

- a) NFPA 1122: referente a cohetes modelo en el cual se enuncia toda la parte de diseño, construcción, limitaciones y confiabilidad que deben tener en cuenta los aficionados [20]
- b) NFPA 1125: Estándares para comunicación de servicios de emergencia, los cuales cuentan con un plan de consolidación aprobado por esta asociación para el uso en caso de cualquier tipo de emergencia [21]
- c) NFPA 1127: código para cohetes de alta potencia en el cual se plantean los requisitos importantes a la hora de manipular cohetes de esta gama, para evitar lesiones tanto del usuario como del público asistente [22].

- *FAA (Federal Aviation Administration)*

Esta autoridad americana controla cada elemento que se mueve por el espacio aéreo a cierta altitud sobre el nivel del suelo, con diferentes regulaciones desde la creación de la industria aérea en el año 1925 [23]. Para cohetes se puede encontrar el Capítulo 14 parte 101 en el cual se trata en la sub-parte C, todo lo correspondiente a cohetes experimental, limitaciones de operación tanto para modelos, cohetes de alta potencia y cohetes avanzados y la información de procedimientos y requerimientos para los lanzamientos [24].

- *ACEMA (Asociación de Cohetería Experimental y Modelismo Argentina)*

Desde el año 2003 como extensión territorial 151 de la TAR, se creó esta asociación dedicada al modelismo y a la experimentación de cohetes en Argentina. Esta asociación propone prácticas seguras, modelos de organización, reglamentos y proyectos grupales, además es la única en Argentina que promueve su inscripción a nivel mundial sin ánimo de lucro [25]. Con respecto a la certificación, la ACEMA utiliza el programa de certificaciones Tripoli dividido en tres niveles [13] y en una mentoría Tripoli para miembros junior [26].

Con las normativas anteriormente expuestas se procedió a construir una matriz normativa la cual se muestra sin diligenciar datos en la Fig. 1 [27], y se encuentra clasificada con los siguientes parámetros:

- a) Materiales del cohete,
- b) Sistema de encendido
- c) Lanzadera
- d) Tamaño
- e) Seguridad de vuelo
- f) Sistema de recuperación
- g) Requisitos de certificación
- h) Ubicación del lanzador (piloto o personal asistente)
- i) Distribución y estructura del documento reglamentario
- j) Alternativa o soporte con otra normativa
- k) Procesos de aseguramiento del documento
- l) Caracterización de participación o acceso
- m) Determinación de la máxima autoridad en el documento
- n) Materiales de construcción de los motores
- o) Condiciones de uso de estos
- p) Condiciones restrictivas según estas normativas
- q) Protocolos de seguridad o actividades procedimentales
- r) Año de publicación, aceptación o vigencia
- s) Referencia donde se puede encontrar esta información.

ASPECTO A EVALUAR	National Association of Rocketry (NAR)			Tripoli Rocketry Association						United Kingdom Rocketry Association (UKRA)	National Fire Protection Association (NFPA)			Asociación de Colombia - Gobierno y Modelos Aeroespaciales	Federal Aviation Administration (FAA) - Registration	Aeronáutica Civil de Colombia (AEROCIVIL)
	Rocket Model	NAR Safety Officer Training Program	High-Power Rocketry	Research Rockets code	Safety Code for High-Power Rocketry	Range safety Officer Guidelines	Model Rocket Construction	Range Safety Guidelines	Comstock CARMA/TRA Certified Rocket Motor List	Safe Launch Practices		NFPA 1122	NFPA 1125	NFPA 1127		
Aspectos generales de la normativa																
Material del cristal																
Sistema de escape																
Fallo en el lanzamiento																
Lanzadora																
Tamaño																
Seguridad de vuelo																
Lugar de lanzamiento																
Método de recuperación																
Características de seguridad durante la recuperación																
Regulación de certificación																
Ubicación del lanzador (freno o personal externo)																
Estructura del documento reglamentario																
Distribución y extracción del documento																
Normativa alternativa a la fuente																
Procedimientos de aseguramiento																
Características de funcionamiento y acción																
Determinación de máxima autonomía en el documento																
Métodos																
Material de construcción (Método)																
Características de uso metálicas experimentales																
Características de uso metálicas comerciales																
Caracterización de la normativa																
Características de uso (Prácticas de seguridad)																
Procedimientos																
Prácticas de construcción																
Características de seguridad																
Prácticas de uso y mantenimiento																

Fig. 1. Modelo no diligenciado, de la Matriz Normativa

Con la guía de la matriz mencionada se procedió a estructurar la propuesta de un lineamiento técnico orientado al proceso normativo, teniendo la estructura de un código de seguridad, el cual se construyó adaptando estas diferentes normativas al contexto colombiano, teniendo en cuenta alcances y limitaciones nacionales. Este código recibe el nombre de NEDCC “Normativa de experimentación y desarrollo de cohería en Colombia”. Es un código de seguridad que surgió buscando una sugerencia técnica para ser ofrecida ante el ente legislativo encargado de revisión y aprobación de la normativa nacional como propuesta futura de implementación en el territorio. También cabe resaltar que en la primera fase de este proyecto también se construyó una matriz de riesgos bajo la Guía Técnica Colombiana GTC 45 [28], la cual le permite a su usuario el

conocimiento de los posibles peligros, riesgos, causantes, personajes afectados, consecuencias y orientación

para la mitigación, intervención y prevención de diferentes situaciones que pueden presentarse al momento de experimentar y realizar investigaciones con vehículos tipo cohete dentro del territorio colombiano [27].

B. Formularios y protocolos de seguridad para misión de lanzamiento.

Como resultados de procesos de experimentación se desarrolló la aplicación denominada Normativas y Protocolos de Cohetería (NOPROCO

Beta 1) que actualmente se encuentra en su fase beta, basada en antecedentes de procedimientos realizados en diferentes eventos de experimentación, los cuales han sido adelantados por entidades como la Universidad de San Buenaventura [29], la Universidad de los Andes [30], la Asociación de Egresados de la Universidad de los Andes – Uniandinos [31], la Universidad Militar Nueva Granada [32] y Universidad Nacional de Colombia [33], con el apoyo continuo de la Fuerza Aérea Colombiana [34], y proyectos constatados en diferentes informes de investigación efectuados, además de tener en cuenta los procedimientos regulados expuestos en las normativas internacionales. La mencionada aplicación NOPROCO Beta 1 nació como una herramienta que le permite al usuario en primera instancia ordenar de forma adecuada el procedimiento y la documentación necesaria para la logística, transporte, lanzamiento y recuperación, al momento de llevar a cabo una misión de experimentación con vehículos tipo cohete dentro del territorio colombiano. Esta aplicación ofrece un compendio de formularios, secuencias y protocolos los cuales están diseñados para encaminar al usuario de una manera efectiva al paso a paso de estos procedimientos, además de facilitarle y automatizar una gran variedad de parámetros. De igual forma cuenta con una librería que abarca toda la normativa internacional y alguna nacional que la constituyen.

Por otro lado, la aplicación también fue diseñada para ser una herramienta de

adquisición y almacenamiento de datos, permitiendo registrar la caracterización de diferentes misiones llevadas a cabo, junto con los resultados obtenidos por parte de los diferentes usuarios, tanto de personas naturales como de instituciones oficiales o privadas, permitiendo registrar todo en una base de datos técnica que pueda ser útil como antecedente y estado del arte para futuras referencias.

En la Fig. 2 puede observarse el menú principal de la aplicación, en la que se muestran a su vez las diferentes secciones que lo constituyen. A continuación, una breve descripción de las más relevantes: a) logística y transporte en la que se ubican los formularios desde el comienzo de la misión hasta la llegada al campo de disparo, b) lanzamiento donde están todos los formularios desde el alistamiento en campo hasta la recuperación posterior al lanzamiento, y c) informe final donde se recolecta toda la información acerca de la misión en un solo documento para constatar lo sucedido.



Fig. 2 Menú principal de la aplicación NOPROCO

### C. Procesos de simulación para evaluación

Finalmente, en este proyecto se contempla la realización de procesos de simulación de misión con ayuda del equipo de laboratorio USB-Rocket 1 mostrado en la Fig. 3, cohete perteneciente al Programa de Ingeniería Aeronáutica de la Universidad de San Buenaventura; el cual fue utilizado para la obtención del certificado para lanzamiento de cohetes de alta potencia Nivel II expedido por la Tripoli Rocketry Association, en Nevada, Estados Unidos en el año 2018 [35], [36]. La intención con estas simulaciones es recrear las situaciones de logística, transporte, lanzamiento y recolección de datos pos-lanzamiento, en los cuales pueda hacerse uso de la aplicación NOPROCO Beta 1 en diferentes iteraciones y con diferentes experimentadores. Se espera con esto efectuar procesos de evaluación, procesos de búsqueda de fallas y rectificación de procedimientos, para estructurar una primera aplicación funcional, basada en la experimentación que sirva como guía técnica para la regulación del proceso de experimentación con vehículos tipo cohete dentro del territorio nacional.



Fig. 3. USB-Rocket 1 para lanzamiento en Nevada, Estados Unidos.

### III. Conclusiones

De los procesos de caracterización técnica, logística y procedimental efectuados para esta investigación, se deduce claramente que la falta de normatividad a nivel nacional en el ámbito aeroespacial genera notables dificultades para la exploración y desarrollo en este campo. Esta situación genera retraso en los proyectos de investigación afectando los avances en este ámbito. La existencia de esta regulación permitirá, por una parte, la divulgación de las actividades aeroespaciales y facilitará la generación de talento humano a diferentes niveles de participación, quienes impulsarán de manera más efectiva este sector; por otra parte, será una herramienta que facilitará el vínculo entre la triple hélice, para adelantar en conjunto proyectos de índole aeroespacial.

Es necesario agregar que el proyecto aquí presentado fue dividido en dos fases, culminando la primera de ellas en el año 2019 con la obtención de la matriz normativa, proyectándose la finalización de la segunda fase para el año 2021, con la adaptación de normativas,

regulaciones, procedimientos y protocolos de entidades internacionales de países del continente americano y europeo, a un contexto colombiano, generando la propuesta de un documento normativo y una aplicación móvil con las propiedades ya mencionadas en este documento, que en conjunto faciliten y guíen el desarrollo de vuelos con vehículos cohete en el territorio nacional.

Por último cabe agregar que la aplicación móvil preliminar, surge con el objetivo de permitir al usuario no solo la posibilidad de llevar a cabo de forma ordenada y segura los procedimientos de experimentación con vehículos tipo cohete dentro del territorio colombiano, sino que también permitirá la construcción paulatina de un estado del arte, o un marco de antecedentes de misiones previamente realizadas en las que se haya hecho uso de esta aplicación registrando los protocolos, observaciones y resultados dentro de la base de datos del sistema regida por la normativa de seguridad de datos. Esta información se constituye en sí misma como un activo importante a nivel nacional, que permite conocer el avance logrado en la investigación dentro del campo de la ciencia aeroespacial en el país.

#### IV. Referencias

- [1] O. A. Arenales-Vergara, "Colombia: reasons to create a national space agency," *Adv. Sp. Res.*, vol. 34, no. 10, pp. 2209–2214, 2004, doi: <https://doi.org/10.1016/j.asr.2003.10.046>
- [2] J. A. Urrego Peña, L. F. Monico Muñoz, G. Reyes, and L. A. Hernandez, "Ponencia - Desarrollo preliminar de procedimientos normativos para el lanzamiento y experimentación de vehículos tipo cohete en el territorio colombiano (Fase 1)," in *II Encuentro de investigación, desarrollo e innovación en el sector aeronáutico*, 2019, vol. 2, p. Anexo 25.
- [3] NAR, "History," *nar.org*, 2012. [Online]. Available: <https://www.nar.org/about-nar/history/>.
- [4] NAR, "Model rocket safety code," *nar.org*, 2012. [Online]. Available: <https://www.nar.org/safety-information/model-rocket-safety-code/>.
- [5] NAR, "Nar safety officer training program," *nar.org*, pp. 1–17, 2000.
- [6] NAR, "High power rocket safety code.," *nar.org*, 2012. [Online]. Available: <https://www.nar.org/safety-information/high-power-rocket-safety-code/>.
- [7] Tripoli, "History," *tripoli.org*, 2004. [Online]. Available: <http://www.tripoli.org/History>.
- [8] TRA, "Tripoli Research Safety Code," no. April, pp. 4–9, 2017.
- [9] TRA, "Safety Code for High-Power Rocketry Tripoli Rocketry Association," no. April, pp. 1–6, 2017.
- [10] TRA, "Range Safety Officer Guidelines," 2015.
- [11] B. E. (TRA) Kelly, "Metal in Rocket Construction," 2015, doi:

10.1017/CBO9781107415324.004.

[12] TRA, "Range Safety Guidelines," pp. 1–24, 2015.

[13] NAR S&T, "Combined CAR / NAR / TRA Certified Rocket Motors List," pp. 1–23, 2020.

[14] TRA, "Tripoli Rocketry Association Safe Launch Practices," no. April, pp. 1–2, 2017.

[15] UKRA, "About UKRA," *ukra.org*, 2006. [Online]. Available: <http://www.ukra.org.uk/aboutus>.

[16] UKRA, "Information Pack Version 1.4," *ukra.org*, pp. 1–17, 2016.

[17] UKRA, "UKRA Range Safety Officer," *ukra.org*, 2015. [Online]. Available: <http://www.ukra.org.uk/rso>.

[18] UKRA, "UKRA HPR Certification," *ukra.org*, 2018. [Online]. Available: <http://www.ukra.org.uk/hprcerts>.

[19] J. A. Petersen, "Chapter 11 - National Fire Protection Association Standards in Fire Litigation," in *Engineering Standards for Forensic Application*, R. W. McLay and R. N. B. T.-E. S. for F. A. Anderson, Eds. Academic Press, 2019, pp. 155–168.

[20] NFPA, "Code for Model Rocketry," *nfpa.org*, 2018. [Online]. Available: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=1122>.

[21] NFPA, "Standards for Emergency Services Communications," *nfpa.org*, 2020. [Online]. Available:

<https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=1225&year=Proposed Standard&tab=nextedition>.

[22] NFPA, "Code for High Power Rocketry," *nfpa.org*, 2018. [Online]. Available: <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/all-codes-and-standards/list-of-codes-and-standards/detail?code=1127>.

[23] FAA, "A Brief History of the FAA," *faa.org*, 2017. [Online]. Available: [https://www.faa.gov/about/history/brief\\_history/](https://www.faa.gov/about/history/brief_history/).

[24] FAA, "Part 101—Moored balloons, kites, amateur rockets, unmanned free, balloons, and certain model aircraft.," *faa.org*, 2009. [Online]. Available: <https://www.govinfo.gov/content/pkg/CFR-2018-title14-vol2/xml/CFR-2018-title14-vol2-part101.xml#seqnum101.21>.

[25] ACEMA, "¿Qué es ACEMA?," *acema.com*, 2019. [Online]. Available: <http://www.acema.com.ar/>.

[26] ACEMA, "Programa de Certificaciones Tripoli," *acema.com*, 2019. [Online]. Available: <http://www.acema.com.ar/certificaciones.htm>.

[27] J. A. Urrego Peña, L. F. Monico Muñoz, G. Reyes, and L. A. Hernandez, "Informe final - Desarrollo preliminar de criterios normativos para el lanzamiento y experimentación de vehículos tipo cohete en territorio colombiano.," *Univ. San Buenaventura*, p. 26, 2019, doi:

10.1017/CBO9781107415324.004.

[28] ICONTEC, "GTC-45: Guía para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional," *Icontec*, no. 571, pp. 1–38, 2010.

[29] J. S. Serrato Ortiz and D. Ramirez Suarez, "Ensamble, Puesta a punto y lanzamiento del cohete multietapa Ainkaa Alpha de alcance estratosférico," *Univ. San Buenaventura*, 2018.

[30] J. Urrego, "Mision Seneca, Lanzamiento Del Cohete Ainkaa I," *Univ. los Andes*, vol. 52, no. 1, pp. 1–5, 2009.

[31] J. Urrego, "Estudio de factibilidad de la primera misión colombiana de cohería experimental con propulsión líquida y alcance estratosférico. Proyecto PUA, Misión SENECA II," *Univ. los Andes*, vol. 3, no. September, pp. 1–47, 2012.

[32] F. Riveros Enciso and L. Rodriguez Herrera, "Diseño y construcción de un cohete aficionado controlado mediante el accionamiento de una tobera de empuje vertical," *Univ. Mil. Nueva Granada*, no. 2005, pp. 1–12, 2010.

[33] N. Álvarez, J. Huérfano, and O. Ojeda, "Diseño e implementación de misión para el lanzamiento de un cohete para tres kilómetros de altura.," *Univ. Nac. Colomb.*, no. May, 2015.

[34] CONPES, "Política de desarrollo espacial: Condiciones habilitantes para el impulso de la competitividad nacional," *Doc. CONPES*, vol. 3983, p.45, 2020.

[35] G. Reyes and L. A. Hernandez, "Diseño y caracterización de un

dispositivo de adquisición de datos de vuelo para el cohete USB - Rocket I," *Univ. San Buenaventura*, 2019.

[36] J. A. Urrego Peña, L. F. Monico Muñoz, G. Reyes, and L. A. Hernandez, "Caracterización de un dispositivo de adquisición de datos de vuelo para el cohete USB-Rocket I," *Univ. San Buenaventura*, 2019.

## INFORMACIÓN DE AUTORES

### Autor

- Juan Sebastián Bonilla Romero
- Investigador en formación, Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá
- Carrera 8H # 172 -20, Bogotá
- 01 8000 125 151
- grjuan@academia.usbbog.edu.co

### Coautor 1

- José Alejandro Urrego Peña
- Profesor asociado, Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá
- Carrera 8H No. 172-20, Bogotá
- 01 8000 125 151
- jurrego@usbbog.edu.co

### Coautor 2

- Rubén Darío Salazar Buitrago
- Profesor asociado, Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá
- Carrera 8H # 172 -20, Bogotá
- 01 8000 125 151
- rsalazar@usbbog.edu.co

### Coautor 3

- Wilson Pinzón Velasco
- Profesor asociado, Universidad de San Buenaventura, sede Bogotá
- Carrera 8H # 172 -20, Bogotá
- 01 8000 125 151
- wpinzon@usbbog.edu.co

# 10

Diseño y desarrollo FTD Aeronave  
C-130 Fase I: Entrenador de  
procedimientos y emergencias.

III **ENCUENTRO DE  
INVESTIGACIÓN  
DESARROLLO E INNOVACIÓN**  
EN EL SECTOR AERONÁUTICO

**E-BOOK Memorias**





AERONÁUTICA CIVIL  
UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL



Centro de Estudios Aeronáuticos  
Institución Universitaria

## DISEÑO Y DESARROLLO FTD AERONAVE C-130 FASE I: ENTRENADOR DE PROCEDIMIENTOS Y EMERGENCIAS

Luis Carlos Villamil Rico  
Fuerza Aérea Colombiana  
Bogotá D.C., Colombia  
Email: [Luis.villamil@fac.mil.co](mailto:Luis.villamil@fac.mil.co)  
Gabriel David Castillo Pinzón  
KIRVIT LTDA  
Bogotá D.C., Colombia  
Email: [gcastillo@kirvit.com](mailto:gcastillo@kirvit.com)

**Resumen**— El presente proyecto tiene como objetivo diseñar y desarrollar un Entrenador de Procedimientos y Emergencias, como herramienta de apoyo para la formación, entrenamiento y evaluación de tripulaciones de la aeronave Hércules C-130H de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), lo cual, corresponde a la primera fase planeada para el proyecto titulado “Diseño y desarrollo de un FTD para la aeronave C-130H Hércules”. El proyecto surge de la necesidad de un sistema que permita aumentar las horas de entrenamiento de las tripulaciones de la aeronave relacionada, debido a que es la aeronave que más operaciones aéreas realiza la Fuerza Aérea Colombiana. Igualmente, elevar la seguridad operacional de las diferentes misiones de vuelo realizadas al interior del territorio colombiano. Por lo anterior la FAC en cooperación mediante convenio de I+D+i con una empresa colombiana de base tecnológica (KIRVIT LTDA), iniciaron la Fase I el 01 de noviembre de 2018.

En esta primera fase el proyecto

contempló cuatro etapas: 1) el desarrollo del diseño conceptual y detallado del Entrenador; 2) la recuperación y adquisición de equipos; 3) la integración, configuración y puesta en funcionamiento y; 4) validación del dispositivo y elaborar los manuales de operación y mantenimiento.

Como resultado del proyecto se logró obtener una cabina abierta de simulación escala 1:1 basado en un complejo sistema con 36 paneles de simulación con 890 variables sensadas y controladas. Igualmente, un sistema de información que permite registrar los programas académicos y de entrenamiento, la hoja de vida de instructores, tripulantes y todas las acciones de formación y entrenamiento que se ejecuten en la plataforma.

**Palabras clave**— *Simulador de vuelo, entrenador de procedimientos y emergencias, Hércules C-130, aeronave.*

**Abstract**— This article presents the project that aims to design and develop a Procedures and Emergencies Trainer, as a support tool

for the formation, training and evaluation of crews of the Hercules C-130H aircraft of the Colombian Air Force (FAC), which corresponds to the first phase planned for the project entitled "Design and development of an FTD for the C-130H Hercules aircraft". The project arises from the need for a system that allows increasing the hours of training of the crews of the related aircraft, since it is the aircraft that carries out the most air operations by the Colombian Air Force. Likewise, increase the operational safety of the different flight missions carried out within the Colombian territory. Therefore, the FAC in cooperation through an R + D + i agreement with a Colombian technology-based company (KIRVIT LTDA), started Phase I on November 1, 2018.

In this first phase, the project included four stages: 1) the development of the conceptual and detailed design of the Trainer; 2) the recovery and acquisition of equipment; 3) integration, configuration and commissioning and; 4) validation of the device and prepare the operation and maintenance manuals.

As a result of the project, it was possible to obtain an open 1: 1 simulation booth based on a complex system with 36 simulation panels with 890 sensed and controlled variables. Likewise, an information system that allows the registration of academic and training programs, the resume of instructors, crew members and all the training and training actions carried out on the platform.

**Keywords—** *Flight simulator, procedures and emergencies trainer, Hercules C-130, aircraft*

## I. Introducción

La Fuerza Aérea Colombiana (FAC) tiene la misión de “Volar, entrenar y combatir para vencer y dominar en el aire, el espacio y el ciberespacio, en defensa de la soberanía, la independencia, la integridad territorial, el orden constitucional y contribuir a los fines del Estado”. Por lo anterior, la FAC tiene aeronaves para misiones de combate y transporte, en esta última cuenta con la aeronave C-130 Hércules que su objeto es transporte táctico medio-pesado, el importante resaltar que el Hércules es el principal avión de transporte de muchas Fuerzas Armadas del mundo [1].

La aeronave C-130 Hércules es una de las que más operacionales en la FAC, donde en los últimos años realizó un promedio de 1.200 horas anuales [2]. Igualmente, como es una aeronave que se introdujo en el mercado en el año de 1957 ha tenido varias actualizaciones desde la versión “B” hasta la más reciente “J” donde Colombia cuenta con cinco aeronaves (Versión B: 3 y Versión H: 02), teniendo en cuenta la importancia de la aeronave para la FAC se han realizado iniciativas (Proyecto PDM: Programmed Depot Maintenance) que han permitido lograr capacidades como el de realizar el mantenimiento mayor, alineada a los estándares de los fabricantes en cuanto a infraestructura, herramientas, equipos y con talento humano 100%

colombiano. Actualmente, en la FAC para el entrenamiento en las aeronaves C-130, las tripulaciones deben realizar cursos presenciales en las instalaciones del Grupo de Educación del Comando Aéreo de Transporte Militar (CATAM), además un curso virtual disponible en la plataforma Blackboard de la Escuela de Posgrados FAC, y por último deben realizar viajes a simuladores de vuelo en el exterior para mantener las autonomías y/o la certificación para volar la aeronave.

Por ejemplo, las tripulaciones de la FAC entre el lapso de febrero de 2019 a marzo de 2020 a desarrollado ocho comisiones al exterior, particularmente al Centro de Entrenamiento C-130 en Tampa de la CAE, la cual es una empresa reconocida como el único centro de capacitación del C-130 a nivel mundial. Para cada una de las comisiones relacionadas participan entre 5 a 7 personas de la FAC desde el grado de Técnico Segundo (T2) hasta el grado de Coronel (CR), a continuación, en el grafico 1 se describe el número total de pernotadas del personal que asiste a cada comisión.

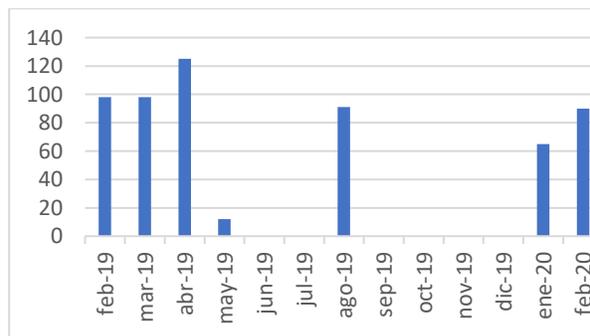


Gráfico 1. Sumatoria de pernotadas por comisión Simulador C-130 [3].

Es de aclarar que para cada comisión asiste el instructor por 20 días y los otros tripulantes por 13 días o en casos especiales por solo 6 días. Para el periodo relacionado se tabuló la información y se evidencia que en cada comisión la permanencia en promedio oscila entre 6 a 16 días (Gráfico 2), es decir que la sumatoria de los días es de 107, lo cual conlleva a establecer que las tripulaciones tienen disponibilidad de un 29% en el simulador CAE.

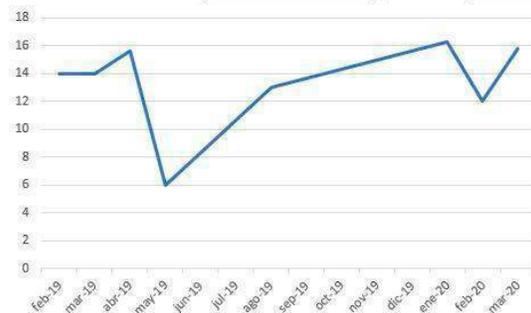


Gráfico 2. Promedio de días de tripulación en cada comisión CAE [4].

Teniendo en cuenta lo anterior, se detectó la necesidad de desarrollar un dispositivo propio que fortalezca el desarrollo de la instrucción y entrenamiento; por tal motivo la FAC en el año 2018 celebró un convenio marco de cooperación con la empresa KIRVIT Ltda., para el desarrollo de actividades científicas, tecnológicas y de innovación de la Fuerza Aérea Colombiana, con el objeto de aunar esfuerzos y recursos para fomentar, gestionar, desarrollar e implementar planes, programas, proyectos y actividades de CTel que permitan obtener desarrollos conjuntos para el cumplimiento de los objetivos de ambas entidades. Es así como el 30

de octubre de 2018, las mismas entidades convinieron en desarrollar el Proyecto “Diseño y desarrollo FTD aeronave Hércules C-130 – Fase I”, como herramienta de apoyo para las formación, entrenamiento y evaluación de tripulaciones de la aeronave Hércules C-130H, siendo el alcance de este proyecto: diseñar, desarrollar y poner en operación un entrenador de procedimientos y emergencias, como herramienta de apoyo para la formación de tripulaciones de la aeronave C-130H; este proyecto se formalizó mediante el Convenio Derivado No. 001 FAC-KITVIT.

## II. Metodología

La metodología propuesta para el desarrollo del proyecto, se basó en un equipo multidisciplinario conformado por personal de la Dirección de Ciencia, Tecnología e Innovación, y tripulaciones e instructores de la aeronave C-130H de la Fuerza Aérea Colombiana, y especialistas en las áreas de gestión de proyectos, aeronáutica, informática, electrónica y diseño de la empresa KIRVIT Ltda., quienes de forma ordenada y mediante la aplicación de normas, estándares y procedimientos de diseño y desarrollo, ejecutaron el proyecto de la siguiente manera:

**Etapas I:** En la primera etapa del proyecto se validó el estado del arte en materia de formación y entrenamiento de pilotos y en tecnologías de simulación aplicadas a estos procesos, concluyendo con el diseño conceptual de un nuevo modelo que

integra sobre una misma plataforma tecnológica los procesos de formación, entrenamiento y evaluación de tripulantes sobre diferentes escenarios de operación, del mismo modo, el diseño establece las características y especificaciones técnicas y funcionales del Entrenador de Procedimientos y Emergencias a desarrollar como elemento base para implementar el nuevo modelo de formación.

Posteriormente, se desarrolló el diseño detallado (Fig. 1) donde se definió lo siguiente:

- Arquitectura integral del entrenador.
- Diseño eléctrico y electrónico.
- Diseño mecánico y objetual detallado.
- Diseño y especificación de software.
- Diseño y especificación de hardware computacional.



Fig. 1. Diseño detallado

El Entrenador de Procedimientos y Emergencias para tripulantes de la aeronave C-130 Hércules se soporta en una cabina de tipo abierta controlada por un sistema de cómputo que opera sobre cuatro computadores

con dispositivos especiales para cada tripulante.

De esta manera, el Entrenador de Procedimientos y Emergencias diseñado y desarrollado, considera un sistema para el registro y control de programas académicos, un sistema para la formación del tripulante, y un sistema para el desarrollo de sus habilidades para la operación eficiente y eficaz de la aeronave; lo cual ha de complementarse mediante nuevos desarrollos en la siguiente Fase del Proyecto, que permitirán el entrenamiento de vuelo en diferentes situaciones y escenarios de operación.

**Etapas II:** En la segunda etapa se recolectaron diferentes partes de la aeronave Hércules, principalmente de una maqueta GRUEA-CATAM y las aeronaves en proceso de baja con matrículas FAC-1008 y FAC-1014, las cuales fueron concedidas según los tramites establecidos por el gobierno de los EEUU. Ver Fig. 2 y 3



Fig. 2. Maqueta GRUEA-CATAM



Fig. 3. Muestra de partes concedidas

Posterior de la consolidación de las partes o elementos de las aeronaves Hércules, se procedió a recuperarlas desde el punto de vista mecánico, eléctrico o electrónico y de estética para ser utilizadas en el dispositivo. Adicionalmente, se desarrollaron los instrumentos analógicos en una versión digital para implementarlos en el dispositivo. Ver Fig. 4 y 5.



Fig. 4. Instrumento desarrollado

Una parte a destacar es el ensamble y construcción de los instrumentos de aguja - tipo manómetro, que en gran cantidad soportan la operación y control de la aeronave C-130 Hércules.



Fig. 5. Elementos de instrumentos desarrollados

En esta etapa se atendió el diseño y fabricación de todos los paneles del avión con sus estructuras para el soporte y operación, el diseño y desarrollo del sistema electrónico conformado por más de 70 circuitos, y el diseño, especificación y desarrollo de los componentes de software.

Para la fabricación de los paneles se aplicaron diferentes técnicas que permitieron recrear con total realismo los paneles originales de avión, facilitando los mismos efectos y facilitando el funcionamiento idéntico al del avión real.

El sistema electrónico implementó un diseño original que asegura la escalabilidad, estabilidad y desempeño de la plataforma tecnológica, asegurando adecuados tiempos de respuesta y la mantenibilidad del sistema; se desarrolló aplicando estándares de la

industria en materia de diseño y fabricación de circuitos electrónicos, la solución emplea más de 70 circuitos electrónicos y controla aproximadamente 890 variables que son controladas por el software de automatización y control.

El desarrollo de software consideró tres tipos de desarrollo, a saber:

1. Software de gestión de la plataforma tecnológica, el cual permite tanto el registro y control de los programas académicos y el uso de la plataforma, como la gestión del sistema de simulación. Fig. 6.

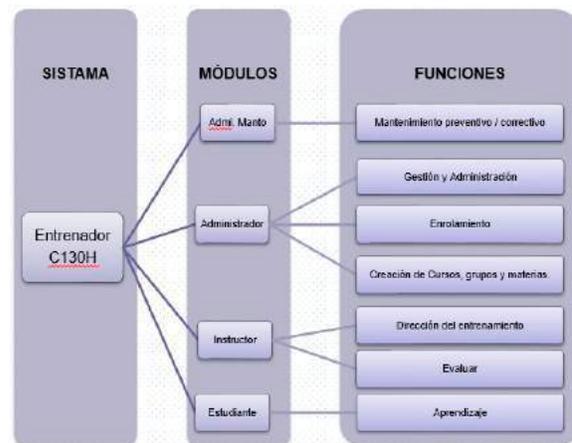


Fig. 6. Módulos Software de Gestión de Plataforma

2. Software de gestión de contenidos, desarrollado para facilitar los procesos de enseñanza y aprendizaje integrando tecnologías 3D y realidad virtual.

3. Software de automatización y control, desarrollado para controlar todos los componentes de simulación e interactuar con los sistemas de gestión de la plataforma y gestión de contenidos, permitiendo un sistema integrado, coherente y eficiente de aprendizaje y evaluación sobre los sistemas de la aeronave y sus flujos de operación.

**Etapa III:** En la tercera etapa se realizó la integración, configuración y puesta en funcionamiento del dispositivo producto del proyecto, esta etapa fue una de las más complejas, la cual se inició con el ensamble de la estructura mecánica para posterior inclusión de todos los paneles que constituyen la aeronave Hércules. Ver Fig. 7 y 8.



Fig. 7. Ensamble panel frontal



Fig. 8. Ensamble de estructura mecánica

Posterior a la consecución de la estructura se instalaron las partes recuperadas y los elementos electrónicos desarrollados, los cuales se consideran como variables que aproximadamente son 890 donde se pueden realizar acciones tangibles con sus reacciones. Fig. 9.



Fig. 9. Elementos electrónicos panel superior  
Una vez terminado el proceso de integración, se realizó la configuración del dispositivo con la inclusión de dos procedimientos y dos emergencias de las 127 (19 procedimientos y 108 emergencias) que contempla la aeronave C-130 Hércules. Fig. 10.



Fig. 10. Configuración de software y hardware

**Etapas IV:** En la cuarta etapa y última se avanzó en la validación y consolidación de los manuales de operación y mantenimiento, con el fin de constituir una doctrina para el relevo de personal que frecuentemente se presenta en la FAC.

En esta etapa fue necesario realizar un proceso de validación por parte de los tripulantes, es decir el piloto, copiloto e ingeniero de vuelo los cuales identificaron diferentes acciones para mejorar el dispositivo desarrollado Fig. 11.

Fig. 11. Proceso de validación del dispositivo



### III. Resultados

Actualmente la Fase I del proyecto “Diseño y desarrollo FTD aeronave Hércules C-130H” contempla los siguientes resultados:

- Cabina de simulación a escala 1:1 de la aeronave Hércules C-130 versión H, en la cual se utilizaron partes recuperadas de las aeronaves FAC-1088 y FAC-1014. El dispositivo cuenta con 36 paneles de simulación con 890 variables sensadas y controladas por un sistema de automatización y control. Fig. 12.



Fig. 12. Entrenador instalado en CATAM

- Sistema de información que permite registrar los programas académicos y de entrenamiento, la hoja de vida de instructores, tripulantes y todas las acciones de formación y entrenamiento que se ejecuten sobre la plataforma. Fig. 13.

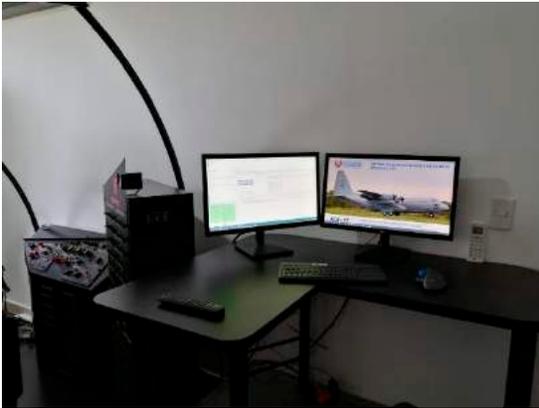


Fig. 13. Estación del instructor

- Dos materias teóricas, la primera contiene las generalidades de la aeronave y la segunda el sistema eléctrico, estructuradas con todo su material de apoyo para la instrucción (videos, presentaciones, animaciones y manuales). Fig. 14.



Fig. 14. Materia Sistema Eléctrico

- Cuatro materias practicas (02 procedimientos normales y 02 emergencias) con sus acciones y

reacciones en la cabina de simulación, las cuales se encuentran en proceso de ajuste de software, según las observaciones recibidas por la tripulación en las reuniones de validación. Fig. 15.



Fig. 15. Procedimiento Starting Engines

- Desde el punto de vista de producción intelectual se han desarrollado ponencias en eventos científicos de carácter nacional e internacional y el próximo registro del software y circuitos trazados ante la DNDA, los cuales contribuirán a la producción del Grupo de Investigación en Estudios Aeroespaciales GIEA.

#### IV. Conclusiones

- El entrenamiento e instrucción en un simulador mejora la proeficiencia de las tripulaciones de una aeronave y contribuye al fortalecimiento de la seguridad aérea.
- El desarrollo de un proyecto en cooperación permite unir esfuerzos con la industria privada para fomentar el desarrollo tecnológico del país.
-

- El desarrollo de proyectos de I+D+i generan producción de alto nivel que impactan a los Grupos de Investigación de la FAC.

### Agradecimientos

- Fuerza Aérea Colombiana (JEA-CATAM)
- KIRVIT LTDA
- Corporación de la Industria Aeronáutica Colombiana CIAC
- Corporación de Alta Tecnología para la Defensa CODALTEC

### Referencias

- [1] Fuerza Aérea Colombiana. (2020). Mision FAC. Disponible n: <https://www.fac.mil.co/transparencia-y-acceso-informacion-publica/3-estructura-organica-y-talento-humano/mision-vision#:~:text=Volar%2C%20entrenar%20y%20combatir%20para,a%20los%20fines%20del%20Estado.> Consultado 06-08-2020
- [2] Fuerza Aérea Colombiana. (2020), Grupo de Educación Aeronáutica. TE. Serrano. 23-06-2020
- [3] Fuerza Aérea Colombiana. (2020), Jefatura de Educación Aeronáutica. Dirección Académica. CT. Niño 25-06-2020.
- [4] Fuerza Aérea Colombiana. (2020), Jefatura de Educación Aeronáutica. Dirección Académica. CT. Niño 25-06-2020

# 11

**El delito organizado transnacional (DOT) y el movimiento ilegal aéreo (MIA) en la frontera Colombobrasileña.**

**III** **ENCUENTRO DE  
INVESTIGACIÓN  
DESARROLLO E INNOVACIÓN  
EN EL SECTOR AERONÁUTICO**

**E-BOOK Memorias**





AERONÁUTICA CIVIL  
UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL



Centro de Estudios Aeronáuticos  
Institución Universitaria

## EL DELITO ORGANIZADO TRANSNACIONAL (DOT) Y EL MOVIMIENTO ILEGAL AÉREO (MIA) EN LA FRONTERA COLOMBOBRASILEÑA<sup>1</sup>

*Walter Estyld Camargo Castellanos<sup>2</sup>*

*Gloria Andrea Peñuela Tovar<sup>3</sup>*

*Erika J. Estrada<sup>4</sup>*

*EPFAC*

*Bogotá, Colombia*

*Email:*

### **Resumen—**

En el presente artículo se desarrolla el concepto de delito transnacional y se analiza el movimiento ilegal aéreo en la zona fronteriza colombobrasileña, teniendo en cuenta la caracterización del delito dentro de las teorías existentes, se plantea a través de una matriz DOFA los posibles eventos a enfrentar para así se determinan los posibles cursos de acción sugeridos, con el fin de disminuir el accionar de los DOT. Palabras clave: Delito transnacional, movimiento ilegal aéreo, globalización desviada, DOT.

### **Abstract—**

In this article the concept of transnational crime is developed and the illegal air movement in the

Colombian-Brazilian border area is analyzed, taking into account the characterization of the crime within the existing theories, the possible events to be faced are considered through a SWOT matrix. For this, the possible suggested courses of action are determined, in order to reduce the actions of the DOTs. Key words: Transnational crime, illegal air movement, deviant globalization, TOD.

El delito o crimen transnacional no es un fenómeno reciente en la historia de la humanidad: es, por lo menos, anterior incluso al siglo XVIII. Se puede hablar de crimen transnacional organizado y de delitos

<sup>1</sup> Capítulo de libro de investigación en el marco del proyecto de investigación de la Maestría de Ciencias Militares Aeronáuticas de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana.

<sup>2</sup> Oficial de la Fuerza Aérea Colombiana, Magister en Ciencias Militares Aeronáuticas - correo electrónico: walter.camargo@fac.mil.co

<sup>3</sup> Oficial de la Fuerza Aérea Colombiana RA, Magister en Ciencias Militares Aeronáuticas - correo electrónico: gapt09@yahoo.co.uk

<sup>4</sup> Docente investigadora de la Escuela de Postgrados de la Fuerza Aérea Colombiana - correo electrónico: erika.estrada@epfac.edu.co

transnacionales desde el siglo XVI, con la intensificación de las actividades de piratería en zonas como el mar Caribe, el Mediterráneo y el océano Índico, pero solo hasta el siglo XX se formalizó un marco legal para definir estas prácticas ilegales. En efecto, las acciones de piratas, bucaneros, corsarios y filibusteros son la primera evidencia de crimen transnacional mundial en el sentido de que realizaban sus actividades cruzando diversas fronteras y afectando los intereses de comunidades humanas en puntos geográficos diferentes (Hecht, 2013).

Las organizaciones criminales buscan permanentemente nuevos medios y métodos delictivos, y en la actualidad usan aeronaves con el propósito de delinquir. Las aeronaves, en un espacio aéreo poco controlado, no solo son una importante herramienta para desarrollar actividades ilegales, sino que ponen en peligro la vida y la seguridad de otras que vuelan con planes legales, y las exponen a colisiones, pues su operación puede interferir en los patrones de vuelo autorizados y causar importantes daños. En zonas

tan vastas, desconocidas y muy poco pobladas como la amazónica, los vuelos ilegales representan un riesgo tanto de supervivencia como para la recuperación de personas accidentadas.

### ***Definición de crimen transnacional***

Hasta hace unos cien años el término legal de crimen transnacional era prácticamente inexistente, porque “mucho de lo que ahora se define [así] (narcotráfico, tráfico de especies amenazadas y lavado de dinero) ni siquiera estaba penalizado y por ello, por definición, no era un problema delictivo” (Andreas, 2005 pp. 62-85).

Los delitos internacionales pueden ser juzgados por diversos entes judiciales nacionales y también por un organismo judicial supranacional como la Corte Penal Internacional.

El reconocimiento de la existencia de una serie de crímenes internacionales ha sido un paso gigantesco para “poner en cintura” a todos aquellos estadistas, militares e incluso civiles que han aprovechado conflictos armados para atentar contra la paz y la seguridad de la humanidad, o que

simplemente han violado el derecho internacional para satisfacer toda clase de deseos personales. Sin embargo, aparte de los crímenes reconocidos por la Comisión de Derecho Internacional, hay otro grupo de delitos que, efectivamente, son internacionales mas no son reconocidos como parte del derecho internacional: estos son precisamente los crímenes transnacionales (Berdal, 2004).

Con respecto a los delitos transnacionales, ampliamente reconocidos desde finales del siglo XIX pero nunca definidos legalmente ni castigados judicialmente hasta casi cien años después, la Declaración del Milenio (Naciones Unidas, 2000, p. 3) estableció finalmente la lucha supranacional frontal contra el crimen transnacional organizado. Más aún, la firma en diciembre del 2000 en Palermo (Italia) de la Convención de las Naciones Unidas contra la Delincuencia Organizada Transnacional, se ha convertido en la piedra fundacional de la definición legal de los delitos transnacionales y de su persecución a escala mundial (Naciones Unidas, 2004).

Siguiendo las provisiones de la Organización de las Naciones Unidas (2004), el crimen transnacional se puede definir como aquella actividad delictiva que cumple alguna, algunas o todas las condiciones siguientes:

- i. Se comete en más de un Estado;
- ii. Se comete en un Estado pero una parte sustancial de su preparación, planeación, dirección o control toma lugar en otro Estado;
- iii. Se comete en un Estado pero involucra a un grupo criminal organizado que realiza actividades delictivas en más de un Estado; o
- iv. Se comete en un Estado pero ejerce efectos sustanciales en otro Estado (p. 4).

El crimen transnacional es frecuentemente asociado a las organizaciones criminales de cobertura internacional. Es posible

que un individuo cometa acciones delictivas transnacionales por su propia cuenta con el fin de generar ganancias modestas, pero la dimensión actual del crimen transnacional sugiere que los grupos criminales organizados cometen hasta 90 % de los actuales delitos transnacionales: mafias, carteles, empresas-fachada todas son manifestaciones evidentes de grupos criminales organizados, más aún si tenemos en cuenta que las Naciones Unidas consideran que una asociación de tres o más delincuentes constituye en sí un grupo criminal organizado. Por tanto, en nuestros tiempos no es posible hablar de crimen transnacional a secas: se precisa hablar de crimen transnacional organizado, como lo hace la ONU, debido al creciente protagonismo de bandas criminales involucradas en este tipo de delitos. Tristemente, los crímenes transnacionales son muy rentables que son alimentados por importantes flujos de dinero, resultantes de actividades ilegales transnacionales (Andreas, 2005), por lo que no es sorpresa que actividades como el narcotráfico, el tráfico de armas y la

trata de personas hayan pasado a ser prioritarias entre mafias como la italoamericana, la rusa (*Bratvá*) y la china (Tríada), entre otras organizaciones delictivas. Este fenómeno ha degenerado en la globalización de los crímenes transnacionales.

### ***Movimiento ilegal aéreo (MIA), análisis de la frontera colombobrasileña***

Colombia tiene una extensa frontera con Brasil, y la configuración del terreno selvático dificulta considerablemente la interacción constante entre las comunidades, pero la experiencia de los colonos e indígenas ha permitido el uso fluido de ríos para generar lazos comunicantes entre los habitantes del área de frontera.

La interacción entre esos pobladores es muy activa, ellos hacen uso de medios de comunicación fluvial y aérea principalmente, y por lo tanto la dinámica operacional aérea es significativa, constante y, por las deficiencias de control y supervisión en ese extenso territorio, se presta para el delito organizado transnacional

(DOT). Las bandas, en su afán de desarrollar actividades criminales usan estos medios sin garantizar un uso adecuado del espacio aéreo, que redunde en la seguridad de las operaciones. Eso puede traer como consecuencia el tránsito inseguro de las aeronaves legales y causar desastres con la consecuente pérdida de vidas humanas y bienes materiales.

Suspender la operación aérea en una frontera con estas características, acarrearía problemas de comunicación a sus pobladores, cuyo único medio de transporte, aparte de las aeronaves, son las balsas y lanchas para comunicarse con Leticia y Mitú y por ende con Bogotá, y afectaría sectores tan importantes como el turismo, uno de los ejes fundamentales de la economía para las administraciones locales y la población en general.

De igual manera, a partir del año 2003 los sistemas de detección de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC) han podido identificar movimientos ilegales aéreos (MIA) patrocinados por delincuencia organizada transnacional

a lo largo de la frontera norte de Colombia, lo que afecta el ejercicio de la soberanía del Estado en el espacio aéreo colombiano, y constituye una amenaza a la seguridad aérea y nacional para Colombia (Devia y Ferreira, 2015).

Estos movimientos aéreos ilegales son patrocinados por la delincuencia organizada transnacional, que desarrolla sus actividades en las áreas fronterizas de Colombia con Venezuela y Brasil, de esta manera puede hacer uso de aeronaves en rutas no autorizadas y no controladas sobre el espacio aéreo de los tres países hacia destinos en Centroamérica y la costa atlántica de Brasil. Esto afecta el espacio aéreo patrimonial y territorial colombiano y pone en riesgo nuestra seguridad aérea y nacional (Cortés y Kure, 2013).

En la frontera colombobrasileña, aunado a su dinamismo, hay presencia de grupos armados organizados (GAO) de Colombia y delincuencia brasileña, los cuales han creado canales de comunicación que les han permitido convertirse en

transnacionales, utilizando medios aéreos (Trejos, 2015). Como consecuencia de estas actividades criminales, se han detectado problemas en la relación entre las fuerzas aéreas de Colombia, Brasil y Venezuela,

En la actualidad, las instituciones de seguridad y defensa nacional enfrentan problemas para aplicar medidas que minimicen el impacto que estas organizaciones causan con los MIA, teniendo en cuenta la ley, su responsabilidad jurisdiccional y sus capacidades operacionales, pues existen falencias que son explotadas por estas organizaciones en términos económicos. El crecimiento de actividades ilegales propias del delito transnacional (trata de personas, narcotráfico, tráfico de armas, lavado de activos, piratería, contrabando, etc.), es consecuencia de una débil presencia institucional en el territorio, que permite forjar procesos escala con altos beneficios a bajo costo, debido a la demanda y riesgo de elaboración, transporte o comercialización de estos productos (Eduardo, 1990).

Debido a lo anterior, la cooperación internacional entre agencias del

Estado es la herramienta adecuada para afrontar este tipo de problemáticas. Las relaciones multilaterales de las fuerzas aéreas y el fortalecimiento de la presencia interinstitucional, deben estar enmarcadas en un modelo que respete asimetrías y permita establecer un escenario en donde los Estados abandonen su individualismo característico y desarrollen acciones conjuntas y coordinadas, haciendo uso de un sistema de reglas y estrategias estandarizadas que lleve a neutralizar las amenazas (Womack, 2007). Se puede explicar la dinámica del proceso haciendo uso del modelo de seguridad cooperativa de Richard Cohen, el cual podría brindar las herramientas que justifiquen el proceso de cooperación internacional como el que se desarrolla actualmente entre Colombia, Centroamérica y el Caribe (Herrera, 2012).

### **Seguridad fronteriza**

La firma de los directores de la Policía colombiana y brasileña, del acuerdo base para la cooperación en la lucha contra el narcotráfico y los delitos conexos en las áreas de

frontera, mediante el intercambio de información de inteligencia, investigaciones conjuntas y entrenamientos coordinados entre los dos entes policiales, permitió aumentar las agencias de seguridad en la región, pero no de manera contundente ya que en ambos países persisten problemas de seguridad cerca a sus centros neurálgicos, por lo tanto, la situación de frontera se observa con cautela, pero sin invertir importantes esfuerzos de inteligencia ni recursos para desarrollar operaciones más grandes y sostenibles en el tiempo, lo que realmente impactaría en la zona. Al ser los recursos limitados, una frontera lejana y problemas de infraestructura exigen destinarlos a otros rubros, necesarios para el sostenimiento de las poblaciones; esto da lugar a infragobiernos, como lo describe la teoría, existentes en las organizaciones de DOT tanto brasileñas como colombianas, lo que les permite desarrollar sus actividades criminales para procurar la protección de sus recursos financieros ilegales (García, 2018).

Por la situación persistente en la región, podemos caracterizar el fenómeno dentro de la teoría de globalización desviada (tabla 1) como marco que sustenta las dinámicas propias del DOT a lo largo de la frontera de Colombia y Brasil.

Teoría	Globalización desviada
<b>Caracterización</b>	Un crimen se comete en un Estado.
	Se comete en un Estado, pero una parte sustancial de su preparación, planeación, dirección o control toma lugar en otro Estado.
	Se comete en un Estado, pero involucra a un grupo criminal organizado que realiza actividades delictivas en más de un Estado.
	Se comete en un Estado, pero ejerce efectos sustanciales en otro Estado.
	Múltiples actores, múltiples relaciones interacciones-interdependencia compleja.
<b>Dimensiones</b>	Delito transnacional, trazas ilegales aéreas y fluviales.

**Tabla 1.** Teoría de la globalización desviada. Fuente: elaboración propia

Por lo tanto, existe un sinnúmero de variables y factores que se relacionan para mantener un flujo constante de actividades ilícitas en un área de frontera con débil presencia institucional de ambos lados (Álvarez y Zambrano, 2017).

### ***Análisis DOFA de la frontera***

Una vez realizada la matriz DOFA, y considerando los siguientes criterios, se elabora la matriz cruzada cuyos resultados muestra la tabla 2.

(1) [Tabla en la siguiente hoja](#)



**Tabla 2.** Desarrollo de la matriz

DOFA Colombia-Brasil

Fuente: elaboración propia

Nota: FA es Fortalezas- Amenazas.

Una vez analizada la DOFA es necesario interpretar los resultados y determinar realmente cuáles variables permiten que los DOT impacten en la

Estrategias Fortalezas / Amenazas	Estrategias Debilidades / Amenazas
<p>Incrementar las operaciones de tipo humanitario en el área de frontera. (F2*A7). Ampliar e integrar la información técnica de inteligencia aérea de Brasil con la información técnica de inteligencia de Colombia. (F3*A5).</p>	<p>Mejorar la infraestructura de las FF. PP. de Colombia y Brasil en interdicción aérea, evitando duplicidad en la información. (D6+D7)*(A7), (D1+D8+D9)*(A3) y (D10+D11)*(A5). Elaborar un estudio técnico orientado a fortalecer el sistema de comunicaciones aeronáuticas de ambos países. (D9*A4).</p>
Estrategias Fortalezas / Oportunidades	Estrategias Debilidades / Oportunidades
<p>Desarrollar operaciones combinadas para aumentar la percepción internacional de seguridad y protección a la población en la frontera colombobrasileña, encaminadas a crear un efecto sobre la presencia de la amenaza en la frontera. (F1+F4+F5)*(O1+O2+O4+O5+O6). Aprovechar las capacidades técnicas de Brasil en cuanto a desarrollo de tecnología aeronáutica, con el fin de potenciar las capacidades técnicas de la fuerza policial colombiana para llegar a puntos lejanos o de difícil cobertura. F2*O3 y (F6+F7+F8)*(O8).</p>	<p>Desarrollar operaciones psicológicas y de acción integral con las comunidades étnicas de la región, considerando la importancia de ellas en aspectos legales y sociodemográficos, con el fin de evitar que la influencia de la DOT limite las capacidades de la policía. (D5)*(O1+O2+O4+O6). Establecer vínculos de confianza que permitan intercambiar capacidades técnicas y de infraestructura para potenciar el control militar e institucional del territorio, y de esta manera incrementar la presencia institucional en la Amazonia. (D6+D7)*(O3) y (D1+D8+D9)*(O7).</p>

DA: Debilidades-Amenazas. FO: Fortalezas-Oportunidades.  
DO: Debilidades-Oportunidades

región, y simultáneamente cómo, directa e indirectamente, los MIA afectan la seguridad aérea del área fronteriza.

De acuerdo con lo anterior, se obtuvieron unas variables de cambio o de efecto que inciden directamente sobre la seguridad aérea fronteriza, estas son:

- i. Incremento de las relaciones entre los DOT de Colombia y Brasil.
- ii. Infraestructura militar aeronáutica.
- iii. Intereses geoestratégicos de Brasil.
- iv. Movilización y despliegue de medios para fortalecer la presencia y neutralizar este tipo de amenaza.
- v. Fortalecimiento de la inteligencia con el fin de caracterizar mucho mejor el fenómeno MIA.
- vi. Presencia e infraestructura institucional, control institucional del territorio.

La interacción de estas variables permite determinar posiciones más certeras sobre lo que acontecerá en un futuro cercano.

Es importante tener en cuenta que el objetivo es estabilizar y brindar

seguridad a la región para que pueda desarrollar durante la próxima década proyectos de turismo sustentable, biotecnología e industria de servicios, aprovechando sus fortalezas. Para ello se debe apostar al Amazonas y fortalecer la presencia institucional, esto simultáneamente frenará las intenciones de Brasil de controlar la panamazonia. Como consecuencia de estabilizar nuestra frontera, presionaremos a Brasil para que desarrolle un trabajo similar en su zona fronteriza, lo que afectará al DOT de tal manera que pueda ser neutralizado.

### **Eventos probables a los cuales nos podemos enfrentar**

Es importante acotar que en referencia a ese objetivo de estabilizar la región, se deben desarrollar acciones institucionales que tengan impacto sobre ella y por ende logren el objetivo de fortalecer la presencia institucional en la frontera. Para tal fin es importante trabajar en materializar las siguientes líneas de eventos:

- a. Neutralizar las relaciones entre las acciones criminales de

ambos países atacando el delito organizado transnacional, lo cual brindará una percepción de seguridad, con fronteras seguras que permitan el desarrollo económico de la región por medio de por lo menos treinta operaciones de gran envergadura cada año.

- b. Construir cuatro unidades militares considerables con todo el soporte logístico al norte de Leticia, pasando por Mitú y cerrando la brecha hasta Guainía, para blindar el área de frontera de la presencia de DOT, desarrollando el concepto de cobertura total terrestre, fluvial y aérea. Adicionalmente, instalar radares de seguimiento y control aeronáutico, además de los de vigilancia militar, para tener un control más preciso de las aeronaves que vuelan en la zona amazónica.
- c. Fortalecer las actividades de seguridad, investigación e

inteligencia orientadas a prevenir, o en su defecto a anticiparse, a las actividades criminales transnacionales en la frontera.

- d. Fortalecer la presencia institucional en el territorio para afianzar la percepción de seguridad y robustecer las inversiones en la región haciendo que los pobladores no participen en actividades ilegales. El objetivo es lograr por lo menos diez millones de dólares anuales en inversión extranjera, representada en turismo, tecnologías sustentables o biotecnología, y de manera directa e indirecta un monto similar o mayor en industria internacional, que necesariamente debe llegar a nuestros aeropuertos internacionales y que deberán hacer uso de nuestra aviación comercial para poder ingresar a esta formidable región llena de bellezas y desafíos naturales, y que representa un nicho comercial de muy importante desarrollo.

## Referencias bibliográficas

- Álvarez, C., & Zambrano, J. (2017). Globalización desviada: plataforma de convergencia criminal. En C. Álvarez (Ed.), Escenarios y desafíos para la seguridad multidimensional en Colombia (pp. 249-306). Bogotá: Ediciones Esdegue.
- Álvarez Calderón, C. E., y Rodríguez Beltrán, C. A. (2018). Ecosistemas criminales: hábitats para la convergencia y la globalización desviada. *Revista Científica General José María Córdova*, 16(24), 1-30. <https://doi.org/10.21830/19006586.352>
- Andreas, P. (2005). Crimen transnacional y globalización económica. Berdal, M. y Serrano, M. (Coords.) *Crimen transnacional organizado y seguridad internacional: cambio y continuidad* (pp. 62-85). Fondo de Cultura Económica.
- Asamblea General de las Naciones Unidas (13 de septiembre de 2000). Declaración del Milenio. <https://bit.ly/3cAVwus>.
- Barrero-Barrero, D., y Álvarez Calderón, C. E. (2019). Superioridad aérea en los intereses nacionales. Una mirada desde el cóndor de los Andes como símbolo de poder aéreo. *Ciencia Y Poder Aéreo*, 14(2), 140-161. <https://doi.org/10.18667/cienciaypoderaereo.638>
- Berdal, M. (2004). *Crimen transnacional organizado y seguridad internacional: cambio y continuidad*. Fondo de Cultura Económica.
- Cortes, C., & Kure, M. (2013). Análisis jurídico del problema de la definición y delimitación del espacio ultraterrestre. [https://derecho.usc.edu.co/files/Derecho\\_espacial\\_ultraterrestre/Tesis/t\\_cortes\\_kure.pdf](https://derecho.usc.edu.co/files/Derecho_espacial_ultraterrestre/Tesis/t_cortes_kure.pdf)
- Devia, H. R., & Ferreira, I. M. (2015). Modelamiento estadístico del tráfico aéreo ilegal en Colombia. Los Libertadores. <https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/>

[333/HaroldRandolphDeviaDiaz.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.unodc.org/documents/terrorism/333/HaroldRandolphDeviaDiaz.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Eduardo, S. P. (1990). Economía del narcotráfico. *Revista Desarrollo y Sociedad*, (26), 13-40.

García, V. (2018). Dimensiones locales de la seguridad y la cooperación transfronteriza en la frontera amazónica de Brasil, Colombia y Perú (Local Dimensions of Security and Cross-Border Cooperation in the Amazon Tri-Border Area of Brasil, Colombia, and Peru). *Revista Ópera* (23), 59-80.

Hecht, J. (2013). El crimen organizado en Mesoamérica y el Caribe: legado de piratas, contrabandistas y bandidos. *Policía y Seguridad Pública*, 2(2), 29-63.

Herrera Lazo, L. (2012). Seguridad regional y delincuencia organizada: América del Norte, Centroamérica y Caribe.

Naciones Unidas, Oficina contra la Droga y el Delito (2004). Protocol to prevent, suppress and punish trafficking in persons, especially women and children, supplementing the

United Nations convention against transnational organized crime. Convention against Transnational Organized Crime and the Protocols Thereto. Naciones Unidas.

Trejos Rosero, L. F. (2015). El lado colombiano de la frontera colombo-brasilera: una aproximación desde la categoría de área sin ley. *Estudios fronterizos*, 16(31), 39-64.

Womack, B. (2007). Teoría de la asimetría y poderes regionales. India, Brasil y Sudáfrica. El impacto de las nuevas potencias regionales, 20-23. comp. Juan Gabriel Tokatlian, 15-34. Buenos Aires: Editorial del Zorzal.

12

La gerencia moderna vista desde  
los resultados de la gestión.

III **ENCUENTRO DE  
INVESTIGACIÓN  
DESARROLLO E INNOVACIÓN**  
EN EL SECTOR AERONÁUTICO

**E-BOOK Memorias**





AERONÁUTICA CIVIL  
UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL



Centro de Estudios Aeronáuticos  
Institución Universitaria

## LA GERENCIA MODERNA VISTA DESDE LOS RESULTADOS DE LA GESTIÓN

### **Jorge E. Chaparro Medina CDBA**

Fundación Universitaria del Área Andina, Corporación Universitaria de Asturias,  
Unidades Tecnológicas de Santander UTS  
Bucaramanga - Colombia  
jchaparro22@areandina.edu.co,  
Jorge.Chaparro@asturias.edu.co, jchaparro@correo.uts.edu.co

### **Isabel Cristina Rincón Rodríguez PhD.**

Corporación Universitaria de Asturias  
Bucaramanga - Colombia  
isabel.rincon@asturias.edu.co, irincon15@hotmail.com

### **Mauricio A. Hernández Anzola**

Fundación Universitaria del Área Andina  
Bogotá - Colombia  
mhernandez171@areandina.edu.co

### **Marcela Garzón Posada PhD.**

Fundación Universitaria del Área Andina  
Bogotá - Colombia  
mgarzon3@areandina.edu.co

### **Lida Neidu Murillo Moreno**

Fundación Universitaria del Área Andina  
Bogotá - Colombia  
lmurillo46@areandina.edu.co

### **Summary**

The objective of this article analyzes the interrelation between results-based management and current management models as enhancers of human capacities and the effect it brings to the organization once it is recognized as a fundamental actor within it. Under this horizon it is indicated that organizations face realities such as competitive markets, use of technology and globalization, so conceiving the success of companies under management approaches is current, and complex due to the integration and synergy of elements

that the compose, placing the individual as the foundation of interactions and giving rise to new managerial paradigms with a sustainable and futuristic vision of the organization where in the management model it is the results that establish the difference. Methodologically, the problem is addressed under analytical bibliographic exploration. It is concluded that companies in the desire to be efficient strive to improve their operational and structural capacities that allow them to stand out and be sustainable in the market

**Keywords:** Management, Results, Being Human

### **Resumen**

El objetivo de este artículo analiza la interrelación que tiene la gestión por resultados y los modelos actuales de gerencia como potenciadores de las capacidades del ser humano y el efecto que trae a la organización una vez se le reconoce como actor fundamental dentro de la misma. Bajo este horizonte se indica que las organizaciones enfrentan realidades como mercados competitivos, uso de tecnológica y la globalización, por lo que concebir el éxito de las empresas bajo los enfoques gerenciales es actual, y complejo por la integración y sinergia entre sí de elementos que la componen, ubicando al individuo como fundamento de las interacciones y dando lugar a nuevos paradigmas gerenciales con una visión sostenible y futurista de la organización donde en el modelo del management son los resultados el que establece la diferencia. Metodológicamente se aborda la problemática bajo exploración bibliográfica analítica. Se concluye que las empresas en el afán de ser eficientes se esfuerzan en mejorar sus capacidades operacionales y estructurales que le permitan sobresalir y ser sostenibles en el mercado

**Palabras clave:** Management, Resultados, Ser Humano.

### **1. Introducción.**

Las organizaciones se gerencian con criterio integral, conforme al crecimiento económico y tecnológico del siglo XXI, siguen modelos modernos de eficiencia, productividad e innovación, que permiten ser cada vez más competitivas y adaptarse a entornos vertiginosamente cambiantes; gran parte de estos enfoques modernos de management están fundamentados en la gestión por resultados (GpR).

La gestión por resultados, también llamada gestión o administración por objetivos (APO) se viene implementando desde hace muchas décadas con el fin de que las empresas no queden inmersas en la rutina del ejercicio propio y puedan lograr los objetivos misionales de la organización a largo plazo; la evolución de este concepto ha sido constante, hoy por hoy, es considerado un sistema de gestión muy dinámico, que busca articular la proyección de crecimiento organizacional con el talento humano, reconociendo a este último, como eje de transformación de cada una de las unidades administrativas o áreas de la empresa.

La administración por objetivos se considera un proceso en el que el gerente y el empleado definen puntos comunes u objetivos a los cuales deben dirigirse los esfuerzos de toda la compañía, de esta manera se establece el grado de responsabilidad de cada integrante en función de los resultados que se pretenden alcanzar,; de esta manera, los

objetivos no solo se constituyen en una guía para las actividades que desarrollan a diario, sino que también en el fundamento para evaluar y monitorear la gestión y desempeño de los pertenecientes. que constituyen los indicadores o patrones de desempeño bajo los cuales se evaluará a ambos. (Chiavenato, 2007).

John W. Humble se refiere a la administración por objetivos y resultados como: "Un sistema dinámico que integra la necesidad que tiene una organización de alcanzar sus metas de rentabilidad y crecimiento con la necesidad que tiene el administrador de contribuir al desarrollo de la empresa y a su desarrollo personal, es un estilo administrativo exigente, pero compensador"

## **2. La Gestión de resultados**

Las organizaciones son sistemas complejos, compuestos por elementos que interactúan entre sí y que responden tanto a las exigencias del entorno como a las condiciones internas, marcadas principalmente por los enfoques administrativos que implementan, los valores corporativos y por supuesto la visión, segmentada en objetivos claros y precisos en cada ciclo de la organización; por esta razón, el management se apoya en herramientas muy útiles como la gestión por objetivos, la cual permite puntualizar hacia donde se dirige la compañía, los recursos apropiados para alcanzar las metas y los procesos que se deben aplicar para lograrlas. El desarrollo organizacional, entonces,

reúne y adopta todos estos aspectos para dinamizar una estructura organizacional competitiva capaz de adaptarse a las exigencias del mercado.

Esta herramienta de gestión por objetivos históricamente ha sido punto importante en la manera como se administra y cómo se llega a la consecución del logro, Chaparro (2005) en su libro "Dirección por Objetivos" precisa que, desde el principio de los tiempos, para la realización de tareas o empresas ambiciosas y complejas, los seres humanos han requerido una dirección que asumiera el liderazgo; inicialmente la dirección estaba basada en el "orden y mando", los jefes eran poco participativos y muy autoritarios. A medida que la administración fue evolucionando y se fue haciendo más compleja se evidenció la necesidad de dar más libertad de actuación a los grupos y a los individuos para que cumplieran con las tareas asignadas.

Peter Drucker publicó su libro sobre Administración por Objetivos, indica que esta herramienta fue un referente para evaluar y controlar a las compañías y áreas que tenían un crecimiento acelerado (Trujillo, Espino, & Barrientos, 2009). Para la época existían fuertes presiones económicas por parte del gobierno Norteamericano a las empresas, éstas experimentaron la reducción de sus utilidades, por ende, se vieron en la necesidad de disminuir sus gastos, generando crisis en las organizaciones y un modo de "administración por presión" que llevó

a que los controles de las empresas fueran más rígidos pero no condujo hacia mejores resultados.

Como era de esperarse, las empresas se vieron en la obligación de plantear estrategias diferentes, que permitieran la sostenibilidad de las mismas, pero esta vez, logrando una mayor participación de los actores dentro de la organización, enfocando mejor los objetivos y alcanzarlos los de una manera eficiente, esto automáticamente abrió paso a un mayor autocontrol en los procesos y mayor autonomía a la hora de tomar de decisiones, tal como lo plantea Trujillo et al. (2009) en su trabajo Administración por Objetivos.

Como consecuencia, los modelos evolucionan desde el interior de la organización y los cargos burocráticos pasan a un segundo plano y toma protagonismo el hecho la asignación de objetivos específicos a áreas o departamentos específicos dentro de la organización, encabezado por un líder o gerente de área, en el cual recae la responsabilidad de empoderar a su equipo y definir las estrategias para alcanzar las metas trazadas.

En los años años 60's y 70's los modelos económicos tienen una visión lineal de lo que es la organización, enfatizándose en las actividades y procesos como eje central de la administración, por ende, la programación, la planeación y control de costos gira en torno a ellos. Luego de los planteamientos de Peter Drucker, muchas compañías

empiezan a implementar métodos de planeación y gestión centrados en objetivos bien definidos, acompañados de estrategias de monitoreo, con indicadores puntuales para monitorear el desempeño tanto del personal como el de las áreas o unidades operativas de la compañía, además, se establecen medidas de premio o castigo de acuerdo a los resultados obtenidos (Alvarez, 2015).

La revolución industrial, del siglo XIX influyó de forma importante en la consolidación de los modelos administrativos que hasta el día de hoy siguen vigentes, desde entonces, la ciencia del management se ha desarrollado de una forma incesante, constituyendo en la actualidad un complejo paradigma (Chaparro González, 2015); la siguiente línea de tiempo muestra algunas teorías y autores influyentes hasta llegar hasta la implementación de la gestión por resultados:

**Ilustración 1.** Línea de tiempo: evolución enfoque Dirección de empresas



Fuente: Elaboración propia

Un concepto más actualizado sobre la gerencia basada en objetivos o resultados lo propone Chaparro en su libro Dirección por Objetivos, tomando la propuesta de Méndez, 2011, donde la APO hace referencia a definir las áreas clave de resultados para la organización y para cada uno de los puestos directivos y equipos de trabajo. De esta manera, la gestión para resultados se convierte en pieza fundamental dentro de la planeación y dirección estratégica de la organización, pues brinda a los gerentes y/o directivos elementos para visualizar el comportamiento de la misma, hacer mejores análisis, diseñar estrategias y tomar mejores decisiones, coherentes con la consecución de los objetivos propuestos.

### **3. Gestión de resultados, fundamento de la Planeación Estratégica.**

El enfoque de resultado inducido desde la planeación estratégica, permite que las empresas moldeen sus estructuras organizacionales al punto de tener la capacidad de adaptarse rápidamente al entorno cambiante en el que se desenvuelve; sin embargo en el management actual, este concepto trasciende puesto que la labor de la gerencia no está limitada exclusivamente a la implementación de estrategias de adaptación y consecución de los objetivos a corto plazo, su deber está encaminado a la transformación del entorno en el que está inmersa la compañía, vincular a todos sus actores, desarrollar una visión más

allá de los límites que impongan los mercados, alcanzar la diferenciación mediante procesos de innovación; en últimas, generar ventajas competitivas que brinden sostenibilidad a la organización.

La gestión por resultados o administración por objetivos no empieza precisamente cuando se fijan los objetivos, inicia desde la planeación estratégica; este proceso es necesario para determinar los objetivos que concuerdan con la visión de la compañía, identificar los puntos fuertes y todos aquellos recursos necesarios para alcanzar resultados esperados. García, 2011 manifiesta que el proceso de administrar normalmente inicia con la fase de planear, porque allí se indica el curso que debe seguir la compañía para ser sostenible y alcanzar el objetivo misional de su existencia.

La planeación estratégica es el proceso en el cual los gerentes establecen unos objetivos precisos y unas actividades como fundamento para llegar a cumplirlos; por eso el termino planear, está estrechamente ligado al concepto estrategia, ya que ambos velan porque exista una secuencia coherente entre acciones y aplicación de los recursos en un lapso de tiempo determinado para alcanzar un resultado previamente planteado (Sallenave, 2002).

La gerencia tiene que encaminar o guiar a las instituciones por una línea que le conduzca a las metas deseadas, tiene que pensar coherentemente la misión de la

organización, determinar los objetivos a alcanzar y las herramientas con las cuales pretende lograr los resultados que le permitan alcanzar esa visión deseada de la empresa, es decir, dirigir todos los esfuerzos y actividades de la organización para el cumplimiento de las metas, orientando a los colaboradores hacia un desempeño eficiente y efectivo de sus labores; Drucker, 2006 en su obra "The Daily Drucker" menciona que la gerencia se enfoca a organizar el trabajo para la productividad; tiene que guiar al trabajador hacia la productividad y el logro. Es responsable del impacto social de su empresa. Por encima de todo, es responsable de producir los resultados, ya sea el rendimiento económico, el aprendizaje estudiantil o la atención al paciente, en aras de la cual cada institución existe".

Todos estos elementos encajan dentro del enfoque de planificación estratégica, la cual está determinada por la capacidad de interpretar los contextos y organizar todos esos elementos y recursos de una manera eficiente y efectiva, con el fin de responder a los objetivos o metas trazadas, tal como lo dice Lopera Medina, 2014. Entonces, la estrategia de la empresa se centra en la ruta que debe tomar y que le permiten llegar a los objetivos organizacionales, mientras que la planeación estratégica se ocupa del establecimiento de metodologías para lograr estos objetivos, teniendo muy presente la interrelación de todas las áreas de la compañía.

Trujillo et al. (2009) propone la administración por objetivos, como "una técnica de dirección de esfuerzos a través de la planeación y el control administrativo, basada en el principio de que, para alcanzar resultados, la organización necesita definir en qué negocio está actuando y a donde pretende llegar". Al inicio se definen objetivos para un plazo determinado, generalmente un año, estos a su vez, están relacionados directamente con la visión organizacional y los objetivos de largo plazo asignados a cada dependencia o área de la misma.

Luego de muchos años implementando el sistema de gestión por resultados o por objetivos, Chaparro (2015) reconoce los aportes de este modelo al crecimiento de la empresa, de los directivos y también de los empleados. Las ventajas para la empresa están relación a la fijación de responsabilidades, optimización de los recursos y por ende la habilidad para facilitar la consecución del logro; en cuanto a los directivos, porque permite definir de manera eficiente los parámetros a monitorear y la autogestión del personal a cargo, y en cuanto a los empleados, porque permite mayor libertad y participación en los procesos para alcanzar las metas de la compañía.

Para las empresas es de mucha importancia establecer la misión y visión como fundamento y razón de su existencia, pero para llegar a consolidarlas se requiere la ejecución de un sinnúmero de acciones y tareas que promuevan la consecución de resultados específicos; la esencia de

la actividad empresarial entonces está estrechamente ligada al planteamiento de objetivos a cumplir.

En concordancia con lo anterior, los objetivos son indispensables para puntualizar y definir el esfuerzo de la compañía en aras de un resultado; tanto así, que la compañía debe tener muy presente el resultado que se espera de su esfuerzo, y todo ello dentro de un periodo determinado. La fijación de un Objetivo permite tener una referencia respecto a si se debe introducir algún cambio en los planes operativos o, por el contrario, se están ejecutando correctamente y lo razonable cumplir el objetivo en la fecha prevista (Chaparro González, 2015).

#### **4. Relación entre gestión de resultados y modelos de management moderno.**

Los enfoques gerenciales modernos tienen un fin primordial, orientar a la organización hacia el cumplimiento de su visión, adoptando procesos que fomentan el desarrollo empresarial, sumando todos aquellos elementos y estrategias que generen la consecución de los objetivos superiores, ventajas competitivas y sostenibilidad de la compañía. Si bien es cierto que existen muchos modelos gerenciales y combinaciones entre los mismos, también es cierto, que el punto en el que convergen todos los modelos de management, es el resultado; la marcha de cualquier negocio u organización se encuentra ligada a la consecución de los

objetivos trazados en un determinado periodo, por eso, los modelos de administración se adoptan según la manera en que la alta gerencia considera que se pueden alcanzar las metas de manera eficiente y efectiva.

En este orden de ideas, es válido mencionar las principales características de los modelos gerenciales avanzados y su interrelación con la gestión por objetivos, como respuesta de las empresas a la necesidad de adaptación y evolución dentro del ámbito económico. Entonces, para poder hablar de los enfoques gerenciales modernos, primero hay que reconocer, que a medida que ha aumentado la necesidad de gestionar un mayor grado de complejidad y de eficiencia en las empresas, la dirección por resultados ha evolucionado hasta el punto de que, en la actualidad, el management agrega conceptos como la dirección por valores, importante para definir la identidad de la organización.

La actuación y evolución de las empresas como sistemas complejos y altamente dinámicos se pueden entender a través de los valores que le caracterizan, por ello es importante identificar estos valores y la interrelación a la hora de definir los objetivos, pues estos aspectos influyen directamente la manera en cómo se llegan a los resultados y el nivel de satisfacción que puede otorgar a cada uno de sus pertenecientes. Una vez se entiende que los valores inducen el

comportamiento no solo de los individuos sino también de las instituciones, organizaciones y la sociedad, se crean nuevos paradigmas administrativos y gerenciales, donde la persona es el centro y el enfoque de la dirección organizacional tiene un carácter humanista e integrador (Cañedo & Guerrero, 2008).

Los autores que hacen el planteamiento anterior, también aclaran que el hecho de que algunos enfoques humanistas tengan presente los valores corporativos dentro de sus modelos administrativos, no quiere decir que los objetivos queden en un segundo plano, por el contrario, tanto valores como objetivos en una organización son un conjunto indisoluble, de tal manera que los primeros son fundamentales para estructurar los segundos y todas aquellas estrategias y mecanismos para su consecución.

Por su parte, William G. Ouchi en su Teoría Z, reconoce la apertura de las organizaciones para dar paso a un modelo de administración basado en las relaciones humanas, donde el empleado es un ser integral, que no puede separar su vida personal de la laboral y por eso la organización debe fomentar espacios propicios de confianza, relaciones personales estrechas entre empleador – empleado, trabajo en equipo y toma de decisiones colectivas que conducen al logro los objetivos personales y de la organización. El eje más importante de esta teoría es la confianza mutua, que permite crear un ambiente laboral

de autorrealización, donde el empleado no solo siente la satisfacción por la labor cumplida, sino que crece integralmente, reconociendo la importancia de su ejercicio en la búsqueda de resultados comunes, de esta manera también contribuye al rendimiento de la empresa.

En este orden de ideas, existe otra teoría humanista que ha hecho aportes a los modelos gerenciales del siglo XXI, la Teoría Motivación-Higiene, formulada por Frederick Herzberg, en ella asegura que la relación entre las personas y su trabajo es básica, y que esa relación despierta una actitud en el trabajador que puede significar el éxito o el fracaso dentro de la organización; reconoce que hay factores intrínsecos del individuo como las responsabilidades, el reconocimiento por su labor y la consecución del logro que permiten que este se sienta bien en el entorno organizacional, mientras que los factores externos como el ambiente laboral, las políticas de la compañía, la supervisión, el salario, las condiciones y relaciones laborales son los que generalmente influyen de manera negativa sobre su desempeño. (Arbeláez et al., 2014). Conociendo todos estos aspectos, la gerencia moldea la estrategia empresarial para fomentar elementos motivacionales como la consecución del logro, el empoderamiento y el reconocimiento dentro de las organizaciones propician que estimule el bienestar de los trabajadores y aumente la productividad de los mismos.

Uno de los recursos más valiosos con los que cuentan las organizaciones es el conocimiento, tal como lo indica W. Edward Deming, por eso, defiende los procesos de formación y generación de conocimiento dentro de un clima de cooperación entre todos los niveles de la empresa. De igual manera, sugiere que la empresa debe estar en capacidad de detectar y reducir el clima de “violencia psicológica” que suponen algunos modelos tradicionales de administración basados en la supervisión y control excesivo y mejorar el clima organizacional, procurando en que todos se esfuercen por un objetivo común: la calidad, de esta manera también se logra un clima de cohesión social (Arbeláez et al., 2014).

En otros escenarios de la administración moderna aparece la reingeniería, la cual es considerada una herramienta de gestión que surge como respuesta a los cambios de la realidades que enfrentan las organizaciones; pretende aportar soluciones que permitan combatir los retos que imponen los clientes, las barreras que supone la competencia y sobre todo los riesgos que implica el cambio profundo y fugaz de la realidad empresarial (Sáez Vacas, García, Palao, & Rojo, 1993)

La evolución y el nuevo enfoque de la planeación estratégica, que si bien es cierto se viene utilizando desde hace varias décadas, también hay que reconocer que ha venido

evolucionando y adquiriendo nuevos elementos, que son relevantes en los modelos gerenciales del siglo XXI. Anteriormente centraba su análisis en las oportunidades y amenazas ofrecidas por el entorno en función de aspectos técnicos inherentes a la producción y la generación de utilidades de la empresas; en el presente, la planeación estratégica es concebida como la herramienta que utiliza la organización para entender el entorno en el cual se desenvuelve y analizar la influencia que ejerce sobre la misma, teniendo en cuenta componentes políticos, legales, demográficos, socioculturales, medioambientales, económicos y tecnológicos que le afectan, de esta manera, la planeación estratégica es la brújula que apunta dónde se encuentra la compañía y hacia dónde se dirige.

Mintzberg también hace un aporte interesante con el modelo que lleva su nombre, integrando y comprendiendo los conceptos claves desarrollados en este trabajo, fundamentándolo en dos premisas: la primera se refiere a la división del trabajo y, la segunda, en la coordinación de estas tareas para alcanzar los objetivos definidos, sean cuales sean. Según su perspectiva, cuando se procede a definir la estructura de una empresa debe realizarse una cuidadosa selección de los elementos que la conformarán de tal forma que exista armonía, consistencia, coherencia entre la organización misma y la relación con su entorno (Garrido, 2017).

## 5. Conclusiones.

La revisión hecha a los temas tratados permite determinar que, las organizaciones en el afán de ser eficientes y efectivas en sus procesos, ponen gran esfuerzo en mejorar sus capacidades operacionales y estructurales que le permitan sobresalir y ser sostenibles en un mercado cada vez más globalizado y competitivo; en esa búsqueda, la gestión de resultados ha sido una herramienta indispensable en la determinación de estrategias conducentes a la visión organizacional, mediante el establecimiento de objetivos específicos, claros y coherentes para todos los actores, en todos los niveles de la compañía, según Tracy, 2004 “la cualidad más importante para alcanzar el éxito auténtico y duradero radica en el hábito de actuar de acuerdo con objetivos claramente establecidos”. Sin embargo, el aporte de la dirección por objetivos ha ido más allá, pues ha permitido articular otros enfoques gerenciales desde el entendimiento de sus participantes, sus cualidades, condiciones, valores y comportamientos, esos mismos que influyen de manera directa sobre la productividad y la capacidad de acoplarse a las estrategias que llevan a la consecución de logros.

Desde este punto de vista, el management moderno contempla un enfoque mucho más humano de administración, suscitando en los colaboradores de todos los niveles de la empresa mayor sentido de pertenencia por lo que se hace y lo

que se quiere lograr, en palabras de Largacha-Martínez, Pinzón, & Velásquez, 2015, las organizaciones deben considerar al “ser humano como el fin y no como el medio”

En definitiva, las organizaciones se han convertido, y seguirán siendo un sitio en el que los individuos encuentren la ocasión de interactuar, de hacer uso de sus habilidades, de contribuir al logro de objetivos comunes y de trabajar en algo que dé sentido a sus vidas. De este modo, la organización constituye el espacio donde se potencian los valores del trabajador y se satisfacen las necesidades para su autorrealización (Dolan, Valle, Jackson, & Schuler, 2007).

## Referencias

- Alvarez, J. (2015). El paradigma de la Gestión para Resultados: orígenes y fundamentos, (October 2014), 1–13. <https://doi.org/10.13140/2.1.2086.1767>
- Arbeláez, J., Serna, H., & Díaz, A. (2014). *Modelos Gerenciales: un marco conceptual*. Fondo Editorial Cátedra María Cano. Recuperado de [http://www.fumc.edu.co/documentos/elibros/Modelos Gerenciales-un marco conceptual 1era Ed 2014.pdf](http://www.fumc.edu.co/documentos/elibros/Modelos_Gerenciales-un_marco_conceptual_1era_Ed_2014.pdf)
- Armstrong, J. S. (1982). El valor de la planificación formal para las decisiones estratégicas : revisión de la investigación empírica. *Strategic Management Journal*, 3, 197–211. Recuperado de

<http://www3.interscience.wiley.com/cgi-bin/jhome/2144>

Cañedo, R., & Guerrero, J. (2008). Dirección por valores: una gestión con la persona como centro. *ACIMED*, 17, 1–22.

Chaparro González, F. V. (2015). *Dirección por Objetivos*. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia.

Chiavenato, I. (2007). *Introducción a la teoría general de la administración*. (McGraw-Hill Interamericana editores, Ed.) (Séptima). McGraw-Hill Interamericana.

Dolan, S., Valle, R., Jackson, S., & Schuler, R. (2007). *La gestión de los recursos humanos: cómo atraer, retener y desarrollar con éxito el capital humano en tiempos de transformación*. (3 Edición, Vol. 3). España: McGraw-Hill Interamericana. Recuperado de <https://bibliotecavirtual.unisinu.edu.co:2120/lib/bibliotecaunisinusp/detail.action?docID=3194829>.

Drucker, P. F. (2006). *Drucker para todos los días. 366 días de reflexiones clave para acertar en los negocios*. (GRANICA, Ed.). Recuperado de <https://members.hugestfun.com/#book/content/TheDailyDrucker/10009780061802669>

García, O. (2011). Administración por objetivos. *Cuadernos de la Administración*, (Vol 6 No 8(1983)), 35–44. <https://doi.org/10.25100/cdea.v6i8.324>

Garrido, I. (2017). Modelo Mintzberg, una organización estructurada en la empresa | HR TRENDS. Recuperado

el 3 de abril de 2019, de <http://empresas.infoempleo.com/hrtrends/modelo-mintzberg-una-organizacion-estructurada-la-empresa>

Largacha-Martínez, C., Pinzón, A. J., & Velásquez, E. L. (2015). La fusión de la gerencia humanista y el aprendizaje organizacional producen organizaciones sostenibles y de excelencia. *Revista EAN*, 78, 74–91. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-81602015000100006&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-81602015000100006&lng=en&nrm=iso&tlng=es)

Lopera Medina, M. M. (2014). Aspectos históricos y epistemológicos de la planificación para el desarrollo. *Gerencia y Políticas de Salud*, 13(26), 28–43. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.RG YPS13-26.ahep>

Sáez Vacas, F., García, O., Palao, J., & Rojo, P. (1993). REINGENIERÍA DE PROCESOS ( I ): CARACTERÍSTICAS ,. En *Innovación Tecnológica en las Empresas*. Recuperado de [http://dit.upm.es/~fsaez/intl/capitulos/5-Reingenier%EDa\\_I\\_.pdf](http://dit.upm.es/~fsaez/intl/capitulos/5-Reingenier%EDa_I_.pdf)

Sallenave, J.-P. (2002). *Gerencia y planeación estratégica*. Norma. Recuperado de [https://books.google.com.co/books?id=bqPzq\\_LvWOQC&printsec=frontcover&dq=gerencia+y+planeacion+estrategica&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwil68WEI5HhAhUPuVvKkHYhVAaIQ6AEIKTAA#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.co/books?id=bqPzq_LvWOQC&printsec=frontcover&dq=gerencia+y+planeacion+estrategica&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwil68WEI5HhAhUPuVvKkHYhVAaIQ6AEIKTAA#v=onepage&q&f=false)

Serra, A., Figueroa, V., & Saz, Á. (2007). *Modelo Abierto de Gestión*

para Resultados en el Sector Público. Recuperado de <http://www.clad.org.ve>

Tracy, B. (2004). *Metas: Estrategias prácticas para determinar y conquistar sus objetivos*. Barcelona: Ediciones Urano.

Trujillo, D., Espino, E., & Barrientos, M. (2009). *Administración por objetivos*. Recuperado de <https://bibliotecavirtual.unisinu.edu.co:2120/lib/bibliotecaunisinus/detail.action?docID=3182421>.

## AUTORES

### **CDBA. JORGE E. CHAPARRO MEDINA**

Doctorando en Administración. Master en Administración y Gerencia Pública, Máster en Dirección y Gestión. Estudios de Maestría en Planificación y Administración del Desarrollo Regional. Sociólogo. Con Estudios en Historia y Filosofía. Profesor Investigador Senior MinCiencias. Fundación Universitaria del Área Andina. Corporación Universitaria de Asturias, Unidades. Tecnológicas de Santander UTS

Bucaramanga. Santander

Correos electrónicos:

[jchaparro22@areandina.edu.co](mailto:jchaparro22@areandina.edu.co)

[Jorge.Chaparro@asturias.edu.co](mailto:Jorge.Chaparro@asturias.edu.co)

[jchaparro@correo.uts.edu.co](mailto:jchaparro@correo.uts.edu.co) –

[profesorjorechaparro@gmail.com](mailto:profesorjorechaparro@gmail.com)

### **ISABEL CRISTINA RINCÓN RODRÍGUEZ PhD.**

Doctora en Administración SMC UNIVERITY. Maestría en Administración con énfasis en Finanzas, Especialista en Finanzas y Administradora de Empresas.

Directora General del IMEBU Alcaldía de Bucaramanga. Profesora Investigadora Senior MinCiencias.

Corporación Universitaria de Asturias

Correos electrónicos:

[isabel.rincon@asturias.edu.co](mailto:isabel.rincon@asturias.edu.co)

[irincon15@hotmail.com](mailto:irincon15@hotmail.com)

### **MAURICIO A. HERNÁNDEZ ANZOLA**

MBA. Universidad San Pablo CEU. Especialista en Derecho Administrativo y Contratación. Conciliador en Derecho. Especialista en Medicación Cognitiva para el Desarrollo Cultural del Aprendizaje Autónomo. Abogado Decano Nacional Facultad de Ciencias Administrativas, Económicas y Financieras. Fundación Universitaria del Área Andina. Bogotá - Colombia. Correo electrónico: [mhernandez171@areandina.edu.co](mailto:mhernandez171@areandina.edu.co)

### **MARCELA GARZÓN POSADA PhD.**

Doctora en Ciencias Económicas y Administrativas. Magister en Docencia. Especialista en Gerencia Financiera. Administradora de Empresas. Profesora Investigadora reconocida por Colciencias. Directora Programa de Administración de Empresas Virtual. Fundación Universitaria del Área Andina. Bogotá - Colombia. Correo electrónico: [mgarzon3@areandina.edu.co](mailto:mgarzon3@areandina.edu.co)

### **LIDA NEIDU MURILLO MORENO**

Magister en Gerencia Financiera. Especialista en Gerencia Financiera. Administradora de Empresas. Docente Investigadora reconocida por Colciencias. Fundación Universitaria del Área Andina. Bogotá - Colombia. Correo electrónico: [lmurillo46@areandina.edu.co](mailto:lmurillo46@areandina.edu.co)

# 13

**Módulo de visualización del estado operativo de la infraestructura de sistemas de comunicaciones, navegación y vigilancia (CNS) para el apoyo en la toma de decisiones en colaboración (CDM)**

**III ENCUENTRO DE INVESTIGACIÓN DESARROLLO E INNOVACIÓN EN EL SECTOR AERONÁUTICO**

**E-BOOK Memorias**



AERONÁUTICA CIVIL  
UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL



Centro de Estudios Aeronáuticos  
Institución Universitaria

ENCUENTRO DE  
INVESTIGACIÓN  
DESARROLLO E INNOVACIÓN  
EN EL SECTOR AERONÁUTICO

## MÓDULO DE VISUALIZACIÓN DEL ESTADO OPERACIONAL DE LA INFRAESTRUCTURA DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES, NAVEGACIÓN Y VIGILANCIA (CNS) PARA EL APOYO EN LA TOMA DE DECISIONES EN COLABORACIÓN (CDM)

Jhon Sabogal Corredor  
Alexandra María Rincón Meza  
Centro de Estudios Aeronáuticos CEA  
Bogotá – Colombia  
[jhon.sabogal@aerocivil.gov.co](mailto:jhon.sabogal@aerocivil.gov.co)  
[alexandra.rincon@aerocivil.gov.co](mailto:alexandra.rincon@aerocivil.gov.co)

**Resumen**— El presente artículo tiene como objetivo presentar un proyecto en desarrollo en el Centro de Estudios Aeronáuticos orientado a desarrollar un módulo de visualización del estado operacional de la infraestructura de sistemas de comunicaciones, navegación y vigilancia (CNS) que se alimenta de los sistemas SIGMA (futuro SIMOA y SIA-AIM para el apoyo en la toma de decisiones en colaboración (CDM) y que involucre todos los diferentes procesos que lleva a cabo la UAEAC como entidad proveedora de los servicios de tránsito aéreo (ATS) de acuerdo con las normas de la OACI.

**Palabras clave**— *Aplicativo web, control de tránsito aéreo, modelo arquitectural, Infraestructura Aeronáutica, Comunicaciones, Navegación, vigilancia.*

**Abstract**— This article aims to present a project under development at the Center for Aeronautical Studies aimed at developing a module for displaying the operational status of the

infrastructure of communications, navigation and surveillance systems (CNS) that feeds on the SIGMA (future SIMOA and SIA-AIM systems to support collaborative decision-making (CDM) and that involves all the different processes carried out by the UAEAC as a provider of air traffic services (ATS) according to with ICAO standards.

**Key words**— *Web application, air traffic control, architectural model, Aeronautical Infrastructure, Communications, Navigation, Surveillance.*

### I. Introducción

En el área de la gestión de los Servicios de Tránsito Aéreo (ATS), la toma de decisiones relacionadas con el estado operacional de la infraestructura de Comunicaciones, Navegación y Vigilancia (CNS) siempre se ha realizado con base en reportes impresos sobre las condiciones operativas de los sistemas y/o los equipos.

Esta situación implica dos dificultades: por un lado, la información no siempre esta actualizada o refleja la situación operativa al momento de adoptar las decisiones y, por otro lado, los responsables de las decisiones, quienes no necesariamente pertenecen al nivel técnico y pueden desconocer aspectos intrínsecos importantes, difícilmente logran dimensionar adecuadamente el impacto ocasionado por la falla o inoperatividad de los equipos CNS sobre el Sistema Nacional del Espacio Aéreo (SINEA) a partir de los reportes escritos.

De esta manera, se evidencia la necesidad de disponer de una herramienta tecnológica que permita presentar gráficamente la información sobre el estado operacional de la infraestructura CNS de manera fácil y rápida y, simultáneamente, visualizar el impacto ocasionado en la provisión de los servicios ATS y/o el SINEA permitiendo, que en un ambiente de Toma de Decisiones en Colaboración (CDM), los responsables de la gestión de los servicios ATS adopten las decisiones más acertadas y eficientes.

#### A. Planteamiento del problema

En Colombia, cumpliendo la reglamentación de la OACI, la UAEAC ha implantado una vasta infraestructura conocida como sistemas CNS para la navegación, esta infraestructura CNS en la actualidad es el cimiento de toda la operación aérea en el SINEA, de modo que su mantenimiento y actualización es primordial para la

provisión de los servicios ATS. Como consecuencia, en muchos casos es necesario sacar de operación una o más radioayudas, sistemas de comunicaciones, radares o sistemas de vigilancia durante un tiempo específico en el que dichos elementos estarán en mantenimiento o no disponibles por razones imprevistas.

Lo anterior sin lugar a duda impacta la seguridad operacional y la gestión del espacio aéreo, puesto que el tránsito aéreo no se detiene y la entidad proveedora de los servicios ATS, la UAEAC en el caso colombiano, debe darse a la tarea de estudiar las rutas afectadas, los distintos puntos sin cobertura de comunicación y las zonas no vigiladas en el espacio aéreo, a fin de proveer una solución. En consecuencia, es de vital importancia que la información referente al estado operacional de los sistemas CNS esté disponible de manera clara, de fácil acceso y veraz, con la intención de tomar las decisiones sobre qué equipos o sistemas pueden suspender su operación ya sea por mantenimiento o reemplazo, en qué condiciones con respecto al tiempo y operatividad simultánea con otros equipos y cuál será el plan de contingencia para el normal funcionamiento de los servicios ATS.

En todos los países adscritos a la OACI, la entidad proveedora de los servicios a la navegación aérea tiene personal encargado de tomar las decisiones con respecto a la operación de los sistemas CNS con base en un informe sobre el estado operacional actualizado de la

infraestructura CNS, junto con los programas de mantenimiento, ampliación y reemplazo de todos los equipos involucrados teniendo en cuenta los distintos espacios aéreos. En el caso colombiano este informe se obtiene a través del sistema de información conocido como SIGMA (que se encuentra migrando al SIMOA: Sistema de Información de mantenimiento Operacional Aeronáutico) que permite gestionar el mantenimiento de los sistemas y equipos CNS; infortunadamente por distintas situaciones de carácter administrativo y de recurso humano o, incluso, por la misma naturaleza del sistema SIGMA aún se utilizan informes elaborados manualmente por el personal técnico de mantenimiento (ATSEP) en archivos de Excel® (figura 1). Si bien la intervención humana en la generación de dichos informes parece funcionar es inherente que la sistematización de estos procesos llega a ser más provechosa dando pie a la innovación y al desarrollo (Carrasco, 2017).

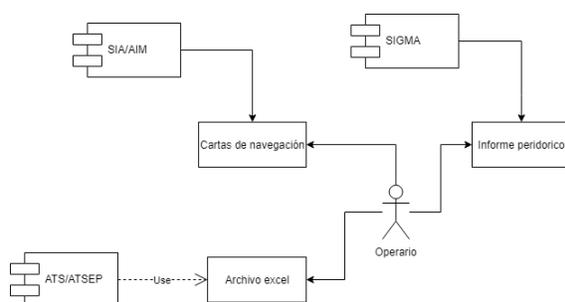


Figura 1. Funcionamiento actual de los sistemas de información (Fuente: autoría propia)

Un aspecto que hay que tener en cuenta son las restricciones que presenta actualmente el sistema SIGMA. Como consecuencia de distintas razones que van desde la deficiencia de personal ATSEP hasta restricciones presupuestales la información sobre la infraestructura CNS no se mantiene adecuadamente actualizada en el SIGMA y las condiciones de operación de muchos equipos no corresponde con su estado operacional real, esto implica una dificultad para calcular los índices de integridad, confiabilidad y disponibilidad a través de los cuales se definen los niveles de servicio con los que se provee el servicio ATC en el SINEA y se determinan los niveles aceptables de seguridad operacional. También implica que la solución propuesta para el monitoreo operacional de la infraestructura CNS que se proyecta materializar con esta investigación deberá tener en cuenta la no disponibilidad de la información proveniente del sistema SIGMA (o SIMOA) por razones técnicas o de otra índole.

Por lo tanto, la gestión de la infraestructura CNS es un aspecto crítico en la provisión de los servicios ATS y la Dirección de Servicios a la Navegación Aérea (DSNA), como responsable de dichos servicios, requiere disponer en todo momento de la información sobre su estado operacional para determinar el grado de disponibilidad de todos los servicios y su correspondiente impacto en la seguridad operacional de las aeronaves que utilizan el SINEA. La DSNA requiere una

herramienta de software que no solamente presente gráficamente el estado operacional de la infraestructura CNS, sino que también simule y presente de manera visual el impacto o afectación generada por la falla y/o no disponibilidad operacional por mantenimiento de los sistemas de radiocomunicaciones tierra-aire, los radares y sistemas de vigilancia (ADS y MLAT) y las ayudas de navegación (VOR y DME). Esta herramienta de software se constituye en una ayuda indispensable para el CDM en la provisión de los servicios ATS y en el mantenimiento de la infraestructura CNS, así como para determinar el impacto que la falla o no disponibilidad de un equipo o sistema tiene sobre la seguridad operacional.

La inexistencia de una herramienta de este tipo genera que la UAEAC se vea ralentizada en sus procesos de gestión lo que trae como consecuencia la adopción de decisiones de gran impacto en el SINEA sin prever todos los diferentes escenarios posibles y/o sin considerar una información debidamente actualizada y contrastada. Por ello, desde el grupo de investigación GINA se busca ofrecer una solución a esta necesidad operacional en la gestión de los servicios ATS a través de un aplicativo web que presente toda la información sobre la disponibilidad operacional de la infraestructura CNS de manera gráfica favoreciendo significativamente el proceso CDM con el apoyo de la tecnología mejorando tanto la eficiencia del SINEA como la seguridad operacional.

## B. Objetivos

**Objetivo General:** Desarrollar un diseño arquitectural de un módulo de visualización que presente de manera gráfica la información sobre el estado operacional de la infraestructura de los sistemas CNS.

### Objetivos específicos:

- Proveer información oportuna y eficiente para mejorar la toma de decisiones en colaboración con respecto al mantenimiento, estado operacional e implementación de medidas relacionadas con la provisión de los servicios de tránsito aéreo y la seguridad operacional.
- Presentar gráficamente la afectación a los servicios conexos (impacto operacional) cuando un sistema/equipo CNS cambia del estado operacional a no operacional y viceversa.
- Utilizar el lenguaje de modelado arquitectural Archimate® para desarrollar adecuadamente el módulo de visualización a partir del modelamiento de la arquitectura empresarial de la UAEAC.
- Aprovechar la información disponible en los sistemas de información SIGMA (SIMOA) y SIA-AIM implementados en la UAEAC presentándola gráficamente dentro del SINEA.
- Proponer una herramienta de visualización del estado operacional de la infraestructura CNS que integre información de otros sistemas

informáticos implementados en la UAEAC pero que sea autónoma e independiente de la disponibilidad y funcionamiento de los demás sistemas.

- Desarrollar pruebas de implementación de la toma de decisiones en colaboración (CDM) dentro de la UAEAC con el aplicativo propuesto.

### C. Formulación del problema

¿Cuál es la solución que se puede desarrollar para presentar y simular el estado operacional de la infraestructura CNS de manera que facilite a la UAEAC la toma de decisiones en colaboración eficientes sobre la provisión de los servicios ATS y la planeación del mantenimiento dimensionando y controlando adecuadamente su impacto sobre el SINEA y la seguridad operacional?

### D. Metodología Propuesta:

#### Tipo de estudio

El enfoque investigativo de este proyecto es “descriptivo” puesto que el objetivo es generar una arquitectura a partir del estado actual de la UAEAC y el uso dado a sus sistemas de información, por medio del uso de entrevistas a las partes involucradas, revisión de los datos secundarios como: políticas, informes, manuales y publicaciones, asimismo se obtendrán datos de observación a través de visitas al área operativa del Centro de

Gestión Aeronáutica de Colombia (CGAC).

El estudio se realizará en las instalaciones del Centro de Estudios Aeronáuticos (CEA), el Centro Nacional de Aeronavegación (CNA) y el Centro de Gestión Aeronáutica de Colombia (CGAC) para tener acceso a la información y la intervención de las partes involucradas que están encargadas tanto de la administración de los sistemas de información como del uso operacional de los mismos (ver figura 2).

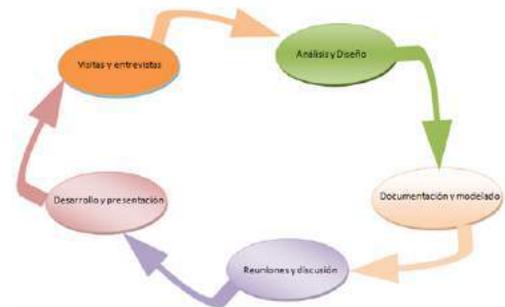


figura 2. Estrategia para el desarrollo del proyecto (Fuente: autoría propia)

### Metodología

La metodología a utilizar será la metodología diseñada por el The Open Group para el modelado de arquitecturas empresariales, la cual permite organizar el diseño, desarrollo e implementación del aplicativo de visualización del estado operacional de la infraestructura CNS en seis fases previamente definidas.

### E. Resultados Parciales

Tras el análisis planteado por la metodología se llegó a este diagrama



- DOC9859OACI. (2006). Manual de gestión de la seguridad operacional DOC 9859 (2006). 823, 7.
- Francisco Javier Jiménez Fernández. (2015). Estudio sobre los sistemas de comunicaciones, navegación, vigilancia y gestión del tránsito aéreo (CNS/ATM): Situación actual y futura. Retrieved from [http://oa.upm.es/38212/7/PFC\\_FRANCISCO\\_JAVIER\\_JIMENEZ\\_FERNANDEZ\\_2.pdf](http://oa.upm.es/38212/7/PFC_FRANCISCO_JAVIER_JIMENEZ_FERNANDEZ_2.pdf)
- OACI. (2016). Anexo 15.
- Organización de Aviación Civil Internacional. (2011). Situación de la Seguridad operacional de la aviación mundial. 80. Retrieved from [https://www.icao.int/safety/Documents/ICAO\\_State-of-Global-Safety\\_web\\_SP.pdf](https://www.icao.int/safety/Documents/ICAO_State-of-Global-Safety_web_SP.pdf)
- PMNA. (2018). Plan mundial de navegación aérea 2016-2030 CAPACIDAD Y EFICIENCIA. Retrieved from [www.icao.int](http://www.icao.int)
- Bourassa Boulevard,R. (2016). Plan mundial de navegación aérea 2016–2030, Quinta edición 2016.
- Costa Pereira,R. (2002).Global Air Navigation Plan for CNS/ATM Systems, Segunda edición 2002.
- The Open Group. (2017). ArchiMate 3.0.1 Specification, an Open Group Standard. Recuperado de <http://pubs.opengroup.org/architecture/archimate3-doc/>
- Barajas,E,Vidal,J.(2010).Metodología para la optimización del flujo de trabajo del sistema de información de gestión de mantenimiento aeronáutico(SIGMA) Basado en TOC.
- CREATIVERGE.(2007).multilateralation& aDS-B.
- MPR. (2012). Introducción y Gestión de la Operación del Sistema de Información y Gestión del Mantenimiento Aeronáutico SIGMA 7.5, 1–68.
- OACI. (2009). Quinta Reunión del Grupo de Tarea ATFM (ATFM/TF/5), 1–6.
- OACI. (2010). Manual del proceso de toma de decisiones en colaboración para la región sudamericana (SAM) (Manual CDM SAM).
- UAEAC. (2011). Plan de Navegación Aérea para Colombia Vol I: requerimientos operacionales.

## INFORMACIÓN DE AUTORES

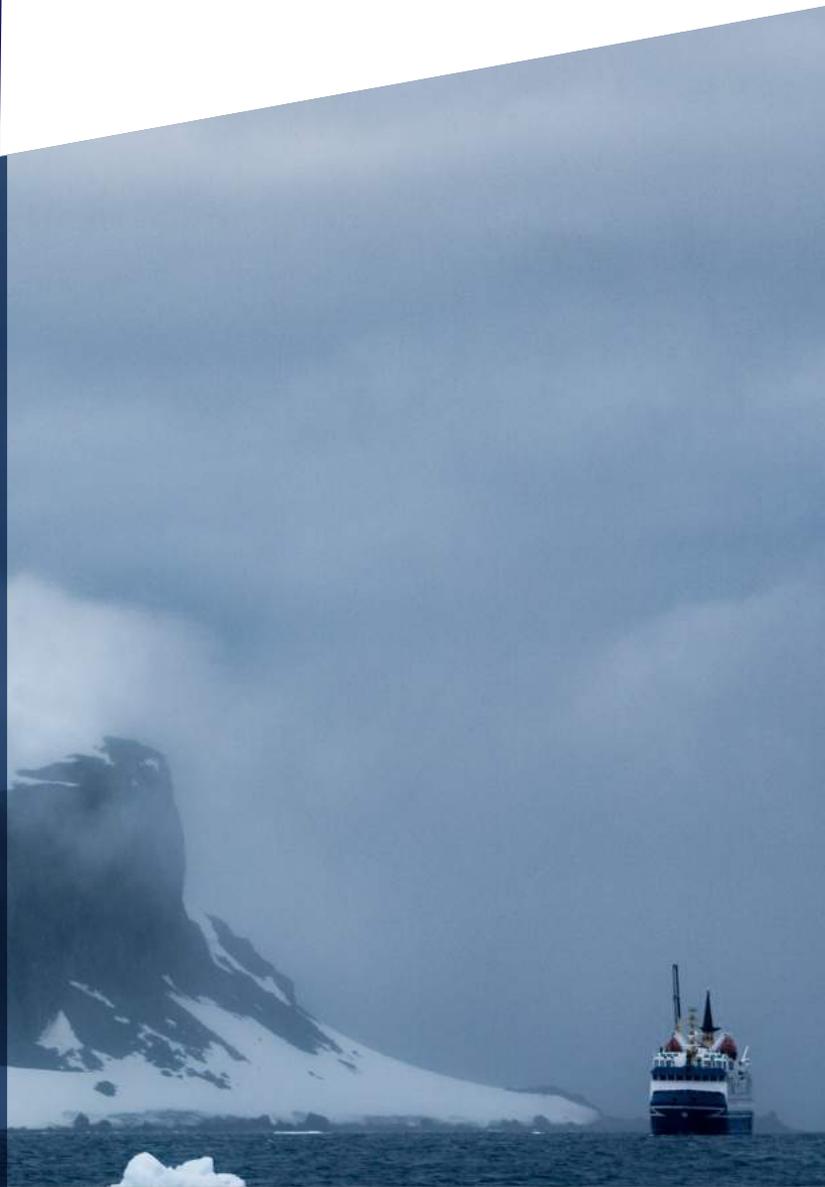
- Jhon Sabogal Corredor
- Controlador de Tránsito Aéreo Aerocivil
- Avenida El Dorado No 103-23 Bogotá – Colombia.
- Número telefónico: 3214299796
- [jhon.sabogal@aerocivil.gov.co](mailto:jhon.sabogal@aerocivil.gov.co)
  
- Alexandra María Rincón Meza
- Docente investigadora Grupo de Investigación Académica CEA
- Avenida El Dorado No 103-23 Bogotá – Colombia.
- 3114938703
- [alexandra.rincon@aerocivil.gov.co](mailto:alexandra.rincon@aerocivil.gov.co)

# 14

**Prospectiva de comunicaciones de  
la Fuerza Aérea Colombiana en  
la Antártida.**

**III ENCUENTRO DE  
INVESTIGACIÓN  
DESARROLLO E INNOVACIÓN**  
EN EL SECTOR AERONÁUTICO

**E-BOOK Memorias**





AERONÁUTICA CIVIL  
UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL



Centro de Estudios Aeronáuticos  
Institución Universitaria

## Prospectiva de comunicaciones satelitales de la Fuerza Aérea Colombiana en la Antártida

Mayor Sonia Ruth Rincón Urbina, teniente Lorena Paola Cárdenas Espinosa,  
Técnico Subjefe Carlos Andrés Tulcán, Ingeniero Luis Gonzalo Guarnizo García  
Fuerza Aérea Colombiana – Centro de Investigación en Tecnologías  
Aeroespaciales  
Cali, Colombia

Email: [Sonia.rincon@fac.mil.co](mailto:Sonia.rincon@fac.mil.co), [lorena.cardenas@fac.mil.co](mailto:lorena.cardenas@fac.mil.co),  
[carlos.tulcan@fac.mil.co](mailto:carlos.tulcan@fac.mil.co), [gonzalo.guarnizo.garcia@gmail.com](mailto:gonzalo.guarnizo.garcia@gmail.com).

**Resumen**— El área de comunicación satelital es un ámbito en el cual Colombia ha empezado a incursionar y a partir de este se han obtenido lecciones aprendidas que permiten plantear nuevos proyectos de investigación, es así, como con base en la operación de FACSAT-1, primer satélite de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), se desarrolla el proyecto “Prospectiva de comunicaciones satelitales de la FAC en la Antártica”; el cual tiene como objetivo activar las capacidades en comunicaciones satelitales de la FAC en territorios diferentes, como es el continente Antártico.

Metodológicamente y en la búsqueda del cumplimiento de los objetivos inicialmente se definen los requisitos funcionales del sistema de recepción y transmisión para comunicación con FACSAT-1, luego se homologa el sistema de comunicación del satélite para realizar seguimiento desde territorio antártico y se finaliza con la experiencia de la implementación del sistema de comunicación en Base General Bernardo O’Higgins del Ejército Chileno.

**Palabras clave**— *Nanosatélites, estación terrena, Antártida, FACSAT-1*

**Abstract** – *The satellite communication is an area in which Colombia has begun to venture, lessons learned have been obtained that allow to propose new research projects, thus, as based on the operation of FACSAT-1, the first satellite of the Colombian Air Force (FAC), the project "Prospective satellite communications of the FAC in Antarctica" is being developed; which aims to activate the satellite communications capabilities of the FAC in different territories, such as the Antarctic continent.*

*Methodologically and in the pursuit of compliance with the objectives, the functional requirements of the reception and transmission system for communication with FACSAT-1 are defined, then the satellite communication system is approved to carry out monitoring from Antarctic territory and ends with the experience of the implementation of the communication system at the General Bernardo O'Higgins Base of the Chilean Army.*

## I. Introducción

El Centro de Investigación en Tecnologías Aeroespaciales (CITAE) participó en la VI Expedición Científica de Colombia en la Antártida y IV Campaña Antártica FAC con el proyecto “Prospectiva de comunicaciones satelitales de la Fuerza Aérea Colombiana en la Antártida”, durante los días 17 de enero al 24 de febrero de 2020, con el objetivo de activar capacidades en comunicaciones satelitales de la Fuerza Aérea Colombiana en la Antártida.

Para este proyecto se propusieron los siguientes objetivos:

1. Definir los requisitos funcionales del sistema de recepción y transmisión para comunicación con el FACSAT-1 en la Antártica.
2. Construir los componentes del sistema de comunicaciones de la estación terrestre temporal del FACSAT-1.
3. Implementar un protocolo técnico de comunicaciones para adquirir datos del satélite.

Las actividades tanto en el centro de investigación como en campo (territorio antártico) permitieron el cumplimiento de los objetivos.

## II. Fuerza Aérea en el continente blanco

Con una mística ceremonia militar presidida por el Señor General

Ramsés Rueda Rueda, comandante de la Fuerza Aérea Colombiana realizada en el Comando de Transporte Militar CATAM, se dio inicio a la IV Campaña Antártica y la VI Expedición Científica; a bordo del avión C-130 Hércules desde donde despegaron once investigadores y alrededor de 30 tripulantes hacia el continente blanco. [1]

Despegando desde Bogotá el día 17 de enero hasta la Segunda Brigada Aérea de la Fuerza Aérea de Chile, recorriendo más de 4300 kilómetros en nueve horas de vuelo, para al siguiente día partir hacia la Base Aérea Chabunco en Punta Arenas Fig. 1. El personal de investigadores viajó dentro del Hércules 1005 de la FAC.



Fig. 1. Trayectoria en C-130 por parte de los investigadores antes de llegar a territorio Antártico. Fuente: autores

La tripulación del C-130 Hércules integrada por pilotos, instructores y técnicos especializados y certificados en operaciones polares, finalmente aterrizó el 19 de enero en la Isla Rey Jorge en la Antártida. En una operación totalmente autónoma, recorriendo más de 1200 kilómetros

sobre el Pasaje de Drake con condiciones meteorológicas de cielo y visibilidad favorables, aterrizan en una pista no preparada de superficie de tierra volcánica de mil doscientos metros y enfrentando vientos de 18 kilómetros por hora. De este modo, por cuarta vez una aeronave de la Fuerza Aérea Colombiana conquista el continente blanco. [2]

El programa Antártico de la Fuerza Aérea Colombiana tiene como finalidad contribuir a la presencia y compromiso de Colombia, a través de Investigación Científica al descubrimiento de la Antártida, por lo que durante esta expedición los científicos desarrollarán proyectos como:

- Identificación y caracterización de fenómenos meteorológicos peligrosos para la navegación aérea asociados con los sistemas ciclónicos meso escalares antárticos.
- Identificación de los peligros operacionales en la Antártida para la operación de la Fuerza Aérea Colombiana.
- Estudios para el desarrollo de misiones análogas espaciales colombianas en la Antártida.
- Implementación de una turbina eólica en la Antártida, en su fase III
- Comunicaciones satélites de la Fuerza Aérea Colombiana en la Antártida.

Este último, es el proyecto del CITAE, el cual, a diferencia de los otros proyectos, se desarrolla en la

península Antártida y no en la isla Rey Jorge. [3]

### **III. CITAE Se adentra en la península Antártida**

A su llegada a la Isla Rey Jorge el personal de investigadores del CITAE abordaron el buque OPV – 83 “Marinero Fuentealba” de la Armada de Chile, para iniciar el recorrido hacia la base Antártida General Bernardo

O’Higgins con el fin de entablar comunicación con el nanosatélite FACSAT-1 desde el continente blanco. Recorriendo más 200 kilómetros sobre el mar Bransfield para llegar a la península Antártida, realizando antes una parada logística en la Base Naval Antártica “Arturo Pratt” de la Armada de Chile Los investigadores permanecen durante tres semanas en esta base, donde se realizan las actividades de campo planeadas para los objetivos del proyecto y las cuales se describen adelante.

### **IV. ¿Por qué ir a la Antártida?**

Para responder esta pregunta se plantean cuatro respuestas importantes que verifican la experiencia que se planteó y desarrolló con la participación del Centro de Investigación en Tecnologías Aeroespaciales y la Fuerza Aérea Colombiana en la VI Expedición Antártica Colombiana.

- Investigar en Antártida permite conocer las variaciones climáticas y como afectan en Colombia.
- Permite establecer y verificar requisitos, técnicos, científicos y logísticos para una futura Base Antártida de Colombia "Almirante Padilla".
- Permite generar experiencia sobre el despliegue logístico y adecuaciones para condiciones operativas de la FAC en la Antártida.
- Y desde el punto de vista de este proyecto en particular permite evaluar condiciones técnicas e implementar capacidades en campo espacial (Comunicaciones).

Convirtiéndose en premisas claves para el desarrollo de las actividades y plan de trabajo planteado por el CITAE, enmarcadas principalmente en:

- Explorar en campo condiciones logísticas, meteorológicas, geológicas y ambientales de la Base O'Higgins, con el fin de determinar parámetros para el sistema mecánico y electrónico del sistema de comunicación.
- Probar el prototipo de antena construido en el CITAE en las condiciones de la Antártida, con el fin de verificar el comportamiento de los materiales y equipos bajo estas condiciones.
- Establecer enlace estable entre el sistema de comunicación en la estación terrena de O'Higgins y el satélite FACSAT-1.

## V. Desarrollo plan trabajo

### A. Verificación de condiciones técnicas y logísticas de la base

La estación O'Higgins se encuentra ubicada en el islote Isabel Riquelme de la Rada Covadonga Fig. 2, fue fundada el 18 de febrero de 1948 y es

administrada por el Ejército de Chile. Actualmente está dotada con taller de metalmecánica, soldadura, telecomunicaciones, carpintería, museo, estación de meteorología y áreas de servicio general.



Fig. 2. Instalaciones del islote Isabel Riquelme de la Rada Covadonga. Fuente: autores

Adicional, en el mismo islote se encuentra la estación Alemana German Antarctic Receiving Station GARS instalaciones del German Aerospace Center DRL, encargada de monitorear la operación y recibir la información de la misión TanDEM-X y ser el telecomandar el TerraSAR-X; para ello cuenta con una antena parabólica de nueve metros de diámetro, la cual se observa en la Fig. 3. [4]

La visita a esta estación terrena permitió verificar casos de éxito de

comunicaciones satelitales desde la Antártida y los materiales e infraestructura necesaria, como insumo determinante para el proyecto

que se adelanta por la Fuerza Aérea Colombiana.



Fig. 3. a) Estación terrena GARS y b) antena de comunicaciones. Fuente: autores

### B. Construcción e instalación de estación terrena temporal de FACSAT-1

En las instalaciones del CITAE se realizó la construcción de la estación terrena temporal de Antártida, la cual se basa en el diagrama de bloques de la Fig. 4 y en la estructura propuesta en [5]. Este sistema está compuesto por tres subsistemas: el sistema de antena, el sistema de seguimiento y el sistema de comunicaciones. La integración de estos elementos permite realizar el seguimiento del FACSAT-1 y establecer comunicación en *downlink* desde Antártida.

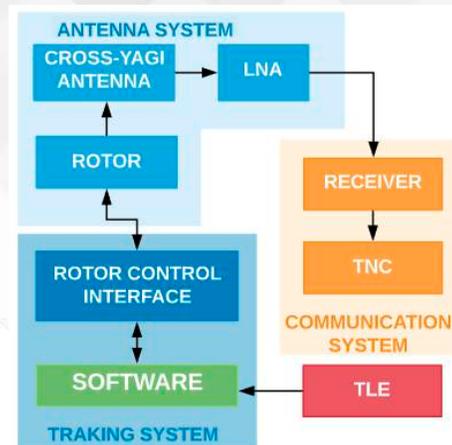


Fig. 4. Diagrama de bloques estación terrena. Fuente: CITAE

Para el sistema de antena se desarrolla un modelo basado en la antena de la estación terrena de FACSAT-1 ubicada en la Escuela Militar de Aviación (EMAVI), la cual junto con un amplificador de bajo ruido (LAN) y un sistema de rotores para los ángulos de elevación y azimut captan la señal electromagnética de FACSAT-1. Adicionalmente, un software de seguimiento satelital desarrollado, por parte de los investigadores del proyecto, en lenguaje de programación Python utiliza la información orbital del satélite almacena en archivos TLE (*two-line element set*) para realizar el control de los rotores por medio de una interfaz que direcciona la antena hacia la posición del FACSAT-1 a lo largo de cada pase por la base O'Higgins. Finalmente, un radio FM cumple la función de receptor, convirtiendo las señales recibidas por la antena en señales digitales que puedan ser manejadas por el nodo terminal de control (TNC); este TNC decodifica las

tramas del FACSAT-1 y corrige posibles errores en los datos.

El ensamble de la antena en territorio Antártico se realizó con la ayuda del personal técnico de dotación de la base, apoyando básicamente la verificación de las conexiones, cables y clavijas que se utilizan con la corriente 220 VAC y frecuencia de 50 Hz.



Fig. 5. Lugar de instalación de la antena.  
Fuente: autores

Tal como se presenta en la Fig. 5 la estructura de montaje y la antena fueron instalados en la parte superior de la torre que tiene aproximadamente diez metros de altura. La estación de comando y control se ubicó en el PUMAC (Puesto de Mando y Control de la Estación) Fig. 6, los equipos electrónicos (radio, computador, fuentes) fueron conectados por los cables, a través de un ducto que comunica el techo de la torre con esta oficina, lugar donde también se ubican los equipos de FAC.

Debido a las bajas temperaturas que se presentan en Antártida, los equipos

de comunicaciones instalados deben tener las características técnicas que le permitan soportar este entorno para un correcto funcionamiento. Para ello, se desarrolla la instalación temporal de la estación terrena, en verano austral de 2019 – 2020 en la Base Antártida General Bernardo O'Higgins verificando el comportamiento del prototipo de la antena y equipos estructurados por el grupo de investigación del CITAE.



Fig. 6. Estación de comando y control FACSAT 1 Antártida. Fuente: autores

### **C. Pruebas de comunicación y seguimiento a pases de satélite FACSAT-1**

Desde el día de la instalación del sistema de comunicación, establecido en el alcance del proyecto, en territorio antártico, por seis días, se realizó seguimiento con la ayuda del software Gpredict (Fig. 7) a cada uno de los pases del satélite en aproximaciones de la base O'Higgins, verificando la

efectividad de la comunicación del radio, comportamiento de los componentes electromecánicos del prototipo de la antena, tolerancia de rangos en azimut y elevación en el seguimiento estipulado y descarga de telemetría, condiciones meteorológicas entre otros factores. [6]

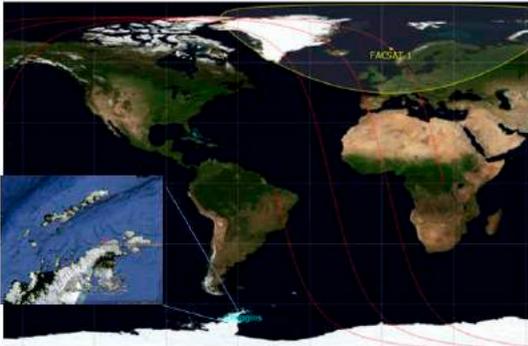


Fig. 7. Trayectoria de FACSAT-1 respecto a la Estación Terrena temporal en la Base General Bernardo O'Higgins. Fuente: adaptación de los autores con base en imágenes de Google Earth y Gpredict

Se efectuaron pruebas al sistema de comunicación del FACSAT-1, rotores y software de control de seguimiento, así como a la estructura de la antena y cableado. Sin embargo, con las condiciones meteorológicas de vientos de más de 20 nudos, días nublados y presencia de nieve, se presentaron alteraciones en la rigidez de los cables y en la capacidad del motor para rotar contra el viento.[7]

## VI. Conclusiones

- El proceso de investigación adelantado, permitió el desarrollo de habilidades e identificación de

lecciones aprendidas en términos de capacidades satelitales.

- La experiencia permitió no solo desarrollar los propósitos científicos, sino conocer sobre la logística y requerimientos de una base instalada en Antártida.
- Conocer los procedimientos, protocolos y operaciones realizadas por la Armada de Chile y aviación de Armada en el cumplimiento a los apoyos a las diferentes bases científicas.
- Es necesario continuar con el estudio que permita desarrollar capacidades en comunicaciones y estudios de radiometría del FACSAT-1.
- Existen múltiples necesidades e investigaciones que pueden desarrollarse por la FAC en Antártica y de diferentes áreas del conocimiento.

## VII. Referencias

- [1] Sección Estratégica de Prensa Fuerza Aérea Colombiana, «FAC,» 26 05 2020. [En línea]. Available: <https://www.fac.mil.co/fuerza-a%C3%A9rea-colombiana-prende-motores-hacia-la-ant%C3%A1rtica>.
- [2] Departamento Estratégico de Comunicaciones, «Fuerza Aerea Colombiana,» 05 03 2020. [En línea]. Available:

<https://www.fac.mil.co/iv-campa%C3%B1a-ant%C3%A1rtica-de-la-fuerza-a%C3%A9rea-en-su-recta-final>.

- [3] Departamento Estratégico de Comunicaciones, «FAC,» 01 02 2020. [En línea]. Available: <https://www.fac.mil.co/una-nueva-traves%C3%ADa-de-la-fuerza-a%C3%A9rea-colombiana-al-continente-blanco>.
- [4] T. Tulcan, «Participación del CITAE en la IV Campaña Antártica FAC,» *Boletín N 9 Centro de Investigación en Tecnologías Aeroespaciales*, pp. Enero - Marzo 2020, 2020.
- [5] K. H. R. F. E. K. Thomas Klügel, «Earth and space observation at the German Antarctic Receiving Station O'Higgins,» *Polar Record*, p. Published online by Cambridge University Press, 2014.
- [6] M. Fischer y A. L. Scholtz, «Design of a Multi-Mission Satellite Ground Station for Education and Research,» *2010 Second International Conference on Advances in Satellite and Space Communications*, p. 6, 2010.
- [7] S. Rincón, L. Cárdenas y C. Tulcán, «Informe de comisión proyecto final,» CITAE, Santiago de Cali, 2020.

## INFORMACIÓN DE AUTORES

- Nombre Completo: Sonia Ruth Rincón Urbina, Lorena Paola Cárdenas Espinosa -Carlos Andrés Tulcán Delgado - Luis Gonzalo Guarnizo García
- Afiliación: Fuerza Aérea Colombiana – Jefatura de educación Aeronáutica – DICTI – Centro de Investigación en Tecnologías Aeroespaciales
- Dirección Completa: Carrera 8 # 58 – 63 EMAVI
- Números telefónicos o Fax:
- Correo electrónico: [sonia.rincon@fac.mil.co](mailto:sonia.rincon@fac.mil.co), [lorena.cardenas@fac.mil.co](mailto:lorena.cardenas@fac.mil.co), [carlos.tulcan@fac.mil.co](mailto:carlos.tulcan@fac.mil.co).

# 15

Optimización geométrica multi-  
objetivo de hélices.

III **ENCUENTRO DE  
INVESTIGACIÓN  
DESARROLLO E INNOVACIÓN**  
EN EL SECTOR AERONÁUTICO

**E-BOOK Memorias**





## OPTIMIZACIÓN GEOMÉTRICA MULTI-OBJETIVO DE HÉLICES

Camilo Echavarría, Jesús H Jiménez, José D Hoyos, Juan P Alvarado  
Universidad Pontificia Bolivariana  
Medellín, Colombia  
[upb.camilo@gmail.com](mailto:upb.camilo@gmail.com)

**Abstract** — An improvement on electric aircraft performance depends on the optimal design of the propeller considering its interaction with the electric or combustion system. An optimization model through PSO method is proposed and implemented in order to minimize the energy consumption of an electric aircraft and a multi-objective function. The model considers the constraints at which the design is subjected, including propeller structural strength. The BEM method is used for propeller performance calculations on the optimization process at which geometrical parameters and operational conditions minimizing energy consumption are found.

**Resumen**— El aumento del rendimiento de una aeronave eléctrica depende del diseño óptimo de la hélice considerando su dependencia con el sistema eléctrico o de combustión. Se propone e implementa un modelo de optimización por medio del método de enjambre de partículas para minimizar el consumo energético de una aeronave eléctrica y una función multiobjetivo. El modelo tiene en cuenta las restricciones a las que el diseño pueda estar sujeto, incluyendo la resistencia estructural de la hélice. Se utiliza el método BEM para calcular el rendimiento de la hélice en el proceso de optimización a través del

cual se encuentra la combinación de parámetros geométricos y operacionales que optimizan el sistema de propulsión.

Palabras clave— *BEM, Hélice, Optimización, PSO, Rendimiento, Multiobjetivo.*

### I. Introducción

Las aeronaves eléctricas han cobrado importancia gracias a los nuevos desarrollos en sistemas eléctricos y su relativamente bajo impacto ambiental. Un sistema de propulsión óptimo lleva a la reducción del consumo energético de la aeronave lo que reduce el tamaño del sistema de almacenamiento de energía de esta; las baterías tienen una capacidad limitada para ciertas misiones debido a su baja densidad energética a comparación del combustible fósil.

Se propone una metodología de diseño óptimo de una hélice para una velocidad de crucero establecida, además una optimización multiobjetivo es implementada. Se tienen en cuenta restricciones de mínimo empuje requerido, así como de resistencia estructural por medio de la teoría de Euler-Bernoulli para vigas en voladizo y se compara con el método de elementos finitos (FEA). Por medio del método de optimización de enjambre de partículas (PSO), que

presenta ciertas ventajas respecto a otros métodos evolutivos de

## 2. Parámetros de rendimiento de una pala

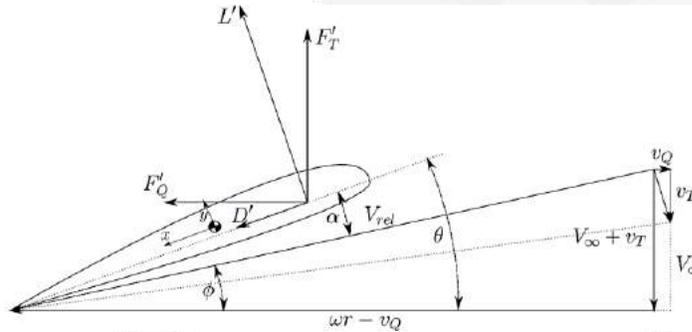


Fig. 1. Elemento de pala

optimización en cuanto a velocidad de convergencia y simplicidad, se encuentra la geometría de la pala, así como la velocidad rotacional de operación que maximizan la eficiencia total del sistema de propulsión, por lo que se tiene en cuenta también el rendimiento del sistema eléctrico en la optimización. Optimizar la eficiencia total del sistema de propulsión equivale a aumentar tanto el rango como la autonomía de la aeronave eléctrica, o bien, la reducción del consumo de combustible para un rango o una autonomía establecidos.

Se desarrolla una herramienta computacional implementada en Matlab para la predicción del rendimiento de una hélice de geometría conocida que opera bajo ciertas condiciones. Se utiliza el método BEM debido a su relativa simplicidad aun obteniendo resultados bastante confiables, como se muestra en la validación. El uso de un método más robusto y preciso, pero bastante más complicado como CFD 3D habría hecho inviable el método debido a su alto costo computacional.

Con el fin de poder comparar el rendimiento de hélices de diferente tamaño que operan en condiciones diferentes, es conveniente definir los coeficientes que expresan el empuje,  $T$  y el torque,  $Q$  de la pala de manera adimensional. Estos se definen según el análisis dimensional que se muestra en [1]. Las ecuaciones (1) y (2) muestran la definición de coeficiente de empuje,  $C_T$  y coeficiente de torque,  $C_Q$ .

$$C_T = \frac{T}{\rho n^2 d^4} \quad (1) \quad C_Q = \frac{Q}{\rho n^2 d^4} \quad (2)$$

Dónde  $\rho$  es la densidad del aire,  $n$  la velocidad rotacional de la pala en revoluciones por segundo y  $d$  el diámetro.

Uno de los parámetros más importantes respecto al rendimiento de una pala es la eficiencia propulsiva (3), siendo esta la relación entre la potencia de salida,  $TV_\infty$  y la potencia que se requiere para mantener la hélice en rotación,  $\omega Q$ .

$$\eta_P = \frac{TV_\infty}{\omega Q} = \frac{JC_T}{2\pi C_Q} \quad (3)$$

Dónde  $V_\infty$  y  $\omega$  corresponden a la velocidad de la aeronave y velocidad

- Distribuir el combustible necesario para asegurar que cada planta de energía o motor y APU funcione correctamente en todas las condiciones operativas probables.
- Estar configurado y acondicionado para impedir la ignición del combustible dentro del sistema por diferentes situaciones como los rayos directos, calentamiento en áreas donde tales ocurrencias son probables, entre otras situaciones.
- Impedir la contaminación peligrosa del combustible distribuido a cada planta de energía o motor y APU.
- Suministrar un medio para evacuar o aislar de manera confiable y segura el combustible almacenado en el sistema.
- Suministrar a la tripulación de vuelo un medio para definir el combustible utilizable total disponible y proporcionar una distribución ininterrumpida de ese combustible cuando el sistema funcione adecuadamente, teniendo en cuenta las posibles variaciones de combustible.
- Estar diseñado para detener el combustible en todas las condiciones operativas probables y disminuir los riesgos para los ocupantes durante cualquier aterrizaje de emergencia que pueda sobrevivir.
- Resistir las cargas bajo condiciones de operación sin falla alguna.
- Estar aislado de los compartimientos del personal y protegido de los peligros debido a influencias de temperatura no intencionadas
- Estar proyectado para evitar una pérdida significativa de combustible almacenado de cualquier sistema de ventilación.
- Proveer combustible en un periodo de al menos media hora de operación.
- Estar en la capacidad de desechar combustible de forma segura de ser necesario, esto con el fin de tener un aterrizaje exitoso.
- Prevenir la recarga de combustible de forma inadecuada.
- Prevenir la presencia de cualquier peligro para la aeronave o las personas en el momento del llenado o la recarga en tierra.
- Evitar que el combustible almacenado se contamine en cualquiera de las condiciones de operación.

#### Desarrollo de Ingeniería

Propuesta de la estructura de la aeronave: La superficie alar de la aeronave SKIRON posee un perfil FX38153 y está dividida en cinco partes, cuatro de ellas hacen referencia a las alas o planos de la aeronave encargadas generar sustentación, y la parte central del ala que es la estructura que soporta las cargas principales del ala.

La sección central del fuselaje es la zona de carga paga del SKIRON, esta sección posee una puerta principal que funciona como rampa para cargar o descargar equipos dependiendo del perfil de misión de la aeronave. Los formadores que componen la zona de carga están distribuidos de tal manera que soporten la estructura alar y distribuyan la carga proveniente de las alas al resto de la estructura, se diseñaron unos mamparos auxiliares a los dos mamparos que soportan el ala, esto para ayudar a sujetar el tren de aterrizaje y transmitir la carga de las alas al tren en el momento del aterrizaje.

rotacional de la pala, respectivamente, y  $J = V_\infty/(nd)$  es la relación de avance, una representación adimensional de la velocidad.

## 2. Método BEM

El método BEM (Blade Element Momentum) es una herramienta relativamente sencilla que permite estimar el rendimiento de una hélice dadas ciertas condiciones de operación y conociendo la geometría de la pala. En este método se divide la pala en  $N$  elementos independientes, para los cuales se calcula mediante un proceso iterativo las velocidades inducidas ( $v_T$  su componente axial y  $v_Q$  su componente tangencial, como se muestra en la Fig.1.). Este método se debe alimentar con una base de datos de coeficientes aerodinámicos de los perfiles utilizados a lo largo de la pala, de esta manera se pueden conocer las fuerzas de sustentación,  $L$  y arrastre,  $D$  generadas por cada uno de estos siempre y cuando se conozca el ángulo de ataque local,  $\alpha$ , que se ve afectado tanto por el pitch,  $\theta$  como por las velocidades axial y tangencial locales. En este caso los coeficientes aerodinámicos son obtenidos por medio de simulaciones CFD en el software OpenFOAM. Para tener información de los perfiles para un amplio rango de ángulos de ataque, se implementa el método de extrapolación de Montgomerie [2], esto da estabilidad a la convergencia del método al tiempo que permite modelar hélices con secciones a altos ángulos de ataque. Una vez conocidas sustentación y arrastre, estas fuerzas se pueden descomponer en sus componentes normal y paralela al

plano de rotación de la pala ( $F_T$  y  $F_Q$ , respectivamente, siendo  $c_t$  y  $c_q$  sus respectivos coeficientes), obteniendo así fuerzas axiales y tangenciales locales, las cuales, finalmente, se integran a lo largo del radio para obtener el empuje y el torque totales como se muestra en (4) y (5).

$$T = B \int_{R_{hub}}^R \frac{1}{2} \rho V_{rel}^2 c_t c dr \quad (4)$$

$$Q = B \int_{R_{hub}}^R \frac{1}{2} \rho V_{rel}^2 c_q c r dr \quad (5)$$

Dónde  $B$  es el número de palas,  $R$  el radio total de la pala,  $R_{hub}$  el radio del hub,  $V_{rel}$ ,  $c$  la cuerda y  $r$  el radio local.

Es importante tener en cuenta que las velocidades inducidas locales afectan el ángulo con que entra el flujo a cada sección,  $\phi$ , tal como se muestra en la Fig. 1. Para el modelado de este fenómeno se utiliza la teoría de elemento de pala, por medio de la cual se pueden estimar ángulos de flujo y velocidades relativas en los  $N$  elementos, y la teoría de momento unidimensional, en la cual, cada elemento tiene un disco actuador asociado, formado por el área que barre cada elemento al rotar. Por medio de esta teoría es posible establecer relaciones entre las velocidades en diferentes partes del flujo en cada disco. En [3] se presenta una descripción detallada del método.

Para obtener buenos resultados, este método requiere ciertas correcciones. El factor de corrección de Prandtl que se aplica a cada elemento de la pala permite tener en cuenta las pérdidas

de punta, penalizando el rendimiento de las secciones, especialmente las más cercanas a la punta [4]. Las secciones de la pala más cercanas a la punta de estas están sujetas a altas velocidades, en muchos casos hasta un punto en el que los efectos de la compresibilidad del flujo comienzan a ser significativos, haciendo inválidos los coeficientes aerodinámicos bidimensionales que alimentan el método. Estos coeficientes se corrigen para tener en cuenta estos efectos por medio de la corrección de Karman-Tsien [5]. Adicionalmente, cada sección de pala está sujeta a rotación, por lo que ciertos fenómenos como fuerzas centrífugas y el efecto Coriolis afectan el flujo y con esto las fuerzas de sustentación y arrastre que se generan. Con el fin de tener en cuenta estos efectos rotacionales se aplica una corrección a los coeficientes aerodinámicos que alimentan el método. Se utiliza la corrección propuesta en [6], en la que se corrigen los coeficientes de sustentación y arrastre en función del paso y la relación cuerda-radio local. Según el mismo estudio llevado a cabo por Chaviaropoulos [6] la pérdida del perfil se retrasa. Dicho estudio se realizó para turbinas eólicas, pero también es aplicable a hélices, obteniendo buenos resultados. El método se valida simulando una hélice cuyas características a diferentes condiciones de operación son conocidas; los datos experimentales de la APC 10x7 disponibles en la base de datos de la UIUC [7] son comparados con los datos obtenidos al simular la misma hélice por medio del método propuesto. En la Fig. 2. se

muestran los resultados, evidenciando la confiabilidad del método BEM que se utiliza para la optimización con un error relativo promedio del 3.85%.

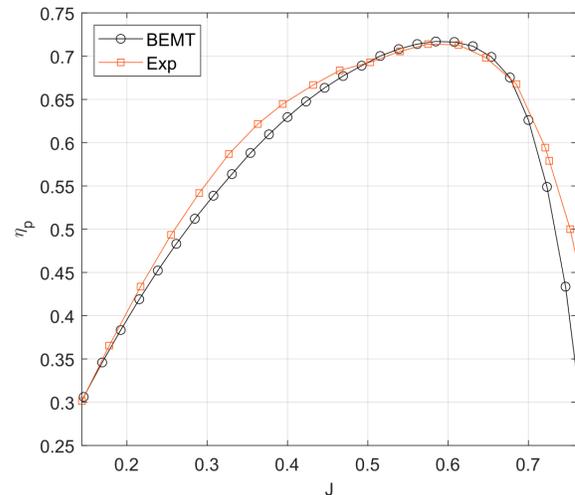


Fig. 2. Validación del método

## 2. Modelo estructural

Se hace uso de la teoría de Euler-Bernoulli para vigas en voladizo. Esta teoría presenta resultados precisos para relaciones de longitud sobre espesor mayores a 10 [8]. Este modelo ha sido ampliamente usado en el diseño estructural de hélices [9].

En algunos trabajos es común despreciar la fuerza centrífuga [10] y los esfuerzos cortantes [11]. Sin embargo, en el presente trabajo ambos son tenidos en cuenta bajo ciertas suposiciones.

La magnitud de la fuerza centrífuga en la posición radial  $r_0$  es calculada en (6).

$$F_c = \rho_b \omega^2 \int_{r_0}^R A r dr \quad (6)$$

Donde  $\rho_b$  es la densidad del material de la hélice en  $\text{kg/m}^3$ ,  $A$  es el área en

$m^2$  de la sección transversal, y  $r$  la variable de integración que varía desde  $r_o$  hasta el radio de la hélice  $R$ . La magnitud de los momentos ocasionados por la fuerza axial  $F_a$  y tangencial  $F_t$  a la hélice en la posición radial  $r_o$  son calculados en (7) y (8) respectivamente.

$$M_a = \int_{r_o}^R (r - r_o) F_a dr \quad (7)$$

$$M_t = \int_{r_o}^R (r - r_o) F_t dr \quad (8)$$

Donde  $M_a$  es la magnitud del momento alrededor del eje del torque y  $M_t$  es la magnitud del momento alrededor del eje del empuje. Estos momentos deben rotarse para tener en cuenta el paso  $\theta$  de forma que correspondan a los momentos alrededor del principal de inercial del perfil  $M_x$  (9) y alrededor del eje normal a este  $M_y$  (10). El eje principal de inercia se asume paralelo a la cuerda.

$$M_x = M_a \cos\theta + M_t \sin\theta \quad (9)$$

$$M_y = M_a \sin\theta - M_t \cos\theta \quad (10)$$

El esfuerzo normal  $\sigma$  en cada punto de la sección trasversal puede ser calculado como se observa en (11) teniendo en cuenta la convención usual de esfuerzos normales negativos para compresión y positivos par tensión.

$$\sigma_{(x,y)} = -\frac{M_x y}{I_x} - \frac{M_y x}{I_y} + \frac{F_c}{A} \quad (11)$$

Donde  $I_x$ ,  $I_y$  son los momentos alrededor de los ejes principales de inercia,  $x$  e  $y$  las distancias del punto medidas desde el centroide del perfil.

De acuerdo con los signos empleados, el eje  $x$  es positivo desde el centroide hacia el borde de fuga del perfil como se observa en la Fig. 1., de esta forma (y teniendo en cuenta que  $M_x$  y  $M_y$  son usualmente positivos) existe un aporte negativo (compresión) al borde de fuga del perfil por parte del momento relacionado mayoritariamente con el torque de la hélice, y un aporte negativo en el extradós del perfil por parte del momento ocasionado mayoritariamente por el empuje.

El esfuerzo cortante se calcula aproximando el perfil como un rectángulo con un área equivalente [12], donde el esfuerzo cortante máximo  $\tau_{max}$  es dado en (12).

$$\tau_{max} = \frac{3T_m}{c^2 t^2} \left[ 1 + 0.6095 \frac{t}{c} + 0.8865 \left(\frac{t}{c}\right)^2 - 1.8023 \left(\frac{t}{c}\right)^3 + 0.91 \left(\frac{t}{c}\right)^4 \right] \quad (12)$$

Donde  $t$  y  $c$  son el espesor y la longitud del rectángulo equivalente, respetivamente [13]. Y  $T_m$  es el momento torsor aplicado a la sección transversal resultado del desfase entre el punto donde se aplican las fuerzas aerodinámicas y el centroide de inercia y puede ser calculado como se describe en (13) suponiendo que las fuerzas aerodinámicas se aplican en la línea de cuerda a un cuarto del borde de ataque.

$$T_m = \int_{r_o}^R \left[ F_t * (y_{cen} - y_{c/4}) - F_a * (x_{cen} - x_{c/4}) \right] dr \quad (13)$$

Donde  $y_{cen} - y_{c/4}$  es la distancia entre la cuerda y el centroide en dirección perpendicular a la cuerda, y  $(x_{cen} - x_{c/4})$  es la distancia entre el cuarto de la cuerda y el centroide en dirección del eje de la cuerda. Dado que se asume un material isotrópico, se hace uso del esfuerzo de von Mises (14). El cálculo del esfuerzo de von Mises  $\sigma_{von}$  se realiza para cada punto de cada sección transversal de la hélice, sin embargo, en cada punto de una sección transversal dada se asume el esfuerzo cortante máximo  $\tau_{max}$  en todos los puntos, esto como método conservador para la estimación del esfuerzo.

$$\sigma_{von} = \sqrt{\sigma_{(x,y)}^2 + 3 * \tau_{max}^2} \quad (14)$$

Como criterio estructural se establece que el esfuerzo de von Mises debe ser menor a el esfuerzo permisible a tensión  $\sigma_y$  (límite elástico) del material empleado en la hélice multiplicado por un factor de seguridad  $\gamma_f$  (15).

$$\sigma_{von} * \gamma_f < \sigma_y \quad (15)$$

El modelo estructural empleado se valida con el método de elementos finitos de CATIAV5. La Fig. 3. muestra la distribución de esfuerzos del modelo empleado y la Fig. 4. la obtenida por FEA, ambos sin tener en cuenta la fuerza centrífuga. Como se observa, la distribución del esfuerzo es casi idéntica.

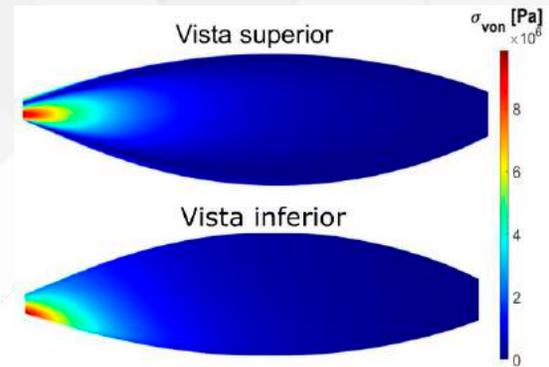


Fig. 3. Esfuerzo de von Mises calculado por la metodología propuesta despreciando la fuerza centrífuga.

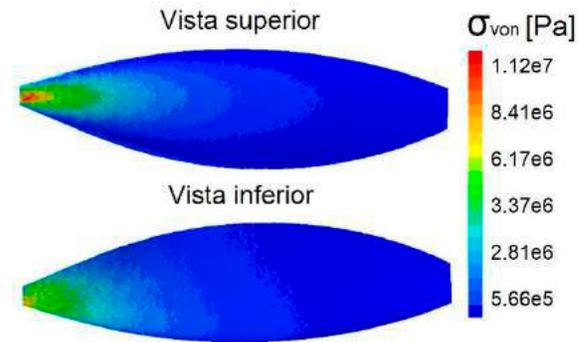


Fig. 4. Esfuerzo de von Mises calculado por FEA en CatiaV5 despreciando la fuerza centrífuga.

El máximo esfuerzo de von Mises reportado por la rutina programada en Matlab corresponde a  $9.93e6$  Pa, mientras en FEA CatiaV5 corresponde a  $1.12e7$  Pa, lo que significa un error relativo del 11.3%.

Como se mencionó anteriormente, el modelo empleado tiene la opción de incluir el esfuerzo causado por la fuerza centrífuga, por lo que se realiza la distribución de esfuerzos con el modelo completo en la Fig. 5. Como se observa en comparación con la Fig. 3., la distribución de esfuerzos cambia de manera significativa, además de que

el esfuerzo máximo se duplica, por lo que queda justificado el hecho de tener en cuenta esta fuerza en el modelo, más aún para hélices de alta densidad como la simulada en aluminio.

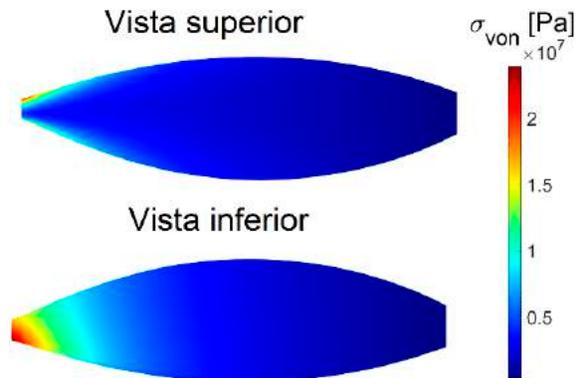


Fig. 5. Esfuerzo de von Mises calculado por la metodología propuesta teniendo en cuenta el aporte de la fuerza centrífuga.

## 2. Método de optimización

Se utiliza la optimización por enjambre de partículas (PSO por sus siglas en inglés) para encontrar la hélice óptima. Este método consiste en generar aleatoriamente cierto número de partículas distribuidas en todo el espacio de solución; estas partículas comienzan a desplazarse con el fin de encontrar el punto que corresponde el valor óptimo de una función objetivo. La búsqueda se puede detener cuando se llega a una convergencia o cuando se alcanza un límite de iteraciones.

El movimiento de cada partícula se ve afectado por el punto en que dicha partícula presentó mejor valor y por la partícula que mejor cumple la función objetivo, es decir que cada partícula se ve atraída por el mejor punto

encontrado por si misma y el mejor punto encontrado por cualquiera de las partículas del enjambre. El movimiento de las partículas está dictado por (16) y (17).

$$X_{(t+1)} = X_{(t)} + V_{(t+1)} \quad (16)$$

$$V_{(t+1)} = \mu V_{(t)} + \varphi_1 R_1 \otimes (G_{(t)} - X_{(t)}) + \varphi_2 R_2 \otimes (P_{(t)} - X_{(t)}) \quad (17)$$

Dónde  $X$  es la posición de la partícula,  $V$  la velocidad de esta,  $t$  representa el tiempo o la iteración,  $\mu$  es un factor de aceleración que limita el movimiento de las partículas,  $\varphi_1$  y  $\varphi_2$  son coeficientes que permiten modificar la importancia del óptimo parcial de una partícula y el óptimo global de la búsqueda, además de manipular la libertad de movimiento de las partículas,  $R_1$  y  $R_2$  son vectores de tantas componentes como dimensiones del problema, que almacenan coeficientes aleatorios entre 0 y 1 con el fin de evitar óptimos locales,  $G$  representa el óptimo local hasta el momento encontrado por cualquiera de las partículas mientras que  $P$  representa el óptimo encontrado por la partícula individual. El símbolo  $\otimes$  representa en este caso la multiplicación elemento a elemento. En [14] se encuentra una explicación detallada del método con todas sus variantes.

Para el caso actual, la posición de cada partícula corresponde a una combinación de parámetros de diseño de la hélice, y la función objetivo es la eficiencia total del sistema propulsivo, que se obtiene por medio de simulaciones con la herramienta BEM propuesta. Se tiene un espacio

solución de 10 dimensiones, correspondientes a los 10 parámetros que se varían, siendo estos la distribución de paso y cuerda, radio de la pala y velocidad rotacional de operación. Las distribuciones de paso y cuerda se definen por 4 parámetros cada una, correspondientes a 4 puntos de la pala igualmente espaciados a lo largo del radio, a partir de los cuales se realiza un spline cúbico para obtener la distribución correspondiente. Para la optimización se deja fijo el número de palas, el empuje requerido, la velocidad de crucero y las condiciones ambientales. La búsqueda está restringida a los puntos del espacio solución que cumplan el empuje requerido y los requerimientos estructurales por medio de una función de penalización que castiga la función objetivo en los puntos que no se cumplen las restricciones.

### 3. Casos de estudio

Dos optimizaciones independientes son implementadas. La primera con el objetivo de aumentar la eficiencia total del sistema eléctrico y con esto disminuir el consumo energético, y la segunda con una función multiobjetivo.

La primera optimización se realiza con las restricciones de otro trabajo [15] de optimización de hélices para posibilitar la comparación. Las restricciones principales son un empuje de 3.5N a una velocidad de 10 m/s y un radio máximo de 0.15m, se emplea un aluminio 7075-T6, un esfuerzo máximo permisible  $\sigma_y$  de 1.5e8 Pa y un factor de seguridad  $\gamma_f$  de 3.35.

otros parámetros como los eléctricos pueden ser consultados en la referencia.

Los resultados de la optimización resultaron en un radio de 0.148m, velocidad rotacional de 4087 rev/min y unas distribuciones radiales de paso y cuerda que se observan en la Fig. 5. La eficiencia total alcanzada fue de 61% en comparación con la alcanzada en [15] del 58.0%, y un esfuerzo máximo  $\sigma_{von} = 2.71e7$ .

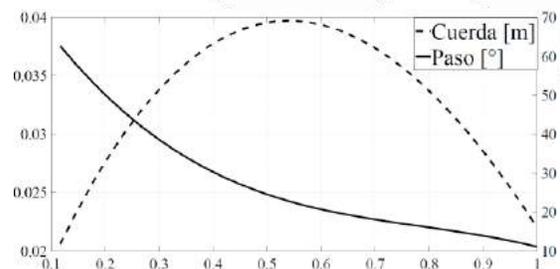


Fig. 6. Distribuciones radiales de cuerda y paso para la hélice optimizada por consumo energético.

En la optimización multiobjetivo se desea alcanzar una mayor velocidad de pérdida y que siga cumpliendo las restricciones de la primera optimización. Se le asigna igual peso a la eficiencia total en crucero y a la velocidad de pérdida (normalizados con valores de referencia). El resultado es una hélice que entra en pérdida a 288 km/h y una velocidad rotacional de 19235 rev/min (cerca del límite de 0.7M impuesto a la punta) pero una eficiencia total en crucero de 34%. Por motivos de espacio no se muestra las distribuciones de cuerda y paso, pero la hélice resultante tiene denominación 8.7X8.9 (diámetro X paso en pulgadas), lo cual valida que para alcanzar altas velocidades la relación diámetro/paso debe ser alta.

### 3. Conclusiones

El método de Euler-Bernoulli para el cálculo de los esfuerzos en una hélice demostró un error relativo al método de elementos finitos cerca del 10%, por lo cual se admite como un método válido y de rápida computabilidad.

Se demostró que el esfuerzo en la hélice causado por la fuerza centrífuga, el cual es a veces despreciado, debe tenerse en cuenta para realizar un análisis realista de las cargas en la hélice, dado que el esfuerzo causado por esta fuerza puede alcanzar el orden de magnitud de las demás fuerzas o más. En el caso estudiado de validación del modelo estructural este cambio teniendo en cuenta la fuerza centrífuga significa un esfuerzo del doble aproximadamente.

Dado que la fuerza centrífuga alcanza magnitudes considerables, la hélice tendrá probablemente el mayor esfuerzo de von Mises a tensión, dado que la compresión se disminuye o desaparece por la tensión de la fuerza centrífuga, por lo que se justifica el hecho de que se compare con el esfuerzo permisible del material a tensión. Este efecto es mayor para hélices fabricadas en materiales de densidades considerables como el aluminio.

El algoritmo de enjambre de partículas junto con el BEM alimentado por OpenFOAM demuestra ser un método preciso, rápido y versátil para el diseño de hélices para optimización de una sola variable o multiobjetivo. La optimización multiobjetivo demuestra

que para alcanzar velocidades máximas el pitch naturalmente se eleva.

### Referencias

- [1] L. Clancy, Aerodynamics, Wiley, 1975.
- [2] B. Montgomerie, «Methods for root effects, tip effects and extending the angle of attack range to +/-180°, with application to aerodynamics for blades on wind turbines and propellers,» Estocolmo, 2004.
- [3] H. Glauert, The Elements of Aerofoil and Airscrew Theory, Cambridge: Cambridge University Press, 1983.
- [4] M. Sriti, «Improved blade element momentum theory (BEM) for predicting the aerodynamic performances of horizontal Axis wind turbine blade (HAWT),» Technische Mechanik. Scientific Journal for Fundamentals and Applications of Engineering Mechanics, vol. 38, nº 2, pp. 191-202, 2018.
- [5] T. v. Karman, «Compressibility Effects in Aerodynamics,» Journal of the Aeronautical Sciences, vol. 8, nº 9, pp. 337-356, 1941.
- [6] P. Chaviaropoulos, M. Hansen y M. Oliver, «Investigating three-dimensional and rotational effects on wind turbine blades by

- means of a quasi-3D Navier-Stokes solver,» J. Fluids Eng., vol. 122, n° 2, pp. 330-336, 2000.
- [7] J. Brandt, R. Deters, G. Ananda y M. Selig, «UIUC Propeller Database,» University of Illinois Urbana-Champaign, 2015. [En línea]. Available: <http://m-selig.ae.illinois.edu/props/propDB.html>. [Último acceso: 24 07 2020].
- [8] O. Bauchau y J. Craig, Structural Analysis With Applications to Aerospace Structures, 2009.
- [9] J. Sodja, R. Drazumeric y T. Kosel, «Design of flexible propellers with optimized load-distribution characteristics,» Journal of Aircraft, pp. 117-128, 2014.
- [10] Y. Teeuwen, Propeller Design for Conceptual Turboprop Aircraft, 2017.
- [11] B. Epps, J. Ketcham y C. Chryssostomidis, «Propeller blade stress estimates using lifting line theory,» 2010.
- [12] A. Pourrajabian, P. A. N. Afshar, M. Ahmadizadeh y D. Wood, «Aero-structural design and optimization of a small wind turbine blade,» Renewable Energy, pp. 1-12, 2015.
- [13] C. W. Young y R. G. Budynas, Roark's Formulas for Stress and Strain, 7ma ed., McGraw-Hill, 2002.
- [1] K. Parsopoulos y M. Vrahatis, Particle swarm optimization and intelligence: advances and applications, Information Science Reference New York, 2010.
- [15] O. Gur y A. Rosen, «Multidisciplinary Design Optimization of a Quiet Propeller,» de 14th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, 2008.

## INFORMACIÓN DE AUTORES

- Camilo Echavarría Martínez
- Universidad Pontificia Bolivariana
- Calle 41 B sur #25-66 apto 201, Medellín
- 305 3476228
- [upb.camilo@gmail.com](mailto:upb.camilo@gmail.com)
  
- Jesús Hernán Jiménez Giraldo
- Universidad Pontificia Bolivariana
- Cll 26a #31-39, El Carmen de Viboral
- 3023399795
- [jhernan.jimenezg@gmail.com](mailto:jhernan.jimenezg@gmail.com)
  
- José Daniel Hoyos Giraldo
- Universidad Pontificia Bolivariana
- Cll 81A#34-125, Medellín
- 3218266415
- [hoyos\\_j@hotmail.com](mailto:hoyos_j@hotmail.com)
  
- Juan Pablo Alvarado Perilla
- Universidad Pontificia Bolivariana
- Calle 31A # 69B-04, Medellín
- 310 4045828
- [juan.alvarado@upb.edu.co](mailto:juan.alvarado@upb.edu.co)

# 16

**Diseño preliminar del sistema de combustible de la aeronave SKIRON categoría FAR23**

**III ENCUENTRO DE INVESTIGACIÓN DESARROLLO E INNOVACIÓN EN EL SECTOR AERONÁUTICO**

**E-BOOK Memorias**





AERONÁUTICA CIVIL  
UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL



Centro de Estudios Aeronáuticos  
Institución Universitaria

## Diseño preliminar del sistema de combustible de la aeronave SKIRON categoría FAR23

Fabio Merchán Rincón, Mabel Hernández González, Andrés Ramírez Herrera  
Universidad de San Buenaventura  
Bogotá, Colombia

Fmerchan@usbbog.edu.co, mfernandez@academia.usbbog.edu.co,  
asramirez@academia.usbbog.edu.co

**ABSTRACT**— The Engineering Faculty of the San Buenaventura University developed the design of a Category FAR 23 aircraft, with STOL configuration and a flight range of 2700km, including within this a fuel system capable of securing the range and increasing the performance of this aircraft in comparison with the aircraft of its category, and that it complied with the mission profiles proposed for the aircraft, among which are the tactical tanker, air ambulance and troop load profiles.

Due to the aforementioned, this research was aimed at designing of the fuel system for the SKIRON Category FAR23 aircraft, taking into account each of the missions proposed by the University of San Buenaventura and the regulations specified by the FAA for this type of aircraft. To carry out these missions, it was necessary to design the architecture, location, and costs of the system. Finally, the preliminary design of the SKIRON aircraft fuel system was obtained, it can feed the engines and APU, offering enough storage to supply an aircraft operation range greater than 2770km.

**Palabras clave**— *Sistema de combustible, tanques de combustible, válvulas, filtros, sensores, métodos de transferencia, aeronave STOL.*

### I. Introducción

Estudiantes de la facultad de Ingeniería de la Universidad de San Buenaventura-Sede Bogotá se encuentran realizando el diseño preliminar de una aeronave militar Categoría FAR23, con el fin de impulsar la industria aeronáutica en el país mediante el desarrollo de un proyecto ingenieril, que ayude a consolidar la construcción de una aeronave que cumpla con ciertos perfiles de misión, como lo son el fácil acceso a zonas remotas y reabastecimientos a terceros.

Algunos de los requerimientos de los cuales nace la necesidad de este proyecto, es que la aeronave debe cumplir con un rango de 2700km y debe realizar reabastecimiento aéreo a otras aeronaves eficientemente. Para esto es fundamental elaborar el diseño preliminar de un sistema de combustible capaz de almacenar

combustible para cumplir con ese rango y, además, que cuente con las características y elementos necesarios para efectuar un reabastecimiento en vuelo a otra aeronave.

Este artículo tendrá como propósito realizar el diseño preliminar del sistema de combustible para la aeronave SKIRON Categoría FAR23, teniendo en cuenta cada una de las misiones establecidas y de las regulaciones especificadas por la FAA para este tipo de aeronave. Para ejecutar correctamente el diseño es preciso considerar la interacción y conexión con otros sistemas, la selección y ubicación de cada uno de los componentes que participarán en la operación del sistema, la modificación que se tendrá que realizar a la estructura para instalarlo y la compatibilidad de cada elemento adicional a la estructura o a la zona de carga, ya que se debe respetar y llevar a cabo cada una de las misiones requeridas tanto para la aeronave como para el sistema de combustible.

Los requerimientos que se deben considerar para el diseño del sistema de combustible son establecer la transferencia y alimentación de combustible a los motores, la capacidad de reabastecimiento a otras aeronaves y a sí mismo, la expulsión rápida de combustible en caso de emergencia (Sistema Jettison) y el almacenamiento seguro pero eficiente de combustible. Con la finalidad de cumplir cada uno de los requerimientos se propone una arquitectura, un emplazamiento y costo primitivo del sistema que

permitirán determinar si el diseño es funcional.

## II. Estado del arte

El sistema de combustible de una aeronave es diseñado de acuerdo con la funcionalidad y requerimientos de certificación (Categoría de la aeronave) y aspectos operacionales (Rango, peso y perfil de misión). Debe cumplir con ciertas características de acuerdo con la operación del avión, como el almacenamiento seguro de combustible, descargue y cargue rápido del combustible al momento de estar en tierra y en reabastecimiento en vuelo, presiones adecuadas dentro del sistema para garantizar suministro de combustible en los tanques y capacidad adecuada para el combustible requerido por los motores [1]. A continuación, se incluyen los componentes y métodos de transferencia utilizados en un sistema de combustible.

A. Tanques de combustible: La cantidad de tanques de combustible depende del rango del avión, del consumo específico de combustible de los motores, del tipo de tanque y en parte del espacio que provee la estructura para su instalación. La ubicación del combustible dentro de la estructura del ala, esta típicamente entre las vigas principales y auxiliares del ala, gracias a que este espacio no es fácilmente utilizable para otras funciones del avión por su geometría y acceso [2]. Referente a la cantidad de tanques emplazados por ala, es importante considerar la posibilidad de utilizar un compartimiento único por ala o un número de compartimientos

separados por costillas semi-selladas, esto de acuerdo con la ubicación del contenido de combustible durante las maniobras de ascenso y descenso. [1]

#### B. Transferencia de combustible:

Para cargar el combustible ya sea en tierra o en aire, un avión de gran tamaño debe contar con múltiples puntos de tal forma que cumpla con los tiempos de reabastecimiento requeridos. Tanto las aeronaves comerciales como las militares utilizan sistemas de reabastecimiento de combustible conjuntos para disminuir peso, que puede resultar particularmente atractivo en aplicaciones militares. [1]

Una función que actualmente es implementada en aeronaves militares es el reabastecimiento de combustible en el aire ya que permite un mayor rango para aeronaves de combate y ataque. Para que este tipo de aeronaves amplíen su rango y puedan permanecer mayor tiempo en el aire se hace necesario el uso de aeronaves de reabastecimiento en vuelo, las cuales tienen como función principal cargar tanques en su zona de carga de forma que pueda reabastecer a varias aeronaves al tiempo. [3]

Por otro lado, el sistema de Jettison es el que se encarga de expulsar de manera controlada cierta cantidad de combustible en caso de emergencia o de ser necesario la disminución en el peso de la aeronave. Para que la aeronave posea este sistema es necesario la reconfiguración de la red

de alimentación y transferencia de combustible, que permita que la función de eliminación continúe mientras el sistema de alimentación del motor sigue siendo compatible. [4]

#### C. Componentes mecánicos:

El sistema de combustible de una aeronave militar o comercial puede incluir los siguientes componentes mecánicos [5]:

- Válvulas de cierre, de transferencia, de alivio, de ventilación, activados por motor, hidromecánico o electromecánico.
- Equipos de presurización, incluidas bombas de motor o de eyección.
- Distribución de combustible, incluyendo tuberías y conectores en el tanque.

### III. Metodología

A. Normativa: La normativa del sistema de combustible se extrae del capítulo 14 subcapítulo C de la FAR 23 [6], que refiere a la normativa de aeronaves normales de ala fija. El sistema de combustible es detallado en el apartado E que tiene como título "planta de energía", En el ítem 23.2430 del este apartado se puede observar la normativa relacionada del sistema de combustible, que indica que cada sistema de combustible debe:

- Estar debidamente estructurado y ordenado para facilitar la respectiva independencia entre varios sistemas de almacenamiento y suministro de combustible, ya que si se presenta algún tipo de falla en cualquier componente esto no perjudique o finalice en la pérdida del almacenamiento de combustible o el suministro de este.

La estructura del empenaje está diseñada forma en T, esto para compensar la sustentación generada por las alas y poder cumplir las distintas misiones, como lo es despegar y aterrizar en pistas cortas. El perfil alar utilizado para el estabilizador horizontal y vertical es el NACA 0015 y el estabilizador horizontal es taperado.

La zona de pasajeros está separada de la zona de carga por una compuerta presurizada y dentro de esta sección están ubicadas dos filas de sillas para transportar a 19 pasajeros.

En la cabina de tripulación de vuelo están ubicados todos los equipos de aviónica, incluyendo la bahía de aviónica en el piso de esta y el radomo de antenas en la punta de la aeronave, también hay una puerta de acceso que permite el ingreso de los pasajeros a la cabina y a la zona de pasajeros.

En la Fig. 1 puede observarse las secciones de la estructura de la aeronave mencionadas anteriormente.



Fig. 1. Estructura de la aeronave SKIRON

Arquitectura del sistema:

El planteamiento de la arquitectura del sistema de combustible se realiza teniendo en cuenta los perfiles de misión como lo son tanquero táctico,

ambulancia aérea, extinción de incendios y transporte de tropas, así como la disponibilidad de la estructura para ubicar cada uno de los componentes que harán parte del diseño del sistema. Para seleccionar los componentes es importante conocer cuáles son los subsistemas que van a componer el sistema, la distribución en general y sus funciones dentro de este. Los subsistemas son abastecimiento en tierra y vuelo, alimentación del motor, abastecimiento a terceros y sistema Jettison.

Para el abastecimiento de la aeronave ya sea en vuelo o en tierra, se hace uso de sondas, conexiones a tierra y componentes que se fijan para asegurar una correcta transferencia. Algunos de estos componentes es el acople para reabastecer con la otra aeronave y la línea que lo conecta con el sistema, filtros, válvulas y bombas sobre la línea que conecta la entrada de combustible con los tanques, esto se pueden observar en la Fig. 2.

Por otro lado, el sistema Jettison permite a la aeronave expulsar combustible en caso de emergencia, de manera que la actividad que se cumple durante la misión de tanquero táctico y el funcionamiento del sistema Jettison es la misma, así que, por motivos de simplicidad se deja una sola línea y sistema para ambos casos. Este subsistema debe contar con una sonda y tanque de carga paga propios para reabastecimiento a helicópteros, ya que este tipo de aeronave fue la seleccionada para reabastecer, y la cantidad de estas va a depender de la capacidad de la aeronave para cargarlas y emplazarlas. También debe contar con una línea principal que transfiera

el combustible desde los tanques hasta las sondas, válvulas, filtros y bombas que permitan la transferencia adecuada de combustible. Esto se pueden observar en la Fig. 2.

La alimentación del motor es efectuada por un conjunto de componentes que permiten la transferencia de combustible desde los tanques hasta el motor, estos componentes son las líneas, las válvulas, los sensores las bombas y los tanques. Para comenzar a diseñar el sistema que alimente el motor, es importante conocer las características de este, ya que con esta información se puede definir tanto la cantidad y ubicación de los tanques. De acuerdo con los cálculos realizados por el grupo de rendimiento 2019-1, el motor PT6A-65B de la compañía Pratt & Whitney consume (m) 2663.18lb aproximadamente del combustible JP-4 que tiene una densidad ( $\rho$ ) de 48.38lb/ft<sup>3</sup>, en un rango de 2770 km.

Con la información anterior y con la Ecuación

$$v = \frac{m}{\rho} = \frac{2663.18lb}{48.38lb/ft^3} = 55.09ft^3 \quad (1)$$

) se calcula el volumen requerido de almacenamiento.

$$v = \frac{m}{\rho} = \frac{2663.18lb}{48.38lb/ft^3} = 55.09ft^3 \quad (1)$$

Tomando como punto de partida este volumen mínimo requerido y buscando aprovechar los espacios en la aeronave, lo siguiente es plantear la ubicación de los tanques asegurando que se va a cumplir con el volumen requerido y que se va a localizar en la estructura alar. aprovechando que el perfil alar escogido tiene un gran espesor con relación a otros, y además es un diseño que no se ve

afectado en espacio por su estructura, ya que esta le proporciona amplios espacios entre vigas y costillas.

Finalmente, como se observa en la Fig. 2 se obtiene una distribución de 8 tanques con un almacenamiento total de 97.11ft<sup>3</sup>, seis de ellos destinados para el almacenamiento de combustible, nombrados tanque auxiliar, tanque central, tanques interiores y tanques exteriores, 2 para la alimentación a los motores llamados colectores.

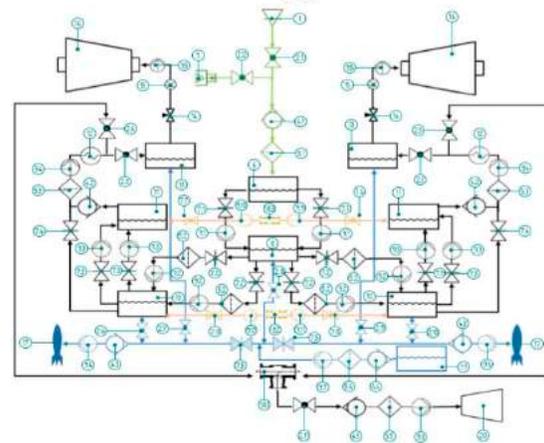


Fig. 2. Arquitectura del sistema

Luego de plantear la ubicación y cantidad de los tanques de combustible, se plantean 2 tanques de venteo, empleados para almacenar los gases generados por el combustible. Con esta información pueden establecer las líneas que conectan estos tanques entre sí y aquellas que conectan los tanques con el resto de los subsistemas. Teniendo esto, se proponen elementos que permitan la correcta transferencia de combustible, como lo son intercambiadores de calor, medidores de caudal, válvulas,

bombas y filtros. En la Fig.2 se observa el ruteo general de las líneas y la ubicación de componentes principales del sistema.

B. Emplazamiento del sistema: Se puede plantear el posicionamiento y dimensiones de cada elemento teniendo en cuenta las características y espacios que ofrece la estructura, para que a partir de los puntos anteriores se puedan proponer las dimensiones, sujeciones y posicionamiento de los componentes como bombas, válvulas y filtros dentro del sistema dependiendo de la disponibilidad de la estructura, considerando el peso y subsistema al que este pertenece (Sistema de alimentación del motor, Sistema de abastecimiento a terceros y Jettison y sistema de abastecimiento en tierra y vuelo).

Inicialmente, se procede a calcular los diámetros y presiones requeridos para las líneas, y así emplazar cada uno de los componentes basándose en esta información y en la arquitectura del sistema.

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{V \times \pi}} \quad (2)$$

El cálculo del diámetro de las líneas de combustible se realiza por medio de un proceso iterativo, utilizando la Ecuación (2). Inicialmente se asume que el diámetro (D) es de  $\frac{3}{4}$  in  $\approx 0.0625$ ft y que el flujo se comporta de manera laminar con un número de Reynolds (Re) menor a 2300, teniendo en cuenta información de varios manuales de aeronaves similares como la casa C 212 [2], se selecciona el caudal (Q) de 10L/min  $\approx 0,00589$  ft<sup>3</sup>/s, una velocidad (V) de 3.03ft/s, una presión de funcionamiento de 50

psi y se asume un Reynolds inicial de 2200.

Finalmente, se obtiene un diámetro de 0.588in, valor localizado entre diámetros estándar de 1/2in y 3/4in.

Después de realizar el cálculo de los diámetros se procede a calcular la potencia de las bombas con la Ecuación (3), esto se realiza por medio de las pérdidas primarias ( $S_p$ ) y secundarias ( $S_s$ ) de las líneas, de la densidad ( $\rho$ ) del combustible JP-4 que es de 48.38lb/ft<sup>3</sup> y asumiendo un cambio de presiones ( $\Delta P$ ) de 50 psi.

$$W_{bomba} = \left( \frac{V^2}{2g} + \frac{\Delta P}{\rho g} + (S_p + S_s) \right) * \rho g * Q \quad (3)$$

Se obtiene una potencia máxima de 0.079hp en el sistema Jettison, esto es justificable ya que es la línea más larga de todo el sistema. El emplazamiento de las líneas, válvulas, filtros y bombas se realiza por medio de abrazaderas metálicas, el tanque de carga paga por rieles y anillos, los tanques de combustible por bandas metálicas.

C. Costos del sistema: Se realizó un análisis de costos primitivo, que como se plantea en el libro de análisis de costos de Ricardo Billene hace referencia a aquellos componentes básicos para el correcto funcionamiento de un sistema, que en este caso son: bombas, filtros, válvulas, sensores de medición, líneas de combustible. Se tiene en cuenta únicamente el gasto final del producto que se requiere para desarrollar la actividad de abastecimiento de combustible y no su costo de producción. Se procede a seleccionar la referencia de cada componente que más se acomode a parámetros de selección como tamaño, rangos de

operación, facilidad de instalación, uso, peso, costo, para que con la referencia seleccionada se obtenga un valor aproximado del sistema.

También se adiciona el costo de importación de cada componente. El costo final del sistema teniendo en cuenta el valor bruto del componente y el valor de importación es de \$USD164.631.

#### IV. Resultados:

Para el cálculo de la cantidad de helicópteros AH-64L ARPIA que la aeronave SKIRON puede abastecer en vuelo con el tanque ubicado en la zona de carga paga, fue necesario conocer principalmente la velocidad de crucero y la capacidad de combustible con la que cuenta este helicóptero, así como también la capacidad del tanque de carga paga con el que cuenta la aeronave SKIRON. Se calculo la cantidad posible a abastecer bajo dos condiciones, la primera que el helicóptero tenga únicamente el combustible de reserva o la segunda que el helicóptero tenga la mitad de la capacidad de combustible, así como también el tiempo máximo de llenado de los tanques. A continuación, se muestran los datos requeridos.

##### AH-60L:

- Velocidad de crucero: 150 KIAS
- Velocidad máxima: 160 KIAS
- Cap. de combustible: 360 galones

##### SKIRON

- Velocidad de crucero: 245 KIAS
- Velocidad máxima: 275 KIAS
- Capacidad tanque carga paga: 430 galones.

Teniendo esta información, se calcula la cantidad de helicópteros que podría abastecer el SKIRON, dividiendo la capacidad del tanque SKIRON con la capacidad del tanque AH-60L. Bajo la primera condición se obtiene que puede abastecer 1.2 helicópteros y en la segunda condición 2.4 helicópteros.

El sistema de combustible queda conformado por un sistema Jettison, sistema de abastecimiento con sondas de reabastecimiento para reabastecimiento de la aeronave tanto en tierra como en vuelo, sistema de reabastecimiento a terceros y finalmente la alimentación del motor.

El método de emplazamiento de los componentes a la estructura es por medio de abrazaderas, bandas metálicas, rieles y sujeciones desmontables.

A la fecha, el ensamblaje del sistema en pesos colombianos tendría un valor de \$618.683.298COP.

#### V. Conclusiones:

El sistema de combustible desarrollado logra cumplir con los requerimientos iniciales de diseño, gracias a que la arquitectura suple los perfiles de misión establecidos en los cuales era requerido un sistema encargado de expulsar combustible en caso de emergencia, una sonda capaz de realizar reabastecimiento en vuelo y una sonda de reabastecimiento para reabastecer a terceros. Así mismo, el diseño del sistema logra cumplir con los requerimientos de almacenamiento establecidos inicialmente, gracias a que los tanques distribuidos en el ala poseen un

volumen disponible de 90.4ft<sup>3</sup> y el mínimo requerido para recorrer 2700km es de 55.09ft<sup>3</sup>, por lo tanto, el volumen sobrante permite que la aeronave cumpla con un mayor rango o un menor peso al despegue.

Al ubicar los componentes en la posición deseada se pudo determinar que la mejor manera de emplazarlos a la estructura es por medio de abrazaderas y sujeciones desmontables, puesto que los elementos que componen todo el sistema se someten a mantenimiento o cambio ya sea por falla o por daño estructural del componente y la manera más eficaz de realizar esto es desmontándola lo más sencillo posible.

Se evidenció que valor de importación incrementa en un 25% el valor del sistema, por lo que se puede afirmar que, al presente año el sistema tendría un valor de 618.683.298 COP, por lo cual se requiere adquirir los componentes en un momento en que el valor del dólar con respecto al peso sea menor y de esta manera se reduzca el costo del sistema.

#### Referencias

[1] Roy Langton, C. C. (2009). Aircraft Fuel Systems. United Kingdom: WILEY

[2] Casa C212 300 Manual de Mantenimiento. (1998, Junio 15).

[3] Mate, T. A. (S.F.). CHAPTER 4- JET AIRCRAFT FUEL AND FUEL SYSTEMS. CNATT Rate Training Manager, 46.

[4] Bolcom, C. (2006). Air Force Aerial Refueling Methods: Flying

Boom versus Hose-and-Drogue. Congressional Research Service - The Library of Congress, 11.

[5] Colella, R. (2017). Overweight Landing? Fuel Jettison? What to Consider. Boeing, 8.

[6] Federal Aviation Administration. (1976). Military And Civilian Aircraft Discharging Fuel In Flight. Department of Defense, 18.

#### INFORMACIÓN DE AUTORES

- Fabio Alejandro Merchán Rincón  
Universidad de San Buenaventura  
Carrera 8H #172-20  
3138911280  
Fmerchan@usbog.edu.co
- Mabel Hernández González  
Universidad de San Buenaventura  
Carrera 8H # 172 -20  
310-292-4298  
mfhernandez@academia.usbbog.edu.co
- Andrés Ramírez Herrera  
Universidad de San Buenaventura  
Carrera 8H # 172 -20  
310-275-2147  
asramirezh@academia.usbbog.edu.co

# CONCLUSIONES

ENCUENTRO DE  
INVESTIGACIÓN  
DESARROLLO E INNOVACIÓN  
EN EL SECTOR AERONÁUTICO

E-BOOK Memorias



## 5. Conclusiones

- Con el desarrollo de III Encuentro de Investigación, Desarrollo e Innovación en el sector aeronáutico, de manera virtual se logró una cobertura superior, alcanzando una participación de más de 700 personas a las diferentes actividades del evento todo el evento, es así como se abre un espacio que permite la socialización y discusión en temas relacionados con la aeronáutica y desarrollos tecnológicos del sector desde la academia. Encuentro que permite el fortalecimiento y desarrollo en los diferentes campos del conocimiento.
- El E-IDEA se ha convertido en un referente a nivel nacional e internacional de calidad y excelencia en la oportunidad de socializar los trabajos resultado de investigación tanto del sector académico como de la industria.
- Una vez más este espacio académico y científico despertó el interés y la necesidad de generar vínculos entre los investigadores para el desarrollo conjunto de proyectos y cooperación en sus investigaciones.
- Se inicia con la experiencia virtual una etapa de globalización para generar apropiación social del conocimiento, al incentivar masivamente la participación de la comunidad educativa, científica y productiva en la difusión de sus investigaciones y desarrollos tecnológicos.



Centro de Estudios Aeronáuticos  
Institución Universitaria

**III** **ENCUENTRO DE  
INVESTIGACIÓN  
DESARROLLO E INNOVACIÓN**  
**EN EL SECTOR AERONÁUTICO**

**E-BOOK Memorias**

**E·I·O·EA**

Bogotá, D.C. Colombia



AERONÁUTICA CIVIL  
UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL