



AGA

DIGITAL

**“El conocimiento
es el poder”**

● QUINTA EDICIÓN
FEBRERO 2022



COMITÉ EDITORIAL

Crnl. EMC Avc. Edwin Vargas M.
DIRECTOR ACADEMIA DE GUERRA AÉREA
PRESIDENTE COMITÉ EDITORIAL

Tcrn. EM. Avc. Álvaro Mejía C.
SUBDIRECTOR ACADEMIA DE GUERRA AÉREA

Tcrn. EMT. Avc. Paúl Mayorga
JEFE DPTO. ACADÉMICO AGA.

Mayo. Plto. Avc. Víctor Pozo
JEFE DPTO. SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN ACADÉMICA

Mayo. Plto. Avc. César Zurita
COORDINACIÓN GENERAL

SPNR. Ing. Patricia Peñafiel R.
DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

COLABORACIÓN

SPNR. Ing. Raúl Villarroel G.

SPNR. Lic. Julieta Reyes T.

Revista AGA DIGITAL
Academia de Guerra Aérea
Av. La Prensa y Carlos Quinto. Quito-Ecuador
e-mail: agapublicaciones@fae.mil.ec
<https://coed.mil.ec/eva/aga/user/agadigital>



Todos los derechos Reservados
Academia de Guerra Aérea 2022

AGA DIGITAL es un espacio para incentivar el desarrollo doctrinario, cultura organizacional y pensamiento sistémico en los Oficiales de la Fuerza Aérea Ecuatoriana. Su publicación es trimestral, exclusivamente en formato on-line. Las expresiones y opiniones vertidas en esta publicación, son propias de los autores y no representan una perspectiva institucional de la Fuerza Aérea Ecuatoriana y sus Unidades Orgánicas.

INDICE

PÁG.
07

1. Análisis de datos de trayectorias de vuelo previo a la implementación en sistemas de realidad virtual.
Autores: Tcrn. EMT. Avc. Arias E. Cristian, Mayo. Téc. Avc. Romero Juan, Capt. Téc. Avc. Zurita C. Marco A.

PÁG.
16

2. BENEFICIOS, CONNOTACIONES Y COMPLEJIDADES DEL DESARROLLO ESPACIAL EN EL ECUADOR.
Autores: Tcrn. EMT. Avc. Rivera Henry, Mayo. Téc. Avc. Costa Juan, Capt. Téc. Avc. Paredes Diego

PÁG.
26

3. La dialéctica entre la planificación institucional en el Ecuador y el desarrollo nacional, ¿tautología o realidad decantada?
Autores: Mayo. Tec. Avc. Danny Flor M. Academia de Guerra Aérea

PÁG.
33

4. Computación reconfigurable y sistema operativo en tiempo real, análisis y aplicaciones en uav's.
Mayo. Téc. Avc. Romero Juan, Capt. Téc. Avc. Carranco Andrés, Capt. Téc. Avc. Pachacama

PÁG.
49

5. Modelación y análisis del desempeño de radares monopulso de banda I frente a jamming por ruido
Mayo. Téc. Avc. Guerrero Esteban; Mayo. Téc. Avc. Gallegos Benavides, Julio

PÁG.
60

6. Propuesta de Sistema de Gestión de riesgo gestionando el factor humano en la Aviación de Combate para el periodo 2022 al 2024..
Autor: Mayo. Plto. Avc. Pavón Antonio

PÁG.
71

7. Integración de procesos, gestión del riesgo y automatización en la gestión de las unidades militares.
Autor: Gonzalo Benítez Lloré

PÁG.
89

8. Diseño y construcción de un sistema portátil para curado automático de materiales compuestos.
Autor: Carranco Herrera, Andrés Marcelo

PÁG.
110

Galería histórica
Presidente de la República, Dr. Rodrigo Borja Cevallos, impone la condecoración Abdón Calderón de Primera Clase al señor Tcrn. EM. Avc. Edmundo Baquero Madera quien obtuvo la primera antigüedad en el XIV Curso de Comando y Estado Mayor de la Academia de Guerra Aérea".

AGA DIGITAL



PRÓLOGO

En la era del conocimiento, las organizaciones se desarrollan y fortalecen gracias al poder transformacional de su gente. Para esto, un factor importante es su conocimiento, sea este empírico o teórico; sin embargo, el factor esencial para la transformación organizacional es la actitud, la cual surge de la motivación individual de cada persona y de su deseo de pertenencia a una misión colectiva, que supera el alcance individual de cualquier ser humano.

En la V edición de la revista “AGA DIGITAL” se presentan varios artículos elaborados por nuestros Oficiales, la mayoría de ellos participaron en el I Concurso de Ingenios Militares Aeroespaciales 2021 ejecutado por la Dirección de Desarrollo Aeroespacial. A través de estos artículos científicos podemos afirmar que nuestra Institución se encuentra orientada a la búsqueda de la excelencia y el mejoramiento continuo y que la creatividad en el momento de solucionar problemas organizacionales no está limitada a jerarquía alguna.

Es así que, con profunda satisfacción

afirmamos que la revista “AGA DIGITAL” está cumpliendo con su objetivo primordial: Fortalecer el pensamiento crítico, analítico, creativo y sistémico de los Oficiales de la Fuerza Aérea, a través de una herramienta institucionalizada para el efecto.

De todo desafío se abstraen enseñanzas y estas nos permiten mejorar nuestra productividad; por eso, este espacio faculta el canalizar las propuestas de todos los campos de carrera existentes en la Institución, y con el paso del tiempo, muchas de estas propuestas -aspiramos- lleguen a concretarse.

Por todo esto, quiero expresar mi más profundo agradecimiento, al mando institucional por su apoyo absoluto en este proyecto editorial, mismo que sin emplear recursos adicionales y con el apoyo de la Dirección de Comunicación Social se ha convertido en una de las alternativas más idóneas que tenemos a nuestro alcance para trascender a través del consciencia, demostrando una vez más que **“el conocimiento es el poder”**.

Edwin Vargas Martínez
CRNL. EMC. AVC.
Director Academia de Guerra Aérea



ARTÍCULOS



ANÁLISIS DE DATOS DE TRAYECTORIAS DE VUELO PREVIO A LA IMPLEMENTACION EN SISTEMAS DE REALIDAD VIRTUAL

Tcrn. EMT. Avc. Arias E. Cristian, Mayo. Téc. Avc. Romero Juan,
Capt. Téc. Avc. Zurita C. Marco A.

RESUMEN

Este trabajo de investigación busca estimar la posición y la orientación (Actitud de un avión) de las aeronaves de la Fuerza Aérea durante el cumplimiento de las diferentes misiones de vuelo que esta organización realiza, para esto se estudia la posibilidad de emplear diferentes modelos matemáticos entre los cuales destacan las matrices de traslación y rotación, conversión de coordenadas Geográficas a UTM, regresiones polinomiales, cálculo del error cuadrático medio, y la definición de derivada; La información necesaria para el empleo de mencionados modelos es recopilada a través de componentes electrónicos que deberán ser instalados en las aeronaves objeto de análisis, una vez finalizada la misión de vuelo la información recopilada es procesada y presentada gráficamente a través de MatLab lo cual permitirá un análisis y evaluación del desempeño de la misión de vuelo, este análisis es previsto para luego ser implementado en plataformas de realidad virtual como Unity.

PALABRAS CLAVE:

Actitud de un avión, coordenadas Geográficas, coordenadas UTM, Matriz de Rotación.

ABSTRACT:

This research work seeks to estimate the position and orientation (attitude of an aircraft) of the Air Force aircraft during the fulfillment of the different flight missions that this organization performs, for this the possibility of using different mathematical models is studied, among which the translation and rotation matrices, conversion of geographic coordinates to UTM, polynomial regressions, calculation of the mean square error, and the definition of derivative stand out; The necessary information for the use of these models is collected through electronic components that must be installed in the aircraft under analysis, once the flight mission is completed the information collected is processed and presented graphically through MatLab which will allow an analysis and evaluation of the performance of the flight mission, this analysis is planned to then be implemented in virtual reality platforms such as Unity.

Translated with www.DeepL.com/Translator (free version).

Keywords: Aircraft attitude, Geographic coordinates, UTM coordinates, Rotation Matrix.

INTRODUCCIÓN

Las Fuerza Aérea Ecuatoriana en cumplimiento con su misión “Desarrollar la capacidad militar aeroespacial, que garantice la defensa de la soberanía e integridad territorial; y, apoyar con su contingente al desarrollo nacional y a la seguridad pública y del Estado” (MISIÓN/ VISIÓN – Fuerza Aérea Ecuatoriana, s. f.) cumple con diversas actividades alrededor del país, para lo cual emplea sus medios aéreos como unidades ejecutoras. Es en este sentido

que el personal de tripulaciones de vuelo tanto mayores como menores se encuentran en constante entrenamiento y preparación.

Para el cumplimiento de las misiones de vuelo las tripulaciones mayores y menores realizan un análisis previo de la misión en donde se considera los procedimientos, la ruta, los pesos, la carga, el tipo de misión, etc. Esta información es posteriormente analizada luego del vuelo con el objetivo de realizar una mejora continua en los procedimientos establecidos.

El sistema propuesto está compuesto por componentes electrónicos que almacenarán los datos principales de una misión de vuelo, posteriormente se presentará en una interfaz gráfica proporcionada por Matlab, la cual por su naturaleza es interactiva permitiendo al usuario cambiar el ángulo de visión, así como seleccionar un punto en específico de la trayectoria para ver sus datos. (MATLAB - El lenguaje del cálculo técnico - MATLAB & Simulink, s. f.).

MATERIALES Y METODOLOGÍA

Para la estimación de la actitud y posición geográfica de la aeronave objeto de interés durante el cumplimiento de una misión de vuelo es necesario almacenar los datos básicos de la aeronave:

- Pitch
- Yaw
- Roll
- Latitud y Longitud

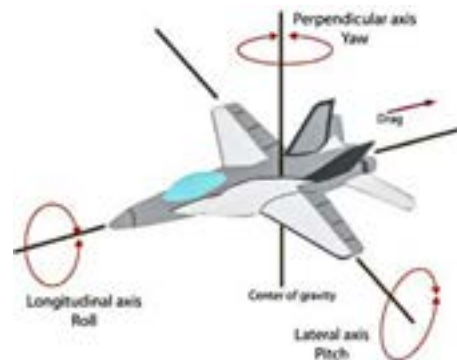


Ilustración 1 Ilustración Pitch Yaw Roll Aeronave

Esta información es almacenada a través de una Raspberry Pi 4 la cual es una computadora de propósito general que trabaja bajo un sistema operativo basado en Linux (¿Que es Raspberry Pi?, s. f.). Este dispositivo fue integrado mediante programación en Python con un sensor inercial IMU-GPS.



Ilustración 2 Componentes Electrónicos

Componentes electrónicos:

- Raspberry Pi-4
- Sensor IMU-GPS
- Power Bank 25800 mAh
- Antena GPS SM-19

Componentes Software:

- Python
- MatLab
- Unity

Los datos de los sensores inerciales, así como los del GPS son capturados con una frecuencia de refrescamiento de 0.7 segundos en un archivo con extensión .CSV, tiempo establecido que demostró tener una estimación prudente y al mismo tiempo evitar la saturación del dispositivo lo que acarrearía la pérdida considerable de datos.

Una vez que los componentes electrónicos se encontraron configurados correctamente se procedió con la realización de pruebas progresivas para determinar el alcance del proyecto, para este propósito se estableció 4 fases.

La primera fase consistió únicamente en pruebas estáticas para comprobar la funcionalidad, exactitud y precisión de los componentes electrónicos. En esta fase se determinó que la antena GPS seleccionada proporcionaba una exactitud no mayor de los 5 metros y la pérdida de datos no era mayor a 10 segundos, adicionalmente la información proporcionada por el sensor IMU al no depender de ningún componente externo se mantuvo registrando datos. Con estas consideraciones, el sistema planteado en el presente trabajo de investigación considera el uso de regresiones para estimar los datos faltantes, algunos autores estiman los datos faltantes mediante regresión. (Granados, s. f.)

Las coordenadas registradas por el GPS proporcionan valores estimados del posicionamiento y existe una variación en las mismas aun a pesar de que el dispositivo se encuentre en estado estacionario. Para evitar la visualización de un movimiento errático durante el vuelo producto de esta estimación se vio como alternativa de solución la utilización de regresiones.

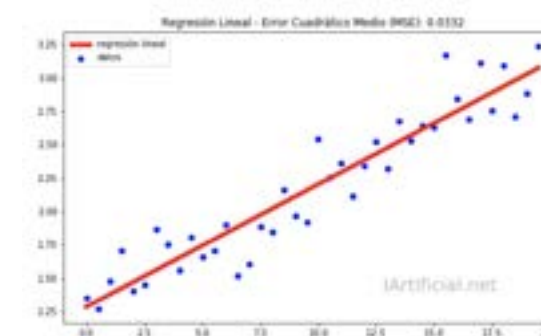


Ilustración 3 Ejemplo de uso de regresiones

La regresión lineal es considerada para las trayectorias en las que la aeronave realice un vuelo recto y nivelado..

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x^2 + \beta_3 x^3 + \dots + \beta_k x^k + e_i \quad (1)$$

En el caso particular de una variable independiente:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 \quad (2)$$

En vista de que los movimientos de una aeronave en vuelo no son totalmente lineales, sino que presentan curvaturas en su trayectoria se vio conveniente la utilización de una regresión polinomial, cuyo orden del polinomio elegido es de segundo orden por su simplicidad en su implementación, además se consideró que una parábola se ajustaría de manera adecuada los virajes de una aeronave en vuelo.

La regresión polinómica es un caso especial de la regresión múltiple (Ostertagová, 2012), con una sola variable independiente X y su representación está dada por la formula:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + e_i \quad (3)$$

Para el calculo de los coeficientes de la regresión se usará la definición de error mínimo aplicado en (2).

$$S_r = \sum (y_i - \beta_0 - \beta_1 x - \beta_2 x^2) \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 y_i \end{bmatrix} \quad (5)$$

La trayectoria de la aeronave puede entonces ser determinada utilizando el uso selectivo de la regresión lineal o la regresión polinómica. Para la automatización de esta selección se divide por tramos la información almacenada en la raspberry, a cada tramo de datos se le aplica tanto la regresión lineal como la regresión polinómica y se estima el error cuadrático medio de ambas regresiones, la que posea el menor valor del error será la que se almacene como información a ser representada.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (y_j - \hat{y}_j)^2} \quad (6)$$

Para obtener los coeficientes de nuestro modelo se procedió a la Fase 2 la cual consistía en llevar el dispositivo en un vehículo en movimiento y capturar datos del recorrido efectuado, con esta información almacenada se realiza el algoritmo computacional en MatLab para realizar la regresión polinomial correspondiente, en vista de que es imposible realizar una regresión por todo el conjunto de datos capturados en el recorrido, se realizó una partición de los datos en partes iguales y con los datos de cada una de las partes se realizó la regresión respectiva.

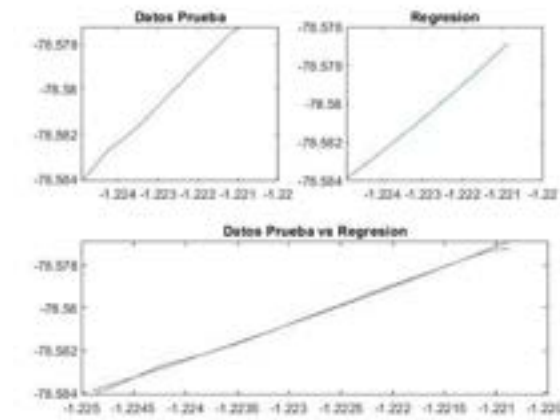


Ilustración 3 Implementación de regresión MatLab 1 partición

Como se puede observar en la figura 3 la regresión se ajusta de manera adecuada con la ventaja de reducir la dispersión de los datos producidos por la precisión del GPS dando una figura más estilizada y consecuente con el seguimiento de la trayectoria realizada.

Al unir las regresiones de las diferentes particiones podemos observar el recorrido total del dispositivo, las primeras pruebas fueron realizadas en un vehículo terrestre convencional entre 2 ciudades vecinas Ambato – Latacunga, y Latacunga – Quito, los resultados obtenidos fueron satisfactorios.

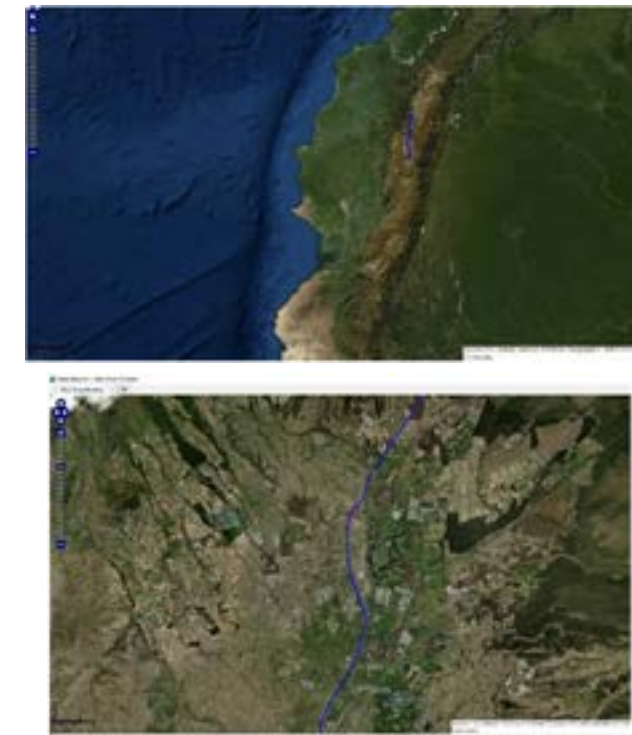


Ilustración 4 Pruebas recorrido Ambato – Latacunga

Para poder visualizar la actitud de la aeronave se emplea los datos de los sensores inerciales los cuales presentan los valores de rotación en los ejes x,y,z. mismos que corresponden al Roll, Pitch, y Yaw respectivamente (Sensor inercial o Sensor IMU - Ingeniería Mecafenix, s. f.). Estos valores son almacenados y utilizados a través del empleo de matrices de rotación y traslación.

Las matrices de rotación y de traslación permiten mover un objeto de tal manera que el eje de rotación pase a través de la coordenada de origen.

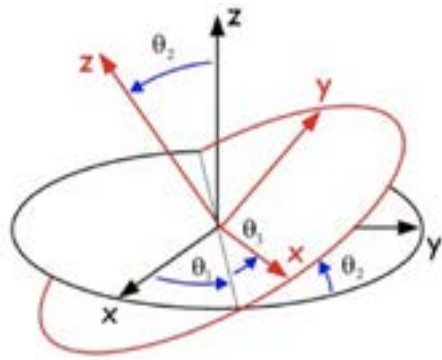


Ilustración 5 Movimientos en los ejes X,Y y Z

$$R_z(\theta) = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$R_x(\theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ 0 & \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$R_y(\theta) = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & 0 & \sin(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (9)$$

Usando las matrices de rotación y propiedades de los vectores podemos representar gráficamente el giro en Pitch, Yaw, y Roll de las aeronaves. Es decir que para obtener los valores correspondientes a la rotación en el eje x se establece la siguiente formula.

$$\begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} \quad (10)$$

con $i = 1, 2, \dots, n$

En donde x_0, y_0, z_0 son las coordenadas referenciales o coordenadas de origen y x_i, y_i, z_i son las coordenadas resultantes luego de la aplicación de la matriz de rotación.

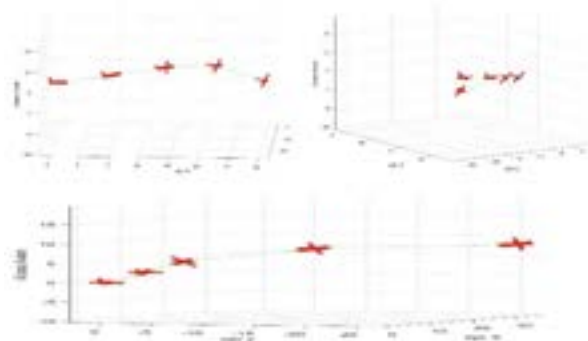


Ilustración 6 Pruebas Rotación MatLab

Para la traslación es necesario la representación de la superficie terrestre (esfera o elipsoide de revolución) sobre una superficie plana, buscando minimizar las deformaciones angulares, lineales o superficiales, para este trabajo se ha convenido utilizar coordenadas UTM por su amplio uso a nivel mundial, la cual tiene sus orígenes en su aplicación para las operaciones militares.

Las fórmulas utilizadas se encuentran descritas en (Antonio et al., 2020) donde se describe como obtener las coordenadas UTM a partir de coordenadas geográficas.

$$x = f_1(\phi, \lambda) \quad (11)$$

$$y = f_2(\phi, \lambda) \quad (12)$$

Y viceversa

$$\phi = F_1(x, y) \quad (13)$$

$$\lambda = F_2(x, y) \quad (14)$$

Una de las características del sistema electrónico implementado es que además de almacenar la información del sensor IMU y el GPS es que se puede almacenar los valores del tiempo del reloj interno del sistema. Con este valor almacenado es posible calcular la velocidad en cada punto mediante la definición de derivada.

$$v = \frac{ds(t)}{dt} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{s(t+h) - s(t)}{h} \quad (15)$$

Expresada en tiempo discreto

$$v = \frac{S_{i+1} - S_i}{h} \quad (16)$$

En donde:

v = Velocidad en cada punto almacenado

S_i = Ubicación en el momento i tanto en x como en y

S_{i+1} = Ubicación en el momento $i+1$ tanto en x como en y

h = Tiempo de refrescamiento en el almacenamiento de datos del sistema.

RESULTADO

Luego de implementar los diversos algoritmos en Python y Matlab se procedió con la siguiente fase, la cual consistía en colocar el dispositivo dentro de una aeronave, en primera instancia funcionó hasta llegar a la cabecera de la pista, una vez que se inició la fase de despegue se perdió la conexión con el GPS sin embargo el dispositivo IMU se mantuvo grabando la información de vuelo, de esta manera se puede representar la actitud de la aeronave durante toda la fase de vuelo pero su traslación aún no puede ser representada.



Ilustración 7 Prueba pista Aeropuerto Latacunga

Con el desarrollo del proyecto se ha resuelto mejorar la antena del GPS utilizando el dispositivo GPS SM-19, mismo que presenta mejoras en sus prestaciones en cuanto a tiempos de respuesta y precisión. Se espera futuras pruebas del sistema con estas mejoras para resolver el problema de la representación de la trayectoria de vuelo.



Ilustración 7 Ejemplo implementación Unity

CONCLUSIONES

El sistema fue probado en diversas fases para comprobar su alcance, donde se determinó que dentro de un vehículo terrestre no perdió la señal durante su trayectoria entre dos ciudades cercanas (126.5 km).

La regresión polinomial permite presentar la trayectoria seguida por el dispositivo minimizando la percepción del error de precisión propia de los dispositivos GPS.

El dispositivo podría ser utilizado en vehículos terrestres, así como aeromodelos, donde se podría visualizar en 3d las trayectorias seguidas.

Es necesario un análisis más detallado de la aplicación del presente trabajo en una aeronave.

REFERENCIAS

- Antonio, Z. C. M., Geovany, A. C. W., & Xavier, E. C. V. (2020). Toward the development of surveillance and reconnaissance capacity in Ecuador: Geolocation system for ground targets based on an electro-optical sensor. En *Developments and Advances in Defense and Security* (pp. 123-133). Springer.
- Granados, R. M. (s. f.). Modelos de regresión lineal múltiple. 61.
- MATLAB - El lenguaje del cálculo técnico—MATLAB & Simulink. (s. f.). Recuperado 1 de julio de 2021, de <https://la.mathworks.com/products/matlab.html>
- MISIÓN/VISIÓN – Fuerza Aérea Ecuatoriana. (s. f.). Recuperado 28 de octubre de 2021, de <https://www.fae.mil.ec/mision-vision/>
- Ostertagová, E. (2012). Modelling using Polynomial Regression. *Procedia Engineering*, 48, 500-506. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.09.545>
- ¿Que es Raspberry Pi? - Raspberry Pi. (s. f.). Recuperado 1 de julio de 2021, de <https://raspberrypi.cl/que-es-raspberry/>
- Sensor inercial o Sensor IMU - Ingeniería Mecafenix. (s. f.). Recuperado 28 de octubre de 2021, de <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensor-inercial/>



ARTÍCULO Nro. 2

BENEFICIOS, CONNOTACIONES Y COMPLEJIDADES DEL DESARROLLO ESPACIAL EN EL ECUADOR.

Tcrn. EMT. Avc. Rivera Henry, Mayo. Téc. Avc. Costa Juan,
Capt. Téc. Avc. Paredes Diego

RESUMEN

El espacio ultraterrestre y todas las posibilidades tecnológicas que ofrece constituye un facilitador de soluciones orientadas a diferentes propósitos, como la atención a las diferentes necesidades de la sociedad, el apoyo en la toma de decisiones y la creación de diversas políticas públicas por parte de los gobiernos, de la misma manera constituye un motor para el desarrollo e innovación tecnológica, al igual que un impulso en el sector industrial y otros sectores, para la creación de aplicaciones y servicios de alto valor agregado y, finalmente, la atención de los principales desafíos mundiales que son de interés de todos.

En la primera parte de este artículo se muestran los beneficios, connotaciones, complejidades y particularidades que deben ser consideradas en el Desarrollo Espacial en el marco de los Tratados y Principios del Espacio Ultraterrestre y con la concepción de actividades que deben ser desarrolladas en un ambiente de paz y colaboración mutua para el progreso y beneficio de toda la humanidad, sin embargo también se hace notar la tendencia y prospectiva de las operaciones militares que son cada vez más dependientes de la tecnología espacial.

En la segunda parte de este documento se desarrollan los principales ejes estratégicos sobre los cuales se plantea el escenario adecuado para propiciar el desarrollo espacial en el Ecuador, tales como el desarrollo de talento humano, procesos de I+D+i vinculados al ámbito espacial, el desarrollo de infraestructura espacial, la importancia del relacionamiento interinstitucional, el desarrollo de normatividad para las actividades espaciales y el impulso de la conciencia y cultura espacial en la colectividad.

Para la tercera parte se desarrolla una propuesta de planes, programas y proyectos fundamentados en tres ejes principales que son el desarrollo del segmento terreno, el desarrollo del segmento espacial y el desarrollo de normatividad de actividades espaciales en el Ecuador, bajo el entendimiento de que la utilización de tecnología espacial aplicada a las distintas áreas de la actividad nacional, poseen una dimensión estratégica, en cuanto pueden generar importantes beneficios sociales, productivos y económicos para el Ecuador.

PALABRAS CLAVE:

Espacio Ultraterrestre, Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i)

I. Importancia, connotaciones y particularidades del Desarrollo Espacial

El desarrollo espacial es un ejemplo de las posibilidades que ofrecen las ramas más intensivas del conocimiento, se trata de una actividad estratégica donde el cambio tecnológico exhibe un gran dinamismo y donde los avances científicos son una fuente de oportunidades de innovación y desarrollo a nivel institucional y nacional; en tal virtud los beneficios de disponer de una organización encargada de realizar investigación, desarrollo e innovación en el ámbito espacial tendría como finalidad apoyar al desarrollo, defensa y seguridad integral del Estado y por ende al desarrollo de la industria espacial, el cual es uno de los principales sectores que requieren incentivo para mejorar la competitividad y productividad, y el cual se alinea con la misión y visión de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

Otro beneficio importante es el fomento de conocimiento, tecnología y capacidades de economía productiva, a partir de la promoción de servicios espaciales, encausando el desarrollo y la integración de la tecnología y la industria espacial a sus activos sociales y económicos, incluyendo la educación del futuro; en este contexto la I+D+i es una combinación determinante que al ser promovida adecuadamente en el Ecuador permitirá generar la inclusión de los beneficios del espacio que son extrapolables tanto para el Sector de Seguridad y Defensa como de Apoyo al Desarrollo.

En resumen las capacidades que ofrece el espacio ultraterrestre deriva en una amplia variedad de beneficios enfocados a la optimización de sus recursos socioeconómicos en la toma de decisiones, y en una situación invaluable de oportunidades tecnológicas y comerciales de alta rentabilidad; con lo anteriormente mencionado la Fuerza Aérea en general se beneficiaría con el desarrollo de doctrina y nuevas capacidades operativas que al ser aplicables para el sector Defensa, también lo son para el sector de apoyo al desarrollo y de la sociedad civil en general.

Producto de la Guerra Fría y las tensiones que se generaron entre los Estados Unidos y la Unión Soviética, hace un poco más de 60 años inicia la carrera espacial, donde cada potencia competía por lograr nuevas hazañas en el espacio y demostrar su superioridad. Actualmente, aunque mucho permanece igual, otras cosas han cambiado, hoy en día los actores espaciales abarcan un amplio espectro de entidades gubernamentales y no gubernamentales las cuales representan diversos raciocinios, objetivos y actividades.

Más de 70 Estados, empresas comerciales y organizaciones internacionales operan actualmente alrededor de 1,500 satélites en la órbita terrestre, impulsados principalmente por los beneficios de la tecnología espacial y la reducción de barreras a la participación, y sin embargo el número de actores espaciales aumenta.

Esta expansión tiene diversas ventajas y desventajas, por un lado, la humanidad se dirige a un gran incremento de innovaciones tecnológicas, a menores costos y a un mayor acceso a los servicios y facilidades que ofrecen los satélites; no obstante, el crecimiento acelerado en las actividades espaciales y la influencia de nuevos actores puede alterar y exacerbar las presentes amenazas para la sostenibilidad a largo plazo del espacio. Estas amenazas contemplan la saturación de órbitas, la interferencia de radiofrecuencias y las posibilidades de que ocurra un incidente en el espacio, provocando o intensificando las tensiones geopolíticas en la Tierra.

Es así, que sobre la base de estas connotaciones radica la importancia y necesidad de promover la creación de una organización vinculada a la gestión de actividades y desarrollo espacial en el Ecuador desde el ámbito gubernamental y con el liderazgo de la

Fuerza Aérea Ecuatoriana, así como la implementación de una política espacial nacional donde se establezcan las bases que ayuden a estimular la innovación, tecnología e infraestructura necesarias para dar el salto a la consolidación de un sector espacial, en la Fuerza Aérea y en el Ecuador en general.

Por otro lado, al hablar de actividades espaciales es necesario referirse a los marcos jurídico y regulatorios internacionales, comenzando con los derechos y obligaciones establecidos en el Tratado del Espacio Ultraterrestre (OST, por sus siglas en inglés) y los subsecuentes tratados espaciales que lo amplían y desarrollan y, principalmente, las obligaciones de los tratados en términos de responsabilidad internacional del Estado y registro internacional de objetos espaciales.

En este mismo orden de ideas es necesario manejar temas relacionas al impacto ambiental que conllevan las actividades espaciales, tal como la protección del ambiente terrestre, la contaminación al reingreso a la Tierra de las misiones espaciales, las fuentes de energía nuclear en el espacio, los desechos espaciales y la protección de los cuerpos celestes, y no menos importante las cuestiones de fondo, como los aspectos no resueltos relativos a la falta de una definición legal sobre la delimitación del espacio ultraterrestre, el estatus jurídico y la protección de los seres humanos en el espacio, además de la utilización de los recursos espaciales.

Este marco internacional para el desarrollo de las actividades espaciales debe ser incorporado y comprendido por los nuevos actores estatales que buscan comenzar o expandir sus competencias, así como por los nuevos actores no estatales como una debida diligencia para comprender de mejor forma los procesos de regulación, que en términos generales, tres son los principios esenciales se encuentran en el corazón del marco internacional de las actividades espaciales: la libertad de la exploración y uso del espacio, uso del espacio con fines pacíficos y la responsabilidad del Estado en las actividades espaciales. Estos principios, contenidos en los cinco tratados fundamentales del espacio forman la base del derecho espacial internacional del espacio y se reflejan en muchos de los otros mecanismos jurídicos y políticos que también constituyen el marco internacional de las actividades espaciales.

Por otro lado, si bien es cierto las actividades espaciales deben realizarse en el marco de los tratados y principios del Espacio Ultraterrestre en un esquema de uso pacífico, también es cierto que implícitamente todas las operaciones militares en el futuro, en todo el espectro del conflicto, dependerán del espacio y del ciberespacio para lograr su misión. Desde las operaciones de tipo humanitarias hasta aquellas que implican enfrentamientos bélicos, no tendrán efectividad sin las capacidades que se obtengan desde el espacio y ciberespacio; inclusive hoy en día a nivel de las grandes potencias, todos los servicios se basan en las capacidades suministradas por estos dominios, desde ellos y a través de ellos.

Los sistemas espacial y ciberespacial proveen la capacidad en tiempo casi real de correlacionar información y datos en todo los instrumentos de poder nacionales, es así que, la información global del espacio y ciberespacio proporciona el “sistema nervioso” para la toma de decisiones de los comandantes militares. Esto brinda a los comandantes y líderes nacionales una ventaja competitiva o superioridad en la toma de decisiones.

El escenario prospectivo ideal para que nuestro país pueda acceder a todos los beneficios que otorgan las capacidades espaciales, es propiciar las condiciones habilitantes y el entorno institucional adecuado a través de la creación de una organización encargada

de gestionar las actividades espaciales y el desarrollo espacial nacional, con una visión de largo plazo, a través del fomento de un ecosistema espacial que esté orientado a la productividad y competitividad del Ecuador, con aplicaciones que ofrezcan beneficios sociales y económicos derivados del uso, explotación y aprovechamiento del espacio, con mayores oportunidades para el desarrollo del conocimiento, la innovación y el emprendimiento en el campo de la ciencia y tecnología espacial, en un entorno favorable para el progreso de tales actividades y con aplicaciones espaciales al servicio de los ciudadanos, del sector productivo, de la gestión del Estado y en pro de la defensa y la soberanía nacional.

II. Ejes estratégicos para el Desarrollo Espacial en el Ecuador

La Dirección de Desarrollo Aeroespacial es la organización a través de la cual la Fuerza Aérea Ecuatoriana ha concebido la materialización de una planificación orientada al Desarrollo Espacial, para lo cual se ha estructurado los siguientes ejes considerados estratégicos a través de los cuales se debe sustentar y materializar las actividades orientadas al desarrollo espacial nacional:

a. Desarrollo de Talento Humano

El factor más importante para alcanzar una independencia tecnológica en el ámbito espacial depende sustancialmente de la construcción de un capital social, con capacidades científicas y tecnológicas profesionales y para la cual, la formación académica de talento humano especializado es el catalizador del pensamiento crítico, creativo y la curiosidad científica.

Contar con talento humano especializado en el ámbito espacial es el factor clave para generar las capacidades necesarias, para la generación de tecnología, utilización de aplicaciones espaciales y generación de políticas espaciales con el fin de potenciar el desarrollo científico y tecnológico para beneficio institucional y nacional.

Un desarrollo exponencial en las actividades espaciales modernas ha creado la necesidad global y cada vez más apremiante, de contar con profesionales sumamente especializados en la mayoría de las áreas del saber humano, sin restringirse únicamente al manejo de imágenes satelitales (sector tradicional), sino que se extiende a una serie de productos y servicios derivados del uso, exploración y aplicaciones del espacio. En el sector tradicional, la mayor parte de la fuerza de trabajo tiene grados académicos en ciencias, matemáticas, ingeniería e informática, mientras que el sector moderno requiere de una amplia gama de especializaciones que van desde la ingeniería tradicional, hasta áreas de relacionamiento diplomático y del derecho espacial internacional.

Para poder estructurar una agenda espacial a largo plazo es imperativa la necesidad de potenciar el desarrollo de profesionales y técnicos especializados en diversas áreas del campo de la ciencia, tecnología y derecho espacial, para lo cual es totalmente necesario estructurar convenios, memorandos de entendimiento y cualquier figura colaborativa con instituciones educativas nacionales e internacionales para fomentar un programa de formación de tercer y cuarto nivel para miembros de la institución así como también para personal civil en general.

b. Investigación, Desarrollo e Innovación.

El momento crítico que se vive a nivel mundial representa un desafío y una oportunidad para aprovechar el amplio horizonte que a nivel global se realizan

dentro del contexto de la investigación, desarrollo tecnológico y variedad de aplicaciones innovadoras derivadas de las actividades espaciales, con el objetivo imprescindible de abrir nuevas posibilidades y beneficios que ofrece el desarrollo espacial a nivel mundial.

En este contexto es imperativo establecer una sinergia entre la Fuerza Aérea Ecuatoriana, los Institutos Públicos de investigación, universidades nacionales e internacionales, agencias espaciales amigas, empresas públicas y privadas y la sociedad en general, para lo cual es necesario que exista un organismo encargado de gestionar las actividades y desarrollo espacial, bajo el liderazgo de la Fuerza Aérea, y que además disponga de la representatividad legal en materia espacial, así como poseer el marco legal y normativo para desarrollar este tipo de actividades en materia espacial en el Ecuador.

c. Desarrollo de la Infraestructura espacial

La infraestructura espacial de un país constituye un pilar fundamental para el desarrollo de tecnología espacial. Es necesario contar con infraestructura espacial como laboratorios, talleres, software y hardware especializado que proporcionará beneficios económicos directos e indirectos que se traducirán en beneficio institucional y del país en general, traducidos en generación de empleo, así como también de conocimiento.

Como parte de la Infraestructura espacial, el Ecuador, dispone de la Estación Terrena Cotopaxi, la cual constituye una infraestructura tecnológica de utilidad para estructurar proyectos de I+D+i en el ámbito espacial, en años anteriores disponía de las capacidades y presupuesto para acceder a la información satelital que es básica para el estudio de los recursos naturales del país, sin embargo hoy por hoy sus equipos se encuentran en estado de obsolescencia razón por lo cual es necesario impulsar programas y proyectos encaminados a su modernización y repotenciación y que tengan beneficio para el sector defensa como apoyo al desarrollo.

Se debe considerar que todos los países de la región se encuentran en franco desarrollo en el diseño y construcción de satélites de diversas capacidades y aplicaciones por lo cual es imperiosa la necesidad de contar en el país con infraestructura de laboratorios que servirán como línea base para el desarrollo de las siguientes líneas de investigación que aporten a capacidades operativas de beneficio institucional.

d. Relacionamiento Interinstitucional

A diferencia de otros sectores industriales, el sector espacial para poder desarrollarse presenta una serie de factores de gran complejidad en la cual se requiere el concurso y colaboración de socios estratégicos que ya tengan un nivel de experticia y experiencia en este ámbito, de ahí que los convenios buscan fortalecer, complementar y estructurar capacidades en el marco de la ejecución de proyectos bajo un marco de colaboración mutua que permita alcanzar capacidades y objetivos que tengan horizontes de beneficio común.

La Fuerza Aérea Ecuatoriana a través de la Dirección de Desarrollo Aeroespacial está empeñada en proponer y concretar figuras colaborativas con organizaciones referentes en el ámbito espacial, a través de las cuales se llegue a coordinar acciones para articular y promover actividades conjuntas para el estudio, análisis, desarrollo, ejecución, financiamiento y difusión de la investigación científica y desarrollo tecnológico en las diferentes líneas y proyectos de investigación definidas en el ámbito del espacio aéreo y espacio ultraterrestre.

e. Normatividad para actividades espaciales

Es necesario plantear y consolidar una política pública desde la cual se generen las condiciones habilitantes para que el país pueda explotar el sector espacial para mejorar la productividad, la diversificación y la sofisticación de las actividades espaciales, además en los foros a nivel mundial la UNOOSA recomienda a todos los países miembros de las Naciones Unidas que estén comprometidos con el desarrollo espacial, el impulsar normativas y legislación de las actividades espaciales en armonía con los Principios y Tratados del Espacio Ultraterrestre.

La generación de una política pública para el sector espacial, debe contribuir al crecimiento sostenible del país en dos vías: impulsando el desarrollo de industrias nacionales para la generación de una economía intensiva en conocimiento, la creación de empleo calificado, y la diversificación del aparato productivo del país; y promoviendo el cierre de brechas socioeconómicas, con una mayor cobertura de servicios públicos estratégicos con aplicabilidad para el sector defensa y apoyo al desarrollo.

Finalmente es importante manifestar que la Fuerza Aérea Ecuatoriana, a través de la Dirección de Desarrollo Aeroespacial asume con responsabilidad el compromiso que representa fortalecer la Conciencia Espacial y despertar el interés nacional por todas las actividades que se realizan en el espacio.

III. Propuesta de Plan de Desarrollo Espacial

La Dirección de Desarrollo Aeroespacial ha estructurado una propuesta de Plan de Desarrollo Espacial el cual contempla el desarrollo de programas y proyectos que tienen como propósito esquematizar un conjunto de estrategias que promuevan el desarrollo espacial en la Fuerza Aérea extrapolando el beneficio a nivel nacional, bajo el entendimiento de que la utilización de tecnología espacial aplicada a las distintas áreas de la actividad nacional, poseen una dimensión estratégica, en cuanto pueden generar importantes beneficios sociales, productivos y económicos para el Ecuador, alcanzando un real ejercicio de la soberanía espacial y el posicionamiento de ingenios espaciales en las distintas órbitas terrestres, así como el aprovechamiento de todas las oportunidades que ofrece el desarrollo espacial.

Por esta razón se ha delineado los siguientes programas que son transversales en utilidad y aplicabilidad para el desarrollo tecnológico espacial que comprende el segmento terreno, espacial y cargas útiles, así como también desarrollar la base legal y normativa en el ámbito espacial:

a. Programa de Desarrollo de Productos y Servicios Especializados en el Ámbito Espacial.

El objetivo de este programa es traducir en productos y servicios especializados los resultados del proceso de investigación, desarrollo e innovación de segmento terreno y las tecnologías asociadas al mismo, para ello es necesario fomentar y estructurar figuras legales colaborativas que se logren a través de convenios, memorandos de entendimiento, etc., que se pudiesen estructurar con organizaciones nacionales e internacionales en el ámbito espacial.

Es necesario disponer de la capacidad que permita ofrecer productos y servicios relacionados al manejo, interpretación, y difusión de información satelital, y que esté en armonía con el desarrollo de ciencia e ingeniería relacionada a misiones

espaciales focalizadas en el segmento terreno, facilidades de planificación inteligente, simulación de misiones y procesamiento de datos adquiridos, que contemplan un proceso de generación constante de valor agregado de beneficio para el sector defensa como apoyo al desarrollo.

La Observación de la tierra permite realizar trabajos de apoyo al sector defensa, realizando el análisis e interpretación de imágenes satelitales de alta resolución para identificar áreas sensibles, estratégicas y de interés para la defensa, seguridad en sí a las Fuerzas Armadas como son: la identificación de pasos fronterizos no autorizados, pistas ilegales y áreas preparadas para el aterrizaje, deforestación ilegal, minería ilegal, identificación de cultivos ilícitos, entre otros productos que serían entregados al CCFFAA en apoyo a la planificación de las Operaciones Militares y el actual monitoreo de la frontera norte; en el marco del proyecto de Monitoreo de la Frontera Marítima y Terrestre.

b. Programa de Desarrollo Satelital

El objetivo de este programa es disponer de tecnología relacionada al desarrollo satelital y de cargas útiles ya sea a través de tecnología propia o bajo figuras de licenciamiento o transferencia tecnológica que se obtengan a través de consorcios, figuras legales colaborativas, convenios, memorandos de entendimiento, etc., las cuales se pudiesen estructurar con organizaciones nacionales e internacionales relacionadas al ámbito espacial.

La capacidad de observación de la tierra es derivada a las capacidades que se alcancen a través de la tecnología espacial, mediante el uso de satélites y con beneficio para todas las instituciones que planifican el territorio dentro de un estado, incluyendo el componente de seguridad y defensa, permitiendo la planificación y materialización de zonas de seguridad, control territorial, control fronterizo y monitoreo permanente.

c. Programa de Desarrollo de Normativa de actividades espaciales

El desafío de la cooperación internacional en el ámbito de las ciencias espaciales se encuentra marcado por una barrera económica y tecnológica en la transferencia de conocimiento y tecnología espacial, la cual requiere de estrategias sustentables en el ámbito del derecho internacional público y privado, así como en la aplicación de políticas globales para vencer este tipo de bloqueos, que alcancen un libre comercio de tecnología espacial.

Para insertarse firmemente en el contexto global, nuestro país requiere fortalecer su posicionamiento científico, tecnológico e industrial, ya que ello le permitirá defender sus intereses en materia espacial, como las posiciones orbitales, atribuciones de frecuencias radioeléctricas, el cumplimiento de los tratados internacionales y el aprovechamiento de los recursos que el espacio pueda proveer para nuestro país.

En materia de derecho espacial, nuestro país requiere crear un marco normativo interno fuerte, que regule las actividades espaciales dentro del territorio nacional, no solo como una institucionalidad de control, sino primordialmente como un medio que coordine e integre todas iniciativas nacionales de investigación, desarrollo tecnológico e innovación espacial, administrando coherente y responsablemente los recursos económicos públicos.

Es fundamental plantear una política pública desde la cual se generen las condiciones habilitantes para que el país pueda normalizar las actividades espaciales y explotar los beneficios que brindan las tecnologías y el desarrollo espacial.

IV. Conclusiones

- a. El posicionamiento de la cultura espacial en el Ecuador va de la mano de muchos actores políticos, sociales, educativos y tecnológicos, la carrera espacial en el Ecuador requiere fomentar una visión estratégica integral nacional, que se promueva desde la función ejecutiva y legislativa una política clara de fortalecimiento y explotación del conocimiento espacial y las bondades que esto permitirá traer al país al empezar a realizar actividades espaciales, esta decisión fomentará fortalezas en varios ámbitos, las mismas que promoverán conocimiento, desarrollo científico y tecnológico en los ecuatorianos, nuevos ámbitos de carrera y un sin número de beneficios que permitirán a varios sectores del estado a manejar información más limpia y útil para el desarrollo de la nación.
- b. El estado al incursionar en el ámbito espacial con un sustento sólido y garantizado en materia legal y técnica, promoverá la capacitación del mejor talento humano del país, con el objetivo de dejar la dependencia tecnológica en todos los campos de la industria, permitirá fomentar la investigación, desarrollo e innovación de los ecuatorianos que una vez capacitados empezaran a generar soluciones y aplicaciones tecnológicas aplicables a nuestro país, fomentaran la industria y la producción de tecnología a nivel local, se generará la necesidad de desarrollar nueva infraestructura que vaya de la mano con el desarrollo tecnológico implementado y adquirido, además se crearán vínculos de relacionamiento gubernamental, así como las relaciones internacionales entre países que están incursionando en el ámbito espacial, y finalmente permitirán conocer los aciertos que pueden ser replicados en nuestro país, creando leyes adecuadas que garanticen el desarrollo espacial en el Ecuador.
- c. Una vez constituida una organización que se encargue de la gestión de actividades y desarrollo espacial en el Ecuador se podrá brindar productos y servicios especializados a diferentes sectores estratégicos, productivos y económicos, que permita conservar el capital de la industria ecuatoriana y el estado para recuperar la inversión realizada en un inicio, estos productos y servicios pueden ser ofertados en toda la región que con la tecnología e infraestructura desarrollada, logrando que nuestro país sea de interés de potencias mundiales que busquen territorios idóneos para el lanzamiento y exploración de misiones y actividades espaciales mundiales.

V. Referencias

- 1- Plan de Desarrollo Espacial, Dirección de Desarrollo Aeroespacial, 2021, Quito-Ecuador.
- 2- Industria Espacial 2019, Editorial OiNK, 2020 Argentina-Buenos Aires; ISBN 978987-46355-7-0
- 3- Manual Para Nuevos Actores en el Espacio, Integrity Print Group, EEUU-Denver, Colorado; ISBN 978-0-578-61014-6-7-0
- 4- GENERAL JOHN E. HYTEN, USAF., (2019), La historia de un aerotécnico, Air Space Power Journal.





ARTÍCULO Nro. 3

LA DIALÉCTICA ENTRE LA PLANIFICACIÓN INSTITUCIONAL EN EL ECUADOR Y EL DESARROLLO NACIONAL, ¿TAUTOLOGÍA O REALIDAD DECANTADA?

Mayo. Tec. Avc. Danny Flor M.

RESUMEN

El presente estudio mostrará una breve descripción del proceso de crecimiento de la planificación enfocada al desarrollo en el Ecuador, dicho de otra manera, en que época fue la génesis de la planificación institucional y la búsqueda del desarrollo, desde una incipiente organización creada para atender objetivos puntuales hasta la actual secretaría existente. Luego se disgregará la normativa que existe en nuestro país buscando resaltar los aspectos más relevantes con relación a la planificación, para posterior analizar el actual Plan Nacional de Desarrollo y su rectoría en las FFAA. Con ello se buscará entender cuál es la dialéctica entre la planificación institucional y el desarrollo nacional.

ABSTRACT

The current study will show a brief description of the growth planning process focused on development in Ecuador, in other words, at what time was the genesis of institutional planning and the search for development. From an incipient organization created to meet punctual objectives to the current existing secretariat. Then, the regulations that exist in our country will be disaggregated, seeking to highlight the most relevant aspects in relation to planning, in order to analyze the current National Development Planning and its stewardship in the Armed Forces. With the above, it will seek to understand the dialectic between institutional planning and national development.

PALABRAS CLAVE:

Planificación institucional, desarrollo, Plan Nacional de Desarrollo.

INTRODUCCIÓN

¿Para qué planificar?; parece una interrogativa simple que cualquier individuo pensaría puede contestarla inmediatamente. Sin embargo, dicha pregunta, al parecer con una sencilla semántica, guarda en su praxis una conceptualización propia de todo el proceso a desarrollarse para: conocer la situación actual, el contexto que rodea a la organización, su rol y competencias, la misión y cuál es su visión y, con todo ello, establecer las estrategias, los objetivos y las metas que se desea alcanzar.

Ergo, toda organización cuyo objetivo sea el desarrollo, debe con obligatoriedad responder dicha pregunta, que le permitirá comprender la necesidad de un proceso de planificación;

considerando que dicho proceso no es un ente aislado que nace del pensamiento pragmático que tenga un intelectual o CEO de una organización; sino más bien, obedece a los lineamientos de un proceso gobernante que le debe guiar sobre los aspectos a considerar, para comprender holísticamente hacia dónde debe dirigirse.

DESARROLLO

La planificación enfocada al desarrollo proviene de varios años atrás, según Rojas «La planificación nacional en América Latina, enfocada al denominado “desarrollo”, data de la segunda mitad del siglo XX, es decir, tiene más de seis décadas de intentos de aplicación por parte de los gobiernos de turno.» (2017, p. 43).

Según Moncada la política de planificación y desarrollo en el Ecuador nace:

«Si bien antes de 1954 existió el denominado Consejo Nacional de Economía, como organismo de consulta del Gobierno Nacional en la ejecución de políticas típicamente coyunturales o de muy corto plazo, es solamente a partir de tal año, con la promulgación del Decreto número 19 del mes de Mayo, que crea la Junta Nacional de Planificación y Coordinación Económica, como se instaura en el país, el proceso general de planificación.

La Junta fue creada para asesorar al Poder Público en la formulación de planes para el desarrollo económico del país y en la coordinación de su política económica.» (1974, p. 28).

Parafraseando a Moncada, dicho organismo nace para dejar de atender solamente a una planificación a corto plazo y a los sectores monetario o crediticio del Estado Ecuatoriano, sino más bien lograr un enfoque holístico a todas las actividades que se desarrollaban ese momento en el país «el Decreto que creó la Junta se indique que a la entidad le “compete formular planes de desarrollo económico nacional”, que en tales planes deberá “considerar la política económica del país en sus distintos aspectos: hacendario, fiscal, bancario, comercial, industrial, agrícola, minero, etc.”» (Moncada J, 1974, p. 30).

A partir de 1954 hasta la presente fecha, dicho organismo sufre varias transformaciones, desde que nació como Junta, para luego ser remplazada en 1979 por el Consejo Nacional de Desarrollo (Conade); luego en 1998, crearse la Oficina de Planificación (Odeplan), para después en el 2004, crearse la Secretaría Nacional de Planificación del Estado (Senplades), posteriormente en el 2007 la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (Senplades) y en el 2019 la Secretaría Técnica Planifica Ecuador. Para finalmente a través del Decreto Ejecutivo No. 3, el presidente de la República, Guillermo Lasso renombra a esta última como Secretaría Nacional de Planificación.

De lo manifestado se puede inferir que en el Ecuador, existen más de 70 años de planificación estatal enfocada al desarrollo. Ahora bien, ¿se ha logrado alcanzar dicho desarrollo?, según Rojas, no ha sido así: «sin que hasta el presente se hayan logrado vencer los gigantescos abismos y desequilibrios sociales y económicos en la región, que aún se mantiene como la más desigual de todo el planeta.» (2017, p. 43).

Será entonces que como Estado no se logra establecer una correcta planificación, o existen aspectos más allá de este proceso que afectan a que los objetivos, estrategias y metas que se plantean no sean las correctas. «Evidentemente, no toda la culpa es de la planificación, pero su rol podría ser de mayor trascendencia si su definición y aplicación fueran producto de visiones

alternativas que incorporen ampliamente las demandas sociales y se vinculen efectivamente con el ámbito productivo, tanto privado como público.» (Rojas, 2017, p. 43).

Para contrarrestar la posible falencia entre la planificación de las instituciones del Estado y el desarrollo, Lira L. manifiesta que: «Las políticas de desarrollo son una etapa crucial de la etapa de diseño del proceso de planificación de un gobierno, ya que al orientar su gestión le permiten alcanzar sus objetivos...La revalorización de la planificación alcanza a todas las instituciones: gobiernos, empresas privadas, fuerzas armadas, universidades, organizaciones no gubernamentales y otras.»

Se puede evidenciar que la planificación incluso como país hace referencia a la búsqueda del desarrollo, independientemente del concepto que se tenga respecto a esta palabra, es pertinente aquí hacer un parteaguas para hablar respecto a la concepción que se tiene de desarrollo, ya que se ha relacionado este concepto básicamente al PIB (Producto Interno Bruto), empero, que interesante es verificar que hace más de «30 años ya se habla de un índice de desarrollo humano» (United Nation Development Programme, 2020, p. 1) y que, a este índice se le ha incluido temas como la pobreza, la desigualdad y las brechas de género.

La Constitución de la República del Ecuador, en el artículo 280 establece:

«El Plan Nacional de Desarrollo es el instrumento al que se sujetarán las políticas, programas y proyectos públicos; la programación y ejecución del presupuesto del Estado; y la inversión y la asignación de los recursos públicos; y coordinar las competencias exclusivas entre el Estado central y los gobiernos autónomos descentralizados. Su observancia será de carácter obligatorio para el sector público e indicativo para los demás sectores.»

Con lo expresado por la Constitución se colige que existe una obligatoriedad de planificación de todas las instituciones del sector público en concordancia a un Plan enfocado al desarrollo; dicha política orientará a la planificación institucional sobre los programas y proyectos públicos, que deberán efectuarse para el cumplimiento del pensamiento estatal.

Es necesario entonces que la política establezca los objetivos de desarrollo que quiere alcanzar y que las instituciones efectúen una planificación alineados a dichos objetivos, para con estas acciones generar la coherencia y racionalidad de las acciones de planificación a través del enlace entre las políticas nacional y sectorial.

Ahora bien, la normativa también exhorta al presidente electo en el Ecuador de presentar su Plan Nacional de Desarrollo (PND), el cual dispondrá de los elementos adecuados para el cumplimiento de la gestión de su periodo presidencial. Es decir, cada cuatro años se generan los objetivos que el mandante quiere alcanzar con referencia a lo ofrecido en campaña.

A priori se entiende que este tipo de planificación no es efectiva para lograr un desarrollo integral nacional; considerando que al cambiar cada cuatro años un Plan de Desarrollo, difícilmente se alcanza desarrollar estrategias que se mantengan y coadyuven a lograr el desarrollo de un país. Se podrá alcanzar ciertos objetivos parciales pero no será posible lograr una verdadera sinergia entre planificación y desarrollo.

Hay que considerar además, que las diferencias políticas de quienes asumen los mandatos principalmente en Latinoamérica son tan marcadas que los objetivos del mandatario anterior no son considerados por su sucesor. Este tipo de cultura de pensamiento respecto a que lo que hizo el anterior no fue adecuado, provoca que cada organización intente con alguna buena

intención realizar una planificación total o parcialmente diferente a la que ya se había efectuado. Ya lo dijo Rojas: «Cada institución (pública, privada o no gubernamental) utiliza la planificación de acuerdo a sus fines, enfatizando algunas concepciones teóricas y metodológicas y utilizando algunos instrumentos y descartando otros, lo que se traduce en aplicaciones muy diversas.» (Lira L., 2006, p. 5).

Dejando de lado lo manifestado en el párrafo anterior, se entiende que una efectiva planificación se convierte en una herramienta estratégica para el desarrollo, de aquí nace la importancia de que la planificación de las instituciones debe guardar correlación directa con el Plan establecido por el Estado. Por lo tanto, cada institución deberá ajustar su planificación a las metas y objetivos establecidos en el Plan superior, independientemente que lo efectuado con respecto a la planificación anterior haya tomado un rumbo correcto.

Ahora bien, ¿Las Fuerzas Armadas disponen de los lineamientos con respecto a la visión que tiene el Estado en seguridad y defensa con relación a su impulso al desarrollo? El “Plan de creación de oportunidades 2021-2025”, ha fijado 16 objetivos macro en los ejes: Económico, social, seguridad integral, transición tecnológica e institucional; y a lo largo de todo el documento se disgrega en políticas, lineamientos y metas específicas de cada área.

Qué ocurre con el PND y los objetivos a los que debe apuntalar la seguridad y defensa. Si se revisa el diagnóstico del eje de seguridad integral se centra básicamente en los problemas de seguridad interna, tales como: hacinamiento en los Centros de Privación de Libertad, consumo de drogas, percepción de inseguridad ciudadana, seguridad vial y situaciones de desastres naturales y antrópicos, pero en lo relacionado a la misión fundamental que cumplen las FFAA no se evidencia mención o diagnóstico correspondiente. Este hecho debería encender las alarmas del Ministerio de Defensa respecto a la importancia que el ente planificador estatal tiene respecto al ámbito de la defensa.

Más aun debería ser una condición de preocupación, cuando en el Plan de Desarrollo Gubernamental se observa que respecto a la defensa en el objetivo Nro. 10: “Garantizar la Soberanía Nacional, integridad territorial y seguridad del Estado” se establece una sola meta: «Incrementar el índice de ciberseguridad global de 26,3 a 51,3» (PND, 2021, p.80) y que algo se menciona en el objetivo Nro. 16 respecto a la CONVEMAR y la necesidad de salvaguardar los intereses nacionales en temas de soberanía, pero no existe nada, más allá de lo ya enumerado.

Con esto se entiende que la planificación institucional debería enfocarse en el logro de dicha meta, y por supuesto en apoyo a las otras entidades del Estado, esto último solamente se infiere tomando en consideración que así lo establece el Plan Nacional de Seguridad Integral, más no que exista una clara definición de este tema en el PND.

Revisando los documentos orientadores para la planificación del Ministerio de Defensa Nacional, Comando Conjunto y Fuerzas Armadas y las Fuerzas, se puede verificar que todos estos hacen referencia al Plan Nacional de Desarrollo “Toda una vida” 2017-2021; lo que significa que su planificación se encuentra apalancada en un Plan que ha finalizado o siendo aún más pragmáticos, ya no es legítimo, al pertenecer a un gobierno que no se encuentra en funciones. Por lo tanto sería necesario preguntarse si la planificación y todos los documentos orientadores deben ser modificados y ajustados a esta nueva concepción y objetivos establecidos por el gobierno actual.

Se creería que así debería ser, sin embargo, hay que recordar, que los cambios en la política generan este tipo de dicotomía que finalmente no se logra resolver plenamente, cuando con el cambio de gobierno los objetivos de desarrollo a los cuales se orientaba la planificación varían o

incluso desaparecen. Por lo tanto, si es mandatorio la actualización de los elementos directores de la planificación en cada cambio de gobierno, ¿significará realmente que la planificación institucional apuntala a un desarrollo integral? Sería entonces prudente determinar hasta donde es legal continuar con documentos directores y una planificación con base en Planes de Desarrollo anteriores. Si se considera lo establecido en el artículo 280 de la Constitución se infiere que esta situación no es correcta y debería revisarse y actualizarse integralmente.

Es evidente que la planificación institucional de las FFAA debe ser mucho más visionaria que lo que se establece en el PND. En ese sentido, dicho proceso debería generar su propio destino, para parafraseando a Clauwsewitz evitar o al menos disminuir la neblina estratégica que se genera con la inestabilidad de un pensamiento estratégico a largo plazo con respecto a la planificación institucional y su apoyo al desarrollo. Cuán importante para ello es lograr una verdadera descripción y diagnóstico institucional, el análisis del contexto y sus actores, para de esta manera disponer de elementos orientadores y objetivos institucionales claramente definidos que permitan crear estrategias concretas, que se convertirán en programas y proyectos y que definitivamente serán decantados en los presupuestos que se requieren a través de la PAP, PAI y PACBE según corresponda.

Es necesario mencionar que la planificación de la seguridad y defensa innegablemente produce sinergia con el desarrollo, «El fin supremo del estado y de las sociedades es alcanzar permanentemente mayores índices de dignidad y calidad humana. Para ello, el desarrollo y la seguridad son funciones contributivas. Ellos dos, el desarrollo y la seguridad, se condicionan mutuamente y nunca son excluyentes.» (Medina, 2001, p. 411)

Con lo manifestado por Medina se evidencia aún más, la relación entre la planificación institucional y el desarrollo en cualquiera de sus ambientes, la dialéctica entre los dos preceptos, crece conforme estos enfoques se cohesionan en la búsqueda del bien común del individuo, que es el deber fundamental de un estado. Si la planificación institucional no guarda relación con el desarrollo, se producirá una especie de nudo gordiano que no permitirá convertir el pensamiento estratégico en programas y proyectos que finalmente se materializan a una necesidad de recursos del Estado.

Por lo tanto, el impacto que genera la planificación institucional con respecto al desarrollo del Estado es crucial, estos dos conceptos no pueden ni deben estar polarizados, el uno es consecuencia del otro y viceversa, se puede inferir que son mutuamente incluyentes y crecerán conforme se logre una correcta articulación entre los dos conceptos, tanto planificación como desarrollo.

La Constitución y la normativa pública con respecto a la planificación establecen que debe ser participativa y contar con la colaboración de todas las entidades del estado y del colectivo ciudadano, importante aludir este aspecto; para que, durante el proceso previo a la generación de un nuevo Plan Nacional de Desarrollo contar con la participación activa de personal de las FFAA en dicho proceso, coadyuvando y generando en la política un verdadero entendimiento de los aspectos de seguridad y defensa, que permita que los planes producto de la planificación observen todas estas aristas y finalmente se concreten en acciones para un real desarrollo en todos los aspectos, para de esta manera legitimar el actuar de las FFAA con miras al desarrollo del país.

Como ya se ha mencionado, para el Ecuador no es nuevo el tema de la planificación y su impacto en el desarrollo, las instituciones han avanzado mucho en lograr establecer planes acordes a las necesidades de desarrollo, sin embargo, hay que entender que el ciclo de la planificación debe ser completado. Es decir que el plan sea verdaderamente implementado,

para esto se requiere establecer correctos indicadores que permitan determinar el verdadero avance en los objetivos y metas que se deseaba alcanzar, solo así se puede evidenciar si se va por buen camino o es necesario reformular las estrategias planteadas.

CONCLUSIONES

Se puede observar que la planificación de las instituciones genera un impacto evidente en el desarrollo nacional, que estos dos aspectos guardan relación directa el uno con el otro, son procesos simbióticos de pertenencia para finalmente descender en la búsqueda del bienestar del individuo como deber fundamental del Estado. La relación entre los dos se materializa a través del alineamiento de la planificación institucional hacia los objetivos de un Plan establecido por el Estado; y que desde hace ya varias décadas busca a prima facie principalmente el desarrollo.

Todavía no existe una planificación y desarrollo integral en el Ecuador, toda vez que al no existir objetivos permanentes de desarrollo, estos varían según la tendencia política presente, generando al parecer siempre con buenas intenciones objetivos y metas que finalmente son evaluadas cada cuatro años con el fin del periodo presidencial y se generan nuevos objetivos que no guardan relación con los ya establecidos y que disponían de estrategias que posiblemente iban por buen camino.

Este tipo de cambios en los planes de desarrollo generan una especie de incertidumbre en la planificación de las organizaciones, he incluso no las considera importantes como objetivos de desarrollo, tal es el caso de las FFAA que en el Plan Nacional de Desarrollo vigente, se menciona escuetamente su participación y los objetivos a los que debe apuntar con relación al cumplimiento de su misión fundamental. De aquí nace la necesidad que las FFAA aprovechen los espacios generados por la legislación respecto a una planificación participativa y que sean entes generadores de pensamiento en temas de defensa hacia el poder político.

Finalmente, si bien es cierto el Ecuador lleva años intentando enrumbar un proceso de planificación adecuado, todavía se observa que existen traspiés que deben ser canalizados y atendidos integralmente, es imprescindible lograr una correcta implementación de los planes en todos los niveles de la planificación, con indicadores que realmente evidencien los avances o el retroceso en el desarrollo y de esta manera tomar acciones en el momento oportuno, para de este modo mencionar que la planificación institucional definitivamente es un proceso que genera un impacto positivo en el desarrollo.

REFERENCIAS

- Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025. Ecuador. Secretaría Técnica de Planificación. (2021).
- Plan Nacional de Seguridad Integral 2019-2030. Ministerio de Defensa Nacional. Ecuador.
- Plan Sectorial de Defensa 2017-2021. Ministerio de Defensa Nacional. Ecuador.
- Comando Conjunto de las FFAA. (2021). Plan Estratégico Institucional de Fuerzas Armadas 2021-2033. Ecuador.
- Ministerio de Defensa Nacional. (2018). Política de la Defensa Nacional. Ecuador.

- Ecuador. Constitución Política del Estado (20 de octubre de 2008).
- Guía Normas APA 7ma. Edición. [Archivo pdf].
- Manual Militar de Planificación Estratégica de FFAA. (2020). Comando Conjunto de las FFAA. Ecuador.
- Actualización del Plan de Gestión de la Fuerza Aérea “Centenario”. Fuerza Aérea Ecuatoriana. (2019).
- SENPLADES, Guía Metodológica de Planificación Institucional. (2012).
- Sánchez J. et al “Ecuador Debate” [Archivo pdf]. Biblioteca de la FLACSO.
- Rojas M. (2017) “La planificación del desarrollo en Latinoamérica y su aplicación en el Ecuador.” Pgs. 43-49. [Archivo pdf]. <https://editorial.ucsg.edu.ec/ojs-auc/index.php/auc-ucsg/article/view/70/69>
- Medina H. (2001) “Seguridad y desarrollo: Síntesis de una dialéctica.” [Archivo pdf]. <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/teoxaveriana/article/view/20975/16287>.
- Ullauri C. Tesis de grado de Maestría “NUEVA VISION DE LA PLANIFICACIÓN Y EL DESARROLLO EN EL ECUADOR, EL ANTEPROYECTO DE LEY.” [Archivo pdf]. Instituto de Altos Estudios Nacionales IAEN. <http://repositorio.iaen.edu.ec/handle/24000/131>
- Gómez C. (2018). “Objetivos de desarrollo sostenible: Una revisión crítica” [Archivo pdf]. https://www.fuhem.es/media/cdv/file/biblioteca/revista_papeles/140/ODS-revision-critica-C.Gomez.pdf
- Clausewitz B. (2016) “De la guerra” [Archivo pdf]. Biblioteca Virtual Universal. <https://biblioteca.org.ar/libros/153741.pdf>
- Lira L. “Revalorización de la planificación de desarrollo.” [Archivo pdf]. Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/7316/S0600462_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Matus M. “Política, planificación y gobierno”. (1987). [Archivo pdf]. Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social. http://www.trabajosocial.unlp.edu.ar/uploads/docs/2_carlos_matus_politica_planificacion_y_gobierno_.pdf.
- Moncada J. (1974). “La evolución de la planificación en el Ecuador” [Archivo pdf] https://storage.googleapis.com/nuso-webapp-production-files/media/articles/downloads/117_1.pdf. Revista Nueva Sociedad. Pg. 27-45.
- United Nations Development Programme “La próxima frontera: desarrollo humano y el Antropoceno” [Archivo pdf]. http://hdr.undp.org/sites/all/themes/hdr_theme/country-notes/es/ECU.pdf
- Moncayo P. “Ensayos sobre Seguridad Nacional.” Biblioteca Academia de Guerra Aérea de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

ARTÍCULO Nro. 4



COMPUTACIÓN RECONFIGURABLE Y SISTEMA OPERATIVO EN TIEMPO REAL, ANÁLISIS Y APLICACIONES EN UAV'S.

Mayo. Téc. Avc. Romero Juan, Capt. Téc. Avc. Carranco Andrés,
Capt. Téc. Avc. Pachacama Alex

ABSTRACT

El requerimiento tecnológico a nivel mundial ha ido aumentando de manera exponencial durante los últimos años, tomando en cuenta la necesidad de obtener un hardware específico acorde a las necesidades en el campo: aeronáutico, industrial e informático, que permita optimizar el consumo energético, reduciendo el tamaño y costos computacionales, entre otras aristas que actualmente se debe considerar. Para solventar estas necesidades es preciso incluir computación reconfigurable RC que permita optimizar recursos humanos y materiales enlazados a un sistema operativo en tiempo real RTOS utilizando SoC (System on Chip) basados en FPGA (Field Programmable Gate Array) con IP-cores específicos, que son sistemas altamente flexibles y programables en HW (Hardware) y SW (Software) los cuales mejoran el rendimiento y eficiencia de sistemas en chip. Los sistemas RTOS en la aviónica y radares en la actualidad permiten actuar de manera rápida y sin errores, mejorando la confiabilidad, rendimiento de procesamiento, el consumo de menos recursos, entre otras ventajas que permiten a los sistemas operativos en tiempo real como VxWorks, Integrity, LynxOS, etc., un procesamiento rápido de las señales. El presente artículo lo que busca es realizar una investigación del estado del arte, en RC y RTOS para el aérea de Vehículo Aéreos No Tripulados UAV 's Radares y Aviónica, documento que se encuentra estructurado en la Sección I con la Introducción, Sección II Estado del Arte, Sección III Discusión, Sección IV Trabajos futuros o Conclusiones, en este último aspecto se presenta aplicaciones de RTOS en aeronaves civiles y militares.

Index Terms— SoC, FPGA, RTOS, Aviónica, Radares, UAV 's

I. INTRODUCCIÓN

Los requerimientos tecnológicos cada vez son más exigentes a fin de solventar las necesidades computacionales, que las diferentes áreas así lo requieren, observándose un incremento exponencial del uso de transistores en un circuitos integrado como lo predijo Gordon Moore en 1965 conocida como la Ley de Moore para diferentes áreas de interés.

Los dispositivos SoC basados en FPGA integran arquitecturas de procesador en un solo dispositivo. La integración de la funcionalidad de administración de alto nivel de los procesadores y las estrictas operaciones en tiempo real, el procesamiento de datos extremos o las funciones de interfaz de un FPGA (Field Programmable Gate Array) en un solo dispositivo forma una plataforma informática integrada aún más poderosa. En consecuencia, proporcionan una mayor integración, menor potencia, un tamaño de placa más pequeño y una comunicación de mayor ancho de banda entre el procesador y la FPGA. También incluyen un rico conjunto de periféricos, memoria en chip, una matriz lógica de estilo FPGA y transceptores de alta velocidad.[1]

La computación reconfigurable RC es una tecnología capaz de proporcionar un compromiso interesante entre flexibilidad y prestaciones en el mismo dispositivo. Esta característica es especialmente interesante en campos tales como la aviación tripulada y no tripulada, procesamiento de datos los cuales permiten instalar sistemas operativos en tiempo real.

RTOS (sistema operativo en tiempo real) se utiliza en una amplia campos industriales, como sistemas de control de procesos, aviónica, la mayor parte del tiempo real. Los sistemas operativos se ejecutan en sistemas integrados que constan de piezas de hardware que funcionan como controladores con funciones dentro de los sistemas mecánicos o electrónicos. RTOS es crítico para aquellos sistemas mecánicos o electrónicos con requisitos de tiempo real porque los sistemas no podían operar de manera segura sin ello. En muchos sistemas en tiempo real, una fecha límite incumplida puede conducir a consecuencias desastrosas.[2]

El problema fundamental dentro de la aviación es el costo de operación de las aeronaves y radares, ya que son muy elevados, lo que ocasiona buscar diferentes opciones que permitan solventar estas necesidades a costos relativamente más económicos, por lo cual ha buscado modernizar o digitalizar equipos importantes como lo son los radares. Así mismo dentro de sus requerimientos se encuentra adquirir la capacidad de diseñar, implementar y construir prototipos de Vehículos Aéreos no Tripulados que permitan realizar misiones de vigilancia y reconocimiento a bajo costo, precautelando la seguridad del piloto, economizando la hora de operación de las aeronaves. Dentro del diseño de estas aeronaves es necesario considerar una variedad de cargas útiles ya sea sensores electroópticos, radares SAR, cámaras infrarrojas, entre otros equipos que permitan la adaptabilidad y flexibilidad de acuerdo a las misiones que se pretenda realizar. Así mismo, otros factores importantes en el diseño de UAV´s es el alcance máximo, autonomía, alimentación que estas aeronaves posean, como (e.i, autonomía 30 mins, alcance 5km, alimentación eléctrica). Tomando en cuenta estos factores se ha visto necesario implementar sensores que permitan conocer posición, altura, velocidad del viento, posibles obstáculos, consumo de corriente entre otros factores que permiten conocer la condición de la aeronave.

Los sistemas en chip basados en FPGA son altamente flexibles y configurables basados en programables por hardware nos permiten procesar toda la información obtenida por los sensores, lo que nos ayuda a generar controladores específicos que cumplan con esta labor de manera óptima priorizando las tareas de acuerdo a su funcionalidad. Los vehículos aéreos no tripulados (UAV) ganaron un gran interés durante la última década tanto en el campo académico como en la industria. Su amplia gama de potencial las aplicaciones crecen día a día. Los UAV se utilizan ampliamente en operaciones militares, de transporte, de búsqueda y rescate, etc. Con respecto al sistema electrónico de los UAV, casi todas las plataformas existentes utilizadas en experimentos se basan en enfoques secuenciales, implementando microcontroladores o procesadores de señales digitales (DSP). Por ejemplo, la mayoría de los dispositivos de piloto automático disponibles comercialmente tienen una arquitectura basada en microcontroladores. Por otro lado, los FPGA son bien conocidos por su velocidad de procesamiento y flexibilidad de hardware. Además, la tecnología de FPGA ha avanzado significativamente en los últimos años para ofrecer más funciones de hardware. como procesadores integrados, cálculo de punto flotante, convertidores analógico-digitales (ADC, DAC) y controladores de memoria [3]. Durante la última década se han realizado varias investigaciones para verificar la versatilidad de las FPGAs en cada tiempo real. parte de un sistema UAV.

Otro caso de estudio que se pretende analizar es el procesamiento de información obtenida por los diferentes sensores que se pueden implementar como carga útil dentro de un UAV, como es el caso de un RADAR SAR, para lo cual se utilizar un FPGA diseño acorde a las necesidades de procesamiento que se utilizan en esta aplicación, lo que nos ayuda a mejorar el

costo computacional ya que es dedicado a esta necesidad.

Dentro de la aviónica existe un desarrollo interesante en un tipo de RTOS, como es el JetOS que permite solventar los estándares internacionales para el uso de aeronaves, así mismo se realiza una comparación de sistemas operativos aplicables en la aviación como son: VXWORKS, FREERTOS, RTLINUX, lo que nos entrega un panorama más amplio de la aplicabilidad, arquitectura de RTOS.

Una vez determinado la discusión se pretende finalizar con unas conclusiones Capítulo IV de los temas más importantes referente a computación reconfigurables y RTOS en aplicaciones de UAV´s, Radares y Aviónica; Capítulo V trabajos futuros de aplicaciones que pueden implementarse en UAV´s, Radares o Aviónica utilizando RC y RTOS.

II. COMPUTACIÓN RECONFIGURABLE Y RTOS APLICADOS EN LA AVIACIÓN

A. FPGA CONTROLADORES UAV´s

Los UAV se pueden encontrar en diferentes estructuras mecánicas, principalmente divididos en UAV de ala fija y de ala giratoria. Los multirrotores se utilizan principalmente en el mercado debido a su amplia gama de aplicaciones potenciales, así como su flexibilidad de vuelo, como como despegue y aterrizaje vertical (VTOL) y la rotación alrededor de sus 3 ejes (balanceo, cabeceo, guiñada). La Ilustración 1 muestra un diseño general de un Quadrotor con sus ejes de rotación. Como muchos sistemas integrados, están constituidos principalmente por sensores, actuadores (motores) y un sistema de procesamiento. Técnicamente, los sensores críticos de Los UAV se conocen como acelerómetros, giroscopios y magnetómetros (que son ubicado en la Unidad de medición inercial (IMU)), y la altura de ultrasonido y sensores de presión para calcular la altitud. Cámaras (monocular, estéreo y omnidireccional) y escáneres láser son los sensores que podrían gastar mucho la autonomía de los UAV. También se podría emplear un receptor GPS para aplicaciones de estimación de ubicación, como Fly Home o Land, donde el dron realiza acciones de emergencia. El lado del actuador de un UAV se compone principalmente de motores con sus conductores y controladores electrónicos de velocidad (ESC). Dado que el poder principal [4]

La fuente de un UAV son las baterías, se pueden usar diferentes motores de corriente continua. En esta categoría, el uso de motores de CC sin escobillas es más eficiente debido a su alta velocidad y bajo peso. El sistema de procesamiento es responsable de la adquisición de datos. de sensores y tal vez recibir comandos de control desde una estación terrestre a través de Receptor de radiocontrol RC. El primer microcontrolador está configurado en modo baremetal para control de bajo nivel tareas como control de estabilidad y altitud, procesamiento de sensores y control de motores. El otro ejecuta un sistema operativo para aplicaciones de alto nivel. Aquellos incluyen los algoritmos del sistema de navegación, como el planificador de rutas o la visión estéreo. Eso también ejecuta tareas de misión crítica como el seguimiento de objetivos[4]. Una ilustración general de tareas y periféricos con dependencias de datos se presenta en la figura 1 2:



Figura 1 Quadrotor y ejes de rotación [4]

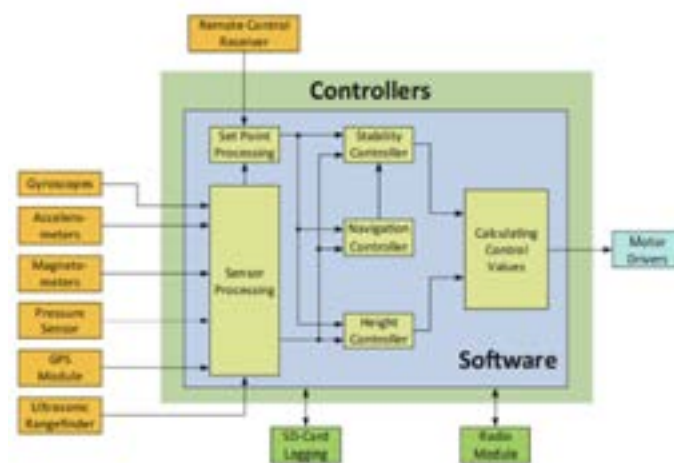


Figura 2 Tareas, periféricos datos dependientes [3]

Durante los últimos años, Xilinx e Intel FPGA (Altera anteriormente) lanzaron su híbrido plataformas, Zynq y Cyclone V, que incorporan un FPGA y un procesador en el mismo dado. Konomura y Hori [3] desarrollaron “Phenox”, el primer Quadrotor basado en Zynq donde se utilizó el tejido FPGA para la imagen incorporado y procesamiento de sonido, generación de señales de modulación de ancho de pulso (PWM) utilizado para el control de motores, así como para la interfaz con sensores.

Software Ardupilot supera el límite del número de pines en procesadores estándar. El alto número de E / S en FPGA servidas para agregar muchas transmisiones de video (hasta 8 transmisiones de video) y la posibilidad de agregar más sensores.

Control de bajo nivel

El procesamiento del sensor, la estimación del estado, la estabilidad y el control del motor son las tareas más críticas para la seguridad en UAV, ya que se utilizan en todas las plataformas existentes. Su función es enviar datos y recibir decisiones de algoritmos de control de alto nivel como el planificador de ruta, por lo que los reagrupó como tareas

de control de bajo nivel[4]. En investigaciones, el uso de FPGA fue también importante para estas tareas

Control Estabilidad

El papel de los sistemas de estabilidad es mantener el estado deseado del UAV a través de una serie de controladores. Cada controlador es responsable de uno de los ángulos (roll, pitch, yaw), velocidades angulares y la altitud. Aunque el uso de controladores basados en FPGA está muy extendido en aplicaciones industriales[5], solo unos pocos investigadores utilizaron FPGA en esta área específica. Implementación de hardware personalizado en FPGA de un controlador integral para los ejes de rotación de un quadrotor de pequeña escala se propone en[6]. Supera el enfoque de software que utiliza el microcontrolador ARM7, logrando una frecuencia de bucle de control de 4,3 MHz en comparación con los 0,71 MHz del software. Lo mismo Grupo implementó controlador proporcional-integral-derivado en un FPGA Zynq controlando un micro-UAV, mientras utiliza el enfoque HW / SW para su algoritmo de planificación de movimiento. En el sistema de criticidad mixta, la necesidad de un buen hardware.

Es necesaria la separación entre tareas críticas y no críticas, se utilizó un Zynq 7000 como hardware de un rotor múltiple. Tareas críticas para la seguridad, incluidas el sistema de estabilidad, se implementaron en el PL utilizando dos procesadores Microblaze, mientras que las tareas de misión crítica se implementaron en el Sistema de Procesamiento (PD). Para el buen funcionamiento de los UAV en entornos dinámicos desconocidos, es necesaria la necesidad de algoritmos de control más precisos. Muchos controladores adaptativos no lineales han mostrado resultados más precisos. Sin embargo, la creación personalizada.

El hardware para estos algoritmos es una tarea engorrosa, principalmente porque dichos algoritmos tienen una estructura secuencial que no es adecuada para FPGA. Es más, la mayoría de los UAV existentes se basan en microcontroladores, lo que hace que trabajar en otra arquitectura insignificante. Fowers afirmó que las imperfecciones en las unidades de medición inercial (IMU) podrían superarse mediante el uso de una visión reducida sistema basado en FPGA para control de deriva. Propuso una arquitectura en la que la detección de esquinas de Har ris se implementa en FPGA y devuelve los resultados a IMU y controladores de motor para mayor regulación [3].

Estado de estimación.

El uso de la estimación del estado es una tarea muy importante en los sistemas UAV para cuyos filtros de Kalman son los más utilizados[6]. La literatura proporciona varias implementaciones específicas de la aplicación del filtro de Kalman en FPGA. Para más propósitos generales, Soh y Wu propusieron un co-diseño HW / SW de Unscented Filtro de Kalman. El algoritmo se dividió de manera que la parte del hardware es independiente de la aplicación. El autor expuso los resultados de diferentes escenarios. según el número de Elementos de Procesamiento (PE) (1, 2, 5 y 10). El algoritmo se implementó en un Xilinx Zynq-7000 serie XC7Z045 que muestra una velocidad mejora de más de 2 veces en comparación con un enfoque de software, mientras consume menos energía (131 mW usando un solo PE, aumentar los PE aumenta la velocidad en el gasto de consumo de energía).

Tareas de misión crítica

El uso de FPGA fue significativo en el área de investigación de UAV, especialmente para evitar obstáculos, reconocimiento de objetos y comunicaciones.

Evitar Obstáculos

En [4] Gohl et al. propuso un sistema de percepción basado en FPGA para micro Vehículo aéreo que puede realizar una detección de obstáculo los omnidireccional. El trabajo es una extensión de su trabajo anterior. Eso es capaz de realizar cálculos de hasta 80 fps con menos consumo de energía que técnicas convencionales.

Reconocimiento y seguimiento de objetos

En[7], la detección de objetivos en movimiento en tiempo real se implementa utilizando FPGA. Todo el sistema se hizo un prototipo en una placa Terasic DE2 con un ciclón Altera IV FPGA. La mayor parte del cálculo se realizó en hardware, mientras que un soft-core, el procesador Nios II maneja parte del algoritmo de movimiento del ego, muestra aleatoria Consenso (RANSAC). El sistema alcanza una velocidad de 30 fps con resolución de 640 × 480 píxeles y ocupa el 13% de la lógica y la memoria. Inspirado biológicamente

También se utilizó hardware con FPGA para el seguimiento de objetos. Los algoritmos SIFT para la detección de características se implementaron en utilizando una implementación mixta analógica / digital, y se mostró una implementación FPGA del modelo de células ganglionares de la retina. En[7]. Ambos trabajos han mostrado una mejora significativa en cuanto a latencia y el consumo de energía. En[8] se propuso un sistema de visión basado en FPGA para un pequeño UAV que realiza manipulación aérea. Su función es alinear el UAV con objeto con forma de barra. FPGA se dedicó a la canalización de procesamiento de imágenes y a la generación de señales PWM para controlar la orientación. Esto podría aplicarse para preservar la energía. aparcando el dron en lugares de gran altitud. Giitsidis y col. [9]demostró que FPGA es muy adecuado para implementar algoritmos Cellular Automaton. Luego, el autor describe sus aplicaciones en la detección humana y de incendios desde alta imágenes de altitud tomadas por vehículos aéreos no tripulados.

Sistema de Comunicación

Recientemente, el uso de FPGA en Radios Definidas por Software (SDR) ha ganado un interés significativo. En esta subsección revisamos las investigaciones centradas en UAV sistema de comunicación basado en conceptos SDR. En[10], un vuelo basado en SDR Se propone un sistema de terminación (FTS) mediante FPGA. Se supone que el diseño superar el uso de voluminosos FTS. Además, mejora el costo de actualización a través de la flexibilidad de las FPGA. En esta aplicación se utilizó una FPGA Xilinx Virtex 5 para implementar la conversión digital ascendente y la conversión descendente digital para el transmisor y el receptor. Toda la implementación tomó el 86% de los recursos. Eso podría mejorarse mediante el uso de FPGA modernos como Xilinx Virtex 7 AMS con sus recursos analógicos (bloque XADC). Otras investigaciones propusieron implementaciones de diferentes protocolos y escenarios de comunicación.

B. RADARES CON RTOS Y RC

Uno de los requerimientos necesarios para que un UAV cumpla misiones de vigilancia y reconocimiento varían de acuerdo al tipo de carga útil que se desee instalar para lo cual se ha visto necesario realizar una investigación de un prototipo de radar SAR implementado sobre una plataforma terrestre. Un radar La palabra “radar” es un acrónimo de Radio Detection and Ranging. Un radar mide la distancia, o rango, a un objeto transmitiendo un electromagnetismo señal y recibir un eco reflejado por

el objeto. Dado que electromagnético las ondas se propagan a la velocidad de la luz, solo hay que medir el tiempo que lleva la señal de radar para propagarse al objeto y volver para calcular el rango al objeto. La distancia total recorrida por la señal es el doble de la distancia entre el radar y el objeto, ya que la señal viaja desde el radar al objeto y luego regresa del objeto al radar después de la reflexión.

Por lo tanto, una vez que medido el tiempo de propagación (t), podemos calcular fácilmente el rango (R) como:

$$R = \frac{1}{2}ct,$$

donde c es la velocidad de la luz en el vacío. El factor ½ explica el hecho de que la señal del radar viajó en realidad el doble de la distancia medida: primero desde el radar al objeto y luego del objeto al radar. Si la propiedad eléctrica del medio de propagación es diferente de la del vacío. La velocidad de propagación real debe estimarse para técnicas avanzadas de radar, como Interferometría de radares de apertura sintética (SAR) [11]

Los radares de imágenes generan imágenes de superficie que a primera vista son muy similares a las imágenes más familiares producidas por instrumentos que operan en lo visible o partes infrarrojas del espectro electromagnético. Sin embargo, el principio detrás la generación de imágenes es fundamentalmente diferente en los dos casos.

Visible y los sensores infrarrojos utilizan un sistema de lentes o espejos para proyectar la radiación de la escena en una “matriz bidimensional de detectores”, que podría ser un matriz o, en los instrumentos de teledetección anteriores, una película que utiliza procesos químicos.

La bidimensionalidad también se puede lograr utilizando sistemas de escaneo o por mover una matriz de detectores de una sola línea. Este enfoque de imágenes: un enfoque con el que todos estamos familiarizados al tomar fotografías con una cámara - conserva las relaciones angulares relativas entre los objetos de la escena y sus imágenes en el plano focal, como se muestra en la ilustración 3. Debido a esto conservación de las relaciones angulares, la resolución de las imágenes depende de qué tan lejos está la cámara de la escena que está capturando. Cuanto más cerca está la cámara, Cuanto mayor sea la resolución y menores los detalles que se pueden reconocer en las imágenes. A medida que la cámara se aleja de la escena, la resolución se degrada y solo se pueden distinguir objetos más grandes en la imagen.

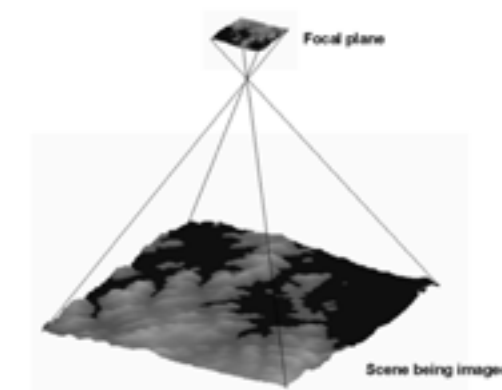


Figura 3 Los sistemas de imágenes pasivas conservan las relaciones angulares entre objetos de la escena y sus imágenes en el plano focal del instrumento. [11]

Los radares de imágenes utilizan un mecanismo bastante diferente para generar imágenes, las características de la imagen también son bastante diferentes de las de las e imágenes infrarrojas. Hay dos mecanismos diferentes mediante los cuales los radares pueden utilizarse para producir imágenes; Los dos tipos de radares se clasifican en términos generales como rada real de apertura y apertura sintética. El tamaño angular (en el caso del radar de apertura real) o el historial Doppler (en el caso del radar de apertura sintética) se utiliza para separar los píxeles de la superficie en la trayectoria dimensión en las imágenes de radar.[12]

Otra diferencia entre las imágenes adquiridas por cámaras que operan en la parte visible e infrarroja cercana del espectro electromagnético y las imágenes de radar es la forma en que se adquieren. Las cámaras suelen mirar hacia abajo o al menos no tienen ninguna limitación fundamental que les impida tomar fotografías mirando directamente hacia abajo desde la nave espacial o el avión. No es así para los radares de imágenes que tiene que usar una antena que ilumina la superficie a un lado de la pista de vuelo.

Con la finalidad de buscar una solución al diseño de Hardware y digitalizar las señales obtenidas por el radar SAR con un diseño y consumo energético menos se optó por utilizar una FPGA Arty A7 creada por Digilent, que incluye un chip FPGA Artix-7 de Xilinx, con 1800 Kbits de BRAM (Block Ram), un convertidor analógico-digital incluido, y programable mediante JTAG o la memoria Quad-SPI Flash de 16 MB que lleva incluida. Como elementos externos tiene una memoria DRAM DDR3L de 256 MB, un puente USB-UART y un puerto Ethernet que soporta velocidades de 10 o 100 Mbits por Segundo [13]

La adquisición de los datos se inicia mediante una señal externa que actuará de Trigger, cuando la frecuencia de modulación empieza a ascender, y se detiene cuando empieza a descender. En el periodo en el que está capturando datos, tiene que capturar 4096 muestras, lo que, aplicando la frecuencia mínima con la que hay que capturar los datos (1 MHz), debe tardar como máximo 4.1 ms, que es el mismo tiempo que hay para guardar. A la hora de guardar los datos mientras esta digitalizando, se optó por utilizar una FIFO de 4096 muestras de 16 bits cada una. Se escogió 16 bits ya que aunque el ADC proporciona solo 12 bits (más uno de desbordamiento), En el momento en que se deja de digitalizar, hay que almacenar estas 4096 muestras en el tiempo establecido, antes de que empiece la siguiente adquisición (4.1 ms), en otro lugar más estable y de mayor capacidad para dar lugar al siguiente proceso de digitalización y enviar esos datos a la memoria DRAM externa que incorpora la Arty (ya que es una memoria mucho más rápida que la SD) hasta llenar sus 256 MB y entonces parar el proceso de adquisición de datos y vaciar los datos de la memoria DRAM a otra de más capacidad, como la SD (en este caso el tiempo de transmisión no es crucial ya que no está adquiriendo datos).[12]

La memoria DDR3L externa que incluye la Arty A7 es una memoria SDRAM que tiene una capacidad de 256 MB. Una memoria SDRAM (Synchronized Dynamic Random Access Memory) está compuesta por condensadores que guardan cada bit, pero que van perdiendo carga progresivamente, con lo que hay que revisar dicha carga y refrescarla cada cierto tiempo. Como el resto de memorias RAM, es volátil, lo significa que, si se interrumpe la alimentación eléctrica, la información almacenada se pierde. La principal ventaja de las memorias SDRAM es que pueden trabajar a velocidades más altas que las memorias convencionales.[14]

MIG es una IP que combina un controlador con una capa física para crear una interfaz entre el diseño del usuario (usando un bus AXI) y la memoria DDR3. MIG interactúa con el usuario mediante un bus AMBA Advanced eXtensible Interface (o AXI4), un bus especializado para el uso de diseño con microprocesador con múltiples controladores y periféricos. [13]

Se optó por utilizar una interfaz que convirtiera el bus AXI en un bus Wishbone, puede optar a 8 canales, mientras que AXI4 requiere del uso de 35 canales, lo que simplifica enormemente el proceso de gestión de la memoria alcanzando velocidades de lectura y escritura en la memoria DRAM de 71 MHz.

La Arty tiene incorporada un jack RJ-45 lo que dota la FPGA con la capacidad de comunicarse via Ethernet, y soporta velocidades tanto de 10 Mbits/s como 100 Mbits/s, lo que nos supone una velocidad mucho más rápida comparado con la comunicación serie[15]. Para ello, se dispuso de otro controlador que permitía enviar paquetes vía Ethernet a través de protocolo UDP. El tamaño de los paquetes (en concreto, de la trama de datos) se escogió de 1024 bytes en lugar de 16 bits (el tamaño de cada muestra), ya que así se mejoraba la rata de transmisión y la velocidad era mayor al enviar menos paquetes.

Es necesario un convertidor analógico-digital que se encargue de convertir la señal analógica proveniente del radar a una señal digital que puede ser procesada. De esta conversión se encarga el chip AD9224, propiedad de Analog Devices, con capacidad de muestrear a 40 Mega muestras por segundo, y con una resolución de 12 bits, más el overflow, incluye la entrada del Trigger así como la del Arming, que actuaría a modo de botón para que el usuario decida en qué momento quiere que se empiece a hacer adquisiciones. Además de esto, tenemos dos relojes, uno es el proporcionado por el radar (de entrada) y otro por la Arty (de salida). Siendo la Arty quien genera todos los relojes a partir del reloj de entrada proporcionado (que debería ser de unos 90 MHz aproximadamente). Esto es, a partir del reloj de entrada, la Arty divide o multiplica este reloj internamente para proporcionar a todos los módulos sus respectivos relojes (Memoria DRAM, SD, Ethernet y ADC, este último por medio del pin del reloj de salida, marcando el ritmo de adquisición).

Para recibir los paquetes en el PC, se recurrió a usar Matlab ya que es un buen entorno de programación para gestión de datos. Además, dispone de funciones para recibir paquetes vía Ethernet con protocolo UDP, así que solo era necesario crear un script que leyera todos los paquetes provenientes y los desempaquetará correctamente. Debido a que los distintos módulos y controladores (DRAM, SD y Ethernet) funcionan con relojes y buses distintos, era necesario incluir algún procedimiento de sincronización entre ellos. Es por ello que se incluyó una FIFO entre cada módulo que se escribe y se lee a velocidades distintas, adaptadas a los distintos controladores, y que, además, tienen buses distintos tanto de entrada como de salida.



Figura 4 Sistema completo de adquisición y digitalización

Al implementar un sistema de adquisición y digitalización se pudo comprobar que, a pesar de sus limitaciones, es posible crear un sistema de digitalización a bajo coste y con menor consumo gracias a una FPGA. Se ha conseguido ratios de digitalización de datos mucho más altos que los requisitos impuestos (70 MHz frente a 1 MHz que era el requisito). Además, se ha conseguido reducir el consumo del equipo, pasando a consumir 1.6 W en lugar de los 15 W que consumía el equipo de digitalización anterior. Finalmente, el peso también ha mejorado en comparación; mientras la FPGA pesa unos 200 gramos, el equipo anterior pesaba alrededor de 2 Kg. Todos estos factores permiten un mayor tiempo de vuelo del dron y mayor digitalización de datos.

C. RTOS EN AVIÓNICA

Los sistemas operativos en tiempo real (RTOS) juegan un papel crucial en las computadoras de aviónica en todo el espectro de aviación: desde pequeñas aeronaves privadas hasta aeronaves de pasajeros avanzados y aviación militar. Este software controla la ejecución de funciones críticas para la seguridad que mantienen a los aviones en vuelo. Para aviones militares, también gestiona funciones de misión crítica como evadir obstáculos, atacar y soltar armas, un análisis de sistemas RTOS utilizados en la aviación son VXWORKS, FREERTOS, RTLINUX.

Los RTOS elegidos para las comparaciones en este documento son VxWorks y RTLinux han sido ampliamente comparados entre sí a través de investigación debido al continuo desarrollo tanto en el VxWorks disponible comercialmente y RTLinux gratuito.

FreeRTOS es un RTOS más reciente en comparación con VxWorks y RTLinux ha visto pequeñas comparaciones con Vx Works o RTLinux directamente. Aspectos importantes para comparar sus kernel y schedulers.

Kernel

RTLinux tiene un diseño especial para su kernel porque tiene dos granos. RTLinux usa un kernel especializado en tiempo real llamado RTCore. El segundo kernel es el estándar Kernel de Linux que se utiliza para aplicaciones regulares que no tiene limitaciones de tiempo. Ambos interrumpen el manejo y el manejo de subprocesos está controlado por RTCore.

El RTCore envía estas interrupciones al manejador de interrupciones apropiado. Este RTCore también restringe el kernel de Linux al hacer no puede deshabilitar las interrupciones para asegurarse de que no interfiera con la programación del proceso. Por lo tanto, el kernel de Linux solo se puede ejecutar cuando hay una tarea que no es en tiempo real.

Las aplicaciones en tiempo real pueden comunicarse con los kernels de Linux. a través de tuberías de primero en entrar, primero en salir. Esto habilita el RTCore Subprocesos de API que ayudan a los programadores a aprender a programar en este sistema. Los núcleos de duelo le dan a RTLinux la funcionalidad de Linux, al tiempo que le agrega capacidad en tiempo real.[2]

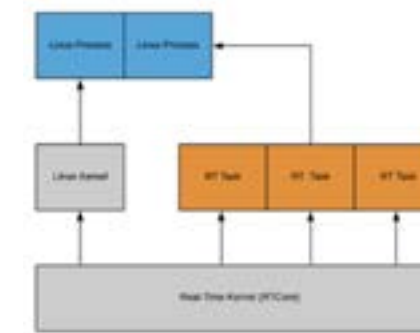


Figura 5 Resumen Arquitectura RTLinux

VxWorks usa un único microkernel para manejar el kernel básico. Funciones adicionales como compartir archivos y las redes deben cargarse desde las bibliotecas proporcionadas. Esta

El sistema proporciona flexibilidad para adaptarse a su funcionalidad sin aflojar sus limitaciones sobre la memoria y los recursos disponibles[2]

FreeRTOS también utiliza un único microkernel para manejar tareas de tiempo. Este kernel admite la programación dinámica o un programador basado en prioridad, bloqueo y evasión de interbloqueo, y suspensión del programador. Puede utilizar una API con todas las funciones, o una API ligera [2]

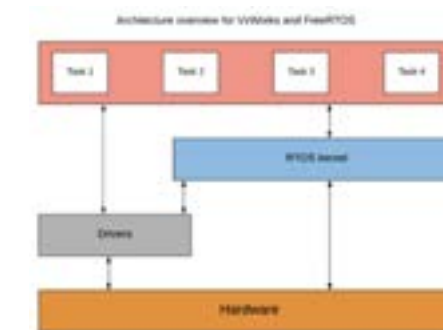


Figura 6 Resumen Arquitectura para VxWorks y FreeRTOS

Estos kernels son similares en la forma en que todos tienen un medio para manejar tareas en tiempo real. Algunos de los principales contrastes de RTLinux es que admite un núcleo de duelo que le permite manejar una amplia variedad de tareas a costa de ser un mayor kernel al tener tanto el kernel estándar de Linux como el RTCore. Mientras, la estructura de VxWorks y FreeRTOS son similar en ambos usando micro kernels [2]

Scheduler

El scheduler del RTOS es una parte importante de cómo un RTOS decide la siguiente tarea que se pondrá en el procesador, y asegurarse de que todas las tareas cumplan con sus plazos.

RTLinux tiene un scheduler flexible al permitir diferentes técnicas de programación que se utilizarán basadas en las necesidades de los programadores. El programador RTLinux admite la programación FIFO, Programación EDF y programación de tarifas monótonas. La flexibilidad permite scheduler más adecuados para diferentes sistemas [2].

VxWorks utiliza una programación por turnos preventiva algoritmo. Las prioridades de

las tareas pueden oscilar entre 0 y 255, donde 0 es la prioridad más alta. Si una tarea con mayor prioridad que el del procesador está listo para funcionar, entonces la tarea de menor prioridad se suspenderá para que la mayor se puede ejecutar la tarea prioritaria. Si las dos tareas tienen la misma prioridad luego pasan a la programación por turnos. Si un recurso no está disponible, el procesador cambia de nuevo a una tarea de menor prioridad hasta que el recurso esté disponible. VxWorks admite POSIX API que hace que el sistema sea FIFO.

FreeRTOS utiliza una prioridad preventiva dinámica basada algoritmo de programación. Este scheduler puede permitir que el usuario elija ejecutar procesos de manera cooperativa o usando una política preventiva. La diferencia es que la política preventiva siempre ejecuta la tarea de mayor prioridad, y cuando dos tareas tienen la misma prioridad comparten CPU tiempo. La forma cooperativa solo permite cambios de contexto que ocurra al llamar a una función o cuando una tarea se bloquea. [2]

Tanto RTLinux como VxWorks usan la herencia de prioridad protocolo. Sin embargo, FreeRTOS no utiliza una de las formas típicas de lidiar con la inversión de prioridades; se trata de interbloqueos formados por inversión de prioridad mediante la aplicación de tareas sin bloqueo y mediante el bloqueo de tareas para cantidades fijas de tiempo.

Una característica clave de un RTOS es su capacidad para cumplir con el procesamiento estricto plazos. Un programa de aplicación que controla el lanzamiento de un arma puede requerir una acción del sistema operativo en menos de una milésima de segundo. Los plazos para el servicio, las funciones de control de vuelo se miden en millonésimas de segundo.

El sistema operativo debe funcionar de manera predecible, con garantía tiempos de respuesta, en este entorno “duro” en tiempo real, a pesar de la ocurrencia frecuente de demandas de servicios no programadas.

A pesar de la tendencia hacia una mayor integración de las funciones de aviónica, la mayoría de las aeronaves todavía contienen muchas computadoras diferentes, provistas de diferentes sistemas operativos. El avión de pasajeros súper jumbo Airbus 380 de próxima generación, por ejemplo, utilizará al menos productos RTOS de cuatro empresas, y probablemente más. Incluso una sola computadora, como la computadora de misión planeada para los EE. UU. [16]

Ha habido un desarrollo reciente de un tipo de RTOS, es decir, JetOS, para cumplir completamente con el ARINC653 estándar internacional para el uso de aeronaves. JetOS se origina de POK RTOS, un proyecto de código abierto, que parcialmente cumple con los estándares ARINC653. Las partes críticas que tienen ha sido reelaborado o agregado para cumplir con el estándar incluyen scheduler de pok, pila de red, administrador de memoria, agregado memoria separada, y una reducción del tamaño del kernel por menos errores. El sistema utiliza particiones ordinarias que separan la memoria y las particiones del sistema se utilizan para utilizar servicios fuera del estándar ARINC653. Ambos de estos tipos de las particiones desde el punto de vista del kernel son las mismas. [2]

Actualmente hay un prototipo funcional de JetOS y está en sus etapas de prueba. El núcleo de JetOS lanza AADL de POK (Arquitectura Análisis y lenguaje de diseño) herramientas de configuración para Archivos de configuración basados en XML. Además, se cayó la plataforma SPARC a favor de construir JetOS sobre una plataforma que utilizan otros sistemas de aviónica. La plataforma elegida para reemplazarlo fue el

x86 y el powerPC. El kernel está construido para admitir múltiples schedulers porque diferentes las particiones pueden utilizar diferentes programadores y están configuradas estáticamente donde el número de particiones, la memoria de partición el tamaño, el puerto, los nombres, etc. no se pueden cambiar. Cada partición puede tener uno o más procesos. Las particiones se programan según un algoritmo de operación por turnos. Los programadores dentro de la partición implementan bloqueo-espera-desbloqueo y programación prioritaria. Los recursos están preasignados para garantizar fiabilidad. La memoria está preasignada a cada partición. Estas particiones se programan de manera diferente a los módulos del kernel donde las particiones se ejecutan en modo de usuario con tiempo y limitaciones de espacio. [2]

Ejemplos Aplicaciones RTOS

Las tecnologías comerciales, según se piensa, han sido empleado y probado por más usuarios en una gama más amplia de industrias que sus contrapartes “propietarias”. Los sistemas operativos comerciales en tiempo real han demostraron su valía en diversas industrias y también están siendo adoptados por los fabricantes de aviónica.

Entre los proveedores clave de Los RTOS de COTS son software de Green Hills, LynxWorks y Wind River Systems. INTEGRITY-178B de Green Hills Software y se están utilizando RTOS de INTEGRIDAD o diseñado en bombarderos militares, cazas y vehículos aéreos no tripulados, así como helicópteros civiles y aviones de pasajeros. INTEGRITY-178B es un RTOS comercial relativamente nuevo, una evolución del original Producto INTEGRITY lanzado en 1997.

Introducido en 2000, INTEGRITY-178B es uno de los primeros productos comerciales en cumplir con un enfoque estandarizado para fraccionamiento. Esta característica clave permite RTOS para orquestar de forma segura las demandas de múltiples programas de aplicación que comparten un conjunto único de recursos de hardware.

El particionamiento implica dividir las tareas de procesamiento en tiempo y en el espacio para que los programas puedan coexistir de forma segura en una sola computadora. ARINC 653 es la especificación que estandariza particiones para RTOS aeroespaciales.

El programa B-1B de la Fuerza Aérea de EE. UU. adoptó el INTEGRITY RTOS original en 1997 como parte de un proyecto para convertir el bombardero de un nuclear a un convencional papel de luchador. El contratista principal B-1B, Boeing, puede pasar a versiones más nuevas del sistema operativo Green Hills en una actualización adicional de aviónica. Lockheed Martin's nuevo F-16E / F, Block 60, usos de aviones de combate INTEGRIDAD para impulsar su misión y mostrar computadoras como parte de un movimiento hacia comunidad de herramientas de software y recursos dentro de la empresa. Y el nuevo helicóptero de elevación media de Sikorsky, el S-92, utiliza INTEGRITY-178B como parte de su Sistema de gestión de aviónica (AMS). [16]

III. DISCUSIÓN

Los temas de discusión de acuerdo a los análisis presentados se enfocan en tres aristas principalmente, la implementación de controladores que permitan realizar vuelos autónomos con FPGA, el procesamiento de la información de radar SAR que pueden ser implementados como carga útil dentro de un UAV y un análisis de diferentes RTOS aplicados en Aviónica, con ejemplos de aplicación reales en aeronaves civiles y militares.

A. FPGA CONTROLADORES UAV´s

La implementación de Computación Reconfigurable con FPGA en UAV´s es realmente indispensable para economizar recursos humanos y materiales, ya que se puede implementar controladores acordes a las necesidades del usuario, manteniendo un vuelo autónomo y seguro lo que permite mantener un alcance mayor permitiendo realizar misiones de vigilancia y reconocimiento. Las necesidades e insumos que se requiere para el desarrollo de los diferentes prototipos que se puede diseñar y fabricar ya sea ala fija, rotativa, o híbrido que va a depender al tipo de misión a emplearse, así mismo es necesario implementar sistemas operativos en tiempo real RTOS, ya que existen sensores con mayor prioridad a fin de precautelar la seguridad del prototipo.

B. SISTEMA DE DIGITALIZACIÓN CONTROLADO POR FPGA PARA UN RADAR EMBARCADO EN DRON.

En el caso de estudio 2 se observa que las FPGA son realmente necesarias para el desarrollo de cargas útiles que pueden ser implementados en los UAV´s uno de ellos es el radar SAR que puede reemplazar a sensores electroópticos ya que tienen mayores bondades que son indispensables para misiones de vigilancia y reconocimiento, así mismo se requiere un alto nivel de procesamiento computacional que puede ser configurado dentro de sistemas embebidos.

C. RTOS EN AVIÓNICA

Por último, tomando en cuenta el análisis establecido en uso de Sistemas Operativos en Tiempo real podemos mencionar que es muy utilizado en la aviónica de las aeronaves debido a su optimización de recursos, reducción de tiempos de reacción y como actualmente se encuentran instalados y operando en aeronaves tanto civiles como militares.

IV. CONCLUSIONES

El avance tecnológico va de la mano con la implementación de SoC específicos de acuerdo a las necesidades técnicas, a fin de mantener un sistema de defensa operativo modernizado que permita cumplir con la misión institucional optimizando recursos humanos y materiales.

El uso de las FPGA (Fiel Programable Gate Array) basado en SoC (System on Chip) permiten a los diseñadores proporcionar una solución óptima en la implementación de controladores, cargas útiles para UAV´s a bajo costo, acorde a los requerimientos de las diferentes aplicaciones, que permite implementar cualquier función lógica, núcleos de procesamiento, e incluso varios IP-cores de diferentes características lo que hace una tecnología flexible y escalable.

La discusión en la comparación entre las implementaciones de RTOS que son utilizado en la aviación, como son, VxWorks, RTLinux y FreeRTOS, mostró algunas de sus diferencias y similitudes en sus kernels, programadores y cómo manejan la inversión de prioridad.

El uso de Computación Reconfigurable permite en el ámbito de la aviación ya sea en Aeronaves tripulados o no tripuladas reducir costos, y permite controlar funciones críticas, manteniendo estándares de seguridad, evadir obstáculos, entre otras aplicaciones.

En casos en los que las tareas multiplexadas en el tiempo se basan en recursos de hardware en FPGA, Se necesita un administrador de reconfiguración inherente al sistema operativo. FPGA se utiliza y es muy adecuado para implementar redes neuronales convolucionales (CNN) debido a la naturaleza paralela de los algoritmos a ser implementados en UAV´s.

V. TRABAJOS FUTUROS

Implementar controladores específicos para UAV´s de acuerdo a los requerimientos operativos que permitan optimizar recursos tecnológicos a bajo costo utilizando FPGA.

Diseñar y construir sistemas o equipos basado en SoC que pueden ser embarcados en plataformas terrestres no tripulados a fin de realizar misiones de vigilancia y reconocimiento de manera óptima.

Con la finalidad de optimizar los recursos tecnológicos, económicos, humanos, es necesario reutilizar algoritmos de programación basados en FPGA.

Con la creciente necesidad de una velocidad informática más rápida y mejor uso de recursos, la computación multinúcleo ha existido en computadoras de uso general durante varios años. Sin embargo, RTOS ha estado utilizando un sistema mono-core que se está convirtiendo obsoleto en términos de velocidad y uso de recursos. Un multinúcleo RTOS como nueva arquitectura para sistemas embebidos tiene como objetivo proporcionando un aumento importante tanto en la velocidad como en el uso de recursos incluida la eficiencia energética.

VI. BIBLIOGRAPHY

- [1] "fpga @ www.intel.com." <https://www.intel.com/content/www/us/en/products/details/fpga.html>.
- [2] S. Baskiyar and N. Meghanathan, "A survey of contemporary real-time operating systems," Inform., vol. 29, no. 2, pp. 233–240, 2005.
- [3] Cardoso George A., Applied Reconfigurable Computing. Architectures, Tools, and Applications, vol. 10824, no. 6. 2018.
- [4] M. Bouhali, F. Shamani, Z. E. Dahmane, A. Belaidi, and J. Nurmi, "FPGA applications in unmanned aerial vehicles - a review," Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics), vol. 10216 LNCS, pp. 217–228, 2017, doi: 10.1007/978-3-319-56258-2_19.
- [5] B. Cain, Z. Merchant, I. Avendano, D. Richmond, and R. Kastner, "PynqCopter - An Open-source FPGA Overlay for UAVs," Proc. - 2018 IEEE Int. Conf. Big Data, Big Data 2018, no. January 2021, pp. 2491–2498, 2019, doi: 10.1109/BigData.2018.8622102.
- [6] S. Y. Chen, "Kalman filter for robot vision: A survey," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 59, no. 11, pp. 4409–4420, 2012, doi: 10.1109/TIE.2011.2162714.
- [7] D. P. Moeys, T. Delbruck, A. Rios-Navarro, and A. Linares-Barranco, "Live demonstration: Retinal ganglion cell software and FPGA implementation for object detection and tracking," Proc. - IEEE Int. Symp. Circuits Syst., vol. 2016-July, p. 1445, 2016, doi: 10.1109/ISCAS.2016.7527528.

[8] L. Liang, Y. Zhang, and D. Li, "Fast Huynen-Euler Decomposition and its Application in Disaster Monitoring," IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens., vol. 14, pp. 4231–4243, 2021, doi: 10.1109/JSTARS.2021.3070897.

[9] A. R. Panda, D. Mishra, and H. K. Ratha, "FPGA implementation of software defined radio-based flight termination system," IEEE Trans. Ind. Informatics, vol. 11, no. 1, pp. 74–82, 2015, doi: 10.1109/TII.2014.2364557.

[10] G. Miko and A. Nemeth, "SCFDM based communication system for UAV applications," Proc. 25th Int. Conf. Radioelektronika, RADIOELEKTRONIKA 2015, pp. 222–224, 2015, doi: 10.1109/RADIOELEK.2015.7129014.

[11] U. Trabajo and F. De Grado, "Sistema de digitalización controlado por fpga para un radar embarcado en dron," 2018.

[12] "SDRAM @ www.fpga4fun.com." [Online]. Available: <https://www.fpga4fun.com/SDRAM.html>.

[13] "support @ www.xilinx.com." [Online]. Available: <https://www.xilinx.com/support.html#documentation>.

[14] M. Kucharczyk and G. Dziwoki, "Simple Communication with FPGA Device over Ethernet Interface," Commun. Comput. Inf. Sci., vol. 370 CCIS, pp. 290–299, 2013, doi: 10.1007/978-3-642-38865-1_30.

[15] D. A. Carrier, "Meeting your operational needs is our mission," 2016.

[16] O. Systems, "Real-Time."



MODELACIÓN Y ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE RADARES MONOPULSO DE BANDA L FRENTE A JAMMING POR RUIDO

Mayo. Téc. Avc. Guerrero Esteban, Mayo. Téc. Avc. Gallegos Julio

RESUMEN

El jamming es una de las principales medidas de ataque electrónico, especialmente cuando se busca minimizar o anular la detección de los radares hacia aeronaves u objetos de interés, bajo esta amenaza, la evolución de los radares en las formas de protección a estos ataques, ha sido significativa, a fin de que este pueda seguir realizando la vigilancia y control del espacio aéreo, a pesar de encontrarse en un ambiente de guerra electrónica, que busque minimizar su operación y detección, diferentes técnicas de saltos de frecuencia, variación de la frecuencia de repetición de pulsos, etc., le permitirán al operador de radar, explotarlas de la mejor manera para mantener esa vigilancia sin afectación o disminución de capacidades de detección. Una de las formas de poder comprender el efecto del jamming o interferencia, es modelar y simular los escenarios reales, en plataformas que permiten realizar este trabajo como el STK, que permite simular, modelar y calcular datos y parámetros de los sistemas involucrados, para este estudio se requiere modelar el escenario de terreno y entorno atmosférico, el radar y jammer, con todas sus características y parámetros de funcionamiento y la aeronave a ser detectada, con un script de su radar cross section RCS, con el modelado de estos sistemas, el STK calcula los parámetros involucrados en este caso se requiere obtener la relación de señal a ruido SNR de la detección de la aeronave por parte del radar, así como la relación señal a jamming SJ a fin de compararlas y analizar la afectación del jamming en la detección del radar, pudiendo con los resultados obtenidos determinar que se minimiza el desempeño o efectividad del radar frente a una señal de jamming, lo que ocasiona una pérdida o enmascaramiento de la detección de una aeronave.

ABSTRACT

Jamming is one of the most common electronic attacks, especially when seeking to minimize or avoid radar detection; under this threat, the evolution of radars facing these attacks has been significant, keeping the surveillance and control of the airspace, even in electronic warfare scenarios, which seeks to minimize its operation and detection, different frequency hopping techniques, pulse-repetition frequency changes, etc., will allow the radar operators to keep up the surveillance without affecting or reducing radar detection capabilities. One of the ways to understand the effect of jamming or interference is to model and simulate real scenarios on platforms using software that allows this in an efficient way, such as STK, which allows simulating, modeling, and calculating data of the systems involved, for this scenario we need to model the terrain and atmospheric environment, the radar, and jammer, with its characteristics and operational parameters; and the aircraft to be detected, with a script of its radar cross-section RCS, with the mathematical model of these systems, the STK calculates the parameters involved in this scenario, it obtains the SNR signal-to-noise ratio of the aircraft detection by the radar, as well as the signal-to-jamming ratio to compare them and analyze the impact of jamming on radar detection, With the model results, we can explore and compare the performance or radar effectiveness concluding the several affectations under jamming electronic attacks.

Keywords: Jamming, noise, radar, Signal-noise ratio (SNR), electronic warfare, STK

INTRODUCCIÓN

Sin lugar a dudas, la genialidad del ser humano no tiene límites, y son precisamente las crisis las que ponen a prueba la iniciativa y el conocimiento de los hombres, en la búsqueda de soluciones efectivas a los problemas presentados. Bajo este contexto, la vigilancia y el control del espacio aéreo de la era moderna, se ve influenciada por los acontecimientos históricos transcurridos durante la Segunda Guerra Mundial en 1940, cuando el arte y la ciencia militar se conjugaron para desarrollar un sistema que permitiría la protección de los recursos vitales de Inglaterra, frente a los constantes ataques de la aviación Alemana (Luftwaffe) en su intento por alcanzar la superioridad aérea en las costas inglesas, para una posterior invasión mediante desembarcos anfibios que permitirían consolidar el dominio de la Alemania de Adolfo Hitler en Inglaterra (operación León Marino). De este problema de carácter militar, y bajo la consigna de Winston Churchill, primer ministro de Reino Unido, de defender la isla a como dé lugar, surge la genialidad del Mariscal en Jefe del Aire Hugh Dowding quien, aprovechando la invención del radar desarrollado por el científico escocés Robert Watson Watt (Skolnik, 2001), diseñó un sistema defensivo que integraba: sistemas de vigilancia radar complementados por observadores terrestres, aviones interceptores en alerta y listos para reaccionar ante la presencia de amenazas aéreas, armas antiaéreas ubicadas estratégicamente para la protección de áreas sensibles y un sistema de Mando y Control que mediante la actualización de la información remitida por los operadores de radar, mantenían un cuadro aéreo identificado manual, permitiendo la toma ágil y oportuna de decisiones a fin neutralizar las amenazas aéreas alemanas que ingresaban al espacio aéreo inglés. Este sistema fue denominado “El Sistema Dowding” en honor a su creador, sin embargo, actualmente es conocido a nivel mundial como “El Sistema de Defensa Aérea”.

La invención del radar fue aquel punto de inflexión que le permitió a Inglaterra, contar con una ventaja táctica con la que los medios aéreos lograban ser más efectivos a la hora de conocer la posición de la amenaza y neutralizarla, sin embargo, este descubrimiento llega a la era moderna gracias al aporte de varios científicos que, gracias al estudio sistemático de los fenómenos ocurridos en la naturaleza, logran descubrir a la onda electromagnética e idear sus posibles aplicaciones prácticas. Es increíble pensar la gran cantidad y tipo de ondas que nos rodean y sus aplicaciones prácticas en la vida contemporánea, considerando que estas son utilizadas en hornos microondas, en teléfonos celulares, en computadoras, en controles remotos, en señales de radio y televisión y por supuesto en radares.

Tanto en el ámbito militar, como en el civil, el empleo de los radares es cada vez más común, desde los simples radares para el control de la velocidad en las carreteras, como en los sistemas más sofisticados de defensa y de armamentos tanto en tierra como a bordo de buques, barcos, portaviones, aeronaves, e inclusive en satélites, siendo el radar un equipo indiscutiblemente imprescindible para la defensa aérea del territorio nacional, frente a la diversidad de amenazas existentes, siendo esta la primera línea de defensa y alerta ante estas amenazas.

En este caso de estudio en particular, nos enfocaremos al análisis de los radares militares de alarma temprana, cuyo rol principal es el de mantener la vigilancia de un espacio aéreo definido; los que son ubicados en sectores estratégicos a fin de que su onda electromagnética permita detectar posibles amenazas aéreas que intenten afectar los recursos vitales de un País. La evolución de estos equipos a lo largo de la historia ha tenido un largo camino de constantes avances y mejoras para su fin, desde el uso de magnetrones (Skolnik, 2008), amplificadores de potencia con del tipo Klystron (Raemer, 1996), hasta los transmisores actuales de estado sólido, disminuyendo la potencia de transmisión, y mejorando los receptores, con mejor sensibilidad y precisión (Kolawole, 2002), así como también las antenas usadas para la transmisión y recepción de las señales de estos equipos, que han evolucionado desde los grandes arreglos de antenas dipolo, hasta las antenas de arreglos de fase (phased array antennas) (Kraus & Marhefka, 2003),

así se pueden describir y enumerar una serie de avances y mejoras en la tecnología usada para la detección en los radares, para fines de este trabajo, nos hemos centrado en radares monopulso de banda L (1-2 GHz) (Vakin & Shustov, 2001), es necesario recordar que para radares militares de alarma temprana, la banda de operación mayormente usada era la banda S (2-4 GHz) (Graham, 2011), que en la actualidad debido a diferentes circunstancias, factores y avances tecnológicos, han migrado a la banda L, principalmente tomando en cuenta que esta banda se ve menos afectada por la atenuación producida por los efectos atmosféricos conforme a la distancia. Siendo esta la principal característica para aplicar el uso de esta banda en radares de alarma temprana principalmente.

Una de las características más importantes en los radares militares, es la capacidad y desempeño para operar en ambientes o escenarios de guerra electrónica (electronic warfare) (Adamy, 2001), con medidas de protección electrónica que les permitirán mantener la detección de aeronaves y blancos de interés frente a ataques electrónicos, o jamming, entendiendo como tal a toda señal externa al sistema radar, que es emitida en la misma frecuencia de operación de éste y que producen como resultado un enmascaramiento de los objetivos de interés o blancos.

La efectividad del equipo está dada por la capacidad de interacción entre el hombre y la máquina, es por ello que la pericia del operador del radar debe enfocarse en como enfrentar y distinguir estas amenazas, y contrarrestar las mismas explotando las capacidades de guerra electrónica de los radares que le permitan mantener la detección y seguimiento de las aeronaves y blancos de interés, para poder explotar estas características, es necesario conocer a fondo las capacidades de los radares que se están empleando, parámetros de su funcionamiento, y en especial cuáles son las que se emplearán en caso de ataques electrónico, interferencias o jamming (Wiley, 2006), para lograr este conocimiento, no es suficiente el conocimiento teórico de funcionamiento y operación, sino de la pericia en situaciones reales de operación de los radares bajo diferentes circunstancias; es así que para poder entrenar a los operadores de radar en este campo, se requieren ejercicios reales empleando equipos de ataque (pods) o de interferencia activos, en aeronaves, a fin de poner a prueba los radares y la pericia de los operadores. Al contar con recursos limitados, para este fin, y con el afán de optimizar los recursos empujados en ello, los modelamientos y simulaciones se han convertido en aliados de vital importancia para este efecto (Wang et al., 2019), al poder simular cualquier escenario real y su comportamiento o desempeño en los diferentes sistemas involucrados. Como operadores de radar explotar las características de los mismos y maximizarlas en las operaciones de defensa aérea, es de vital importancia para el cumplimiento de su misión, y es así que para escenario de ataque electrónico o interferencia, el operador requiere conocer como se afecta la detección y el desempeño de los radares, como su señal se ve degradada en función del ataque, considerando que estos equipos detectan los blancos y aeronaves de interés, en función de la señal generada por el radar, y su rebote o eco en el blanco, para posteriormente ser detectada y procesada por el radar para su presentación visual, en el caso de presentarse una interferencia, existirá una afectación a esta detección y procesamiento, y para determinar esta afectación es necesario conocer y conceptualizar el jamming desde el punto de vista militar, como el propósito de interferir el uso efectivo del espectro electromagnético por parte del enemigo (Graham, 2011).

Por mucho tiempo el jamming se ha clasificado como una contra medida electrónica (CME), pero actualmente se clasifica dentro del ataque electrónico (AE) (Vakin & Shustov, 2001), el funcionamiento básico del jamming es el de emitir una señal de interferencia al receptor del equipo o dispositivo enemigo, esta señal de interferencia, debe ser lo suficientemente mas fuerte, para que el enemigo no pueda recuperar la información recibida de la señal deseada en sus receptores (Kolawole, 2002; Vakin & Shustov, 2001), pues en esta parte de los equipos la señal deseada recibida se suma o se adiciona con la señal de interferencia, lo que no permite distinguir y procesar la señal para que sea presentada o visualizada en la pantalla.

de los radares; existen diferentes técnicas de jamming, entre las más usuales, para este fin, el jamming de engaño que genera señales falsas, lo que ocasiona que el radar atacado, genere una señal y por ende visualización de falsos blancos, o blancos con distancias y azimut erróneos para este fin, y el jamming por ruido que genera una señal de ruido en el espectro de frecuencias del radar atacado, para evitar la recuperación de la señal de detección de aeronaves o blancos de interés, ocultando el blanco dentro de la señal con ruido afectando la visualización del mismo(Raemer, 1996).

Basándose en la ecuación radar(Shen et al., 2011), la potencia de la señal recibida en los receptores es:

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4 L}$$
 (1)

Donde P_r es la potencia de la señal recibida en el radar; P_t, G_t son la potencia de la señal transmitida y la ganancia de la antena en transmisión respectivamente, G_r es la ganancia de la antena en recepción, la longitud de onda de operación del radar está dada por λ , R es el rango entre el radar y el blanco, y las pérdidas de propagación y del equipo están dadas por L , mientras que el radar cross section (RCS) de la aeronave esta determinado por σ .

La medida para comparar la relación entre la potencia de la señal deseada y la potencia del ruido se denomina relación señal a ruido (SNR), y se puede expresar esta relación para definir el SNR (Shen et al., 2011)de la señal de un radar que usa un filtro emparejado para detección a partir de (1), mediante la siguiente ecuación:

$$(S/N) = SNR = \frac{P_t \tau G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 R^4 B_n F L C_B}$$
 (2)

Donde B_n es el ancho de banda del radar después de la compresión de pulso en recepción, F es la figura de ruido en el radar, τ es el ancho de pulso del radar, y C_B es el coeficiente de pérdidas de los filtros emparejados, generalmente definido en un valor de 1.2. La eficacia de la interferencia o jamming, hacia un radar depende de varios factores como la potencia de transmisión y la distancia hacia el radar a ser interferido, para efectos de este modelamiento, se asumirá el cálculo de la relación señal versus jamming asumiendo que la señal ingresará por los lóbulos laterales,

El objetivo de este trabajo se enfoca en evaluar y analizar el desempeño y detección de un radar monopolso de banda L (1-2 GHz) frente a un ataque de jamming por ruido con onda continua y mediante pulsos, para detectar una aeronave con un determinado RCS (radar cross section), en un entorno de modelamiento y simulación(Novillo et al., 2016), este análisis se ha realizado en función de la relación señal a ruido SNR comparando con la señal de la relación señal a jamming, mediante gráficas de estas dos señales en función del tiempo.

Método/Descripción de la metodología

El software STK (Systems tool kit) permite modelar y analizar matemáticamente, así como visualizar diferentes escenarios, sistemas y su comportamiento frente a diferentes variables de un entorno real, estos sistemas pueden ser de comunicaciones, radares, misiles, satélites, aeronaves, barcos, etc. Para este fin de modelamiento y simulación nos centraremos en la parte de radares, reproduciendo un escenario con datos reales; y de esta manera obteniendo resultados numéricos, y visuales, comparando los resultados del modelamiento del radar en un escenario con jamming y sin jamming, es decir comparando las señales de SNR del radar, con la señal de interferencia, esta comparación permitirá comprender la afectación de una señal

de jamming en el desempeño del radar y de esta manera el operador del radar puede primero, identificar el comportamiento del radar frente a un ataque electrónico, y segundo tomar la mejor acción explotando las capacidades del radar para minimizar el ataque de jamming por ruido, y poder mantener la vigilancia del espacio aéreo.

Para realizar este modelamiento se han definido 4 sistemas que intervienen en la simulación y cálculos que se requieren para este estudio, y son el escenario en donde se avalúan el radar, aeronave e interferidos (jammer), el radar en sí con todos los parámetros de operación que afectan en su funcionamiento y operación, la aeronave que en función de su detección se evaluará el desempeño del radar, y el interferidor o jammer, que realizará el ataque o interferencia al radar para evitar la detección de la aeronave.

Modelado del Escenario

Para el escenario, es necesario incluir en la herramienta STK, los modelos digitales del terreno donde se va a realizar el modelamiento, en este caso, con una resolución de 30 metros, la extensión del modelo de absorción atmosférica TIREM (Terrain Integrated Rough Earth Model) con éstos datos realiza los cálculos tomando en cuenta entre otros, los parámetros mas importantes de: clutter del terreno, clutter del mar, la reflexión y refracción de la señal del radar, humedad, presión atmosférica, temperatura, y otros aspectos que influyen, en la propagación de las ondas electromagnéticas del radar para la detección de blancos o aeronaves.

Modelado del radar

Los parámetros que se han tomado en cuenta para modelar el radar, se describen en la Tabla 1., con estos parámetros, aplicando la ecuación (1) la herramienta STK obtendrá la potencia recibida por el radar.

Tabla 1. Parámetros para modelamiento del radar

Parámetros	Valores	Unidades
Altura de la antena sobre el nivel del terreno	6.7	m
Frecuencia de operación (fija)	1.3075	GHz
Ancho de banda del sistema	225	MHz
Potencia de operación	15	Kw
Frecuencia de repetición de pulsos PRF	605	Hz
Sensibilidad	-130	dBm
Ganancia de la antena	32	dB
Ganancia de los lóbulos laterales de la antena	-30	dB
Ancho del lóbulo principal punto 3 dB	3	Grados
Ángulo de elevación del lóbulo Principal	6	Grados
Ancho de pulso	170	µs
Polarización de la antena	Vertical	N/A
Número de Integración de pulsos	5	N/A
Rotación de la antena	6	Rpm
Tipo de antena	Phased array, Pencil Beam	N/A

Fuente: Elaboración Propia

Para modelar un radar con tecnología pencil beam monopulso, en el STK es necesario modelar individualmente los pinceles y apilarlos secuencialmente variando los ángulos de elevación, como se ilustra en la Figura 1.

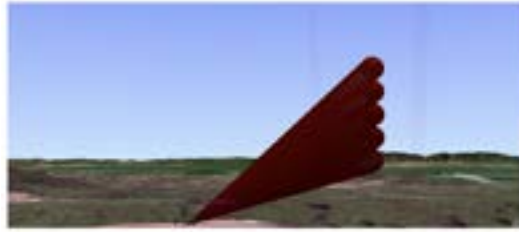


Figura 1. Modelamiento de radar en pencil beam
Fuente: Elaboración Autores

Modelado de la Aeronave

La aeronave se ha definido con un script para modelar el comportamiento del radar cross section RCS, característico de una avioneta tipo Cessna. Como se ilustra en la Figura 2; se ha establecido un vuelo con ruta desde los 800 hasta los 2800 ft de altura y velocidad constante de 146 Kts. Para una trayectoria de 245 NM, como se ilustra en el perfil de vuelo de la Figura 3

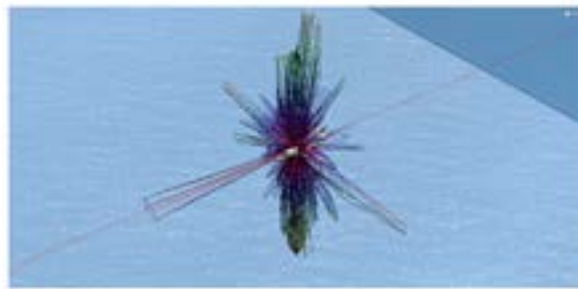


Figura 2. Script de Modelamiento de RCS de la aeronave
Fuente: Elaboración Autores

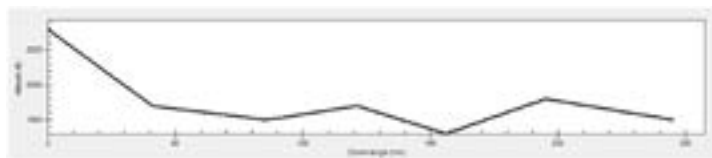


Figura 3. Perfil de vuelo y distancia recorrida de aeronave modelada
Fuente: Elaboración Autores

Modelado del Jammer

El jammer se ha modelado para afectar al radar según los parámetros de la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros para modelamiento del jammer

Parámetros	Valores	Unidades
Frecuencia de operación (fija)	1.3075	GHz
Distancia al radar	200	Km
Potencia de operación	2	Kw
Ganancia de la antena	21	dBi
Polarización de la antena	Vertical	N/A
Número de Integración de pulsos	5	N/A
Tipo de antena	Logarítmica Direccional	N/A

Fuente: Elaboración Autores

Con estos datos se modela el escenario para que el jammer afecte al radar y se pueda realizar el cálculo de la señal de la relación S/J (señal-jamming) que no son mas que la relación de la señal del radar versus la señal de interferencia o jamming y se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$S/J = \frac{P_t \tau G^2 R_j^2 \sigma B_j L_{pol}}{(4\pi)^3 R^4 L_{G_{sl}} ERP} \quad (3)$$

Donde: R_j^2 es la distancia del jammer hacia el radar, B_j es la cantidad de potencia del jammer, que ingresa al radar, L_{pol} son las pérdidas de polarización, ERP es la potencia del jamming y G_{sl} es la ganancia de los lóbulos laterales de la antena del radar, esta ecuación se usa para el análisis de la interferencia que se realiza a través de los lóbulos laterales, especialmente cuando se realiza el ataque mediante stand off jamming, al realizar un jamming mediante ruido, la señal del jamming, se suma al ruido del sistema, siendo este efecto el que afecta al desempeño en la detección de los radares.

RESULTADOS

Una vez realizado el modelamiento y simulación, es necesario obtener los datos y señales a ser analizados, en este caso, el STK ha calculado la señal de SNR con (2) tomando muestras cada segundo de la detección del radar, durante el período de simulación, la gráfica obtenida del SNR, respecto al tiempo, se muestra en la Figura 4, donde se pueden apreciar los niveles de la señal SNR, en función del tiempo, y a la vez se ha incluido el cálculo del rango de la aeronave detectada.

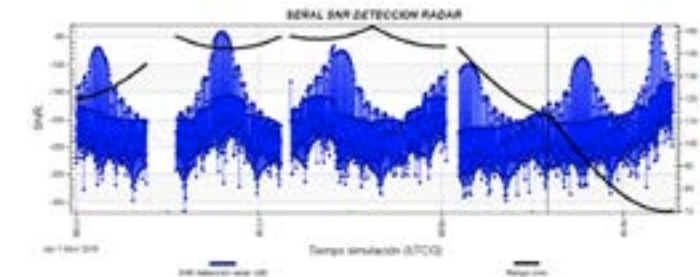


Figura 4. Gráfica de la señal SNR de la detección del radar
Fuente: Elaboración Autores

Con la señal del SNR como referencia, y mediante (3), se puede calcular y obtener la gráfica de la señal S/J, tomando muestras cada segundo de la detección del radar, mientras es afectado por el jamming, durante el período de simulación, siendo la señal resultante la que se muestra en la Figura 5, de la misma manera que la gráfica anterior se incluye el cálculo del rango de la aeronave detectada.

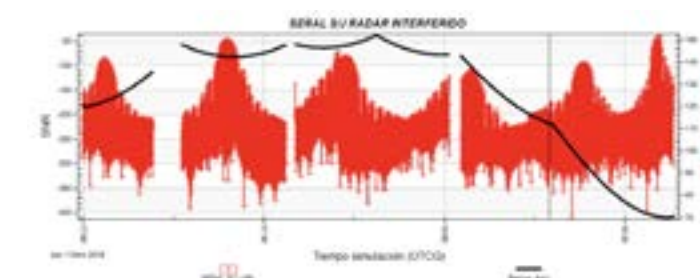


Figura 5. Gráfica de la señal S/J de la detección del radar interferido
Fuente: Elaboración Autores

Con la finalidad de poder comparar las señales de SNR de la detección del radar versus la señal de S/J cuando el radar esta siendo afectado por el jamming, se muestra la Figura 6 con las señales superpuestas, en los mismos parámetros de cálculo, lo que permitirá una mejor comprensión y análisis de la afectación del jamming en el radar.

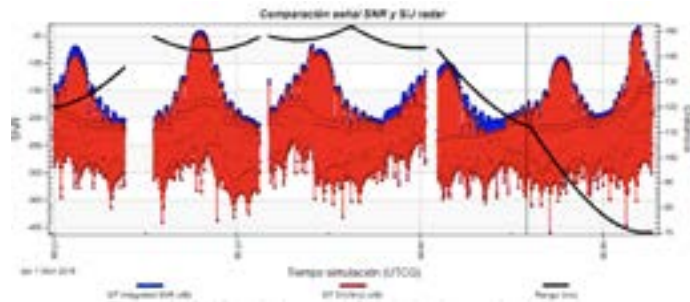


Figura 6. Gráfica de la señal S/J de la detección del radar
Fuente: Elaboración Autores

DISCUSIÓN

Con los cálculos anteriores y las gráficas correspondientes, de las señales de SNR y de S/J se pueden plantear argumentos, en función de los resultados obtenidos, y que permiten analizar cual es la afectación del jamming para un radar modelado, del tipo monopulso y con frecuencia de operación en banda L, y como se puede apreciar en las gráficas resultantes, la señal S/J llega casi al máximo valor que alcanza la señal de SNR sin el jamming, con el gráfico del cálculo del rango, se puede también analizar el valor alcanzado de cada señal en función de la distancia, de acuerdo a las muestras tomadas cada segundo para el cálculo de las señales, los valores alcanzados de SNR tienen un promedio de -212.371 dB, el valor máximo es de -31.3524 dB y el mínimo de -366.023 dB, mientras que de la señal S/J, tienen un promedio de -228.359 dB, el valor máximo es de -38.3477 dB y el mínimo de -408.885 dB; la fluctuación de los valores de las señales en cada gráfica, se pueden interpretar al analizar cada uno de los valores de (2) y (3), que intervienen en los cálculos de las señales y afectan en la detección del radar. Se puede observar también en las gráficas, que existen regiones sin datos o valores en determinados períodos de tiempo, y estas corresponden a los períodos de tiempo que el radar no detecta a la aeronave, posterior al análisis y a los datos calculados por el STK, se pudo determinar que esa ausencia de datos coincide con los virajes de la aeronave durante la ruta, este y otros factores causan que la aeronave no sea detectada por el radar, pero este análisis no es materia de este estudio.

CONCLUSIÓN

La señal SNR del radar en la detección de la aeronave se ve altamente afectada cuando el radar es interferido o jammeado, lo que resulta o se puede determinar en la señal S/J, que como se muestra en la Figura 6 afecta o disminuye notoriamente el desempeño del radar al momento de la detección de la aeronave, esta afectación de la señal, causa que el sistema, no pueda procesar el eco de retorno de la aeronave, y no se pueda visualizar en la pantalla del operador, debido a la señal de ruido que recibe el radar desde el jamming, está sintonizado en la misma frecuencia o frecuencias de operación, es importante determinar que este jamming, es efectivo al poder conocer la frecuencia exacta de operación del radar, y con una potencia adecuada, se puede lograr la interferencia deseada.

Obviamente en la actualidad no es tan fácil conseguir ese fin tan fácilmente, pues los radares cuentan con mecanismos de detección y defensa frente a estos ataques, las técnicas de salto de frecuencia, y el transmitir en frecuencias aleatorias dentro de su ancho de banda, permiten minimizar los efectos del jamming, así como se puede detectar la dirección del ataque de jamming, estas facilidades y características de protección deben ser explotadas por el operador del radar de manera ágil, oportuna y eficiente, y este cometido se logra con una completa comprensión y conocimiento de los efectos del jamming en los radares; lo que este tipo de simulaciones y modelamientos permiten realizar y visualizar, las afectaciones y cambios en el desempeño y funcionamiento de los radares, teniendo la facilidad de variar los parámetros, y obtener los resultados de esos cambios.

Con estos modelamientos se pueden tomar decisiones, no solo en la operación y configuración de los sistemas, sino también para la planificación, compra, ubicación y comparación de radares, y sistemas de defensa mediante un estudio comparativo e integral de cada una de las características de los mismos, en función de los resultados tanto visuales como numéricos que se obtienen al modelar sistemas en plataformas que permiten obtener parámetros de desempeño, y evaluación de un equipo o sistema con diferentes configuraciones y tecnologías, y modelarlos en un ambiente real tanto del equipo como del entorno ya sea atmosférico, clima terreno, etc. y así poder tomar decisiones de empleo o de compra y utilización.

REFERENCIAS

- Adamy, D. (2001). EW 101 A First Course in Electronic Warfare (First, Vol. 1). Artech House radar library.
- Graham, A. (2011). Communications, Radar and Electronic Warfare (Second). Wiley.
- Kolawole, M. (2002). Radar Systems, Peak Detection and Tracking (First).
- Kraus, J. D., & Marhefka, R. J. (2003). Antennas: For All Applications (Third). Mc Graw Hill.
- Novillo, F., Romero-Arguello, J., Guerrero, E., Figueroa, J., & Suarez, C. (2016). Performance evaluation of radar systems in noise jamming environments. 2016 IEEE Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM), 1–6. <https://doi.org/10.1109/ETCM.2016.7750823>
- Raemer, H. R. (1996). Radar Systems Principles (First). CRC Press.
- Shen, T., Ding, J., Ding, Y., & Shi, J. (2011). A method of detection performance modeling in jamming condition based on radar network system. Proceedings of 2011 IEEE CIE International Conference on Radar, 2, 1366–1369. <https://doi.org/10.1109/CIE-Radar.2011.6159812>
- Skolnik, M. I. (2001). Introduction to Radar Systems (Third). Mc Graw Hill.
- Skolnik, M. I. (2008). Radar Handbook (third). Mc Graw Hill.
- Vakin, S. A., & Shustov, L. N. (2001). Fundamentals of electronic warfare (First). Artech House.
- Wang, W., Li, J., Si, W., & Wang, W. (2019). Analyze on Space Target Detection Capability of Ground-based Radar Based on STK. 2019 3rd International Conference on Electronic Information Technology and Computer Engineering (EITCE), 1027–1032. <https://doi.org/10.1109/EITCE47263.2019.9094908>
- Wiley, R. G. (2006). Elint the interception and analysis of radar signals (First). Artech House.



GALERIA DE DIRECTORES

Gen. Luis R. Obispo Junio 22 - Enero 26	Gen. Julio Escobar Enero 26 - Mayo 26	Gen. Enrique Milla Mayo 26 - Julio 26	Gen. Ignacio Pizarro Julio 26 - Julio 31	Gen. Rafael Arce Julio 31 - Noviembre 31	Gen. Jorge Peña Noviembre 31 - Abril 32	Gen. Antonio Ordoñez Abril 32 - Septiembre 32
Gen. Raúl Cordero Septiembre 32 - Enero 33	Gen. Carlos Bustos Enero 33 - Junio 33	Gen. Jaime Pantoja Junio 33 - Julio 33	Gen. Pablo Vargas Julio 33 - Septiembre 33	Gen. Fermín Sandoval Septiembre 33 - Agosto 34	Gen. Guillermo Pizarro Agosto 34 - Agosto 34	Gen. Ángel Flores Agosto 34 - Julio 35
Gen. Marcelo Estigarribia Julio 35 - Noviembre 35	Gen. Guillermo Pizarro Noviembre 35 - Abril 36	Gen. Carlos Jaramilla Abril 36 - Septiembre 36	Gen. Víctor H. H. H. Septiembre 36 - Abril 37	Gen. Carlos Pizarro Abril 37 - Septiembre 37	Gen. Guillermo Pizarro Septiembre 37 - Agosto 38	Gen. Ricardo Jaramilla Agosto 38 - Septiembre 38
Gen. Hermán Quiroga Septiembre 38 - Noviembre 38	Gen. Joaquín Quiroga Noviembre 38 - Abril 39	Gen. Guillermo Pizarro Abril 39 - Septiembre 39	Gen. Eduardo Pizarro Septiembre 39 - Mayo 40	Gen. Jorge Pizarro Abril 40 - Agosto 40	Gen. Guillermo Pizarro Agosto 40 - Febrero 41	Gen. Ángel Quiroga Febrero 41 - Mayo 41
Gen. Ramón Pizarro Mayo 41 - Abril 42	Gen. Ernesto Quiroga Abril 42 - Agosto 42	Gen. Lorenzo Pizarro Agosto 42 - Enero 43	Gen. Marcelo Pizarro Enero 43 - Mayo 43	Gen. César Pizarro Abril 43 - Julio 43	Gen. Manuel Pizarro Agosto 43 - Agosto 43	Gen. Pizarro Pizarro Agosto 43 - Agosto 43
Gen. Jorge Pizarro Agosto 43 - Agosto 43	Gen. Hugo Pizarro Agosto 43 - Agosto 43	Gen. Eduardo Pizarro Agosto 43 - Abril 44	Gen. Eduardo Pizarro Abril 44 - Agosto 44	Gen. Manuel Pizarro Agosto 44 - Agosto 44	Gen. Manuel Pizarro Agosto 44 - Agosto 44	Gen. Manuel Pizarro Agosto 44 - Agosto 44

EL CONOCIMIENTO ES EL PODER





ARTÍCULO Nro. 6

PROPUESTA DE SISTEMA DE GESTIÓN DE RIESGO GESTIONANDO EL FACTOR HUMANO EN LA AVIACIÓN DE COMBATE PARA EL PERIODO 2022 AL 2024.

Mayo. Plto. Avc. Pavón Antonio

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es establecer un sistema de gestión de riesgos, siguiendo los lineamientos de la norma ISO 31000, para mitigar los riesgos asociados a la interacción del ser humano en las operaciones de vuelo de la aviación de combate de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, partiendo del análisis de los accidentes aéreos de este tipo de aviación en el periodo 2000 – 2019, con el método HFACS, a fin de identificar las principales interacciones del ser humano en contribución para la ocurrencia de los accidentes.

Esta información fue tomada como base para la elaboración de encuestas y entrevistas a los pilotos de combate de la FAE, a fin de identificar los elementos que están presentes actualmente que afectan el riesgo operacional, determinándose falencias en los niveles de organización y supervisión; así como también, condiciones latentes y actos inseguros, los cuales fueron evaluados en un sistema de gestión de riesgos y se establecieron defensas para tratarlos con una propuesta de mejora continua con herramientas de recolección de información.

Esto permitirá adaptarse a nuevos riesgos identificados, ante las variables existentes en las operaciones de vuelo, pudiendo ser empleado como una herramienta proactiva y predictiva de la seguridad operacional.

Palabras clave: HFACS, sistema de gestión de riesgos, factores humanos.

ABSTRACT

The objective of this paperwork is to establish a risk management system, following the guidelines of the ISO 31000 standard, in order to mitigate the risks associated with human interaction in the flight operations of the combat aviation of the Ecuadorian Air Force, based on the analysis of air accidents of this type of aviation in the period 2000 - 2019, with the HFACS method, in order to identify the main interactions of the human being in contribution to the occurrence of accidents.

This information was taken as a basis for a poll and interviews with the Air Force fighter pilots, in order to identify the elements that were currently presented that affect operational risk, determining shortcomings in the levels of organization and supervision, as well as latent conditions and unsafe acts, which were evaluated in a risk management system and defenses were established to deal with them, with a continuous improvement system with information collection tools, which will allow to adapt to new risks identified, given the variables existing in flight operations, and can be used as a proactive and predictive tool for operational safety.

Keywords: HFACS, risk management system, human factors.

INTRODUCCIÓN

Los costos totales de un accidente son muy difíciles de cuantificar, es una catástrofe que tiene más de una repercusión profunda en una organización, es por este importante elemento, que las empresas de aviación privadas, así como las organizaciones gubernamentales, como la Fuerza Aérea Ecuatoriana, destinan grandes esfuerzos de inversión en la prevención de accidentes, en cumplimiento a normativa internacional y nacional que reglamenta las actividades aéreas (International Civil Aviation Organization [OACI], 2018).

La importancia de centrar el presente trabajo de investigación en el factor humano es debido a que durante los últimos años de desarrollo de la industria aeronáutica se han promovido mejoras en los sistemas de las aeronaves y procesos redundantes, que han minimizado los accidentes por motivos de falla material, siendo actualmente el factor humano el principal causante de accidentes aéreos, donde errores humanos han causado entre el 70 al 80% de los accidentes de aviación, sea estos pilotos, controladores de tránsito aéreo, tripulación menor, entre otros (Kilic & Gündogdu, 2020, p. 104; LATAM Airlines Group, 2014, pp. 2–3).

El problema es evidente, ya que aunque se desarrolla tecnología para mejorar a las aeronaves y a los sistemas de navegación y soporte en tierra, no se puede cambiar al ser humano, los mismos que en las operaciones aéreas enfrentan varios retos, que según Havle y Kilic (2018) y Kilic y Ucler (2019, citado en Kilic y Gündogdu, 2020, p. 105) son: el cansancio y otros factores fisiológicos, así como también los orientados al estado psicológico de los mismos como: estrés, complacencia, sobreconfianza, entre otros, lo que provoca el aumento de errores o violaciones en determinados casos (Kilic & Gündogdu, 2020, p. 104).

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Alcanzar la meta de cero accidentes es únicamente posible si se dejara de cumplir operaciones de vuelo, pero lo que se busca en la industria aeronáutica es crear mecanismos de prevención que permitan detectar a tiempo cualquier hecho que pueda contribuir a un accidente, de manera que se corte la cadena de eventos, esto se puede plasmar en la filosofía de varias organizaciones que trabajan insaciablemente en busca de herramientas de prevención; por ejemplo, en el Brasil, el Centro de Investigación y Prevención de Accidentes (CENIPA) aplica programas basados en un sistema de prevención de accidentes aeronáuticos (SIPAER), teniendo como declaración filosófica “todo accidente, puede y debe ser evitado” (Centro de Investigación y Prevención de Accidentes [CENIPA], s.f., p. 29).

Por lo tanto, el presente trabajo busca entregar una herramienta útil para el análisis del factor humano y su interacción con el sistema que lo rodea, empleando la metodología del sistema de análisis y clasificación de factores humanos (HFACS) por sus siglas en inglés, centrándose en la aviación de combate de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (FAE), a fin de crear herramientas de prevención útiles y que permitan elaborar modelos, identificando puntos vulnerables que requieran la atención de la organización con el fin de establecer barreras de protección para evitar posibles accidentes o incidentes, basándose en los principios de la herramienta ISO 31000 y la metodología para establecer un sistema de prevención de riesgos.

OBJETIVO

Proponer un sistema de gestión de riesgos, con orientación al Sistema de Clasificación y Análisis de Factores Humanos, complementado con la norma ISO 31000, empleando la información levantada de los accidentes de la FAE en la aviación de combate del 2000 al 2019.

OBJETIVO

Proponer un sistema de gestión de riesgos, con orientación al Sistema de Clasificación y Análisis de Factores Humanos, complementado con la norma ISO 31000, empleando la información levantada de los accidentes de la FAE en la av

MATERIALES Y MÉTODOS

Informes de las Juntas de Investigación de Accidentes Aéreos (JIAA)

Se realizó el análisis de los informes de las JIAA, disponibles en el Departamento SIN del Ala de Combate Nro. 23, donde se tomó como población un total de 21 accidentes donde estuvieron involucradas aeronaves de combate de la FAE.

Sistema de Clasificación y Análisis de Factores Humanos (HFACS)

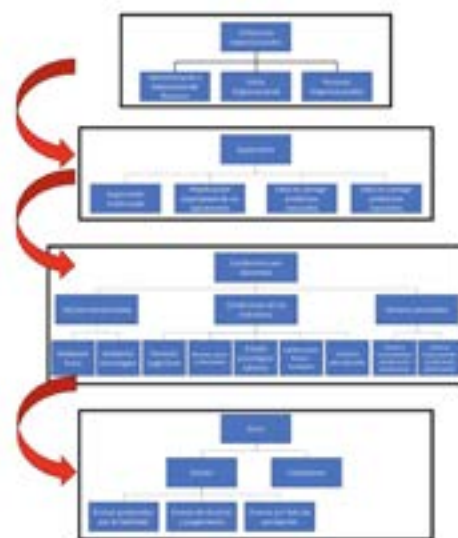
Basado en el modelo del queso suizo de Reason (1990, citado en Kilic, 2019, p. 30), establece cuatro niveles principales de fallas o condiciones, como se muestra en la figura 1; 1) actos, 2) condiciones preexistentes, 3) supervisión, y 4) influencia organizacional, de estas categorías principales se subdividen subcategorías.

A este enfoque, las Fuerzas de Defensa de Australia le sumaron un quinto componente, las defensas (Olsen, 2016, p. 125), lo que permite utilizar este método, primordialmente de investigación y establecimiento de causas de un accidente, para ser un ente predictivo de seguridad, es decir, dándole la oportunidad a la gerencia de una organización, saber en qué área intervenir para eliminar, mitigar o reducir los accidentes aéreos (Hulme et al., 2019; Miranda, 2018; Strauch, 2017).

En resumen, el HFACS ha sido descrito en números libros e investigaciones, (Wiegmann & Shappell, 1997, 2001a, 2001b, 2001c, 2003; Shappell & Wiegmann, 2001, 2003, 2004). Este modelo asume fallas activas, niveles 1 y 2 del modelo, siendo más próximas al accidente y las fallas latentes, nivel 3 y 4, los cuales se encuentran más distante del accidente, pero con implicaciones directas en el resultado de la seguridad operacional (Harris & Li, 2019, p. 3; Kilic & Gündogdu, 2020, p. 105).

Figura 1

Modelo HFACS del Departamento de Defensa de los Estados Unidos (DoD).



Fuente: Adaptado de Human Factors Analysis and Classification System, (p. 5) 2003, DoD.

Norma ISO 31000

Herramienta que establece una serie de principios para la implementación de un sistema de gestión de riesgos en las empresas. Adaptable a cualquier tipo de organización, busca minimizar, gestionar y controlar cualquier tipo de riesgo, más allá de su naturaleza, causa, origen o grado de incidencia. Esto se logra a través de la integración del sistema de gestión de riesgos con la estrategia de cada organización, así como a sus procesos, políticas y cultura (ISO, 2018, parr. 1). Se estructura en tres partes, que son: principios y directrices, gestión de riesgos y vocabulario de gestión.

DISEÑO Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para el presente trabajo se aplicaron técnicas de investigación no experimentales de tipo descriptivo y correlacional, donde a través de investigación bibliográfica, análisis del entorno organizacional y encuestas se levantó información que permita determinar posibles factores latentes que se encuentren presentes en la aviación de combate y buscar mitigarlas, reduciéndolas o eliminándolas, a fin de elevar los niveles de seguridad en las operaciones de vuelo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

En la primera etapa de la investigación, con el uso de las variables identificadas en el modelo HFACS, usando los informes finales de las juntas de investigación de accidentes aéreos, se identificó cada uno de las subcategorías determinando si contribuyó o no, en la ocurrencia del accidente.

Posteriormente, se tabuló la información para poder identificar qué niveles han intervenido de manera repetitiva en la ocurrencia de los accidentes, se identificó que subcategoría está interviniendo de manera específica para describirla, así de las mayores incidencias que se registraron, para elaborar la encuesta.

Población y muestra

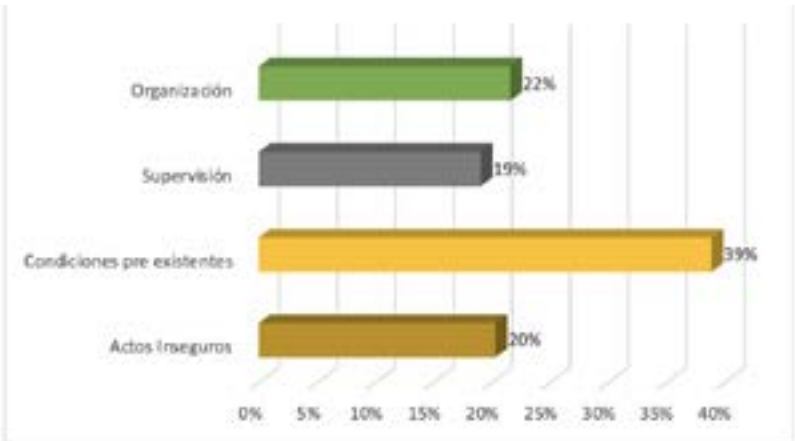
Tomando en consideración que el objetivo del presente trabajo de investigación estuvo orientado a un sistema de gestión de riesgos aplicado a la aviación de combate, donde se tomó como universo al 100% de los pilotos de combate de la Fuerza Aérea Ecuatoriana. Por motivo de sigilo de la información se reserva la cantidad numérica de la muestra, como se detalla a continuación:

- Accidentes analizados: se toman en consideración de 21 accidentes de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, en operaciones de la aviación de combate, en el periodo 2000-2019.
- Pilotos de combate: se toman en consideración todos los pilotos de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, que han cumplido actividad de vuelo de combate en los últimos doce meses.

DESARROLLO

Los resultados aplicando el método HFACS, tomando en consideración los niveles superiores, de manera que se evidencia en la figura 2, que el nivel más vulnerable para que sucedan los accidentes en la aviación de combate son las condiciones pre existentes, donde se adjudica que existió un 39% de situaciones que pudieron evitarse previo al accidente, los actos inseguros ocupan el 20%, la supervisión el 19% y la organización el 22%

Figura 2.
Participación de los diferentes niveles en los accidentes aéreos de la aviación de combate de la FAE en el periodo 2000 - 2019



Fuente: Elaboración propia

De las 147 diferentes subcategorías de los HFACS, se identificaron 34 fallas o condiciones que han evidenciado una mayor contribución en la ocurrencia de los accidentes en el periodo en mención, tomándose en consideración las principales con su respectivo orden se puede evidenciar en la tabla 1:

Tabla 1
Principales factores contribuyentes en orden de contribución

Nro.	Código	Principales ítems apreciables de contribución accidentes
1	SI001	Liderazgo / Supervisión / Inadecuado seguimiento
2	OP003	Guías / Publicaciones de procedimientos
3	AE103	Error de procedimientos
4	OR003	Soporte del operador
5	OP002	Programas y Políticas de Evaluación del Riesgo
6	AE202	Mala priorización de tareas
7	SI002	Modelo de Supervisión
8	SF002	Administración de las operaciones
9	OP006	Monitoreo / Administración de Programas
10	AE206	Mala Toma de decisiones durante la operación
11	PC102	Atención focalizada
12	PP103	Delegación de tareas
13	OP004	Entrenamiento organizacional Programas e incidencias
14	PP102	Desempeño de chequeo cruzado
15	AE301	Mala percepción
16	AV002	Rutinas
17	PE202	Instrumentación y Sistemas de retroalimentación sensorial
18	PC207	Presión autoinducida
19	PP101	Liderazgo de la tripulación / equipo
20	PP109	Planeamiento de la misión
21	PP112	Mala comunicación
22	AE102	Error de lista de chequeos
23	AE204	Acción necesaria demorada
24	PC504	Apreciación errónea de las condiciones operacionales
25	SI004	Políticas de Supervisión
26	SP006	Evaluación de Riesgo - Formal
27	AE105	Chequeo cruzado interrumpido
28	AE201	Evaluación del Riesgo - Durante la operación
29	AE205	Alerta de precaución o peligro ignorada
30	PE207	Interferencia entre el personal y el equipamiento
31	SI003	Problemas con los programas de entrenamiento locales
32	OR002	Recursos de aeropuertos
33	OR004	Políticas de adquisición / Diseño del proceso
34	OC001	Cultura / Valores organizacionales

Nivel fallas / condiciones de la Organización

Nivel fallas / condiciones de la Supervisión

Nivel Condiciones Latentes

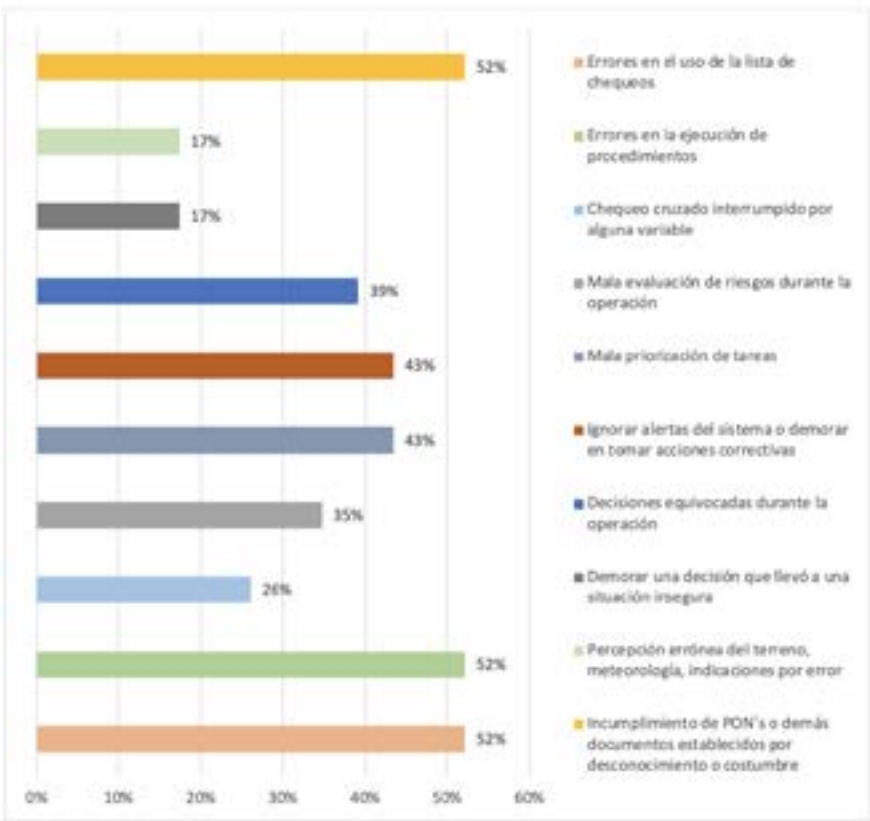
Nivel Actos inseguros

Fuente: Elaboración autor

De los datos obtenidos, se desprende que la falta de supervisión en la subcategoría “liderazgo o supervisión inadecuado” y en el nivel organizacional la subcategoría “guías / publicaciones o procedimientos”, han sido históricamente las principales condiciones que han contribuido en los accidentes, entre otras, donde de las 34 subcategorías cumple 14, con las cuales se realizó las preguntas de la entrevista. En cambio, en los actos inseguros se presentan en 9 ocasiones y 11 ocasiones, viéndose una participación de 20 de las 34 subcategorías, información con la que se elaboró las preguntas para la encuesta hacia los pilotos, ya que se refieren al nivel de la interacción más cercana hacia el accidente. Esta información se puede apreciar en la tabla 3.

Con la interpretación y correlación de la información presentada en la tabla 1, se elaboró la encuesta a las tripulaciones cuya tabulación se representa en la figura 3.

Figura 3.
Resultado de actos inseguros



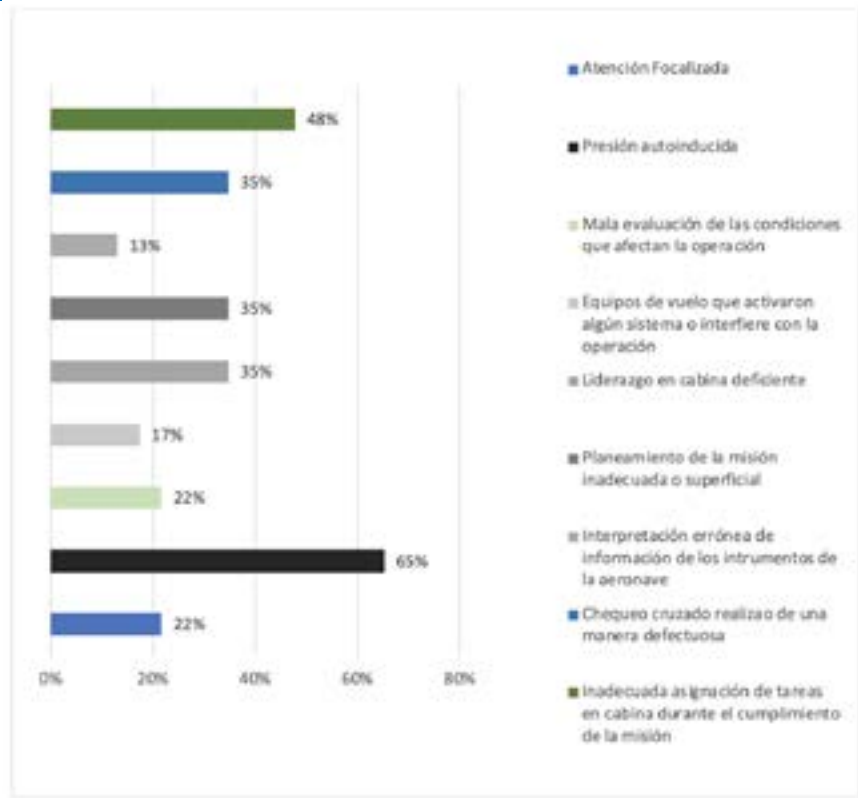
Fuente: Elaboración autor

De las respuestas obtenidas en el cuestionario de la encuesta de actos inseguros, se desprende que los principales actos inseguros observados durante la operación de los últimos doce meses, son los siguientes:

- Incumplimiento de procedimientos operativos normales (PON`s) o demás documentos establecidos por desconocimiento o por costumbre.
- Errores en la ejecución de la lista de chequeos.
- Errores en la ejecución de procedimientos.
- Ignorar alertas del sistema o demorar en tomar acciones correctivas.
- Mala priorización de tareas.

De las respuestas obtenidas en la encuesta realizada a las tripulaciones, referente a las condiciones inseguras, cuyos resultados se describen en la figura 4.

Figura 4.
Respuesta pregunta condiciones inseguras



Fuente: Elaboración autor

Se evidenció que las principales condiciones latentes en la aviación de combate que afectan la seguridad operacional en los últimos doce meses, son las siguientes:

- Presión autoinducida.
- Inadecuada asignación de tareas en cabina.
- Chequeo cruzado realizada de manera defectuosa.
- Liderazgo en cabina deficiente.
- Planeamiento de la misión superficial o inadecuada.
- Análisis de los riesgos

Para el análisis de los riesgos identificados, se realizó el análisis de los riesgos identificados que han sido los más influyentes en la accidentabilidad y afectan actualmente la aviación de combate, como se indica en la tabla 2.

Tabla 2
Riesgos identificados

NIVEL	CÓD.	RIESGO
ORGANIZACIONAL	O1	Guías / Publicaciones de procedimientos desactualizadas o inexistentes
	O2	Programas y Políticas de Evaluación del Riesgo limitadas
	O3	Soporte del operador limitado o deficiente
SUPERVISIÓN	S1	Liderazgo / Supervisión / Inadecuado seguimiento a las operaciones
	S2	Administración de las operaciones inadecuado
	S3	Modelo de Supervisión insuficiente
CONDICIONES INSEGURAS	C1	Presión autoinducida
	C2	Inadecuada asignación de tareas en cabina durante el cumplimiento de la misión
	C3	Planeamiento de la misión inadecuada o superficial
	C4	Chequeo cruzado realizado de una manera defectuosa
	C5	Liderazgo en cabina deficiente
ACTOS INSEGUROS	A1	Incumplimiento de PON's o demás documentos establecidos por desconocimiento o costumbre
	A2	Errores en la ejecución de procedimientos
	A3	Errores en el uso de la lista de chequeos
	A4	Ignorar alertas del sistema o demorar en tomar acciones correctivas
	A5	Mala priorización de tareas

Fuente: Elaboración propia

SISTEMA DE GESTIÓN DE RIESGOS

El monitoreo mediante los siguientes medios de recopilación de información:

Informes de situación de peligro. Reporte voluntario de pilotos de situaciones de peligro, evidenciadas en el cumplimiento de la misión.

A mí me ocurrió. Reporte voluntario de los pilotos de situaciones de omisión de procedimientos o errores, que pudieron desencadenar situaciones de riesgo, sin llegar a convertirse en incidentes o accidentes.

Reporte de supervisión. Información elevada a conocimiento del sistema de gestión de riesgos, elaborado por los instructores posterior a la supervisión de una misión de vuelo, donde se informará las acciones positivas, negativas y otras circunstancias del nivel de supervisión y organización, que pudieron influir para la presencia de una situación de riesgo durante el cumplimiento de la misión.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos alcanzan los objetivos propuestos para la presente investigación de manera conceptual, ya que en base de los accidentes de la FAE en el periodo 2000 – 2019, aplicándose la metodología HFACS, se pudieron obtener las principales causas de los accidentes, los que fueron consultados a los pilotos de la aviación de combate de la FAE, para verificar si han identificado alguno de los mismos, llevándoles a nivel de riesgos, así se pudo construir un sistema de gestión de riesgos con el marco metodológico de la norma ISO 31000.

En la investigación bibliográfica realizada, existen varios autores que han usado la metodología HFACS para la identificación de las causas que provocaron un accidente en todos los niveles de la organización, pero pocos investigadores han tratado de enfocar su trabajo hacia la prevención, como lo hace el presente estudio, por ejemplo, Kelly y Efthymiou (2019) proponen utilizar los hallazgos realizados en el análisis de accidentes para la implementación de acciones específicas para evitar accidentes de colisión controlada contra el terreno.

Costa (2018), posterior al análisis de los accidentes de la aviación de Brasil en el periodo 2008 – 2016, identificó que la información obtenida del sistema HFACS levantada en su investigación, se podría usar como prevención si fuese socializada con las operadoras aéreas de Brasil, mas no usarla como un sistema de gestión de riesgo operacional, este alcance de la investigación también fue propuesto por otros autores al expresar que socializar los hallazgos del método HFACS en los accidentes ocurridos en una organización identificaría puntos de mejora para poder fortalecer su seguridad operacional.

González (2020) propone una hipótesis de elaboración de métricas predictivas, para identificar situaciones de riesgo, pero no centra su investigación en sistemas de gestión de riesgo, adicional no ha sido publicado aún sus resultados referentes a la efectividad de mencionadas métricas.

Es así que se puede determinar que la presente investigación propone un escenario innovador para el empleo del modelo HFACS, en sentido de prevención, al ser la base teórica fundamental para la construcción de un sistema de gestión de riesgos operacionales orientados a la mitigación del factor humano.

CONCLUSIONES

Se logró establecer un sistema de gestión de riesgos, tomando la información obtenida de los accidentes de la aviación de combate de la Fuerza Aérea Ecuatoriana en el periodo 2000 - 2019, analizando los mismos con la metodología HFACS, lo que permitió generar el sistema de gestión de riesgos, cumpliendo los requerimientos de la norma ISO 31000

Al analizar la contribución de los factores humanos, con la metodología HFACS, en los accidentes de la aviación de combate de la FAE, en el periodo 2000 – 2019, se concluye que el factor humano ha sido una causa presente en todos los accidentes de la aviación de combate de la FAE, evidenciándose deficiencias a nivel organizacional y de supervisión, así como también, se evidencian condiciones presentes y los actos de las tripulaciones, son los más cercanos en la ocurrencia de accidentes.

Los hallazgos realizados fueron sometidos a una encuesta a las tripulaciones, donde se pudo identificar dieciséis (16) riesgos que actualmente se encuentran presentes en la operación de la aviación de combate, de las cuales tres se encuentran en el nivel organizacional, tres en el nivel de supervisión, cinco condiciones latentes existentes y cinco actos inseguros, que se encuentran afectando la seguridad operacional en la FAE, los mismos que permitieron elaborar el sistema de gestión de riesgos para mitigar los mismos, a través de defensas.

Finalmente, el sistema de gestión de riesgos propuesto toma como referencia al marco establecido en la norma ISO 31000, el cual puede ser implementado en la organización, tomando en consideración que como el principio mismo del sistema de gestión, es un proceso orientado a la mejora continua, por lo que es importante el compromiso de todos los miembros del escuadrón, para alimentar con información al sistema y se pueda actualizar y adaptar a las nuevas variables y riesgos identificados, proponiendo los siguientes tratamientos de acuerdo a la tabla 3.

Tabla 3
Tratamiento de riesgo

Tratamiento de riesgo				
Defensas		Políticas	Tecnológicas	Entrenamiento
Riesgo				
O1. Guías de Publicaciones de procedimientos desactualizadas o inexistentes	/	Procedimiento para el levantamiento de información y reporte de vacíos de información para la operación.	Contratación de actualizaciones electrónicas de los Manuales Operativos de la Aeronave con la compañía fabricante.	Evaluación en simulador de vuelo de los procedimientos normales y de emergencia, a todas las tripulaciones cada seis meses
S1 - Liderazgo / Supervisión Inadecuado seguimiento a las operaciones	/	Establecer una política para el correcto planeamiento de las operaciones de vuelo	Utilización de sistemas informáticos dedicados para el diseño de las operaciones aéreas.	Supervisión de la planificación de las misiones a través de los oficiales de mayor experiencia del escuadrón.
C1 - Presión autoinducida		Establecer políticas flexibles de cumplimiento acorde a cada escenario de operación.	Evaluar a través de los sistemas de grabación de datos de vuelo, la existencia de presión innecesaria en la misión.	Charlas sobre el manejo de estrés a las tripulaciones
A1-Incumplimiento de PON's o demás documentos establecidos por desconocimiento o costumbre		Cerotolerancia al incumplimiento de los PON's y demás normativa establecida para el vuelo.	Análisis de los datos de vuelo, así como supervisión de los procesos de planificación de las misiones.	Conferencias de concientización de apego a los procedimientos, con evaluación a las tripulaciones.

Fuente: Elaboración autor

Adicional, como tratamiento a los otros riesgos identificados en los diferentes modelos se propone los siguientes:

Nivel organización. Establecer comités de estandarización y evaluación de los procedimientos, así como la evaluación de las actividades de soporte, a fin de establecer mínimos de operación con el soporte en tierra y actualizar procedimientos obsoletos que pudieran estar generando omisiones intencionales, así como normar y estandarizar aspectos inherentes a la operación que no estén normados.

Nivel supervisión. Coordinar esfuerzos con el área de operaciones y seguridad operacional, a fin de que se alerte de programación de vuelo que no permita el tiempo mínimo requerido para planificación, o que permita al área técnica, la recuperación oportuna de aeronaves. Además, se establecerán actividades de supervisión a través del análisis de la planificación de los pilotos y también de los datos de vuelo de las misiones, con el personal de pilotos instructores del escuadrón.

Nivel condiciones y actos. Establecer un programa de charlas académicas enfocadas a mitigar los riesgos tolerables identificados, a fin de que las tripulaciones los identifiquen, sepan reconocer, conozcan la afectación de los mismos en la seguridad operacional y sepan tomar acciones de mitigación, para minimizar estos riesgos. Programas de refrescamiento académico enfocado a la revisión de normativa escrita, PON's, y otras disposiciones referentes a la operación de vuelo. Finalmente se establecerán programas de entrenamiento en el simulador de vuelo, que permita a los pilotos mitigar estos riesgos, a través de la identificación de conductas observables, que permita a los pilotos reconocer estos riesgos y sepa aplicar lo aprendido en charlas para mitigarlos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Centro de Investigación y Prevención de Accidentes. (s.f.). Cenipa: Filosofía SIPAER. https://portal-legado.cfm.org.br/images/PDF/apresenta_coronel_roberto.pdf

Costa, B. (2018). Estudo dos fatores humanos e operacionais em acidentes na aviação brasileira e sugestões de ações para prevenção [Tesis de pregrado, Ingeniería Aeroespacial, Universidade de Minas Gerais]. Repositorio Institucional - Universidade de Minas Gerais. eng.ufmg.br/wp-content/uploads/2018/10/ESTUDO-DOS-FATORES-HUMANOS-E-OPERACIONAIS-EM-ACIDENTES-NA-AVIAÇÃO-BRASILEIRA-E-SUGESTÕES-DE-AÇÕES-PARA-PREVENÇÃO.pdf.

Department of Defence of USA. (2003). Department of Defense Human Factors Analysis and Classification System. Department of Defence of USA.

Gonçalves Filho, A. P. (16-17 de julio de 2020). Perigo no Ar: Análise de Acidentes Aéreos Ocorridos no Nordeste do Brasil entre 2006 e 2016 na Perspectiva dos Fatores Humanos e Organizacionais. [Conferencia]. International Symposium on Occupational Safety and Hygiene. Porto, Portugal. <https://www.researchgate.net/publication/344138296%0APerigo>

González, M. (2020). Análisis de la accidentalidad aérea civil colombiana (2009 al 2018) mediante la herramienta “Human Factors Analysis and Classification System” –HFACS. [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de Colombia.

Harris, D., & Li, W. C. (2019). Using Neural Networks to predict HFACS unsafe acts from the pre-conditions of unsafe acts. Ergonomics,62(2), 181–191. <https://doi.org/10.1080/00140139.2017.1407441>.

Havle, C. A., & Kılıç, B. (2019). A hybrid approach based on the fuzzy AHP and HFACS framework for identifying and analyzing gross navigation errors during transatlantic flights. *Journal of Air Transport Management*, 76, 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2019.02.005>

Hulme, A., Stanton, N. A., Walker, G. H., Waterson, P., & Salmon, P. M. (2019). Accident analysis in practice: A review of Human Factors Analysis and Classification System (HFACS) applications in the peer reviewed academic literature. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 63(1), 1849–1853. <https://doi.org/10.1177/1071181319631086>

International Civil Aviation Organization. (2018). *Safety Management Manual*. Doc 9859 AN/474 (4ª Ed.). ICAO. http://www.icao.int/fsix/_Library/SMM-9859_1ed_en.pdf%5Cnfile:///C:/Users/Danilo/Downloads/Safety_management_and_risk_modelling_in_aviation.pdf%5Cnhttp://www.easa.eu.int/essi/documents/Methodology.pdf

International Estándar Organization. (2018). *Gestión de riesgo - directrices (ISO 31000)*. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:es>

Kelly, D., & Efthymiou, M. (2019). An analysis of human factors in fifty controlled flight into terrain aviation accidents from 2007 to 2017. *Journal of Safety Research*, 69, 155–165. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2019.03.009>

Kilic, B. (2019). HFACS Analysis for Investigating Human Errors in Flight Training Accidents. *Journal of Aviation*, 3(1), 28–37. <https://doi.org/10.30518/jav.553315>

Kilic, B., & Gümüş, E. (2020). Application of HFACS to the Nighttime Aviation Accidents and Incidents. *Journal of Aviation*, 4, 10–16. <https://doi.org/10.30518/jav.740590>

Kilic, B., & Gündogdu, S. (2020). Human Factors in Air Cargo Operations: An Analysis Using HFACS. *Aviation Research*, 2(2), 101–114. <http://www.dergipark.gov.tr/jar>

LATAM Airlines Group. (2014). *Manual de TEM-CRM LATAM*. LATAM Airlines Group. <http://www.latamairlinesgroup.net/phoenix.zhtml?c=81136&p=irol-home>

Miranda, T. (2018). Understanding Human Error in Naval Aviation Mishaps. *Human Factors*, 60(6), 763–777. <https://doi.org/10.1177/0018720818771904>

Olsen, N. (2016). *Close enough is not good enough: improving the reliability of accident and incident classification systems in high hazard industries* [Tesis de doctorado, University of New South Wales]. *Repositorio Institucional - University of New South Wales*. https://www.unsw.edu.au/primis-explore/fulldisplay?vid=UNSWORKS&docid=unsworks_40553&context=L

Strauch, B. (2017). *Investigating human error: incidents, accidents, and complex systems* (2ª Ed.). CRC Press Barry Strauch Taylor & Francis Group.

Wiegmann, D., & Shappell, S. (2001). *A Human Error Analysis of Commercial Aviation Accidents Using the Human Factors Analysis and Classification System (HFACS)*. U.S. Department of Transportation – Federal Aviation Administration.



INTEGRACIÓN DE PROCESOS, GESTIÓN DEL RIESGO Y AUTOMATIZACIÓN EN LA GESTIÓN DE LAS UNIDADES MILITARES

Mayo. Plto. Av. Benítez Gonzalo

RESUMEN

La gestión por procesos es implementada en las organizaciones para ordenar actividades secuenciales que generan resultados de valor para los usuarios, aplicarlos en entornos complejos como la gestión de las unidades militares, supone un reto administrativo que ha inspirado soluciones manuales e informáticas básicas, que no son completamente compatibles con la demanda de rendimiento, integración y precisión en el flujo de información, elementos requeridos en el entorno tecnológico actual para facilitar la toma de decisiones. Las teorías y modelos aplicados a la gestión de riesgos y seguridad operacional en los ámbitos de la aviación, industria, medicina, etc. han logrado reducir y mantener niveles de riesgo aceptables para la operación, por lo que pueden ser adaptados y aplicados a los procesos administrativos y de seguridad de las unidades militares para obtener los mismos resultados. En este artículo se plantea un modelo para la implementación de aplicaciones informáticas que fortalezcan los procesos administrativos y de seguridad de las unidades militares de Ecuador, fundamentado en la combinación de las teorías de gestión por procesos, gestión de riesgos y bases de datos integradas. Al someter esta propuesta a una simulación de procesos se registró un significativo aumento en su eficiencia y permitió identificar y eliminar los “cuellos de botella”, reduciendo el tiempo de ejecución promedio en 94.8% y la cantidad de personal necesario de 7 a 2, a través de la automatización de los procedimientos manuales y su integración con diferentes departamentos, fortaleciendo la seguridad al acoplar e incluir de forma visual las barreras de prevención adoptadas del Modelo del queso suizo, para alertar sobre inobservancias a las normas institucionales y los efectos que podrían comprometer a la seguridad.

Palabras clave: procesos; automatización; eficiencia; gestión de riesgos.

INTEGRATION OF PROCESSES, RISK MANAGEMENT AND AUTOMATION IN THE MANAGEMENT OF THE MILITARY UNITS.

ABSTRACT

Management by processes is implemented in organizations to order sequential activities that generate valuable results for users, applying them in complex environments such as the management of military units, is an administrative challenge that has inspired manual and basic computer solutions, which are not fully compatible with the demand for performance, integration and precision in the flow of information, elements required in today's technological environment to facilitate decision-making. Theories and models applied to risk management and operational safety in the fields of aviation, industry, medicine, etc. They have managed to reduce and maintain acceptable risk levels for the operation, so they can be adapted and applied to the administrative and security processes of the military units to obtain the same results. This article proposes a model for the implementation of computer applications that strengthen the administrative and security processes of Ecuadorian military units, based on the combination of the theories of process management, risk management and integrated

databases. By submitting this proposal to a simulation of processes, a significant increase in its efficiency was registered and allowed to identify and eliminate “bottlenecks”, reducing the average execution time by 94.8% and the number of personnel needed from 7 to 2, to through the automation of manual procedures and their integration with different departments, strengthening security by coupling and visually including the prevention barriers adopted from the Swiss cheese model, to warn of non-observance of institutional regulations and the effects that could compromise security.

Keywords: Processes; automation; efficiency; risk management.

INTEGRAÇÃO DE PROCESSOS, GESTÃO DE RISCOS E AUTOMAÇÃO NA GESTÃO DAS UNIDADES MILITARES

RESUMO

A gestão de processos é implementada nas organizações para ordenar atividades sequenciais que geram resultados valiosos para os usuários, aplicando-as em ambientes complexos como a gestão de unidades militares, é um desafio administrativo que tem inspirado soluções manuais básicas e informáticas, que não são totalmente compatíveis com a demanda por performance, integração e precisão no fluxo de informações, elementos necessários no ambiente tecnológico atual para facilitar a tomada de decisões. Teorias e modelos aplicados à gestão de riscos e segurança operacional nas áreas de aviação, indústria, medicina, etc. Eles conseguiram reduzir e manter níveis de risco aceitáveis para a operação, de forma que possam ser adaptados e aplicados aos processos administrativos e de segurança das unidades militares para obter os mesmos resultados. Este artigo propõe um modelo de implementação de aplicações informáticas que fortaleçam os processos administrativos e de segurança de unidades militares de Equador, a partir da combinação das teorias de gestão de processos, gestão de riscos e bases de dados integradas. Ao submeter esta proposta a simulação de processos, registou-se um aumento significativo da sua eficiência que permitiu identificar e eliminar “gargalos”, reduzindo o tempo médio de execução em 94,8% e o número de pessoal necessário de 7 para 2, para através do automatização de procedimentos manuais e sua integração com diferentes departamentos, reforçando a segurança por acoplamento e incluindo visualmente as barreiras de prevenção adotadas a partir do modelo do queijo suíço, para alertar sobre o não cumprimento das normas institucionais e os efeitos que podem comprometer a segurança.

Palavras-chave: processos; automação; eficiência; gerenciamento de riscos.

INTRODUCCIÓN

El rendimiento operativo de las organizaciones es directamente proporcional a su capacidad de gestionar la información, tanto interna como externa, así como sus procesos (Prajogo et al., 2018), haciendo imprescindible la introducción y constante actualización de tecnologías que contribuyan a la administración eficiente, integrada y coordinada para elevar el nivel de competitividad en sus productos o servicios.

En este contexto, al hablar de la gestión de las instituciones militares, se evidencia un elevado nivel de complejidad, puesto que requiere cumplir y hacer cumplir procedimientos operativos y administrativos, enmarcados en las normativas legales que rigen su funcionamiento y que pueden generar responsabilidades ante su inobservancia, por ejemplo, la administración de personal que está en constante rotación y la custodia de recursos críticos como el armamento y los medios militares empleados para la seguridad y la defensa del país.

Ante este escenario, continuamente se han implementado procesos orientados a optimizar la gestión de las unidades militares, sin embargo, hay quienes carecen de un nivel de automatización compatible con la tecnología disponible en la actualidad, dando paso a la ocurrencia de errores administrativos y vulnerabilidades en los sistemas de seguridad.

De aquí surge la importancia de considerar la implementación de soluciones automatizadas para la ejecución de tareas que no requieren, necesariamente, de la intervención humana (Figueroa-García et al., 2017), como una aproximación para fortalecer la gestión, aumentar las capacidades de control y prevención, así como para mejorar la comunicación y el trabajo integrado entre los actores de los procesos institucionales. Por ello, es automatización, la opción más viable para combinar estos requerimientos y, al mismo tiempo, mejorar la experiencia de los usuarios.

Esta investigación fue motivada por la identificación de inconvenientes en la gestión de la información en los procesos administrativos y de seguridad de las unidades militares de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (FAE), especialmente, en lo que se refiere a la del talento humano, seguridad operacional y física. Estas debilidades tienen la capacidad potencial de afectar el normal desarrollo de los procesos, produciendo errores que podrían, no solo ser observados por organismos de control interno y externo a la institución, sino vulnerar los sistemas de seguridad física e integrada (Evans et al., 2019).

El objetivo de este trabajo académico es plantear un modelo de Sistema Integrado de Gestión para el diseño y aplicación de soluciones informáticas en la gestión de procesos en las unidades militares (Ministerio de Defensa Nacional, 2018a), combinando el rediseño de procesos, la prevención de riesgos y la automatización en un entorno de base de datos integrada, encaminados a elevar la eficiencia en la gestión administrativa y de seguridad; el intercambio de información en tiempo real; el trabajo integrado entre departamentos; la mejora de la experiencia de los usuarios y la integridad de los registros, los indicadores y las estadísticas.

MÉTODO/DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

Para identificar las debilidades en la gestión de la información de los procesos administrativos y de seguridad en las unidades militares y concebir una propuesta aplicable para su solución, se realizó una revisión teórica sobre el rediseño de procesos y su impacto en la organización al mejorar su desempeño; de los modelos de gestión de riesgos para la seguridad operacional y su aplicación al ámbito administrativo; así como del diseño de bases de datos integradas para alcanzar las capacidades que demanda esta propuesta.

Este modelo combinado se enmarca, principalmente, en las teorías de Bases de datos integradas de Ricardo (2009); la gestión por procesos de Pérez (2004); la mejora en el rendimiento de los procesos de Raynus (2011) y su medición, a través de indicadores de desempeño clave (IDC), planteados por Van Der Aalst et al. (2016); el modelo cooperativo conceptual para el diseño de procesos, digitalización e innovación de Sehlin et al. (2019) y el modelo del queso suizo de Reason (2009), y de sus casos de aplicación, expuestos en el artículo “Managing Risk Through Layers of Control” de Lyon y Popov (2020).

También se han considerado estudios sobre el impacto de la introducción de sistemas para el análisis de datos (Hu et al., 2018) y casos en los que se ha implementado el modelo del queso suizo para la gestión del riesgo, la investigación y la prevención en los campos de la seguridad operacional y ocupacional en la aviación (Mat Ghani & Zheng Yi, 2018), la medicina (Noh et al.,

2020) y la industria (Shokouhi et al., 2019).

A partir de esta información, se desarrolló e implementó un software piloto con algunas de las funcionalidades básicas que se formulan en este artículo, integrando los procesos y el intercambio de información automática entre el Departamento de talento humano y los departamentos Seguridad integrada, el Centro de salud y el Sistema de seguridad física de la unidad militar, facilitando el seguimiento de los procesos en tiempo real y la generación de reportes y alertas automáticas ante inconsistencias en los registros o incumplimientos a las normas vigentes, es decir, que se adaptó el modelo de queso suizo a una interfaz amigable para la identificación oportuna de fallas y la gestión del riesgo en los procesos administrativos y de seguridad.

Se instruyó al personal del Departamento de talento humano del ala de combate n.º 21 de la FAE para que lo administre e ingrese todas las solicitudes referentes al subproceso Monitoreo de personal, en forma paralela a los procedimientos que se ejecutan manualmente. Es importante recalcar que, a partir del ingreso de esta información, se actualizan y se modifican los registros de los otros departamentos de forma inmediata, por ejemplo, si una persona era transferida hacia otra unidad militar, los administradores debían desactivar su cuenta, esto provocaba la actualización automática de los reportes y los registros del personal disponible en los otros departamentos, así como la anulación de autorizaciones de acceso y habilitaciones.

Posteriormente, se realizó la descarga y análisis de los datos obtenidos en el periodo de un año, para establecer de forma cuantificable sus IDC, que fueron ingresados en el programa de simulación de procesos libre “BPSimulator” (Prolis lab2k, 2019) el cual fue configurado de acuerdo a las observaciones realizadas a través de una investigación empírica para identificar las principales causas de los inconvenientes presentados en su desarrollo, obteniendo así información y un diagnóstico sobre el impacto en el rendimiento de la totalidad del subproceso bajo criterios, condiciones y demoras aleatorias similares a las observadas empíricamente, como una aproximación al entorno real para estimar el impacto en términos de optimización, con miras al rediseño de los procesos que serán automatizados (Heinrich et al., 2017).

REDISEÑO DE LA GESTIÓN POR PROCESOS

Se considera que los procesos inefectivos e ineficientes existen porque no son diseñados como un todo, sino que son ajustados de forma improvisada de acuerdo a la dinámica del trabajo y a los casos especiales que se presentan en las organizaciones. Generalmente este fenómeno se proyecta en el tiempo, trascendiendo de generación en generación (Laguna & Marklund, 2018).

Un proceso está definido como la “secuencia [ordenada] de actividades [repetitivas] cuyo producto tiene valor para su usuario o cliente” (Pérez, 2004). El autor también hace referencia al concepto de un sistema como un “conjunto de elementos interrelacionados que persiguen un objetivo común” (Pérez, 2004) y más adelante en su obra aborda el modelo de SIG, aplicado en las organizaciones, combinando la gestión de la calidad, el medio ambiente, los riesgos laborales, entre otros, como factores estratégicos adoptados por las empresas para elevar su eficiencia y competitividad.

Esta combinación multidimensional puede ser adaptada a las necesidades de las unidades militares para obtener un impacto similar. En el caso particular de esta propuesta, se ha reorientado a un SIG que combina la calidad de los procesos administrativos y el fortalecimiento de la seguridad. La implementación de esta herramienta permite mejorar la gestión organizacional, enfocándola a la excelencia en el servicio para los usuarios, en este caso, los comandantes, jefes departamentales y el personal militar en general.

Un estudio realizado sobre la metodología de la mejora de los procesos en universidades australianas plantea un modelo que ayuda a entender la excelencia en el servicio, la cual se enfoca en cuatro ejes: 1) la estrategia anclada a la excelencia en el servicio, 2) la cultura modificada hacia modalidades “self-service”, 3) los sistemas y 4) los procesos como vehículo para entregar servicios eficientes y la medición del desempeño, tanto para establecer el grado de operacionalización de la excelencia en el servicio, como para utilizarla como evidencia en la toma de decisiones (Ciancio, 2018).

Es importante considerar que las modificaciones que se implementen en los procesos no necesariamente garantizan una mejora en la eficiencia o un impacto favorable para todos sus participantes. Al adoptar soluciones improvisadas o aisladas, se corre el riesgo de comprometer los IDC de otro proceso o la carga de trabajo de otro departamento o usuario, haciéndolo inefectivo o ineficiente.

El rediseño de procesos requiere de un enfoque integral y un análisis permanente, ya sea observado, o estimado, de los indicadores de desempeño aplicados a la solución propuesta para asegurar que realmente se los está optimizando en su conjunto. En el caso de esta investigación, el rediseño de procesos ha ido acompañado de IDC en parámetros de tiempo, costo y calidad (Van Der Aalst et al., 2016).

Otro aspecto a considerar es la necesidad de sustituir el paradigma tradicional orientado a la estructura organizacional, donde los procesos se ejecutan individualmente en cada departamento, para reemplazarlo por el nuevo paradigma orientado al proceso, en el que se lo ejecuta de forma transversal en la organización, con la participación de varios departamentos, conceptualizándose como procesos multifuncionales (Raynus, 2011).

Para efectos de esta investigación se seleccionó como muestra al subproceso “Monitoreo de personal” (Dirección de planificación y gestión estratégica de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, 2018), constituyéndose como uno de los más demandantes para los departamentos de Talento Humano de las unidades militares de la FAE, debido a que se ejecutan procedimientos complejos y se generan cantidades considerables de documentos, siendo catalogados de la siguiente manera:

- Registro de personal.
- Partes de personal.
- Roles de servicios.
- Régimen de personal.
- Sistema de gestión documental.

Todos ellos generan estadísticas, informes y proyecciones que contribuyen al control y cumplimiento de normas legales e institucionales aplicadas a la gestión del talento humano.

A través de la investigación empírica se identificaron afectaciones a los IDC de este subproceso y se pudo determinar que su causa predominante fue la excesiva intervención manual en tareas que pueden ser ejecutadas por herramientas informáticas. En lo que respecta a los tiempos de ejecución se registraron demoras variables en cada etapa del subproceso (cuellos de botella) provocados por la intervención de personas con excesiva carga de trabajo que colaboran en otras tareas del departamento. A esta demora se suma el tiempo transcurrido durante el transporte de la documentación entre varios departamentos o funciones durante el desarrollo del subproceso.

Para el cálculo de los costos se consideró el generado por la impresión de los documentos

requeridos en el subproceso. Se ha excluido el gasto económico por remuneración debido a la naturaleza y características de la institución militar, sin embargo, si se considera una tasa promedio de tiempo empleado por persona para cada tarea.

El indicador de calidad del subproceso marca la cantidad de inobservancias en los plazos de estos trámites administrativos, considerado en este caso como un error debido a que la exigencia institucional es que la legalización de estos documentos sea cumplida de forma anticipada, es decir, máximo hasta la fecha de inicio que estipula la solicitud presentada.

Una vez establecidos estos IDC, se recopilaron los datos del software piloto, correspondientes a un periodo aleatorio de un año, entre el 15 de abril de 2019 y 15 de abril de 2020. Los resultados mostraron un total de 4.141 solicitudes registradas, las cuales fueron presentadas en 310 días, que equivalen a un promedio de 13,4 solicitudes presentadas a diario; sin embargo, se legalizaron 4.121 en 236 días, lo que representa un promedio de 17,5 legalizaciones diarias.

La diferencia entre estos promedios pone de manifiesto que el esfuerzo realizado por el personal involucrado en el subproceso no es suficiente para cubrir la totalidad de las solicitudes presentadas, debido a que una solicitud se puede presentar en cualquier fecha y hora, mientras que su procesamiento es ejecutado en días y horario laborables, disponiendo de tiempos menores que, a su vez, generan retrasos en su cumplimiento.

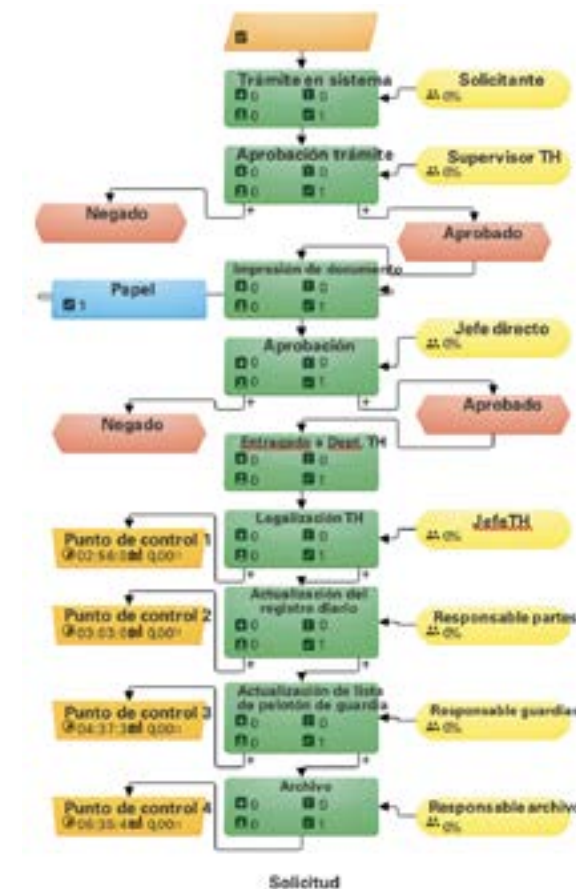
De las 4.141 solicitudes presentadas al Departamento de Talento Humano, 791 fueron ingresadas de forma extemporánea, la ocurrencia de estos eventos se distribuyó en 250 días. Lo que significa que el mismo número de reportes diarios e informes de situación de personal que fueron emitidos en el periodo analizado, presentaron alguna inconsistencia, es decir, un 68,5 % al año.

Estos resultados, así como la información obtenida a través de la investigación empírica fueron ingresados al simulador de procesos libre “BPSimulator” con la finalidad de obtener un parámetro de tiempo de ejecución del mismo que se aproxime al observado. Considerando que se desconoce el tiempo transcurrido desde que el solicitante inicia el subproceso hasta la presentación de su documento en el Departamento de talento humano, se configuró el simulador para que seleccione aleatoriamente demoras en el rango de 15 a 120 min. en los procedimientos de esta fase y combinarlos con los registrados durante la legalización, registro manual y archivo.

Se incluyeron puntos de control en la simulación que permitieron medir el tiempo de ejecución del subproceso en varias etapas de la secuencia, así se obtuvieron las referencias de este parámetro en las tareas de legalización del jefe del Departamento de talento humano, actualización del parte diario de personal, actualización del rol de servicios (personal de guardia) y el archivo de los documentos como punto de finalización.

La simulación determinó que el tiempo de ejecución promedio de una solicitud, desde que es iniciada hasta que es archivada al final del subproceso, es de 06:35:41 y emplea siete personas (véase figura 1), lo que representó un tiempo promedio de 0:56:25 por cada una. Considerando que el periodo laborable es de 08:00:00, este resultado pone de manifiesto la razón por la cual se da la acumulación de las tareas de actualización de los registros y estadísticas del personal, las cuales deben ser ejecutadas en horarios extendidos e incluso al día siguiente. Este fenómeno es una de las principales causas de las inconsistencias y demoras en los registros y estadísticas del subproceso.

Figura 1.
Subproceso de monitoreo de personal ingresado en “BPSimulator” (1 solicitud).

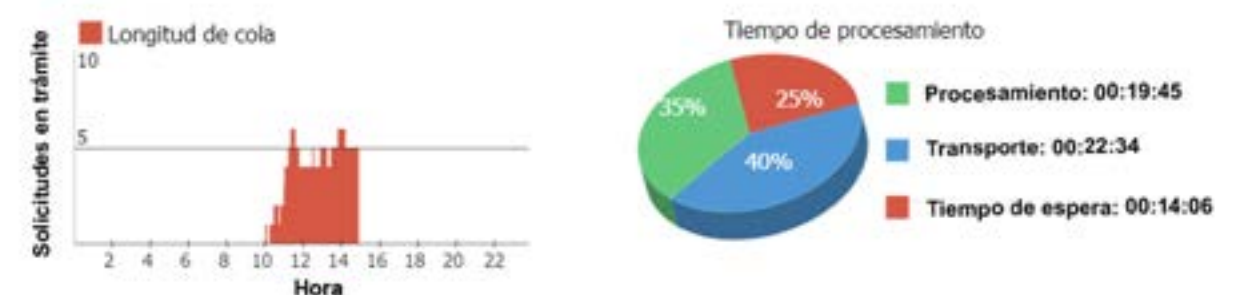


Fuente: BPSimulator.

Al configurar el simulador para el procesamiento de 13 solicitudes diarias, de acuerdo a la información arrojada por el software piloto, se observó el fenómeno de retraso explicado anteriormente y visualizándose en el indicador de longitud de cola en el horario laborable (ver Figura 2). Los resultados indican que el 25% del tiempo total del subproceso es de espera y el 40% de transporte, es decir la demora de transferir el documento de una función a otra, además que de 13 trámites iniciados solo 2 llegaron al fin del subproceso en el mismo día, las tareas pendientes para el día siguiente fueron:

- 6 aprobaciones del Supervisor de Talento Humano.
- 2 legalizaciones del Jefe de Talento Humano; y
- 3 actualizaciones de la lista del personal de guardia (rol de servicios).

Figura 2
Resultado del subproceso de monitoreo de personal ingresado en “BPSimulator” (13 solicitudes).

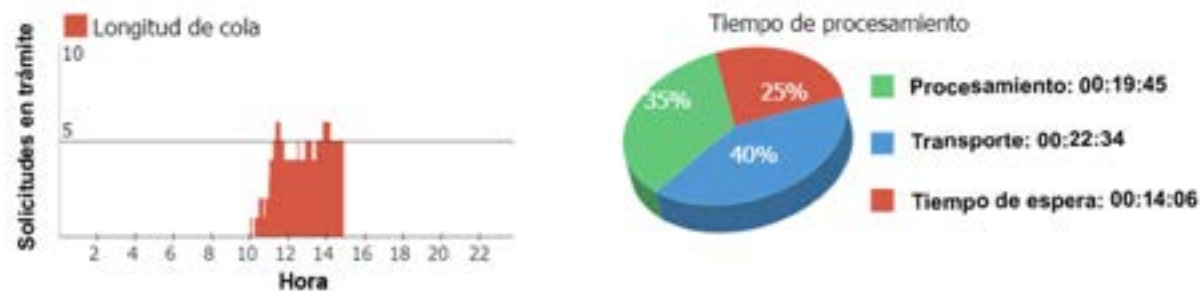


Fuente: BPSimulator.

Al rediseñar el subproceso tomado como ejemplo y utilizando el simulador para ajustarlo a la implementación de un software que contribuya a simplificar y mejorar sus IDCs, se evidenció una significativa mejora en términos de eficiencia; las principales modificaciones fueron: la eliminación de la intervención de cinco personas y los tiempos de espera y transporte que no contribuyen al procesamiento de los trámites (ver Figura 3), dando como resultado la reducción del tiempo empleado por persona a 0:10:10.

Figura 2

Resultado del subproceso de monitoreo de personal ingresado en “BPSimulator” (13 solicitudes).

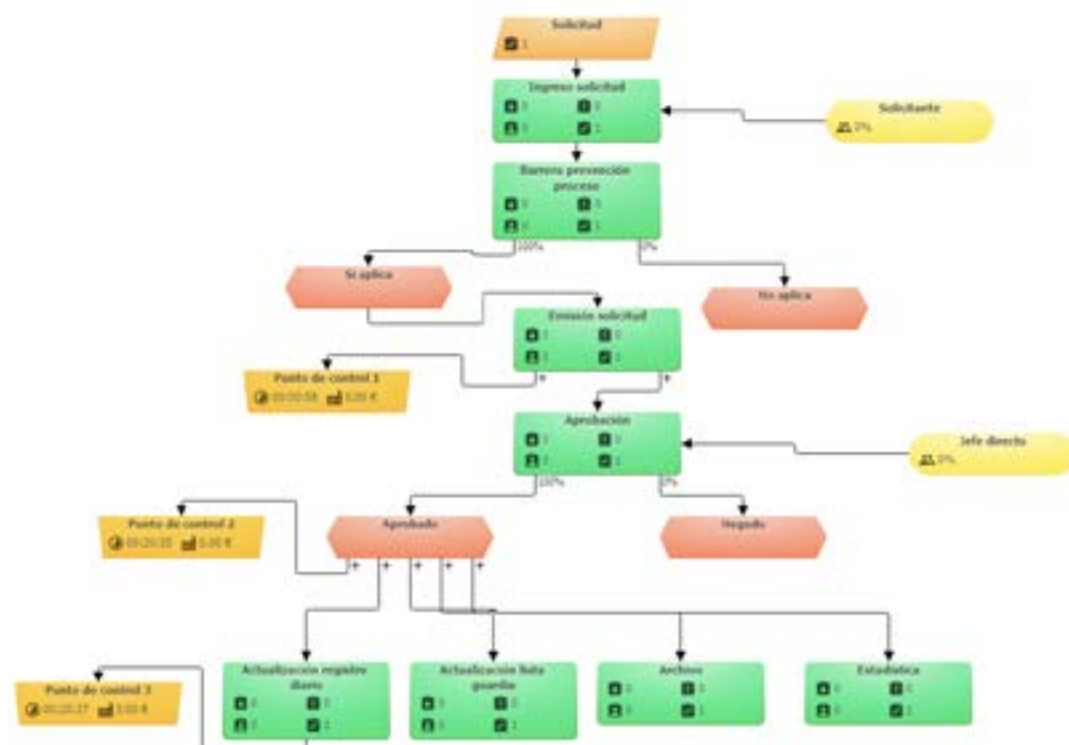


Fuente: BPSimulator.

Al rediseñar el subproceso tomado como ejemplo y utilizando el simulador para ajustarlo a la implementación de un software que contribuya a simplificar y mejorar sus IDCs, se evidenció una significativa mejora en términos de eficiencia; las principales modificaciones fueron: la eliminación de la intervención de cinco personas y los tiempos de espera y transporte que no contribuyen al procesamiento de los trámites (ver Figura 3), dando como resultado la reducción del tiempo empleado por persona a 0:10:10.

Figura 3

Rediseño propuesto para el subproceso de monitoreo de personal ingresado en “BPSimulator” (1 solicitud).



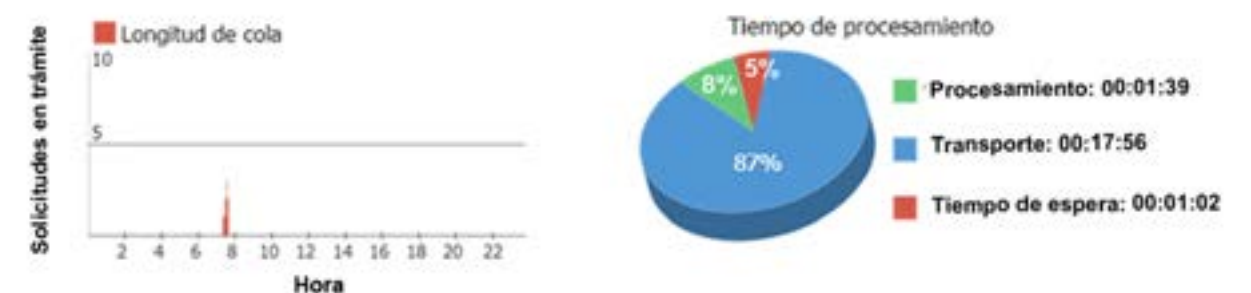
Fuente: BPSimulator.

Los resultados de la simulación arrojaron una reducción del tiempo de ejecución del subproceso de 06:35:41 a 0:20:37, es decir un 94.8%, aun cuando fue introducida una validación de solicitudes automática como barrera de prevención ante errores o inobservancias a las normas institucionales. En este caso, el tiempo que puede afectar la normal ejecución del subproceso recae sobre la revisión y aprobación de la solicitud por parte del Jefe Directo del solicitante. Después de ejecutar esta aprobación todos los registros y estadísticas se actualizan automáticamente y casi instantáneamente como se visualiza en las mediciones de tiempo de los puntos de control 2 y 3; actualizando también los registros de otros departamentos automáticamente.

Los resultados de la simulación para el procesamiento de 13 solicitudes diarias (ver Figura 4), mostraron una significativa reducción de la acumulación de los trámites (longitud de cola), el tiempo de espera se redujo al 5% del tiempo total de ejecución y el tiempo de transporte se elevó al 87%, cabe recalcar que este tiempo depende de la demora en la aprobación por parte del Jefe Directo del solicitante, además se observó que los 13 trámites iniciados lograron concluirse el mismo día.

Figura 4

Resultado de la propuesta de rediseño del subproceso de monitoreo de personal ingresado en “BPSimulator” (13 solicitudes).



Fuente: BPSimulator.

AUTOMATIZACIÓN DE LA GESTIÓN EN UN ENTORNO DE BASE DE DATOS INTEGRADA

La correcta implementación de soluciones informáticas para análisis de datos en los procesos de una organización, lleva implícito un impacto favorable para la eficiencia en la gestión y control, pues pone a disposición herramientas para generar estadísticas, cálculos y reportes de forma más ágil y exacta que las herramientas de uso común como las tablas Excel (Hu et al., 2018).

Estas aplicaciones permiten el monitoreo remoto y en tiempo real (Jamil et al., 2020), generando un flujo de información permanentemente actualizado hacia los departamentos responsables de los procesos, permitiéndoles trabajar e interactuar de forma colaborativa, modalidad que tiene un impacto favorable en el rendimiento de la organización (Askari et al., 2020).

La necesidad de implementar este tipo de soluciones en las organizaciones de gran tamaño radica en la gestión y procesamiento de grandes cantidades de información, por ejemplo en las instituciones de salud (Amaechi et al., 2018), caracterizadas por ejecutar procesos críticos y que demandan de exactitud y velocidad para la toma de decisiones; este mismo requerimiento también se aplica a los procesos administrativos y de seguridad (Brooks et al., 2020) de las unidades militares para hacerlos más eficientes.

En este contexto, se plantea la aplicación de un modelo de base de datos integrada, el cual cuenta con un único repositorio de datos que puede ser utilizado de manera simultánea por

varios departamentos y usuarios, no es exclusivo de un solo participante y se constituye como un recurso compartido de la organización (Ricardo, 2009).

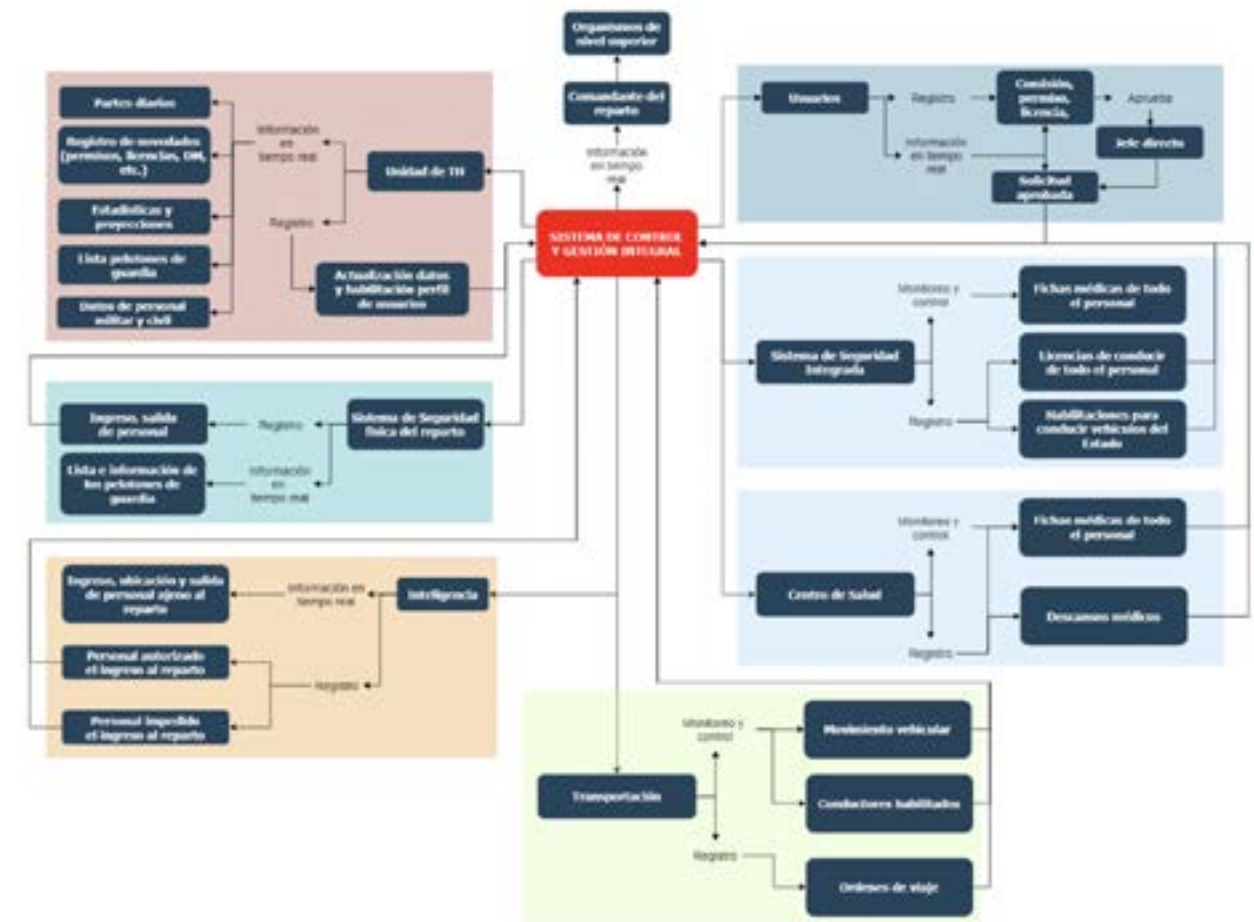
Las principales ventajas de este modelo según Ricardo (2009) son:

1. La compartición de datos entre todos los departamentos de acuerdo a la competencia de sus procesos.
2. El control de redundancia de datos, evitando registros duplicados que puedan generar inconsistencias en las estadísticas.
3. Consistencia de datos, pues al existir un solo dato que respalde las estadísticas, cualquier actualización del mismo se lo realizará una sola vez y afectará a todos sus usuarios.
4. Estándares de datos mejorados, permite mantener un solo formato de acuerdo a las necesidades institucionales.
5. Se fortalece la seguridad de los datos, mediante el control, restricción de acceso u operaciones no autorizadas en la base de datos.
6. Se fortalece la integridad de datos, mediante la posibilidad de crear alertas y restricciones ante comportamientos no deseados para que puedan ser contrarrestados anticipadamente.
7. Se establece un equilibrio de los requisitos de los usuarios, evitando que entren en conflicto con las necesidades de otros usuarios.
8. El tiempo para desarrollar actualizaciones o mejoras al software se reduce, debido a que se cuenta con datos relacionados a la organización para su uso inmediato.
9. Mejora la accesibilidad a los datos a través de interfaces interactivas y amigables.
10. Al centralizar la base de datos, los costos de operación y mantenimiento se reducen a una sola instalación física.
11. Mejores procedimientos de respaldo y recuperación, pues al mantener una única base de datos, se pueden programar y ejecutar operaciones de respaldo automático de un solo servidor.

Las ventajas que ofrece este modelo pueden ser explotadas en diferentes aspectos de acuerdo a las necesidades de cada departamento (ver Figura 5), elimina procedimientos manuales y sincroniza las estadísticas y reportes, pues si un departamento ingresa o actualiza un dato, este cambio se verá reflejado en los indicadores y reportes de los otros departamentos participantes de forma automática.

La implementación del software OVFAE en el año 2015, concebido a partir de la “Propuesta de Diseño e Implementación de un Sistema de Información Gerencial Aplicado a la Operaciones Aéreas y Evaluación de Pilotos para el Escuadrón de Combate No 2313 de la Fuerza Aérea Ecuatoriana” (Benítez, 2013), constituye un ejemplo de las potenciales prestaciones que ofrece la adopción de un modelo similar y que puede ser aplicado a los procesos administrativos y de seguridad.

Figura 5
Capacidades de la base de datos integrada y su relación con los departamentos de la organización.



Fuente: elaboración propia.

Este diseño elimina la duplicidad, inconsistencias y errores en los registros, además permite un seguimiento en tiempo real de los indicadores en todos los niveles de la organización, la creación de alertas que pueden ser disparadas ante la detección de un comportamiento anormal y su notificación vía correo electrónico para la adopción de su acción correctiva de forma anticipada.

Es importante recalcar que al introducir soluciones tecnológicas a la gestión por procesos, se fortalece la estandarización de las tareas y sus indicadores, mismos que no se verían afectados en su integridad o rendimiento considerando el entorno variable característico de las unidades militares debido a su alta rotación de personal (Nikolaidou et al., 2001).

ADAPTACIÓN DEL MODELO DEL QUESO SUIZO EN ENTORNOS INFORMÁTICOS

En el ámbito de la seguridad, es conocido que la probabilidad de cometer errores se encuentra latente por naturaleza en todo entorno o actividad que involucre la interacción del ser humano, importantes autores como James Reason (1990), han desarrollado y publicado tanto estudios como modelos para explicar este fenómeno, prevenirlo y contrarrestar sus efectos, entre los cuales se destaca el “Modelo del queso suizo”. Su amplio espectro de aplicación ha generado resultados positivos para la seguridad operacional y ocupacional en la aviación (Mat Ghani & Zheng Yi, 2018), medicina (Noh et al., 2020), industria (Shokouhi et al., 2019), etc.

El Modelo del queso suizo es considerado una herramienta poderosa en el pensamiento de las barreras preventivas o líneas de defensa (Reniers et al., 2020), las cuales se representan como planos que contienen ventanas de oportunidad, creadas como consecuencia de actos inseguros y brechas en los sistemas de defensa. Estas áreas de permeabilidad varían constantemente en su ubicación y tamaño por la gran cantidad de variables impredecibles que afectan a su respectivo plano de defensa, bajo ciertas circunstancias las brechas pueden alinearse para formar una trayectoria directa hacia la ocurrencia de un accidente (Reason, 1990).

La aplicación de este modelo a casos de estudio o investigación de accidentes (Lyon & Popov, 2020), contribuye al análisis, comprensión e identificación de las fallas en las capas de protección que causaron el accidente (Toto & Limone, 2019), siendo un aporte valioso y puntual para la seguridad operacional, permitiendo fortalecer las medidas preventivas para interrumpir la cadena de eventos que conducen a un desastre (Larouze & Le Coze, 2020).

Los procesos administrativos, aunque por lo general no acarrearán un riesgo catastrófico, si tienen la capacidad de generar responsabilidades legales y comprometer la seguridad en los ámbitos operacional y física de las unidades militares, más aún en el escenario actual donde han proliferado amenazas asimétricas (Ministerio de Defensa Nacional, 2018b) cuyos efectos ya han afectado a las instituciones militares; entonces ¿por qué no dar el mismo tratamiento de prevención a estos procesos?

En la Figura 6 se aprecia la adaptación del “Modelo del queso suizo” de Reason, al subproceso de verificación de documentos, exigidos por las normas internas y externas a la institución, previo a la salida de vehículos institucionales. En este esquema los controles existentes se han establecido como barreras preventivas, las cuales dependen de dos organismos (Departamento de Seguridad Integrada y Centro de Salud). La falla en cualquiera de estas barreras representa la inobservancia de alguna norma, por lo que son alertadas en color rojo y deben ser corregidas inmediatamente después de ser detectadas.

Aun cuando el subproceso de verificación es claro y sencillo, su aplicación presenta vulnerabilidades que favorecen el cometimiento de errores, pues la persona que lo ejecuta solo tiene acceso al documento del chequeo médico diario que presenta el conductor (Chequeo pre-manejo), es decir una de las cuatro barreras de prevención existentes para garantizar que un conductor se encuentre habilitado.

Esta situación se presenta debido a que en el punto de control no se dispone de acceso a la información de todos los organismos que participan en la habilitación del conductor, la tarea es manual (presentación de un documento) y en un entorno donde existe una altísima rotación de personal (turnos de 3 horas), condiciones propicias para la toma de decisiones subjetivas y no estandarizadas.

Aumentar los documentos a presentar por el conductor y cumplir con sus respectivas verificaciones para disminuir la permeabilidad en las cuatro barreras de prevención establecidas institucionalmente, acrecentaría el tiempo de ejecución de este subproceso y consecuentemente la carga de trabajo tanto para el conductor, como para la persona que hace la verificación. Es aquí donde se evidencia la necesidad de una aplicación informática para acelerar el desarrollo del subproceso y facilitar la toma de decisiones de forma inmediata y estandarizada.

Figura 6
Aplicación del Modelo del queso suizo al diseño de un sistema informático



Fuente: elaboración propia.

Adaptar este modelo a través de una aplicación informática, permite vincular los datos de los organismos participantes en el subproceso y esta información estaría disponible tan solo con ingresar el número de identificación del conductor que se presente en el punto de control de la unidad militar, de esta forma se puede alertar inmediatamente sobre alguna inhabilitación en cualquiera de las cuatro barreras de prevención.

En este caso tomado como ejemplo, la decisión estandarizada que sugiere el sistema a cualquier usuario mediante una indicación de incumplimiento, es evitar que el conductor haga uso de un vehículo institucional por estar inhabilitado, puesto que ante la ocurrencia de un incidente o accidente, pondría al descubierto inobservancias administrativas con el potencial de generar responsabilidades legales u obstáculos en la aplicación de seguros.

En este ejemplo se demuestra la importancia de compartir información entre los organismos que participan en el mismo proceso, lo que fortalece la gestión administrativa y la seguridad. Esta carga de información debe observar un diseño amigable, resumido, en tiempo real y adaptada a un modelo de prevención de riesgos para facilitar la toma de decisiones estandarizadas y alineadas a las normas institucionales.

Este modelo puede ser aplicado a otros procesos de seguridad de las unidades militares, como el control de acceso de personal a las instalaciones (Song et al., 2018), en el que se conectaría a los departamentos responsables de la seguridad y recursos humanos para la emisión de autorizaciones de ingreso al personal de acuerdo a perfiles que permitan adoptar protocolos de seguridad de acuerdo al nivel de riesgo que representan, así como el monitoreo durante su permanencia, el registro de salida y un historial de visitas.

Los resultados expuestos evidencian los beneficios en la gestión y seguridad que se pueden alcanzar en cualquier proceso de las unidades militares, aplicando un modelo de SIG que combina la calidad de los procesos administrativos y el fortalecimiento de la seguridad, mediante el rediseño de procesos, gestión de riesgos y automatización en un entorno de base de datos integrada.

RESULTADOS

La simulación del rediseño del subproceso “Monitoreo de personal” utilizado en este ejemplo, permite hacer una comparación cuantitativa de los IDCs en parámetros de tiempo, costo y calidad (ver Tabla 1), para medir la mejora en términos de eficiencia, como resultado de la implementación del modelo propuesto en esta investigación.

Tabla 1

Mejoras en términos de eficiencia en el subproceso monitoreo de personal

Parámetro	Proc. Manual	Proc. Automatizado
Registros con inconsistencias en un año	68.5%	1.7 – 2.2%
Costo anual impresiones (aprox.)	85.82 USD	0.00 USD
Tiempo de ejecución del subproceso	06:35:4	0:20:37
Cantidad de personas empleadas en el subproceso	7	2
Promedio de tiempo empleado por persona en el subproceso	0:56:25	0:10:10

En cuanto al subproceso de verificación de documentos previo a la salida de vehículos institucionales; no se contó con registros que puedan arrojar una medición cuantitativa de IDCs, sin embargo se exponen las capacidades que brinda esta herramienta en el punto de control de la unidad militar desde un enfoque cualitativo.

Tabla 2

Mejoras cualitativas en el subproceso de verificación de documentos previo a la salida de vehículos institucionales

Parámetro	Proc. Manual	Proc. Automatizado
Cantidad de barreras de prevención visualizadas por el usuario	1	4
Integración de información entre departamentos participantes (enfoque multifunción)	No	Si
Información disponible en tiempo real	No	Si

DISCUSIÓN

El rediseño de la gestión por procesos permite implementar SIGs para la administración eficiente, segura y ajustada a las necesidades de las unidades militares, reorientándolos a un enfoque multifunción de ejecución transversal en la organización, lo que fortalece la comunicación y el trabajo integrado entre sus actores. En este contexto, es importante considerar la evaluación permanente de los IDCs de los procesos modificados para evaluar y evidenciar de forma cuantitativa el impacto en la eficiencia ante su implementación.

La automatización de la gestión por procesos a través de un entorno de base de datos integrada, permite la ejecución y monitoreo de procesos multifuncionales en las unidades militares, lo que implica una mejora sustancial en la comunicación e intercambio de información entre sus departamentos, aumento significativo de la eficiencia en cuanto al procesamiento de datos, tiempos de ejecución y uso de recursos; además permite la estandarización de las tareas y sus indicadores frente a un entorno de alta rotación de personal.

La adaptación del Modelo del queso suizo a los procesos administrativos y de seguridad, es un aporte valioso que permite identificar y analizar las fallas en las capas de protección, facilitando la adopción de medidas preventivas para interrumpir la cadena de eventos que conducen a situaciones no deseadas, en el caso de esta investigación, a la inobservancia de las normas legales y vulnerabilidades en la seguridad, de la misma forma que ha sido aplicado en los campos de seguridad operacional y ocupacional en la aviación (Mat Ghani & Zheng Yi, 2018), medicina (Noh et al., 2020), industria (Shokouhi et al., 2019), etc.

La combinación de estos tres elementos como un SIG, el cual fue ingresado en el simulador de procesos “BPSimulator” para la evaluación de sus IDCs, demostró un impacto positivo en cuanto a su eficiencia en el subproceso “Monitoreo de personal” tomado como muestra, debido a una reducción en su tiempo de ejecución promedio en un 94.8%, sus costos de impresión de 85.82 USD a 0 USD, la tasa de horas empleadas por hombre de 0.94 a 0.17 y los registros diarios de personal con inconsistencias de 68.5% a 1.7 – 2.2% al año. Estos resultados evidencian la optimización del proceso de forma integral aún con la introducción de barreras de prevención.

En cuanto al subproceso de verificación de documentos previo a la salida de vehículos institucionales, la implementación de este modelo posibilita la visualización a través de una interfaz amigable para los usuarios, todas las barreras de prevención adoptadas institucionalmente y su estado en cuanto a su permeabilidad en tiempo real, permitiendo establecer alertas y notificaciones mediante correos electrónicos y contribuye a la toma de decisiones estandarizadas y alineadas con la normativa legal.

Los resultados alcanzados mediante el uso del software piloto implementado, coinciden con la evaluación cuantitativa de los resultados del estudio sobre la implementación de un sistema de iniciativa mixta que respalda los datos integrados en los flujos de trabajo, donde se pone de manifiesto que el uso de software dedicado a facilitar la exploración de los datos, ofrece resultados significativamente mayores en cuanto a la visualización y la rapidez para completar estas tareas, en comparación con el uso tradicional de programas como Excel (Hu et al., 2018).

CONCLUSIONES

Las unidades militares de la FAE cuentan con procesos complejos para su gestión organizacional, sin embargo, muchos de ellos carecen de un nivel de automatización compatible con las tecnologías actuales, lo que posibilita la ocurrencia de errores administrativos y vulnerabilidades en la seguridad. Por esta razón es importante plantear soluciones automatizadas e integradas que contribuyan a optimizar el análisis e intercambio de datos, prevenir inobservancias a las normas legales, responsabilidades administrativas y afectaciones que comprometan los recursos humanos y materiales de la institución.

Se evidenció que las debilidades identificadas en los procesos tomados como muestra, tienen su origen en la elevada cantidad de procedimientos manuales, los cuales generan tiempos que no aportan a la ejecución de las tareas, produciendo “cuellos de botella” y colas de acuerdo a los resultados de la simulación, a estas afectaciones se suma la alta rotación del personal involucrado en las tareas; condiciones que son favorables para la toma de decisiones subjetivas y el cometimiento de errores o inobservancias a las normas institucionales.

La aplicación de un modelo SIG combinando el rediseño de la gestión por procesos, gestión de riesgos y automatización en un entorno de base de datos integrada como el aplicado en esta investigación a través del software piloto implementado en el Ala de Combate Nro. 21, redujeron significativamente los tiempos de ejecución y el uso de recursos humanos y materiales en los subprocesos considerados como muestra, aun cuando se introdujo el Modelo del queso suizo para la prevención de riesgos, contribuyendo además al intercambio de información con otros departamentos de la unidad militar, dando como resultado procesos administrativos y de seguridad más robustos, optimizados y modernizados.

Los subprocesos considerados como muestra para la aplicación de este modelo, fueron seleccionados por su elevada complejidad y las vulnerabilidades que presentan, sin embargo esta metodología es aplicable a toda la gestión por procesos, constituyéndose como una herramienta que guía el diseño e implementación de soluciones informáticas a través de la evaluación de sus IDCs, para garantizar la optimización en el rendimiento de los procesos administrativos y de seguridad de las unidades militares de forma integral.

REFERENCIAS

- Amaechi, J., Agbasonu, V., & Nwawudu, S. (2018). Design and Implementation of a Hospital Database Management System (HDMS) for Medical Doctors. *International Journal of Computer Theory and Engineering*, 10(1), 1–6. <https://doi.org/10.7763/ijcte.2018.v10.1190>
- Askari, G., Asghri, N., Gordji, M. E., Asgari, H., Filipe, J. A., & Azar, A. (2020). The impact of teamwork on an organization's performance: A cooperative game's approach. *Mathematics*, 8(10), 1–15. <https://doi.org/10.3390/math8101804>
- Benítez, G. (2013). Propuesta de diseño e implementación de un sistema de información gerencial aplicado a las operaciones aéreas y evaluación de pilotos, para el Escuadrón de Combate Nro. 2313 de la Fuerza Aérea Ecuatoriana [Escuela Politécnica del Ejército]. <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/1058/browse?value=Gonzalo+Benítez%2C+Lloré&type=author>
- Brooks, D. J., Coole, M., & Haskell-Dowland, P. (2020). Intelligent building systems: security and facility professionals' understanding of system threats, vulnerabilities and mitigation practice. *Security Journal*, 33(2), 244–265. <https://doi.org/10.1057/s41284-019-00183-9>

- Ciancio, S. (2018). The prevalence of service excellence and the use of business process improvement methodologies in Australian universities. *Journal of Higher Education Policy and Management*, 40(2), 121–139. <https://doi.org/10.1080/1360080X.2018.1426372>
- Dirección de Planificación y Gestión Estratégica de la Fuerza Aérea Ecuatoriana. (2018). Manual de Procesos de la Dirección de Recursos Humanos de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (1.0).
- Evans, M., He, Y., Maglaras, L., & Janicke, H. (2019). HEART-IS: A novel technique for evaluating human error-related information security incidents. In *Computers and Security* (Vol. 80, pp. 74–89). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2018.09.002>
- Figueroa-García, J. C., López-Santana, E. R., Villa-Ramírez, J. L., & Ferro-Escobar, R. (2017). Automation of a Business Process Using Robotic Process Automation (RPA): A Case Study Applied computer sciences in engineering: 4th workshop on engineering applications, WEA 2017 Cartagena, Colombia, september 27-29, 2017 proceedings. *Communications in Computer and Information Science*, 742, III–IV. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-66963-2>
- Heinrich, R., Merkle, P., Henss, J., & Paech, B. (2017). Integrating business process simulation and information system simulation for performance prediction. *Software and Systems Modeling*, 16(1), 257–277. <https://doi.org/10.1007/s10270-015-0457-1>
- Hu, K., Orghian, D., & Hidalgo, C. (2018). DIVE: A mixed-initiative system supporting integrated data exploration workflows. *Proceedings of the Workshop on Human-In-the-Loop Data Analytics, HILDA 2018*. <https://doi.org/10.1145/3209900.3209910>
- Jamil, F., Ahmad, S., Iqbal, N., & Kim, D. H. (2020). Towards a remote monitoring of patient vital signs based on iot-based blockchain integrity management platforms in smart hospitals. *Sensors (Switzerland)*, 20(8). <https://doi.org/10.3390/s20082195>
- Laguna, M., & Marklund, J. (2018). *Business Process Modeling, Simulation and Design* (CRC Press (ed.); 3rd ed.). Taylor & Francis Group. <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9781315162119>
- Larouzee, J., & Le Coze, J. C. (2020). Good and bad reasons: The Swiss cheese model and its critics. In *Safety Science* (Vol. 126, p. 104660). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104660>
- Lyon, B. K., & Popov, G. (2020). Managing Risk Through Layers of Control. *Professional Safety Journal*. <https://www.proquest.com/scholarly-journals/managing-risk-through-layers-control/docview/2398591993/se-2?accountid=201395>
- Mat Ghani, M. S., & Zheng Yi, W. (2018). Implementation of Swiss Cheese for UniKL MIAT hangar. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 405(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/405/1/012007>
- Ministerio de Defensa Nacional. (2018a). Estatuto Orgánico de Gestión Organizacional por Procesos de la Fuerza Aérea Ecuatoriana (Issue 052). Ministerio de Defensa Nacional.
- Ministerio de Defensa Nacional. (2018b). Política de la Defensa Nacional del Ecuador “Libro Blanco.” Ministerio de Defensa Nacional. <https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/2019/01/Política-de-Defensa-Nacional-Libro-Blanco-2018-web.pdf>
- Nikolaidou, M., Anagnostopoulos, D., & Tsalgatidou, A. (2001). Business processes modelling and automation in the banking sector: A case study. *International Journal of Simulation*:

Systems, Science and Technology, 2(2), 65–76.

Noh, J. Y., Song, J. Y., Yoon, J. G., Seong, H., Cheong, H. J., & Kim, W. J. (2020). Safe hospital preparedness in the era of COVID-19: The Swiss cheese model. *International Journal of Infectious Diseases*, 98, 294–296. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.06.094>

Pérez, J. (2004). *Gestión por Procesos*. ESIC Editorial.

Prajogo, D., Toy, J., Bhattacharya, A., Oke, A., & Cheng, T. C. E. (2018). The relationships between information management, process management and operational performance: Internal and external contexts. *International Journal of Production Economics*, 199(March), 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.02.019>

Prolis lab2k. (2019). BPSimulator. <https://www.bpsimulator.com/>

Raynus, J. (2011). Improving Business Process Performance: Gain Agility, Create Value, and Achieve Success (1st ed.). In *Improving Business Process Performance*. <https://doi.org/10.1201/b10953>

Reason, J. (1990). *Human Error*. Cambridge University Press.

Reniers, G., Landucci, G., & Khakzad, N. (2020). What safety models and principles can be adapted and used in security science? *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 64, 104068. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104068>

Ricardo, C. M. (2009). *Bases de Datos*. McGraw Hill.

Sehlin, D., Truedsson, M., & Cronemyr, P. (2019). A conceptual cooperative model designed for processes, digitalisation and innovation. *International Journal of Quality and Service Sciences*, 11(4), 504–522. <https://doi.org/10.1108/IJQSS-02-2019-0028>

Shokouhi, Y., Nassiri, P., Mohammadfam, I., & Azam, K. (2019). Predicting the probability of occupational fall incidents: a Bayesian network model for the oil industry. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 0(0), 1–26. <https://doi.org/10.1080/10803554.2019.1607052>

Song, G., Khan, F., & Yang, M. (2018). Security assessment of process facilities – Intrusion modeling. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 639–650. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.05.019>

Toto, G. A., & Limone, P. (2019). Road transport accident analysis from a system-based accident analysis approach using Swiss cheese model. *International Journal of Engineering Education*, 1(2), 99–105. <https://doi.org/10.14710/ijee.1.2.99-105>

Van Der Aalst, W. M. P., La Rosa, M., & Santoro, F. M. (2016). Business process management: Don't forget to improve the process! *Business and Information Systems Engineering*, 58(1), 1–6. <https://doi.org/10.1007/s12599-015-0409-x>



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PORTÁTIL PARA CURADO AUTOMÁTICO DE MATERIALES COMPUESTOS

Capt. Téc. Avc. Carranco Andrés

RESUMEN

La Fuerza Aérea Ecuatoriana (FAE) entidad líder a nivel nacional para el desarrollo aeroespacial, busca disminuir constantemente la dependencia tecnológica para el mantenimiento aeronáutico, es en este punto que se vuelve necesario desarrollar todo tipo de herramientas tecnológicas que apoyen a tareas de supervisión y mantenimiento. Una de las áreas prioritarias para la FAE es materiales compuestos empleado ampliamente en la fabricación de productos aeronáuticos; por esto, se plantea el diseño y construcción de un sistema portátil para el curado automático de materiales compuestos para contribuir a la investigación, caracterización, manufactura y reparación de componentes aeronáuticos. Para alcanzar mejores propiedades mecánicas que requiere un producto aeronáutico a fin de soportar las cargas a las que se verá sometido el material durante una operación de vuelo es fundamental lograr un buen desempeño del proceso el curado. Para el desarrollo del sistema se utilizó una metodología conceptual planteando diversas alternativas de solución orientando el esfuerzo a bosquejar, dimensionar el equipo y elegir el mejor concepto del producto. Una vez definido el concepto, se materializó el sistema precisando los subsistemas de control de vacío que permite una redistribución de la matriz en las fibras de refuerzo del material compuesto durante el curado; el subsistema de tratamiento térmico se encarga de incrementar la temperatura del composite a fin de alcanzar las propiedades mecánicas necesarias. La automatización del proceso de curado de materiales compuestos genera óptimos resultados, consiguiendo un equipo versátil, útil y robusto. Finalmente, al emplear el equipo para el propósito que fue diseñado se evidencia la eficiencia que se tiene en el curado de materiales compuestos de manera automatizada frente a un curado manual a temperatura ambiente.

Palabras clave: Materiales compuestos, Curado, Sistema portátil automático, Control de vacío, Tratamiento térmico.

INTRODUCCIÓN

La Fuerza Aérea Ecuatoriana (FAE) institución centenaria, históricamente ha cumplido a cabalidad su misión institucional de desarrollar la capacidad militar Aeroespacial. Desafortunadamente, en las últimas décadas ha existido un incremento la dependencia tecnológica extranjera, evidenciándose la necesidad de realizar reparaciones, inspección y mantenimiento de la mayoría de los aeronaves, equipos y componentes aeronáuticos diversos con los consecuentes gastos onerosos para la institución.

Hace un par de años, la FAE ha decidido incursionar en la investigación enfocada en el área de materiales compuestos, cuya aplicación es muy amplia en sistemas aeronáuticos. Esta investigación pretende ampliar el tipo de reparaciones menores a otro tipo de reparaciones de mayor complejidad en las aeronaves de la FAE que dispone de componentes fabricados con materiales compuestos. Uno de los procesos críticos dentro del procesamiento de materiales compuestos se conoce como curado, por tanto, el presente estudio será de valor para mejorar

las tareas de reparación y mantenimiento además de lograr una optimización de los recursos institucionales. (Criollo & Yáñez, 2019).

La necesidad de disminuir la dependencia tecnológica en reparaciones de materiales compuestos para la caracterización del material compuesto, identificación de los daños estructurales más recurrentes y el crear componentes de material compuesto genera en la institución la imperiosa necesidad de investigar en este campo de la ciencia y desarrollar en la FAE material compuesto que posea iguales o mejores propiedades mecánicas que los productos de los fabricantes aeronáuticos y sean utilizados como elementos tipo parches de reparación. Los materiales compuestos es una combinación de dos o más elementos que tienen propiedades físicas, químicas y mecánicas específicas, los mismos que al combinarse obtienen propiedades que traen una ventaja frente a materiales tradicionales como metales, cerámicos entre otros. Generalmente en el material compuesto (MC) se distingue una fase continua denominada matriz que son resinas epóxicas, resinas cobaltosas unidas a la fase discontinua que son llamadas fibras o refuerzos, entre las que se puede citar fibra de vidrio, fibra de carbono, fibra de aramida, entre otras.

Con el antecedente planteado, un material compuesto es una combinación de dos o más fases químicamente distintas e insolubles con una interfaz reconocible, de manera que sus propiedades y su desempeño estructural son superiores a las de sus componentes cuando actúan de modo independiente. (Kalpakjian & Steve, 2008)

El proceso de curado de materiales compuestos consiste de una etapa de conceptualización en donde se define los componentes (matriz-refuerzo) del MC considerando las propiedades mecánicas que se necesita alcanzar, temperaturas requeridas y dimensiones del refuerzo, peso de la matriz a usarse. Sigue a la etapa de manufactura del MC donde se prepara moldes, y se realiza los laminados correspondientes. Finalmente se tiene la etapa de curado propiamente, en la cual aplicando presión de vacío se absorbe toda cantidad de aire en los laminados y se redistribuye de mejor manera la matriz (resinas) en el MC que coadyuva a obtener mejores propiedades mecánicas de los laminados y menor espesor. Paralelamente se realiza la aplicación de energía calorífica que produce la solidificación de la matriz y la unión de refuerzo y matriz para concluir en un MC.

Realizar un control automático del proceso de curado del material laminado para reparaciones estructurales tiene su importancia, en vista que al controlar los procesos de vacío y tratamiento térmico los componentes laminados pueden obtener mejores propiedades mecánicas como materiales compuestos para reparaciones en aeronáutica. El sistema portátil para el curado automático de MC consta de un gabinete eléctrico metálico robusto al cual se le adaptaron garruchas que permiten su transporte del taller al hangar o a la línea de vuelo para realizar reparaciones en sitio. Dispone de un cable de alimentación eléctrica, el mismo que permite energizar los subsistemas de vacío, tratamiento térmico, control e interfaz con el usuario.

Precisamente al disponer de un HMI (Human Machine Interface), permite una fácil adaptación y comprensión del funcionamiento al operador, el mismo que a partir de la información técnica (datasheet) de fibras y refuerzos a usarse ingresa los datos de temperatura requerida para el curado automático del MC. El programa de curado de materiales compuestos requiere de la generación de presión de vacío permanente a fin de redistribuir de mejor manera la resina interlaminar que se coloca en los tejidos del refuerzo constante y a su vez realiza el tratamiento térmico controlado en el laminado. Con este proceso es posible conseguir mejorar las propiedades mecánicas como la resistencia a la flexión, resistencia a la tensión y compresión, resistencia al

corte a las que son sometidos componentes que se constituyen de materiales compuestos tales como las alas de una aeronave en vuelo y componentes aeronáuticos menores.

Dentro de los equipos portables que se destinan para reparaciones de materiales compuestos de pequeño y hasta mediano calado se encuentra equipos que de manera individual controlan las variables que actúan dentro del proceso de curado. Por ejemplo, se dispone de termostatos o controladores para mantas térmicas, bombas/generadores de vacío, entre otros. Así también existen equipos que son capaces de controlar temperatura y vacío simultáneamente en periodos determinados de tiempo, y son comercialmente distribuidos en el mercado internacional más conocidos como hot – bonder que se tiene en la figura 1, los mismos que son desarrollados para las aplicaciones aeronáuticas, automotrices y otras. Estos equipos tienen capacidades similares a las de los equipos más grandes y tradicionales (autoclaves), al tiempo que ofrecen portabilidad.

Su diseño y tamaño práctico permiten que un equipo reducido de técnicos pueda disponer del equipo en mención y trasladarse a lugares donde no se cuenta con las facilidades de un horno o una cámara autoclave para realizar el trabajo de curado de MC, esto resulta desde un punto de vista logístico relativamente económico en escenarios donde las aeronaves no pueden permanecer paradas luego de un percance en cumplimiento con sus operaciones aéreas.

Figura 1
Esquema de equipo ACR-3 HotBonder, comercialmente disponible para curado de materiales compuestos



Nota: Adaptado de ACR3 HOT BONDERS.

Briskheat. (<https://www.briskheat.com/index.php/downloads/dl/file/id/55/>)

Una vez concluido el proceso de curado, en este proyecto de investigación se procedió a la caracterización y análisis de las propiedades del MC, ante lo que fue necesario aplicar ensayos destructivos a las probetas, que se desarrollaron para definir sus propiedades mecánicas. Los ensayos mecánicos simulan situaciones reales a las que se sometería el material utilizando equipos adecuados que certifiquen la validez de los resultados. (Dávila et al., 2011).

En este aspecto se analizó los diferentes ensayos estáticos que se podrían realizar para determinar las propiedades mecánicas, teniéndose el ensayo a compresión como un método que permite a definir las propiedades mecánicas del material como: resistencia máxima a la compresión, deformación por compresión máxima, módulo de elasticidad a compresión, relación de Poisson en compresión y deformación de transición. Este ensayo se lo lleva a cabo bajo los lineamientos de la norma ASTM D3410/D3410M. (American Society for Testing and Materials, 2016)

El ensayo de flexión se utiliza para comprobar la resistencia de las fibras exteriores del laminado

y el módulo de Young de materiales compuestos homogéneos y poliméricos. La probeta en este ensayo se aplica una carga hasta alcanzar la mayor deformación de las fibras en las laminaciones exteriores. El ensayo a flexión se lo realiza basándose en la norma ASTM D790-17 “Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials”. (American Society for Testing and Materials, 2021).

Finalmente, el ensayo aplicado en el presente proyecto de investigación fue el ensayo de tensión (tracción), el cual representa uno de los métodos destructivos más eficiente para establecer las propiedades mecánicas del material, ya que se somete a una probeta normalizada a una carga axial de tensión hasta producir la rotura. (Carvajal, 2020). Dicho ensayo se estudió, analizó y aplicó basándose en la norma ASTM D3039/D3039M-14, con las cuales se determina las propiedades mecánicas de componentes sometidos a tracción. (American Society for Testing and Materials, 2019).

Esta norma entrega los lineamientos de la geometría y cantidad necesaria de probetas a ensayarse para obtener resultados confiables. Así estipula 5 ensayos efectivos para validar los resultados, considera también dimensiones de las probetas a ensayarse (largo, ancho y espesor), material y orientación de las fibras, entre otras propiedades.

MÉTODO/DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

Diseño del sistema

El desarrollo del sistema busca alcanzar principalmente un diseño óptimo, modularidad, facilidad de uso y seguridad industrial para lo cual fue necesario estudiar las especificaciones técnicas de los materiales previo al diseño e implementación de la maleta portátil para el curado del MC. Así también se analizó el software que se utiliza en el desarrollo del control y junto al HMI (Human Machine Interface) se busca un equipo robusto desde el punto de vista físico estructural, y a la vez versátil desde la perspectiva del usuario en el manejo del sistema.

Modularidad

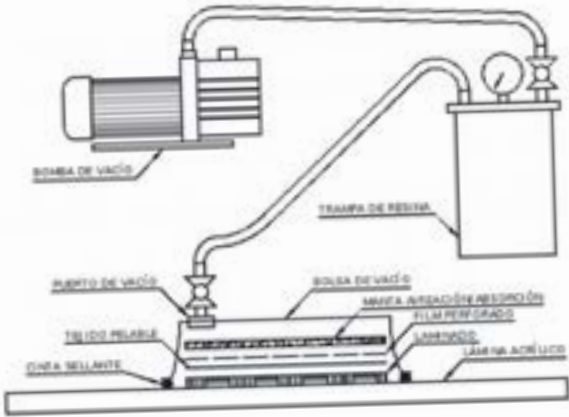
Los equipos y sistemas del sector industrial día a día se proyectan hacia la reducción de los tamaños físicos de sus componentes y personalizar mejorar los diversos sistemas. Una manera óptima de lograr este cometido es por medio de modularidad, que permite analizar, dar mantenimiento al sistema de manera que no se interrumpa el funcionamiento de los demás subsistemas teniendo en cuenta constantemente las características establecidas por el fabricante de manera independiente.

Subsistema de vacío

El sistema de vacío se diseñó de tal manera que el control de los parámetros: presión y caudal, logren un funcionamiento eficiente del mismo

El subsistema de vacío para el curado de los materiales compuestos, está conformado por una bomba de vacío, acumulador de vacío, interruptor de presión de vacío (vacuóstato), instrumento de medición de presión de vacío (vacuómetro), ventosas, mangueras de conexión y bolsas de vacío, además de algunos accesorios (sellos, mangueras y racores) como se observa en la Figura 2. Estos permiten establecer las condiciones físicas necesarias para realizar el curado de materiales compuestos por vacío.

Figura 2
Esquema general de un sistema de bolsa de vacío



Nota: Principales componentes de un subsistema de vacío. Tomado de “La técnica de bolsa de vacío en cámara de vacío para la fabricación de materiales compuestos de matriz epoxi”. (p. 24), por Arruti. 2016. Revista Ingeniería.

Para una optimización de los equipos se realizó el levantamiento de la información de la cantidad de tiempo que la bomba permanece prendida en los procesos de curado, y se determinó que la bomba permanece encendida como mínimo de 30 a 45 minutos y alcanza fácilmente los 100 ° C de temperatura en funcionamiento constante, y al ser refrigerada por aire se ve limitado su tiempo de vida útil. Así se realizó pruebas de campo para determinar la tendencia al incremento de temperatura durante un período de 20 minutos obteniéndose los valores definidos en la Tabla 1.

Tabla 1
Incremento de temperatura de bomba de vacío Becker VT 4.8 en funcionamiento continuo

ORD	TIEMPO (min)	Temperatura (° C)
1	1	36
2	2	44
3	4	57
4	6	68
5	8	77
6	10	84
7	12	90
8	15	97
9	18	99
10	20	99

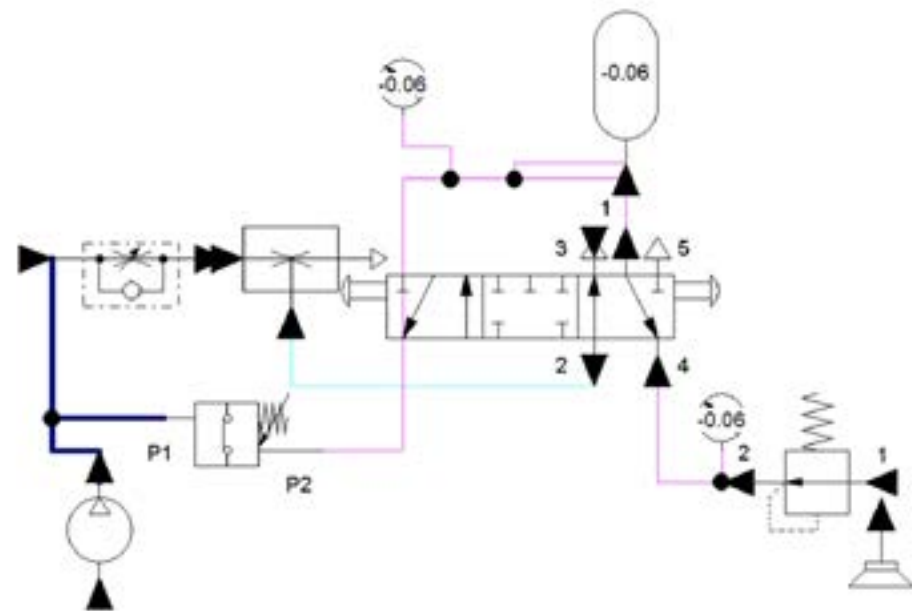
Fuente: Elaboración propia

Como se evidencia la temperatura de operación sobre los 15 minutos se mantiene casi constante sobre los 95 ° C, lo cual está limitando el tiempo de vida útil de la bomba. Es por este motivo que se diseñó un circuito de control electrónico – neumático que es automatizado por la acción del vacuóstato mismo que define una presión de vacío mínima a la que se desea prender la bomba y otra presión de vacío máxima que bordeará los 29 - 30 pulgadas de Mercurio (Hg) a nivel del

mar y varía en función de la altitud del lugar de prueba. Siendo esto una parte fundamental pero aún no suficiente, fue necesario utilizar un tanque reservorio de vacío, el cual acumula el vacío interior a través de la operación de la bomba para posteriormente alimentar y producir o mantener el vacío a los enfundados del laminado de materiales compuestos. De esta forma se optimizó el funcionamiento de la bomba de vacío, incrementando el tiempo de vida útil de la misma y se evita el recalentamiento de la bomba que se evidenciaba cuando se operaba de manera manual.

En la Figura 3 se puede observar el diseño de la conexión neumática del subsistema de vacío para corroborar lo antes mencionado.

Figura 3
Diseño de circuito neumático



Fuente: Elaboración propia

La bomba de vacío que se usa es una bomba de vacío de paletas sin aceite y refrigerado por aire cuyas características técnicas y de operación se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2
Características técnicas de la bomba de vacío

ORD	MAGNITUD	VALOR	UNIDADES
1	TENSIÓN NOMINAL	120	VOLTIOS
2	POTENCIA	420	WATTS
3	FASE	1	
4	MASA	11,5	KILOGRAMOS
5	MÁXIMO VOLUMEN DE ASPIRACIÓN	9,1	METROS CÚBICOS / HORA
6	REVOLUCIONES MÁX.	3200	RPM

Fuente: Tomado de VT 4.8. Becker. 2020.(<https://www.becker-international.com/de/en/>)

Acumulador de Vacío

Con la finalidad de brindar a la bomba de vacío un tiempo apreciable de reposo y no permanezca encendida durante el proceso de curado de materiales compuestos, se utiliza un tanque acumulador de vacío metálico para conectar a la bolsa de vacío que contiene el laminado de materiales compuestos.

Vacuómetro

El vacuómetro es el instrumento de medición que se utiliza para medir presiones de vacío o negativas. La presión de vacío es inferior a la presión atmosférica.

Vacuóstato

El vacuóstato controla automáticamente la acción de una bomba de vacío para prenderla y apagarla según se disponga de los valores de presión predeterminados mecánicamente a través de tornillos.

Mangueras

Para la conducción del aire en el proceso de vacío es necesario utilizar mangueras de poliuretano para conexión entre la bomba, el tanque acumulador de vacío, el proceso enfundado de laminado, el vacuóstato y vacuómetro.

Ventosas

Las ventosas son componentes que tras aplicar una presión negativa del aire (vacío) se adhieren a las superficies poco porosas. La diferencia de presión entre la atmósfera en el exterior de la ventosa y la cavidad de baja presión en el interior de la estructura, es lo que mantiene la ventosa sujeta a la superficie.

Subsistema de tratamiento térmico

El subsistema de tratamiento térmico consta de los actuadores principales que es la manta térmica la cual, por conducción directa de calor, incrementa la temperatura del laminado de matriz y refuerzo combinados, se realiza el curado apegado a las rampas de temperatura establecidas para alcanzar unas propiedades mecánicas específicas, un esquema se observa en la Figura 4.

Figura 4
Esquema general del sistema térmico.



Nota: Principales componentes de un subsistema de vacío. Fuente: Elaboración propia

Para la activación de las mantas, la maleta de curado automático permite el paso de corriente alterna a través de un SSR (Relé de Estado Sólido) que hace las veces de interruptor para la alimentación de la misma de acuerdo a la señal de salida emitida desde el Controlador Lógico Programable (PLC).

Manta Térmica

La Manta Térmica está constituida por resistencias eléctricas flexibles que están completamente cubiertas por una capa de silicón que ayuda a redistribuir el calor generado durante su alimentación eléctrica, transformando la energía eléctrica en energía térmica. La manta térmica o calefactora, dispone de un cordón eléctrico de alimentación con cables que disponen de un aislante especial capaz de soportar temperaturas superiores a los 150 ° C.

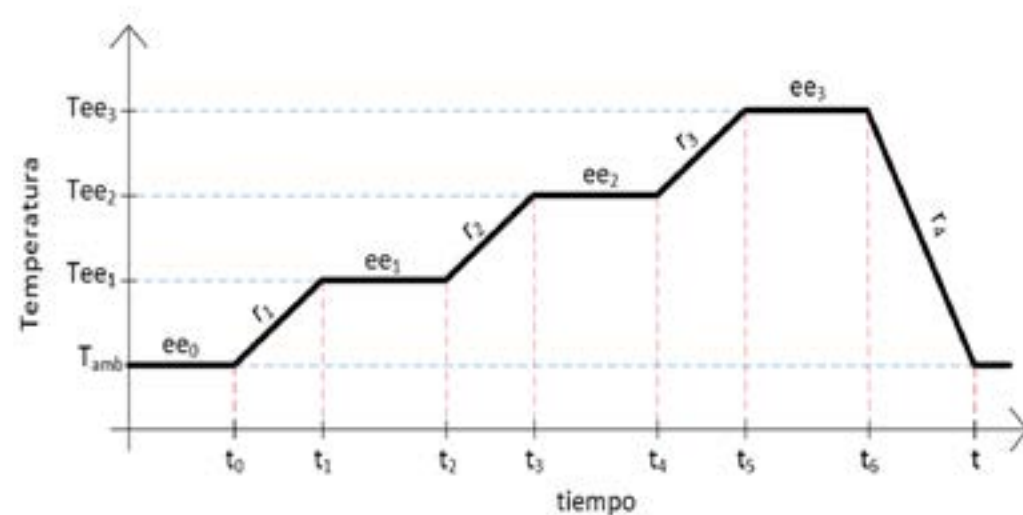
Termopar tipo J

Un termopar es el tipo de sensor de temperatura más usado en la industria. Generalmente está formado por dos conductores de distinto material, cuyo extremo se encuentra unido mediante una soldadura. (Alzate, Montes, & Silva, 2007).

Desarrollo del Algoritmo

El desarrollo del algoritmo parte desde la gráfica mostrada en la Figura 5, la cual está formada por tres rampas de ascenso temperatura, cuatro estados estacionarios de temperatura, y una rampa de descenso de temperatura. Se puede observar que el primer estado estacionario corresponde a un estado inicial, que puede ser interpretado como la temperatura ambiente hasta un instante de inicio del sistema. Secuencialmente se observa las rampas de temperatura de curado del MC con sus consecuentes temperaturas de estado estable.

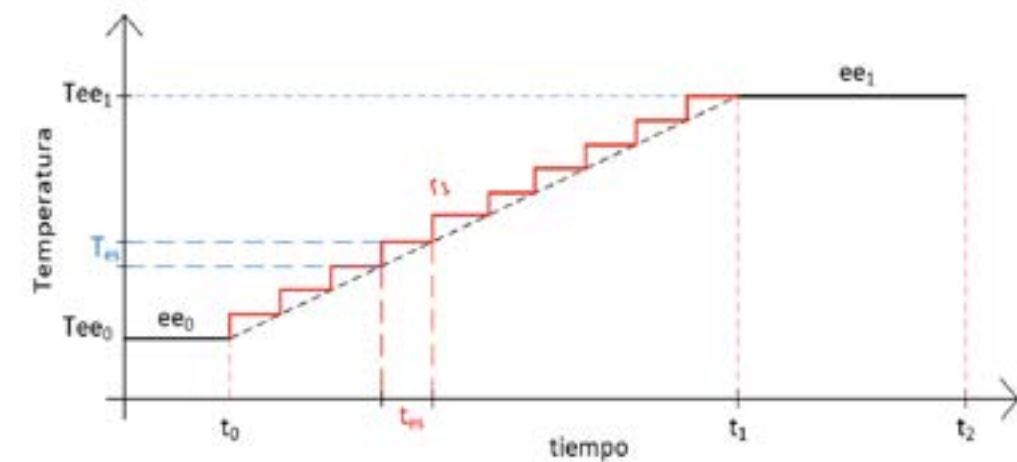
Figura 5
Rampas del Sistema de Curado



Fuente: Elaboración propia

Se optó por el diseño de un sistema que simule de manera digital el comportamiento de una rampa analógica. Por lo tanto, cada rampa de incremento de temperatura está conformada por un grupo de escalones, tal como se puede observar en la Figura 6.

Figura 6
Rampas del Sistema de Curado



Fuente: Elaboración propia

La principal característica de estos escalones es que todos tienen el mismo incremento de temperatura en un intervalo de tiempo, cuya duración es la misma para todos los que conforman la simulación de rampa.

Control PID Temperatura

Los estados estacionarios de temperatura corresponden a los valores ingresados por el usuario desde la interfaz de usuario HMI, en los cuales la temperatura se mantiene estable por un determinado intervalo de tiempo. Para que las mantas térmicas mantengan los estados estacionarios, es indispensable el uso de un controlador, y se empleó un controlador PID.

Subsistema de alojamiento e interfaz de usuario

En el diseño y elección de los sistemas de alojamiento e interfaz se partió del criterio de uso de estándares, funcionalidad y utilidad. Debido a la aplicación del sistema, se requiere tener características de portabilidad lo cual condiciona y limita el peso y dimensiones del equipo. Por esto, se ha optado por el uso de un equipo de alojamiento estándar en la industria para el tipo de aplicaciones como esta. Únicamente se ha realizado modificaciones correspondientes para tomacorrientes, puntos de conexión neumático, instrumentos de medición y HMI. El sistema de alojamiento seleccionado es un gabinete metálico de dimensiones 400 x 600 x 200 [mm].

Interfaz con el usuario

En vista que el equipo será operado por personal vario, se necesita una HMI que sea interactiva, fácil de entender y que cumpla con los requerimientos mínimos de seguridad, confiabilidad y eficiencia. Este dispositivo permite hacer diseños de HMI que son bastante gráficos y detallados del proceso que se está realizando y de las acciones que se ejecutan. Además, al ser una pantalla táctil, da mucha accesibilidad y facilidad de uso con cualquier tipo de operador. Como se observa en la Figura 7.

Figura 7
Pantallas de interfaz con el usuario HMI



Fuente: Elaboración propia

Verificación experimental

Para evaluar las virtudes del equipo se planteó el análisis de dos variables presentes en el proceso de curado de materiales compuestos: presión de vacío y tratamiento térmico para lo cual se evaluó los datos a través del diseño experimental factorial como se tiene en la Tabla 3, que permite el estudio del efecto de cada factor sobre las salidas a analizar del experimento. Así con dos factores y dos niveles en cada factor, el experimento factorial tendrá en total de cuatro combinaciones de tratamiento, y será un diseño factorial de 2x2.

Tabla 3
Variables DOE factorial 2x2

FACTORES	NIVELES	
TEMPERATURA	65° C	50° C
PRESIÓN DE VACÍO	19 In. Hg	17 In. Hg

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4 se puede observar la matriz de combinaciones de los factores antes mencionados para su posterior ensayo a tracción para definir las propiedades mecánicas de las probetas.

Tabla 4
Matriz de combinaciones de los factores

COMBINACIÓN	TEMPERATURA	PRESIÓN DE VACÍO
1	65° C	19 In. Hg
2	65° C	17 In. Hg
3	50° C	19 In. Hg
4	50° C	17 In. Hg

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, las propiedades mecánicas a analizar posterior al ensayo de tracción que son las variables de salida en las que se enfoca el análisis después de la aplicación del diseño experimental son:

- Esfuerzo último de tensión
- Módulo de elasticidad

Una vez diseñado y fabricado el sistema portátil para el curado automático de materiales compuestos se procede a emplear el equipo y realizar el curado de los materiales compuestos. Preparación de las probetas

Inicialmente se define la cantidad de probetas necesarias para el ensayo a tracción, para ello es necesario remitirse a la norma ASTM D3039/D3039M-17 “Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials”. Esta norma entrega los lineamientos de la geometría y cantidad necesaria de probetas a ensayarse como se observa en la Tabla 5. (American Society for Testing and Materials, 2019)

Tabla 5
Parámetros de fabricación de probetas

PARÁMETRO	ESPECIFICACIÓN
Forma	Sección transversal rectangular constante
Largo mínimo	Agarre de las mordazas + 2 veces el ancho
Ancho	A requerimiento
Tolerancia del ancho	±1% del ancho
Espesor	A requerimiento
Tolerancia del espesor	±4% del espesor
Espesor del tab	A requerimiento
Material del tab	A requerimiento
Orientación de la fibra del tab	A requerimiento
Ángulo del tab	5° a 90°, inclusive

Nota: Tomado de Norma ASTM D3039/D3039M-17 Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials 1. American Society for Testing and Materials. 2019. (<https://doi.org/10.1520/D3039>)

De acuerdo a la norma ASTM D3039/D3039-17, se ensayó 5 probetas efectivas de dimensiones 130x15 [mm], esto debido a que se tendrá una longitud de agarre de la mordaza de 50x15 [mm]. (American Society for Testing and Materials, 2019)

Se realizó el laminado utilizando como refuerzo la fibra de vidrio 800 Roving y matriz la resina de Poliéster distribuyendo equitativamente la resina sobre la superficie completa de las fibras para su posterior enfundado y sellado del material para aplicar vacío junto al tratamiento térmico para completar el proceso de curado a través del presente proyecto como se observa en la Figura 8.

Figura 8
Proceso de laminado y preparación para el curado. A) Laminación. B) Sellado y enfundado. C) Colocación de mantas térmicas. D) Programación del curado en la maleta de curado automático



Fuente: Elaboración propia

Ensayo a tracción

El ensayo a tracción como se observa en la Figura 9, se realizó con la ayuda de una máquina de Ensayos Universales SHIMADZU AGS-X Plus de acuerdo con los lineamientos de la Norma ASTM D3039/D3039M-17, la cual indica que se debe realizar el ensayo a una velocidad de cabezal de 2 [mm/min], con la realización del ensayo de al menos 5 muestras válidas.

Figura 9
Ensayos a tracción. A) Máquina de ensayos universales SHIMADZU. B) Probeta durante el ensayo a tracción. C) Probeta post-ensayo



Fuente: Elaboración propia

Una vez terminados los ensayos de tracción, se recepta los datos obtenidos del software que almacena y graba las mediciones se obtiene el gráfico Fuerza vs. Deformación de la probeta.

RESULTADOS

De acuerdo a los datos obtenidos anteriormente se realiza una organización de la información y se realizó el cálculo el esfuerzo a tracción, definiendo la resistencia última a la tensión (sut), la resistencia a la rotura y el módulo de Elasticidad de las probetas. A continuación, se detalla los valores obtenidos de los 25 ensayos efectivos a tracción para calcular las propiedades mecánicas como se observa en la Tabla 6.

Tabla 6
Datos obtenidos durante el ensayo a tracción

ORDEN ENSAYOS	CODIGO	FUERZA	FUERZA	LONGITUD [mm]	ESPESOR [mm]	AREA	
		MÁXIMA [N]	ROTURA [N]			SECCIÓN (LxE) [mm²]	ΔL [mm]
1	2500_A1	11492	10618	15,07	2,20	33,15	4,41
2	2500_A2	12081	11805	15,00	2,17	32,55	5,90
3	2500_A3	10659	10526	14,95	2,24	33,49	5,12
4	2500_A4	10813	10733	14,93	2,20	32,85	4,93
5	2500_A5	10758	10009	14,99	2,13	31,93	6,59
6	5017_B1	11492	10618	15,10	1,77	26,73	4,41
7	5017_B2	10965	10713	15,15	1,86	28,18	4,34
8	5017_B3	11245	10758	15,30	1,86	28,46	4,18
9	5017_B4	9642	8934	14,76	1,84	27,16	3,88
10	5017_B5	10342	9485	15,28	1,87	28,57	3,82
11	5019_C1	10671	10520	15,07	1,80	27,13	4,26
12	5019_C2	10403	10121	14,79	1,72	25,44	4,55
13	5019_C3	10171	9694	15,07	1,93	29,09	4,51
14	5019_C4	10837	10744	15,05	1,93	29,05	3,70
15	5019_C5	9809	9472	14,91	1,94	28,93	3,85
16	6517_D1	9762	9445	15,16	1,82	27,59	3,96
17	6517_D2	10403	10121	14,81	1,78	26,36	4,55
18	6517_D3	10853	10809	14,53	1,74	25,28	4,78
19	6517_D4	9912	9758	14,75	1,86	27,44	3,96
20	6517_D5	12035	11855	15,19	1,88	28,56	5,06
21	6519_E1	9762	9445	15,07	1,94	29,24	3,96
22	6519_E2	12446	12446	15,27	1,99	30,39	4,37
23	6519_E3	11268	11133	15,13	1,92	29,05	4,22
24	6519_E4	12304	12304	15,30	1,92	29,38	4,46
25	6519_E5	10673	10651	15,27	1,93	29,47	3,64

Fuente: Elaboración propia

Con los datos generados se procede al cálculo de las propiedades mecánicas de esfuerzo de tracción, Deformación unitaria tomando en consideración que la longitud inicial de la probeta es la de la zona de trabajo, es decir 30[mm]; y finalmente se presenta el Módulo de elasticidad del material, señalados en la Tabla 7.

Tabla 7
Resumen de Propiedades mecánicas obtenidas del ensayo a tracción

ORDEN ENSAYOS	CODIGO	ESFUERZO ÚLTIMO TENSIÓN (Sut) [Mpa]	ESFUERZO A LA ROTURA [Mpa]	$\epsilon=\Delta L/L$	$E=\sigma/\epsilon$ [Mpa]
1	2500_A1	346,62	320,26	0,15	2357,99
2	2500_A2	371,15	362,67	0,20	1887,21
3	2500_A3	318,29	314,32	0,17	1865,00
4	2500_A4	329,20	326,77	0,16	2003,26
5	2500_A5	336,94	313,48	0,22	1533,86
6	5017_B1	429,98	397,28	0,15	2925,01
7	5017_B2	389,12	380,18	0,14	2689,77
8	5017_B3	395,14	378,03	0,14	2835,96
9	5017_B4	355,03	328,96	0,13	2745,06
10	5017_B5	361,94	331,95	0,13	2842,48
11	5019_C1	393,39	387,82	0,14	2770,33
12	5019_C2	408,94	397,86	0,15	2696,32
13	5019_C3	349,70	333,30	0,15	2326,15
14	5019_C4	373,09	369,89	0,12	3025,07
15	5019_C5	339,11	327,46	0,13	2642,44
16	6517_D1	353,81	342,32	0,13	2680,37
17	6517_D2	394,62	383,93	0,15	2601,92
18	6517_D3	429,27	427,53	0,16	2694,19
19	6517_D4	361,29	355,68	0,13	2737,05
20	6517_D5	421,43	415,13	0,17	2498,63
21	6519_E1	333,91	323,06	0,13	2529,59
22	6519_E2	409,58	409,58	0,15	2811,76
23	6519_E3	387,89	383,24	0,14	2757,50
24	6519_E4	418,85	418,85	0,15	2817,35
25	6519_E5	362,15	361,40	0,12	2984,76

Fuente: Elaboración propia

Descripción del DOE factorial completo.

Para el desarrollo del diseño experimental por método factorial completo se considera inicialmente la combinación de las dos variables (temperatura y presión de vacío) con los dos niveles definidos en cada una.

Se crea un análisis estadístico DOE de tipo factorial, se selecciona el tipo de diseño de 2 niveles, 2 factores con número de réplicas o ensayos que se hicieron 5. A continuación se genera la tabla de combinaciones y se realiza el análisis DOE factorial completo.

Detallando las variables de entrada y salida y los niveles se procede a generar la tabla de combinaciones, a las cuales se le agrega las salidas antes calculadas como se observa en la Figura 10. Con esto solo faltaría realizar el análisis del DOE factorial completo para una tabulación de resultados.

Figura 10
Matriz para análisis DEO factorial completo

Coeficientes codificados									
4	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
	OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Bloques	Temperatura	Presión de vacío	Sut	Esfuerzo rotura	Módulo elasticidad
1	1	1	1	1	50	17	429,98	397,28	2925,01
2	2	2	1	1	65	17	353,81	342,32	2680,37
3	3	3	1	1	50	19	393,39	387,82	2770,33
4	4	4	1	1	65	19	333,91	323,06	2529,59
5	5	5	1	1	50	17	389,12	380,18	2689,77
6	6	6	1	1	65	17	394,62	383,93	2601,92
7	7	7	1	1	50	19	408,94	397,86	2696,32
8	8	8	1	1	65	19	409,58	409,58	2811,76
9	9	9	1	1	50	17	395,14	378,03	2835,96
10	10	10	1	1	65	17	429,27	427,53	2694,19
11	11	11	1	1	50	19	349,70	333,30	2326,15
12	12	12	1	1	65	19	387,89	383,24	2757,50
13	13	13	1	1	50	17	355,03	328,96	2745,06
14	14	14	1	1	65	17	361,29	355,68	2737,05
15	15	15	1	1	50	19	373,09	369,89	3025,07
16	16	16	1	1	65	19	418,85	418,85	2817,35
17	17	17	1	1	50	17	361,94	331,95	2842,48
18	18	18	1	1	65	17	421,43	415,13	2498,63
19	19	19	1	1	50	19	339,11	327,46	2642,44
20	20	20	1	1	65	19	362,15	361,40	2984,76

Nota: Obtenido del análisis estadístico usando Minitab 19. Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Posterior al ensayo de tracción se analizaron visualmente las probetas y se verificó que todas se encuentren dentro de lo establecido en la norma de ensayos a tracción ASTM D3039/D3039M-17 “Método de Prueba Estándar para propiedades de Tracción de materiales compuestos de Matriz Polimérica”, evidenciándose que las probetas efectivas se rompieron en el límite de la zona de trabajo. (American Society for Testing and Materials, 2019)

Los resultados se analizaron mediante inferencia estadística, usando los datos obtenidos en los diferentes ensayos para generalizar un comportamiento de acuerdo a cada una de las condiciones impuestas y generando una predicción de fidelidad de los valores encontrados, evitando de esta manera errores o incertidumbres subjetivas.

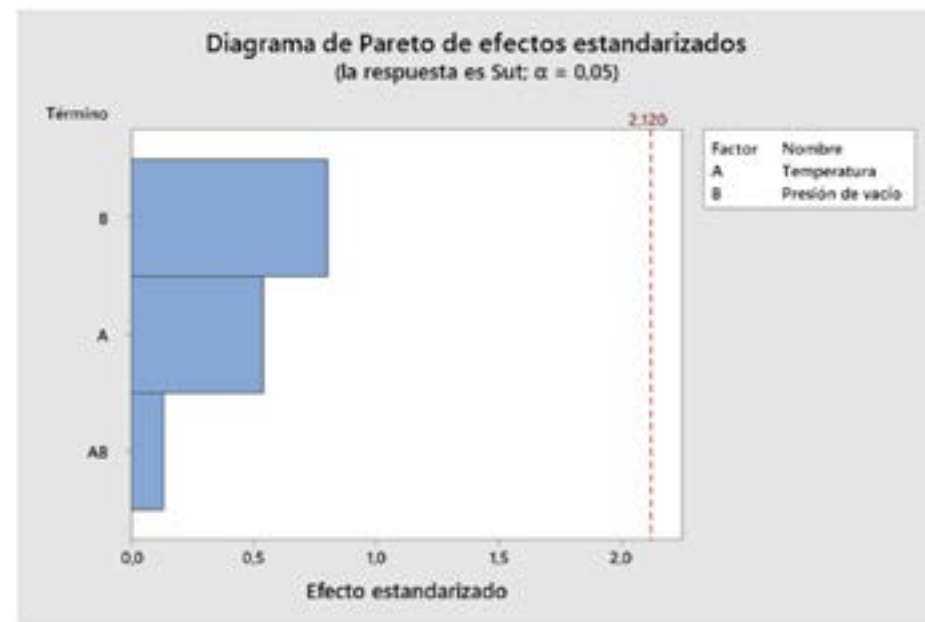
Los métodos utilizados son: Diseño experimental completo para las cuatro combinaciones bajo el curado en condiciones forzadas y el análisis de Varianza ANOVA con los cinco diferentes tipos de laminados creados.

Inicialmente se realizará el análisis DOE factorial de los diferentes factores y condiciones dispuestas en la preparación de los laminados para definir la incidencia de los factores en el Esfuerzo último a la tensión.

En la Figura 11 se observa que los factores Temperatura y presión de vacío no son significativos para la variación del Esfuerzo último a la tensión obtenido del ensayo a tracción. Únicamente se puede destacar que con los niveles de presión de vacío seleccionados presenta mayor incidencia que los niveles de temperatura.

Figura 11

Análisis de Pareto considerando incidencia de factores en Esfuerzo último a la tensión



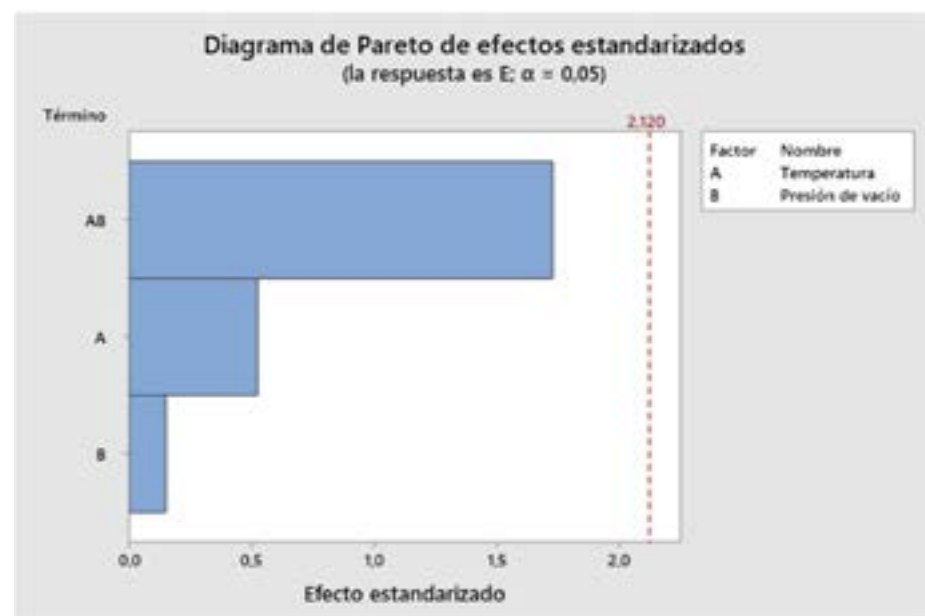
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se realizará el análisis DOE de los diferentes factores y condiciones dispuestas en la preparación de los laminados para definir comportamiento del Módulo de elasticidad.

En la Figura 12 se observa que los factores Temperatura y presión de vacío no son significativos para la variación del Esfuerzo último a la tensión obtenido del ensayo a tracción. Pero observando el diagrama se observa que una interacción entre estos factores adquiere mayor importancia en el Módulo de elasticidad de las probetas.

Figura 12

Análisis de Pareto considerando incidencia de factores en el Módulo de elasticidad



Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS ANOVA

Este tipo de análisis lo que busca es definir cuál de las combinaciones y laminados ensayados presentan las mejores prestaciones respecto a las variables de salida analizadas. Inicialmente se realizará el análisis ANOVA de los diferentes factores y condiciones dispuestas en la preparación de los laminados para definir la incidencia en el Esfuerzo último a la tensión.

En la Figura 13 se observa claramente que la combinación Temperatura 65 ° C y Presión de vacío 17 In. Hg. (6517) genera el mayor Esfuerzo último a la tensión, definiéndolo como el más resistente alcanzando un valor de 392.086 [Mpa]. Cabe destacar que las cuatro combinaciones con tratamiento térmico y aplicación de presión de vacío presenta evidentemente mejores resistencias mecánicas a la tensión que las probetas curadas a temperatura ambiente que en promedio alcanzó 340.442 [Mpa].

Figura 13

Gráfica de valores obtenidos de Esfuerzo último a la tracción en 5 tipos curados



Fuente: Elaboración propia

En la Figura 14 se observa que la combinación 5017 (Temperatura 50 ° C y Presión de vacío 17 In. Hg) genera el mayor Módulo de elasticidad 2807.66 [MPa] en promedio, lo que se traduciría sería a causa de tener la menor deformación unitaria que se concluye como la más frágil.

Figura 14

Gráfica de valores obtenidos para módulo de elasticidad 5 tipos laminados



Fuente: Elaboración propia

DISCUSIÓN

Los métodos usados para el análisis de resultados de los ensayos mecánicos a tracción son: Diseño experimental completo para las cuatro combinaciones bajo el curado en condiciones forzadas y el análisis de Varianza ANOVA con los cinco diferentes tipos de laminados creados.

Inicialmente se realizará el análisis DOE factorial de los diferentes factores y condiciones dispuestas en la preparación de los laminados para definir la incidencia de los factores en el esfuerzo último a la tensión.

En el análisis del DOE se obtiene resultado que se puede inferir que no es dependiente estrictamente a uno de los factores de entrada como presión de vacío y el tratamiento térmico, no tienen una incidencia definitoria en los resultados obtenidos del esfuerzo último a la tensión que soportan las probetas de materiales compuestos, con lo que se

define que las variables de entrada en los valores definidos al inicio por lo que serían trabajos a futuro de realizar el curado de los materiales compuestos con otros valores que evidenciarán la incidencia de las variables en las propiedades de los materiales compuestos. Únicamente se puede destacar que con los niveles de presión de vacío seleccionados (17 y 19 pulgadas de Mercurio) presenta mayor incidencia que los niveles de temperatura.

El comportamiento del Módulo de elasticidad considerando las variables de entrada temperatura y presión de vacío no son significativos para la variación de este parámetro. Sin embargo, se evidencia que una interacción entre estos factores adquiere mayor importancia en el Módulo de elasticidad de las probetas.

En el análisis ANOVA realizado se definió las combinaciones de factores de entrada que presentaron mejores resultados en los factores de salida del análisis (Esfuerzo a la tensión y Módulo de elasticidad) en los laminados ensayados presentan las mejores prestaciones respecto a las variables de salida analizadas.

Respecto al esfuerzo último a la tensión se observa claramente que la combinación Temperatura 65 ° C y Presión de vacío 17 In. Hg. (6517) genera el mayor Esfuerzo último a la tensión con un valor de 392.086 [Mpa]. Adicionalmente es importante definir que la combinación 6519 presenta menor esfuerzo último a la tensión lo cual se entendería que aparentemente esta combinación brinda menores prestaciones mecánicas. Cabe destacar que las cuatro combinaciones con tratamiento térmico y aplicación de presión de vacío presenta evidentemente mejores resistencias mecánicas a la tensión que las probetas curadas a temperatura ambiente que en promedio alcanzó 340.442 [Mpa].

Así también se concluye que la combinación 5017 (Temperatura 50 ° C y Presión de vacío 17 In. Hg) genera el mayor Módulo de elasticidad 2807.66 [MPa] en promedio, lo que se traduciría sería a causa de tener la menor deformación unitaria que se concluye como la más frágil. Así también cabe destacar que las cuatro combinaciones con tratamiento térmico y aplicación de presión de vacío presentan mayor módulo de elasticidad que las probetas curadas a temperatura ambiente que en promedio alcanzó 1929.47 [MPa], evidenciando así que esta última es la más dúctil entre todas.

Valga este estudio para realizar una comparación con probetas obtenidas del borde de ataque del ala del avión A-29B Supertucano de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, en donde se

realizaron diversos ensayos mecánicos del material del componente aeronáutico antes mencionado, obteniéndose en promedio de los ensayos a tracción realizados un esfuerzo último de 365.46 [MPa]. (Carvajal, 2020)

Con este antecedente y realizando una comparación con los resultados obtenidos con las diferentes combinaciones de curado de los laminados de fibra de vidrio Roving 800 y resina Poliéster se obtuvo valores de esfuerzo último a la tracción entre 372 y 392 [MPa] dependiendo de la combinación de las variables presión de vacío y temperatura de curado como se encuentra detallado en la figura 13. Con esto se puede concluir que el proceso de curado utilizando el sistema portátil automático para el curado de materiales compuestos brinda alta eficiencia para obtener características mecánicas similares a las que se tiene en aeronaves que operan actualmente en la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

CONCLUSIONES

- Se realizó la revisión de Normas ASTM que definen la metodología de ensayos para definir las propiedades mecánicas de los materiales compuestos, usándose directamente en los ensayos realizados la norma ASTM D3039/D3039M-17 que se focaliza en el ensayo a tracción.
- Se diseñó y construyó un circuito de control electrónico – neumático al subsistema de vacío para optimizar el funcionamiento de la bomba de vacío, incrementando el tiempo de vida útil de la misma al evitar el recalentamiento y ahorrando energía por los amplios períodos de tiempo que la bomba permanece apagada, en contraparte a su funcionamiento constante al que se veía sometido cuando se operaba de manera manual.
- Se diseñó un circuito de potencia a través del uso de un Relé de Estado sólido (SSR) que recibe la señal de un controlador PID, para una alimentación eléctrica controlada durante el incremento de temperatura por las rampas de ascenso de los procesos de curado y en los períodos prolongados donde se requiere una temperatura estable.

- Se diseñó una Interfaz Humano – Máquina (HMI) para el manejo de la pantalla de manera fácil e intuitiva, para el fácil manejo por parte de cualquier usuario

induciendo fácilmente el ingreso de datos y evitando errores que afecten al proceso de curado de materiales compuestos.

- Se diseñó, manufacturó y construyó una estructura robusta y portable para albergar y transportar el sistema de control automático del proceso de curado de materiales compuestos, que garanticen un rápido despliegue en cualquier tipo de áreas, sea en talleres y laboratorios o en hangares de mantenimiento aeronáutico.
- Se realizó el laminado de MC en fibra de vidrio y resina de poliéster y el curado mediante el sistema portátil automático obteniéndose propiedades mecánicas en el material similar a las existentes en el borde de ataque del avión A-29B.

REFERENCIAS

Alzate, E., Montes, J., & Silva, C. (2007). Medición de temperatura: sensores termoelectricos. Medición de temperatura: sensores termoelectricos, 1, 2.

American Society for Testing and Materials. (2016). Standard Test Method for Compressive Properties of Polymer Matrix Composite Materials with Unsupported Gage Section by Shear (2016th ed., Vol. 03, Issue March). <https://doi.org/10.1520/D3410>

American Society for Testing and Materials. (2019). Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials 1. <https://doi.org/10.1520/D3039>

American Society for Testing and Materials. (2021). Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials 1. <https://doi.org/10.1520/D0790-17.2>

Aranburu, A., & Vallejo, F. (2019). Desarrollo y automatización de nuevo proceso de fabricación de composites basado en preimpregnados de curado ultravioleta. Revista de La Asociación Española de Materiales Compuestos, 3, 21–28. <http://revista.aemac.org>

Becker. (2020). VT 4.8. [https://www.becker-international.com/de/en/Briskheat, C. \(n.d.- d\). ACR3 HOT BONDERS. 106–108.](https://www.becker-international.com/de/en/Briskheat,C.(n.d.-d).ACR3HOTBONDERS.106-108)
<https://www.briskheat.com/index.php/downloads/dl/file/id/55/>

Arruti, R. (2016, January). La técnica de bolsa de vacío en cámara de vacío para la fabricación de materiales compuestos de matriz epoxi. Revista Ingeniería, 22–29.

Briskheat, C. (n.d.). ACR ® 3 Hot Bonder Instruction Manual (Issue 24, pp. 29–56). <https://www.briskheat.com/index.php/downloads/dl/file/id/56/>

Carvajal, A. B. (2020). Caracterización del material compuesto del borde de ataque de la pieza p/n 314-19390-402 del avión A-29 Supertucano de la Fuerza Aérea Ecuatoriana. In Espe. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Criollo, L., & Yáñez, P. (2019). Modelación computacional y determinación de propiedades mecánicas del perfil alar del avión DA-20-C1 de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.”. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

Dávila, J., Galeas, S., Guerrero, V., Pontón, P., Rosas, N., Sotomayor, V., & Valdivieso,

C. (2011). Nuevos Materiales: Aplicaciones Estructurales E Industriales.

Herrera, L., & Vasquez, E. (Julio de 2011). Diseño, programación e instalación de un sistema de control de supervisión y adquisición de datos de un horno lindberg para el laboratorio de tratamientos térmicos. Quito, Pichincha, Ecuador: EPN.

Kalpakjian, S., & Steve, S. (2008). Manufactura, ingeniería y tecnología. México: Pearson Education.

Mezzacasa, R., Segura, M., Irastorza, X., Harismendy, Y., & Sehrschoon, H. (2019). Fabricación flexible, eficiente y automatizada de componentes en composite de altas prestaciones. Revista de La Asociación Española de Materiales Compuestos, 3, 30–34. <http://revista.aemac.org>

Miravete, A. (2012). Capítulo I Materias Primas. In E. Reverté (Ed.), Materiales Compuestos I. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/univunirsp/detail.action?docID=3429381>.

Nuñez, M., & Pantoja, G. (2008). Diseño y construcción de un banco de pruebas para control de vacío (liposuccionador). Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado el 13 de marzo de 2021, de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1688/1/15T00396.pdf>



GALERÍA HISTÓRICA



“El señor Presidente de la República, Dr. Rodrigo Borja Cevallos, impone la condecoración Abdón Calderón de Primera Clase al señor Tcrn. EM. Avc. Edmundo Baquero Madera, quien obtuvo la primera antigüedad en el XIV Curso de Comando y Estado Mayor de la Academia de Guerra Aérea”.



AGA

DIGITAL

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS
2022