

# Memorias Seminario Internacional

3er Seminario Internacional en mantenimiento e investigación aeronáutica

10 y 11 de noviembre de 2022



FUNDACIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR SAN JOSÉ  
Memorias de recopilación N.1

Periódicamente: Anual  
Bogotá, Colombia

EDITORIAL  
Fundación De Educación Superior San José



ISSN: 2981-3735 (En Línea)





## **COMITÉ ORGANIZADOR**

**M.Sc. Ing. Jonathan Steven Vargas Cañon**  
Oficina de Investigación e Innovación  
Fundación de Educación Superior San José

**PhD (c). Msc. Ing. Iván Felipe Rodríguez Barón**  
Oficina de Investigación e Innovación  
Fundación de Educación Superior San José

**CT. Francy Lorena Navarro.**  
Escuela de aviación del Ejército.

**ST. Edwin Alexander Rátiva.**  
Escuela de aviación del Ejército.

**CP. Michael Andrés Jaimes.**  
Escuela de aviación del Ejército.

## **COMITÉ CIENTÍFICO**

### **LOCAL (Fundación De Educación Superior San José)**

**Dr. Ing. Luis Carlos Gutiérrez Martínez.**  
Grupo de Investigación EIDOS.

**Ing. Francisco Alfonso Pareja González.**  
Fundador Fundación de Educación Superior San José.

**M.Sc. Abog. Steffany Camacho Galindo**  
Vicerrectora Académica  
Fundación de Educación Superior San José

### **LOCAL (Escuela de Aviación del Ejercito)**

**Msc. Ing. Pedro Fernando Melo Daza**  
Escuela de aviación del Ejército.

**Msc. Ing. Cristian Iozano Tafur.**  
Escuela de aviación del Ejército.

**Msc. Ing. Didier Aldana Rodríguez.**  
Escuela de aviación del Ejército.

**Msc. Ing. Juan Carlos Gamba Torrez.**  
Escuela de aviación del Ejército

**NACIONAL**

**PhD (c). MSc. Ing. Jaime Enrique Orduy Rodríguez**  
Fundación Universitaria Los Libertadores

**PhD (c). Msc. Ing. José Ulises Castellanos Contreras**  
Universidad Cooperativa de Colombia

**APOYO**

Oficina de investigación e Innovación



Fundación de Educación Superior San José



Ejército Nacional de Colombia



Centro de Educación Militar



Escuela de Aviación del Ejército



# **Memorias 3er SEMINARIO INTERNACIONAL EN MANTENIMIENTO E INVESTIGACIÓN AERONÁUTICA.**

Fundación de Educación Superior San José / Escuela de Aviación Ejército.

ISSN 2981-3735 (En línea)

Memorias de recopilación.

Editorial Fundación de Educación Superior San José

Oficina de Investigación e Innovación

Calle 67 14A-29 / PBX: 3470000 / Bogotá, Colombia

[revistas.usanjose.edu.co](http://revistas.usanjose.edu.co)

[editorial@usanjose.edu.co](mailto:editorial@usanjose.edu.co)

# Contenido

Prologo .....	1
Calentamiento Aerodinámico y Protección Térmica en Vehículos Hipersónicos .....	3
Metodología de diseño y fabricación de aeromodelos de ala fija .....	19
Inteligencia artificial en las operaciones aéreas .....	35
Aplicaciones Industriales, ambientales y académicas de los drones que utilizan termografía Infrarroja: Una revisión .....	60
Design thinking en fases de empatía e identificación del problema para la propuesta de emprendimiento de una empresa de transporte de carga basada en aeronaves remotamente tripuladas (ARTs) en Bogotá y alrededores.....	85
Uso del software de ingeniería para la validación del diseño de aeronaves no tripuladas de ala fija .....	98
Rol del Ingeniero Aeronáutico en la astronomía.....	111
Creación de un proyecto en ARCGIS como herramienta de apoyo para el área de defensa terrestre de la EMAVI .....	122

## **Prólogo**

El tercer Seminario Internacional en Mantenimiento e Investigación Aeronáutica fue un evento de gran importancia para la comunidad aeronáutica, que se llevó a cabo los días 10 y 11 de noviembre del 2022. Este evento fue organizado por la Escuela de Aviación del Ejército Nacional de Colombia y contó con el apoyo de la Editorial y la Dirección de Investigaciones e Innovación de la Fundación de Educación Superior San José, quienes se encargaron de realizar las memorias del seminario.

El objetivo principal del seminario fue el de promover la investigación y el desarrollo en el campo de la aeronáutica, así como también fortalecer la capacitación y el intercambio de conocimientos entre los participantes. Durante el evento, se contó con la presencia de expertos y profesionales de la industria aeronáutica de diferentes países, quienes compartieron sus conocimientos y experiencias con los asistentes.

El seminario fue dividido en diferentes módulos temáticos, los cuales abordaron diferentes áreas de interés en el campo de la aeronáutica, como la seguridad aérea, la gestión del mantenimiento, la investigación y el desarrollo, la tecnología aeronáutica, entre otros. Cada uno de estos módulos contó con la participación de expertos y profesionales del campo, quienes presentaron sus investigaciones y experiencias en cada una de estas áreas.

Durante el seminario, se realizaron diversas actividades, entre las que destacan las conferencias magistrales y las presentaciones de trabajos de investigación. Todas estas actividades permitieron el intercambio de conocimientos y experiencias entre los participantes, lo que contribuyó al enriquecimiento del campo de la aeronáutica en Colombia y en el mundo.

Además, el seminario contó con la participación de diferentes empresas y organizaciones del sector aeronáutico, quienes presentaron sus productos y servicios en la exhibición comercial que se llevó a cabo en el marco del evento. Esto permitió a los asistentes conocer las últimas tendencias y tecnologías en el campo de la aeronáutica, así como también establecer contactos con diferentes actores de la industria.

Finalmente, el tercer Seminario Internacional en Mantenimiento e Investigación Aeronáutica fue un evento de gran importancia para el campo de la aeronáutica en Colombia y en el mundo. Este evento permitió el intercambio de conocimientos y experiencias entre expertos y profesionales del campo, lo que contribuyó al fortalecimiento del sector y al desarrollo de nuevas tecnologías e innovaciones. Las memorias del seminario, realizadas por la Fundación de Educación Superior San José, serán un legado importante para la comunidad aeronáutica y permitirán seguir avanzando en este campo en los años venideros.

Msc. Jonathan Steven Vargas Cañon

## **Calentamiento Aerodinámico y Protección Térmica en Vehículos Hipersónicos**

### **Aerodynamic Heating and Thermal Protection in Hypersonic Vehicles**

Alexander A. Camacho Solano<sup>1</sup>, George S. Marinho<sup>2</sup>, Paulo G. P. Toro<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, Estudiante de Maestria Programa de Posgraduación en Ingeniería Aeroespacial, alexander.solano.as7@ufrn.edu.br

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, Docente Programa de Posgraduación en Ingeniería Aeroespacial, george.marinho@ufrn.br.

<sup>3</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, Docente Programa de Posgraduación en Ingeniería Aeroespacial, toro11pt@gmail.com.

Con el desarrollo de los vuelos a velocidades hipersónicas fue necesario contemplar fenómenos de alta relevancia debido a su influencia en vehículos sometidos a flujos en estas velocidades, entre estos fenómenos relevantes durante los experimentos el calentamiento aerodinámico represento uno de los problemas más críticos en esta operación. Como consecuencia a estos fenómenos las altas cargas térmicas a las que son sometidos los vehículos por prolongados periodos de tiempo generando altas temperaturas sobre su superficie generando afectaciones negativas en la integridad de la misión. En este documento se realizó una revisión del fenómeno que se enfrenten durante estos vuelos y la necesidad de desarrollar diferentes modelos y herramientas capaces de soportar las extremas condiciones aerotermodinámicas durante los tiempos de operación requeridos. Para esto se revisaron metodologías desarrolladas por algunos autores de manera analítica para lograr predecir estas condiciones de vuelo en relación son su trayectoria, así como también algunos de los materiales más utilizados en los diferentes métodos de protección térmica capaces de soportar estas cargas y mantener en condiciones de operación estos vehículos, así como proteger la integridad de los tripulantes en su interior.

**Palabras clave: Fenómenos de Compresibilidad, Cargas Térmicas, Presión Dinámica, Vuelas en Altas Velocidades.**

**Abstract.** With the development of flights at hypersonic speeds, it was necessary to consider highly relevant phenomena due to their influence on vehicles subjected to flows at these speeds. Among these relevant phenomena during the experiments, aerodynamic heating represented one of the most critical problems in this operation. As a consequence of these phenomena, the high thermal loads to which the vehicles are subjected for prolonged periods of time, generating high temperatures on their surface, generating negative effects on the integrity of the mission. In this document, a review of the phenomenon encountered during these flights and the need to develop different models and tools capable of withstanding the extreme aerothermodynamic conditions during the required operating times was carried out. For this, methodologies developed by some authors were reviewed in an analytical way to be able to predict these flight conditions in relation to their trajectory, as well as some of the most used materials in the different methods of thermal protection capable of withstanding these loads and maintaining in good conditions. operating these vehicles, as well as protecting the integrity of the crew inside.

**Keywords:** Compressibility Phenomenon, Thermal Loads, Dynamic Pressure, High Speed Flights.

## 1. Introducción

El término Hipersónico fue empleado por primera vez en un artículo escrito por Tsien en 1946 para referirse a un flujo cuya velocidad es mucho mayor que la velocidad del sonido. Para algunos autores posteriores esta relación entre la velocidad de sonido y la velocidad de un flujo o un vehículo se le dio en nombre de número Mach. Durante la guerra fría entre las dos grandes potencias de ingeniería sería el momento más importante para el desarrollo de estas tecnologías, con el diseño de los primeros misiles de alta velocidad capaces de alcanzar distancias incluso entre continentes reduciendo el tiempo de respuesta de su objetivo y con un gran poder de destrucción. Durante este mismo periodo de tiempo la carrera espacial daría inicio al interés por estos regímenes de vuelo. Y fue hasta finales de la década de 1950 en donde la Unión Soviética lograría realizar el primer lanzamiento exitoso de un satélite fuera de la atmósfera terrestre, Durante los siguientes años fueron invertidos muchos recursos en investigar estos fenómenos entre pruebas y errores hasta lograr hacer parte a un humano de un viaje de ida y regreso hasta la luna (Bertin & Cummings, 2003).

La diferencia entre los regímenes de velocidad no es instantánea por esta razón en diferentes fuentes bibliográficas la transición entre el régimen supersónico e hipersónicos puede entrar entre valores de 3 y hasta 7 Mach. A diferencia de el régimen subsónico y sónico. Esto indica que los fenómenos que se presentan dentro de él régimen hipersónico se rigen bajo los mismos principios que en velocidades menores, pero en una mayor intensidad (Anderson, 2021).

Para el desarrollo de vuelo a altas velocidades fueron desarrollados diferentes métodos de propulsión capaces de generar valores de empuje lo suficientes para llegar a estas velocidades. Fig. 1 muestra dos principales clasificaciones de propulsores operativos con

hidrocarburos e hidrógenos en donde encontramos que para vuelos en velocidades relativamente bajas en función al número de Mach los motores turbo reactores o turbojets serían los indicados para estos regímenes alcanzando velocidades de hasta 5 Mach aproximadamente en regímenes sónicos y supersónicos. Los motores Ramjets son apropiados para realizar vuelos hipersónicos de velocidades bajas alcanzando valores entre 6 y 8 Mach. Finalmente, los motores Scramjet con un rango de operación en velocidades hipersónicas mayores a 20 Mach, todos estos sistemas de propulsión con son denominados como motores aspirados ya que están diseñados para capturar aire de la atmosfera para posteriormente realizar la mezcla bien sea con hidrocarburos o hidrogeno (Fry, 2004).

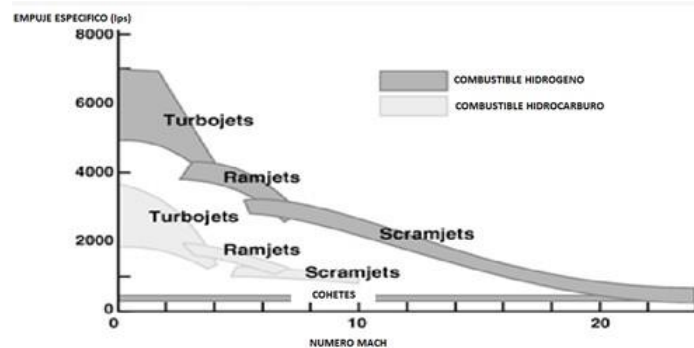


Figura 1. Sistemas de propulsión en función del empuje específico, Modificada de (Fry, 2004).

A diferencia de los motores aspirados los motores de cohete clásicos tienen un margen más amplio de velocidades desde velocidades subóscinos hasta hipersónicas. La construcción y operación de estos vehículos con motores cohetes suelen tener costos operacionales y de fabricación más elevados principalmente porque las dimensiones son considerablemente mayores por que estos no tienen la capacidad de obtener el carburante de la atmosfera. A pesar de presentar una reducción en costos operacionales y de fabricación la propulsión aspirada requiere de diferentes etapas de propulsión anteriores a estas para alcanzar las velocidades de operación (Fry, 2004).

Durante los vuelos hipersónicos la alta energía cinética del flujo, así como su energía total incrementa con una relación cuadrada es decir cuando un vehículo vuela a 10 Mach estará en contacto con una magnitud de hasta 100 veces mayor a la energía de un vehículo operando a Mach 1. En estas velocidades el fluido en contacto con la superficie del vehículo estará a una velocidad relativa de cero debido a los efectos viscosos del flujo a esto se le conoce como capa limite. Esta capa limite va a generar una transferencia de calor hacia la superficie y el interior del vehículo acorde con las altas energía del flujo. Para analizar estas cargas térmicas sobre la superficie del vehículo es importante realizar análisis analíticos por medio de métodos numéricos, así como simulaciones en CFD para de esta



forma lograr desenvolver el vehículo para que sea capaz de soportar y distribuir dichas altas cargas térmicas sin poner en riesgo su integridad. Para esta razón fueron desarrollados diferentes técnicas y materiales Cada vez más resistentes térmicamente (Van Wie, et al., 2005).

## **2. Análisis Teórico-Analítico Para Calentamiento Aerodinámico en Velocidades Hipersónicas**

### **2.1 Presión Dinámica y Trayectorias**

La aceleración de los sistemas de propulsión aspirados se optimiza mientras su trayectoria se encuentre en un régimen de presión dinámica constante. La presión dinámica ecuación 1 está en función de la densidad y la velocidad al cuadrado, de la misma manera la densidad está en función de la temperatura teniendo la cuenta que el aire se considera calóricamente perfecto, adicional a esto el calentamiento aerodinámico está en función de la velocidad al cubo. Cuando un vehículo se encuentra volando a altitudes bajas dentro de la atmosfera la presión dinámica se va a mantener en valores altos y con esto altos valores de calentamiento. Cuando un vehículo hipersónico se encuentra a volando a presiones dinámicas altas tiene como resultado un mayor rendimiento debido a un flujo mayor de aire para hacia el motor, por esta misma razón un mayor calentamiento e los borde s de ataque y el fuselaje. La Fig. 2 muestra tres diferentes trayectorias de presión dinámica constante en relación con la velocidad y la altitud geométrica (Heiser & Pratt, 1994).

$$q_0 = \frac{\rho_0 * V_0^2}{2} \quad (1)$$

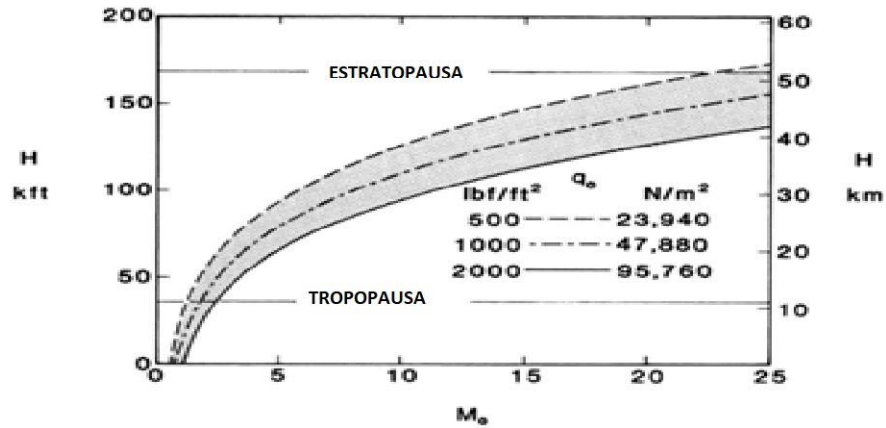


Figura 2. Trayectoria de Presión dinámica, Modificada de (Heiser & Pratt, 1994).

## 2.2 Fenómenos de Altas Velocidades.

Los flujo hipersónicos son caracterizados por la presencia de onda de choque fuertes, estas ondas de choque tienen una fuerte importancia en las características relacionadas con las presiones y la fricción en la superficie del vehículo sobre toda la configuración, estas tienen relación directa con las fuerzas y los momentos del vehículo (sustentación, arrastre, momentos, efectividad de las superficies de control entre otras) así mismo estas se ven afectadas por las interacciones de las cargas térmicas, a lo largo del tiempo de operación. Los cueles son importantes para el diseño de los sistemas de protección térmica conocidos por sus siglas en inglés, TPS (Thermal Protection System) (Bertin & Cummings, 2006).

De los fenómenos más relevantes para el calentamiento aerodinámico a velocidades hipersónicas son las ondas de choque. Las ondas de choque son un fenómeno de compresibilidad del flujo que se genera cuando un flujo en velocidades mayores a Mach 1 entra en contacto con un cuerpo, este cuerpo puede tener una configuración diferente, principalmente se encuentran dos geometrías principales Fig. 3. La configuración esférica produce ondas de choque normales en contacto con el flujo mientras que los extremos superior e inferior con un ángulo de incidencia o “cuñas” generan una onda de choque oblicua. En este fenómeno las propiedades  $V_\infty, T_\infty$  y  $P_\infty$  corresponden a la velocidad, temperatura y presión del flujo libre mientras que las propiedades  $V_1, T_1$  y  $P_1$  corresponden a estas propiedades en el punto de estancamiento (Araujo & Pessoa, 2007).

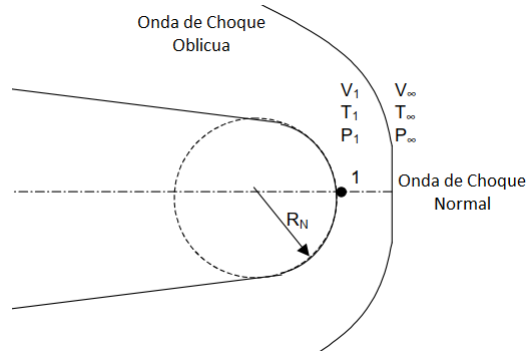


Figura 3. Esquema de Onda de Choque, Modificada de (Araujo & Pessoa, 2007).

El comportamiento de las propiedades aerodinámicas de un flujo se ve afectada al atravesar una onda de choque, generalmente estas propiedades tales como la velocidad, presión, densidad y temperatura tienen un comportamiento como se muestra en la Fig. 3. En la Fig. 4 (a) el comportamiento de la velocidad en donde  $M_1$  corresponde a la velocidad de un flujo libre en términos de número de Mach deciente a velocidades sónicas ec. (2). La Fig. 4 (b) representa el comportamiento de la presión ec.(3) con un comportamiento exponencial mientras aumenta la velocidad del flujo libre, comportamiento similar a la temperatura ec.(5) Fig. 4 (d) mientras que la densidad ec.(4) tiende a un valor máximo mientras la velocidad del flujo libre aumenta (Anderson, 2021).

$$M_2^2 = \frac{1 + \frac{\gamma-1}{2} M_1^2}{\gamma M_1^2 - \frac{\gamma-1}{2}} \quad (2)$$

$$\frac{P_2}{P_1} = 1 + \frac{2\gamma}{(\gamma + 1)} (M_1^2 - 1) \quad (3)$$

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{M_1^2(\gamma + 1)}{[2 + (\gamma - 1)M_1^2]} \quad (4)$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{\frac{P_2}{\rho_2}}{\frac{P_1}{\rho_1}} = \left[1 + \frac{2\gamma}{(\gamma + 1)} (M_1^2 - 1)\right] \left[\frac{2 + (\gamma - 1)M_1^2}{M_1^2(\gamma + 1)}\right]^{\frac{1}{\gamma}} \quad (5)$$

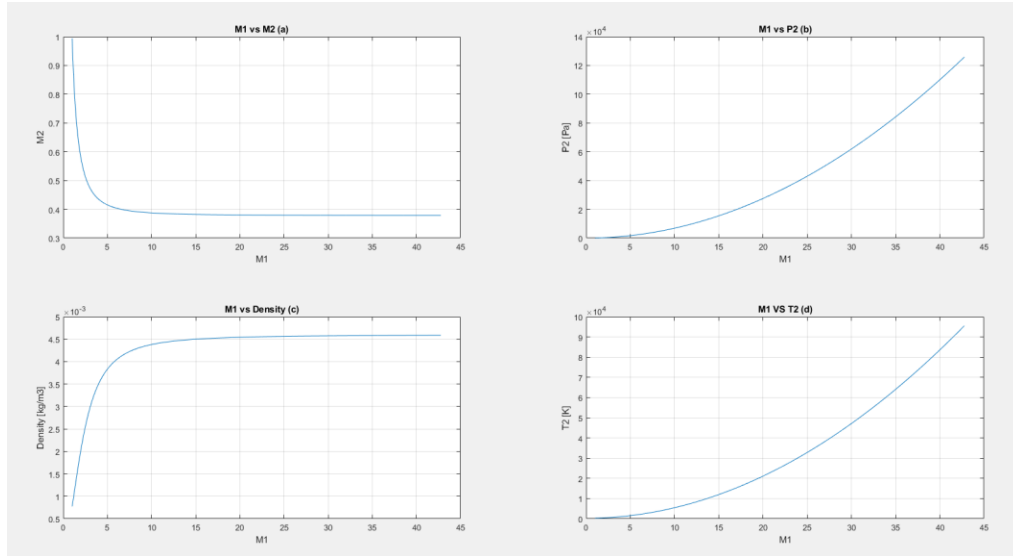


Figura 4. Propiedades de un flujo después de Onda de choque Normal.

Para una honda de choque oblicua el comportamiento es similar al comportamiento de la onda de choque normal, teniendo en cuenta que la honda de choque normal puede ser considerada oblicua cuando el Angulo de incidencia del vehículo tiendo a  $90^\circ$ . Para este punto siguiendo con el análisis es necesario recordar que el fluido aún no está entrando en contacto con el cuerpo ya que estas ondas se generan frente al cuerpo.

### 2.3 Calentamiento Aerodinámico

El método de Eckert es un método desarrollado para predecir la ficción superficial y el flujo de calor en los límites de la pared contemplando los efectos de la compresibilidad del flujo. La primera parte de este método consiste en determinar las condiciones térmicas sobre la capa limite a través de la teoría de pistón local junto con las relaciones isentrópicas Para calcular las condiciones de temperatura y velocidad sobre el borde de la capa limite. Que están dadas por las ec. (6) y (7) en donde  $p_{LPT}$  es obtenida por la teoría de pistón local (Kim, et al, 2020).

$$T_{LPT} = T_L \left( \frac{P_{LPT}}{P_L} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad (6)$$

$$M_{LPT} = \sqrt{\gamma R T_{LPT}} \quad (7)$$

El flujo de calor  $q_{aero}$  del flujo de calor para la superficie está dada por la ec. (8) donde  $h$  corresponde a el coeficiente de convectivo de transferencia de calor  $T_{aw}$  corresponde a la temperatura adiabática de la superficie ec. (9) y la temperatura  $T_w$  es la temperatura de la superficie del vehículo (Kim, et al, 2020).

$$q_{aero} = h(T_{aw} - T_w) \quad (8)$$

$$T_{aw} = r(T_t - T_{LPT}) + T_{LPT} \quad (9)$$

Donde  $T_t$ , ec. (10) corresponde a la temperatura del punto de estancamiento en función de la temperatura y la velocidad calculada anteriormente. El factor de recuperación  $r$  depende del desarrollo de la capa limite y según el número de Prandtl ec. (11) considerando valor de aire calóricamente perfecto donde la relación de calores específicos a temperatura y presión constante  $\gamma$  tiene un valor de 1.4 y para el numero de Prandtl un valor de 0.7 (Kim, et al, 2020).

$$T_t = T_{LPT} \left( 1 + \left( \frac{\gamma - 1}{2} \right) * M_{LPT}^2 \right) \quad (10)$$

$$r = \left\{ \begin{array}{l} Pr^{\frac{1}{3}} (\text{Flujo Laminar}) \\ Pr^{\frac{1}{2}} (\text{Flujo Turbulento}) \end{array} \right\} \quad (11)$$

Para calcular el valor del coeficiente convectivo de transferencia de calor  $h$  con la ec. (12) que están en función de la densidad ec. (14), el calor específico a presión constante, la velocidad del flujo sobre la capa limite y el número de Stanton ec. (15). Finalmente, la temperatura de referencia es calcula con la ec. (13) (Kim, et al, 2020).

$$h = \rho * c_p V_L St^* \quad (12)$$

$$T^* = T_{LPT} + 0.5(T_w - T_{LPT}) + 0.22(T_{aw} - T_{LPT}) \quad (13)$$

Para calcular el número de Stanton es importante conocer el valor del coeficiente de fricción del flujo que está en función del número de Reynolds ec. (16) que están en función de la densidad, la velocidad en dirección  $x$  y la viscosidad de referencia del flujo ec. (17) del flujo

para después calcular el coeficiente de fricción ec. (18) dependientes del número de Reynolds (Kim, et al, 2020).

$$\rho^* = \frac{P_{LPT}}{RT^*} \quad (14)$$

$$St^* = \frac{c_f^*}{2} \frac{1}{(Pr_3)^{1/2}} \quad (15)$$

$$Re^* = \frac{\rho^* V_{LX}}{\mu^*} \quad (16)$$

$$\mu^* = c_1 \left( \frac{T^{*3}}{T^* + S} \right) \quad (17)$$

$$c_f^* = \begin{cases} \frac{0.664}{(Re^*)^{0.5}} & \text{si } Re^* \leq 3.6 \times 10^5 \text{ (Laminar)} \\ \frac{0.0592}{(Re^*)^{0.2}} & \text{si } 3.6 \times 10^5 < Re^* \leq 10^7 \text{ (Turbulento)} \\ \frac{0.37}{(\log_{10} Re^*)^{2.548}} & \text{si } 10^7 < Re^* \leq 10^9 \text{ (Turbulento)} \end{cases} \quad (18)$$

### 3. Sistemas de Protección Térmica (TPS)

Las cargas térmicas causadas por el calentamiento Aerodinámico producen una alta tasa de transferencia de calor por los largos tiempo de operación, esto se convierte en altas temperaturas son trasferidas de la superficie al interior del vehículo. Por esta razón los sistemas de protección térmica se encargan de distribuir la temperatura como también controlar las temperaturas alcanzadas en el interior del vehículo. Los diferentes tipos de

protección son diseñados en función de la tasa de transferencia de calor, así como las cargas de transferencia de calor.

Para los programas de reentrada Fig. 5. en esta graficas se encuentran la tasa de calentamiento por convección en el punto de estancamiento varia respecto al cubo de la velocidad de vuelo. y el mientras que el calentamiento por radiación comienza a ser un factor para una capsula de reentrada a velocidades orbitales. En la capsula de reentrada de la misión Apollo el valor de diseño de transferencia de calor fue en un factor de 5 veces mayor que en las misiones Mercury y Gemini. Es importante entender la diferencia entre cargas térmicas integradas de diseño y cargas de vuelo, la gran incertidumbre generada por el desconocimiento y las limitaciones al predecir el comportamiento de las cargas aerodinámicas del equipo encargado del diseño, así como la respuesta del sistema de protección a estas cargas. Por esta razón es indispensable emplear márgenes de error suficientemente grandes para lograr una validación de esta incertidumbre (Bertin & Cummings, 2003).

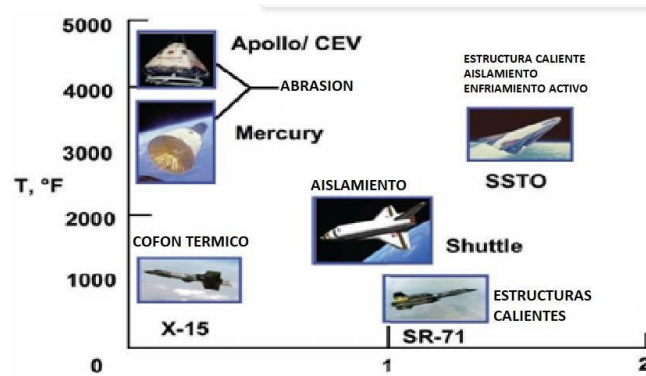


Figura 5. Temperaturas según tiempo de exposición, Modificada de (Glass, 2008).

Kelly y Blosser en 1992 hicieron una caracterización de TPS según su funcionamiento como pasivos, semipasivos y activos. Para los sistemas activos se emplea el uso de refrigerantes o fluidos capaces de disipar el calor entrante a la estructura; estos sistemas, así como también un elemento externo que haga circular el fluido para disipar el calor. Los sistemas semipasivos a pesar de contar con un fluido refringente no emplean sistemas de circulación del fluido mientras que los sistemas pasivos no cuentan con este fluido. Estos TPS se emplean según la necesidad del componente y su exposición a cargas térmicas, es importante hacer énfasis que las cargas no son constantes sobre toda la aeronave durante el vuelo hipersónico Fig. 6. El funcionamiento de los TPS pasivos consiste en aumentar la temperatura de un material generalmente con materiales de alta conductividad almacenando el calor en la estructura interna que hace función de disipador térmico y/o aislante irradiando

el calor de regreso para el flujo externo estos sistemas son eficientes cuando las cargas térmicas se producen durante cortos periodos de tiempo (Bertin & Cummings, 2003).

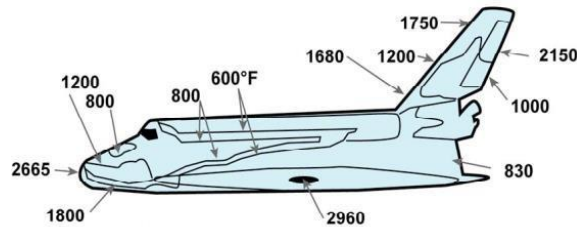


Figura 6. Aeronaves Alcanzadas en las Superficies del Shuttle (Bertin & Cummings, 2003).

### 3.1 Sistemas de protección Térmica Pasivos

Para los sistemas pasivos de la aeronave Shuttle fueron implementados materiales con refuerzos de carbón/carbón (RCC) para los lugares como la nariz en donde la temperatura superaba los 2500 F (1370 °C) apesar de las altas temperaturas en esta sección es posible por las dimensiones de esta sección, recordando que las trasferencia de calor esta directamente relacionada con el área de la superficie, si el área se reduce las cargas de calor van a superar los límites de tolerancia de estos métodos. Otros materiales empleados en estos métodos pueden ser materiales compuestos de matriz metálica (MMC) como aleaciones de aluminio y titanio o los materiales compuestos de matriz cerámica (CMC) como nitruro de silicio o carburo de silicio, estos últimos materiales ofrecen una eficiencia térmicas mayores y la ventaja de una densidad menor en comparación con los otros materiales compuestos implementados pero tienen algo nivel de dificultad en su fabricación así como también altos costos, estudios realizados por la nasa muestran que estos materiales pueden llegar a soportar temperaturas des de hasta 4040F (2226°C). Estos TPS son una buena opción para aquellos vehículos de reingreso que experimentas cargas aerodinámicas relativamente moderados, pero se debe tener en cuenta usar con aislantes térmicos en condiciones en donde la estructura interna se deba mantener a bajas temperaturas o sin este aislante si la estructura interna puede soportar elevadas temperaturas (Bertin & Cummings, 2003).

Algunos ejemplos de estos TPS de la aeronave STS-116 Fig. 7 izquierda donde el mecanismo en donde la parte superior tienen un recubrimiento de un material aislante el cual se encarga de conducir una parte para la estructura interna mientras que la otra parte es desechada por medio de radiación para el ambiente, otro método empleado en la aeronave X-15es el sifón de calor Fig. 7 derecha, este se emplea en estructuras que son sometidas a cargas térmicas altas por largo periodos de tiempo. Este sistema es implementado en estructuras calientes ya que requieren de una transferencia de calor en estado estacionario para lograr moderar el flujo de calor al exterior (Glass, 2008).



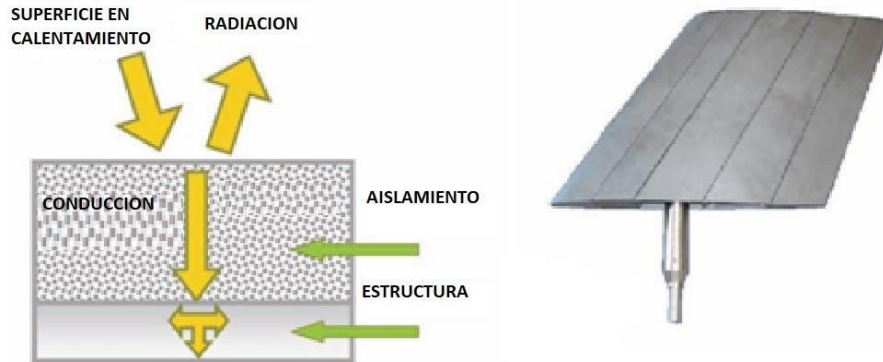


Figura 7. Sifón Térmico, Modificada de (Glass, 2008).

### 3.2 Sistemas de Protección Térmica Semipasivos

Los TPS semipasivos se caracterizan por además de tener un recubrimiento de material resistente a altas temperaturas tienen en su interior canales o depósitos de algún fluido no circulante que cumplen función de refrigerante. Para el funcionamiento de estos sistemas es necesario que el conducto o depósito del fluido de trabajo Fig. 8 este en contacto con dos superficies a diferentes temperaturas considerando que las diferencias de estas temperaturas sean relativamente altas, eso para que el fluido al entrar en equilibrio térmico por las leyes termodinámicas logre disipar el calor por medio de esta ley. Dentro de estos sistemas los primeros sistemas implementados fueron los sistemas abrasivos basados en carbón en donde este material al entrar con tasas de calentamiento excesivamente altas generan reacciones químicas causantes de producir transpiración lo cual contribuye a la transición de la capa límite (si aún no se produce), estos sistemas también son conocidos como autorreguladores ya que tienen la capacidad de inyectar el calor incidente en la capa límite y así regular la transferencia de calor en entornos aerotermodinámicos extremos con la limitación que solo puede ser usado para una misión (Bertin & Cummings, 2003).

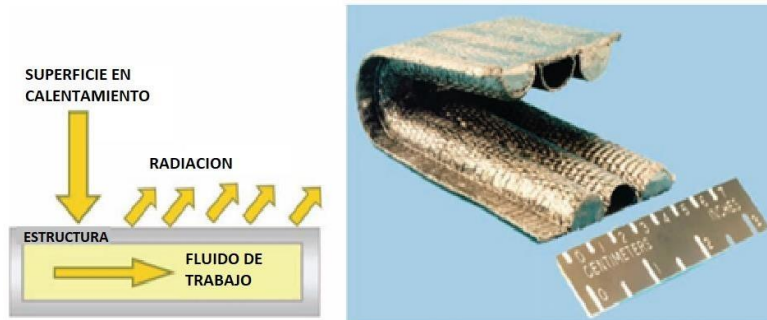


Figura 8. Sistema de protección térmica semi pasivo, Modificada de (Glass, 2008).

Cuando las cargas térmicas altas se mantienen por largos periodos de tiempo pero la estructura tiene que mantenerse a temperaturas bajas es recomendable implementar estos sistemas, en la Fig. 9 se muestra uno de los ejemplos más relevantes de estos sistemas, la capsula de re ingreso de la misión Orion en donde las temperaturas alcanzadas en la superficie son bastante elevadas pero la estructura interna tiene que mantenerse refrigerada para mantener a la tripulación en condiciones apropiadas se implementó un método abrasivo sobre una geometría con un radio bastante grande para lograr una disipación de calor mayor (Glass, 2008).

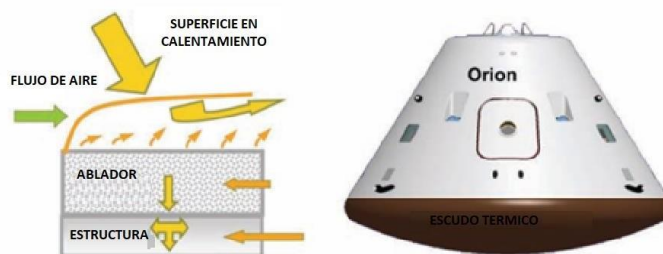


Figura 9. Sistema de Protección térmica Capsula Orión, Modificada de (Glass, 2008).

### 3.3 Sistemas de protección Térmica activos

Entre los TPS se encuentran tres conceptos principales, el primero consiste en una película de un fluido a través de la superficie bloqueando parte de las cargas térmicas sobre el

vehículo, el segundo consiste en enfriamiento por transpiración, en esta el refrigerante se inyecta por medio de una superficie porosa para de esta forma disipar el calor al fluido que luego es reemplazado por nuevo fluido a temperaturas bajas, en estos dos métodos la logística necesario para operación puede ser compleja tanto por el gasto de refrigerante descartable como por la implementación de conductos y controles así como la implementación de elementos externos para mantener el flujo de refrigerante constante. El último mecanismo de estos sistemas consiste en hacer circular un fluido por un circuito cerrado de conductos, estos sistemas son empleados para los vehículos de propulsión aspirados en donde se emplea el combustible comúnmente hidrógeno como refrigerante por su alta capacidad de disipar calor a diferencia de hidrocarburos que tienen una alta densidad pero una baja capacidad de disipación térmica. En los casos en donde el combustible es empleado como refrigerante es inyectado a altas temperaturas a la cámara de combustión, de lo contrario cuando se emplea un refrigerante externo el calor almacenado es disipado por un intercambiador de calor el cual posteriormente libera este calor en el combustible para ser inyectado a la cámara de combustión (Bertin & Cummings, 2003).

### **3.4 Materiales Utilizados En Sistemas de Protección Térmica**

La Fig. 10. Muestra algunos de los materiales implementados por su temperatura de operación en función a peso específico, teniendo en cuenta que para estos vehículos deben ser lo más livianos posible para optimizar recursos en su operación, los materiales compuestos revolucionaron la industria ya que antes de ellos la mejor opción consistía en metales como superaleaciones o incluso titanio y los materiales compuestos de matriz metálica (MMC), que además de contener un alto costo de producción, en la gran mayoría de los casos requerían refuerzos estructurales para lograr estas misiones, mientras que los materiales compuestos proporcionaban una solución no solo por tener menor densidad sino también por tener un mejor rendimiento al ser sometidos a altas cargas mecánicas y térmicas. Los materiales compuestos de matriz cerámica (CMC) como C / SiC, ACC y SiC / SiC son algunos de los materiales más implementados para estos vehículos dependiendo de los parámetros de diseño (Glass, 2008).

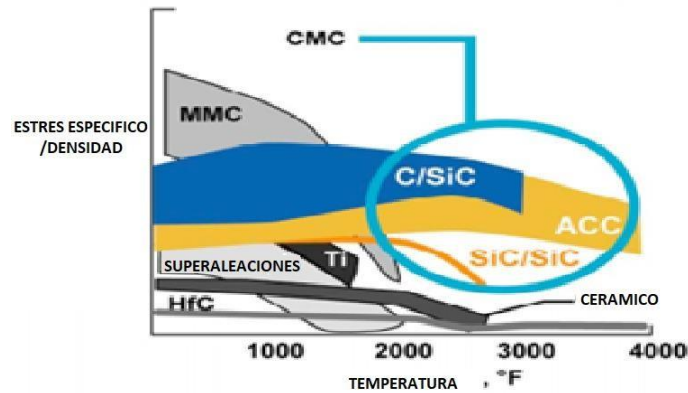


Figura 10. Materiales En función de resistencia Térmicas, Modificada de (Glass, 2008).

Las altas temperaturas en vuelos hipersónicos representan un problema no solo para los sistemas de propulsión que constantemente genera calor a tasas bastante altas, sino que además los elementos estructurales tienen problemas ya que las propiedades mecánicas de los materiales pueden verse afectadas por la temperatura a la que están sometiendo, por esta razón algunos materiales compuestos de matriz cerámica (CMC) son la mejor opción para estas estructuras. Vehículos de lanzamiento como el X-33 de la NASA Fig. 10 que alcanza temperaturas de hasta 2500°C para este fue implementado C/SiC (carbono Con matriz de carbonato de silicio) este material también fue utilizado por la ESA (Agencia Espacial Europea) la fabricación de estos paneles puede tardar entre 5 y 6 meses dependiendo de la complejidad de la geometría, en algunas caracterizaciones de este material, las pruebas se llevaron a cabo en túneles de visión de plasma donde se aplicaron temperaturas de hasta 2500 °C durante hasta 80 segundos (Trabandt, et al., 1998).

#### 4. Conclusiones

El calentamiento aerodinámico es un fenómeno causado principalmente por los fenómenos de compresibilidad del flujo que eleva las condiciones aerodinámicas del aire que posteriormente transfiere calor a la superficie del vehículo por medio de la capa límite que posteriormente transfiere la temperatura en el punto de estancamiento que posteriormente se transfiere a la superficie para disipar la temperatura, alcanzando rangos de temperaturas de hasta 5000 °F (2760°C) en los puntos de estancamiento de los vehículos. La trayectoria de vuelo en velocidades hipersónicas juega un papel importante en las cargas térmicas sobre el vehículo. La selección de la trayectoria se realiza en función de la presión dinámica constante y a la vez esta presión dinámica está en función de las características del flujo y esta trayectoria también afecta las características geométricas sobre el diseño de la aeronave por las diferentes condiciones del aire a la altura seleccionada.

Los sistemas de protección térmica son los encargados de mantener los niveles de transferencia de calor hacia el interior del vehículo dentro de los márgenes de tolerancia de las estructuras e interiores de vehículos. La clasificación de los sistemas de protección térmica según su mecanismo de operación, sea activo, semipasivo o pasivo son implementados por la cantidad térmica que logran disipar dependiendo del tiempo de exposición. La selección de materiales para los sistemas de protección térmica puede influir en la efectividad de la transferencia de calor mientras que también la densidad de este material tiene que ser adecuada tanto para resistir las condiciones aerodinámicas como con la menor adición de peso extra para mantener una optimización de recursos en las misiones.

#### **4.1 Conclusions**

Aerodynamic heating is a phenomenon caused mainly by flow compressibility phenomena that raises the aerothermodynamic conditions of the air that later transfers heat to the surface of the vehicle through the boundary layer that later transfers the temperature at the stagnation point that it is then transferred to the surface to dissipate heat, reaching temperature ranges up to 5000°F (2760°C) at vehicle stagnation points. The flight path at hypersonic speeds plays an important role in the thermal loads on the vehicle. The selection of the trajectory is made based on the constant dynamic pressure and at the same time this dynamic pressure is a function of the characteristics of the flow and this trajectory also affects the geometric characteristics of the aircraft design due to the different air conditions at the selected altitude.

The thermal protection systems are responsible for maintaining the levels of heat transfer to the interior of the vehicle within the tolerance margins of the structures and vehicle interiors. The classification of thermal protection systems according to their operating mechanism, whether active, semi-passive or passive, are implemented by the amount of heat that they manage to dissipate depending on the exposure time. The selection of materials for thermal protection systems can influence the effectiveness of heat transfer while also the density of this material has to be adequate both to withstand aerothermodynamic conditions and with the least addition of extra weight to maintain optimum of resources in the missions

#### **Referencias**

Anderson , J. D. (2021). *Modern Compressible Flow with Historical Perspective*. Fourth ed. New York: McGrawHill.

Araujo, H. & Pessoa , J. B. F. (2007). Aerodynamic heating at hypersonic speeds. 19th International Congress of Mechanical Engineering. November 5-9, Brasília, DF

Bertin, J. J., & Cummings, R. M. (2003). Fifty years of hypersonics: where we've been, where we're going. *Progress in Aerospace Sciences*, 39(6-7), 511–536. doi:10.1016/s0376-0421(03)00079-4

Bertin, J. J., & Cummings, R. M. (2006). Critical hypersonic aerothermodynamic phenomena. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 38(1), 129–157. doi:10.1146/annurev.fluid.38.050304.092041

Fry, R. S. (2004). A Century of Ramjet Propulsion Technology Evolution. *Journal of Propulsion and Power*, 20(1), 27–58. doi:10.2514/1.9178

Glass, D. (2008). Ceramic Matrix Composite (CMC) Thermal Protection Systems (TPS) and Hot Structures for Hypersonic Vehicles. 15th AIAA International Space Planes and Hypersonic Systems and Technologies Conference. doi:10.2514/6.2008-2682

Kim, G., Kang, Y. C., Woo, J., Kim, J. H., & Cho, J. Y. (2019). Efficient Prediction of the Temperature History of a Hypersonic Vehicle Throughout the Mission Trajectory with an Aerodynamic Thermal Load Element. *International Journal of Aeronautical and Space Sciences*. doi:10.1007/s42405-019-00225-x

Heiser, W. H.; Pratt, D. T. (1994). *Hypersonic Airbreathing Propulsion*. Washington, D.C.: AIAA Education Series.

Trabandt, U., Wulz, H. G., & Schmid, T. (1998). CMC for Hot Structures and Control Surfaces of Future Launchers. *Key Engineering Materials*, 164-165, 445–450. doi:10.4028/www.scientific.net/kem.164-165.445

Van Wie, D. M., D'Alessio, S. M. & White, M. E. (2005). *Hypersonic Airbreathing Propulsion*. Johns Hopkins APL Technical Digest, Volume 26, Number 4

## **Metodología de diseño y fabricación de aeromodelos de ala fija**

### **Fixed-wing model aircraft design and manufacturing methodology**

Brian Steve Garnica Sandoval<sup>1</sup>[0000-0001-5281-4522], Karen Natalia Gutiérrez<sup>2</sup>[0000-0002-4920-3429], Kevin Mauricio Gutiérrez Parga<sup>3</sup> [0000-0001-9059-3142], Jhon Sebastian Rodríguez López<sup>4</sup>[0000-0003-1466-5145], Carlos Vahid Rentería Valencia<sup>5</sup>[0000-0002-9149-0951], Dayana Martínez<sup>6</sup>[0000-0002-2990-3962]

<sup>1</sup>Escuela de Aviación del Ejército, Estudiante, briangarnicasandoval@cedoc.edu.co

<sup>2</sup>Escuela de Aviación del Ejército, Estudiante, karengutierrezbarbosa@cedoc.edu.co

<sup>3</sup>Escuela de Aviación del Ejército, Estudiante, kevingutierrezparga@cedoc.edu.co

<sup>4</sup>Escuela de Aviación del Ejército, Estudiante, jhonrodriguezlopez91@cedoc.edu.co

<sup>5</sup>Escuela de Aviación del Ejército, Estudiante, carlosvalenciarenteria@cedoc.edu.co

<sup>6</sup>Escuela de Aviación del Ejército, Estudiante, dayannamartineztorres@cedoc.edu.co

#### **Resumen.**

El enfoque principal de este proyecto es encontrar técnicas y métodos confiables para diseñar y fabricar adecuadamente un modelo de avión de ala fija basado en el Zero japonés de la Segunda Guerra Mundial, ya que es un avión muy duradero que ha sido diseñado teniendo en cuenta la eficiencia y eficacia del vuelo, eficiencia para garantizar la seguridad de la tripulación.

Además, se desarrolló un método matemático y se determinaron todos los puntos fundamentales para que la aeronave tenga el rendimiento suficiente para mantener un vuelo seguro, tratando de obtener los datos geométricos y aerodinámicos básicos de la aeronave para que la aeronave modelo funcione correctamente.

En el campo de la tecnología de producción, se utilizan varios métodos de producción, lo que permitirá un progreso significativo en el ensamblaje de modelos de aeronaves.

**Palabras clave:** Aeromodelo, eficacia de vuelo, datos aerodinámicos

**Abstract.** The main focus of the project is to find techniques and assertive methods that allow the correct design and manufacture of a fixed wing aeromodel that will be based on the aircraft of the second world war the ZERO JAPANESE because it was a very robust aircraft and with a design thought in efficiency and effectiveness in flight to keep its crew safe.

In addition to this, a mathematical approach is made and each of the essential points are determined for an aircraft to have an adequate performance to maintain a safe flight, with the base aircraft we seek to obtain geometry and aerodynamic data that will make the aeromodel work properly.

Within the manufacturing techniques, several manufacturing methods are used that will allow a significant advance in the assembly of the aeromodel.

**Keywords:** Model aircraft, flight efficiency, aerodynamic data

## 1. Introducción

Hoy en día, el diseño de aeromodelos se ha convertido en un importante campo de actividad para los profesionales de diversos campos de la aviación, lo que da una idea clara del diseño, construcción y fabricación de aviones reales.

La idea general del proyecto es comprender las diferentes etapas del proceso de fabricación de aeronaves y comprender los diferentes procesos y etapas necesarias para lograr el rendimiento requerido de un modelo de aeronave simplificado, como en una aeronave real.

El objetivo del modelo elegido se puede lograr a través de diversas técnicas, en la fabricación y diseño de modelos de aviones, primero se encuentra el modelo básico y así se puede formular una pauta



lógico matemática que ayude a ganar confianza en que la idea se convertirá en el modelo final. En este caso se eligió el modelo de avión ZERO JAPONES, el cual cuenta con algunas características de diseño que fueron implementadas para su papel en la Segunda Guerra Mundial, convirtiéndolo en un avión muy efectivo y versátil que ayudará a las tropas a derrotar al enemigo, se realizaron análisis previos para determinar el tipo de geometría a utilizar para el fuselaje, las alas y las superficies de control, reuniendo así los datos matemáticos que permitan construir el método de diseño correcto del modelo de aeronave.

### 1. ZERO JAPONES

En cuanto a la designación de la aeronave, cabe destacar varios aspectos. Primero, el nombre "Zero" proviene del hecho de que fue desarrollado bajo el nombre Type 00. Este número proviene de los dos últimos dígitos del año imperial japonés en el que se construyó el avión. Por lo tanto, el Zero, o A5M, fue precedido por el Type 96, ya que se desarrolló en Imperial 2396, y el Zero Type 8 recibió su nombre en 2400. La designación A6M detalla la aeronave: "A" que indica que es un caza portaaviones; "6", el sexto del tipo desarrollado, y "M", desarrollado por Mitsubishi. Además de estas designaciones de aeronaves genéricas, las variantes también se designan mediante designaciones de modelo. En este nombre, el primer número se refiere a la construcción utilizada y el segundo número se refiere al motor. Por lo tanto, el prototipo, o A6M1, no tiene un número de modelo y la designación del modelo A6M2a es 11. Cuando se realizaron los primeros cambios en el diseño del ala, incluido el mecanismo de plegado de la punta del ala, se convirtió en el A6M2b o Tipo 21 (Smits, 2015, pp. 41-42).

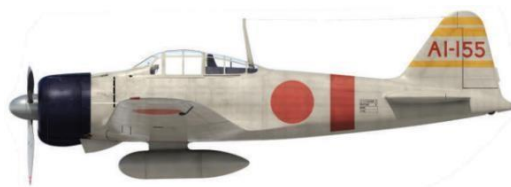


Figura 01 A6M2b (D'Angina, 2016, pág. 15)

Este modelo presentaba un ala de 12 metros capaz de alcanzar las 310 mph con una carrera de 13,000 pies. Estas demandas se consideraron imposibles y Horokoshi se retiró del proyecto debido a la imposibilidad que tenía, proponiendo cambios en el gobierno que nunca serían aceptados. Por lo tanto, para cumplir con los altos estándares establecidos por el gobierno, los ingenieros eligieron una solución alternativa, que consistía en reducir significativamente el peso del prototipo mientras intentaban mantener ciertos requisitos de seguridad. Para ello, tuvo que cambiar el material y experimentar con un nuevo tipo de metal llamado superduraluminio (ESD) eficaz. Funcionó satisfactoriamente, y una vez más el famoso ingeniero pudo completar un proyecto que antes se creía imposible (Horikoshi, 1970, pp. 4-57). Un año más tarde, en 1938, tras reiteradas pruebas de diseño, se decidió ofrecer una maqueta para afrontar el proyecto. También se decidió reducir el peso nuevamente y desarrollar un avión con mayor maniobrabilidad para maximizar la competencia con los aviones de combate desarrollados en EE. UU. Los únicos problemas de este nuevo modelo serán básicamente los altos costes de producción y el tiempo necesario para su montaje, ya que por su construcción no se puede producir desde diferentes fábricas, sino que se debe hacer desde una sola. 7 12-Si se probará de inmediato en una guerra activa con China, especialmente interesante porque esta guerra es un campo de prueba ideal para las nuevas tecnologías que se están desarrollando en ese momento. Así, con esta gran victoria llegaron no sólo nuevos desafíos aeronáuticos, sino también el antecesor directo del gran avión japonés de la Segunda Guerra Mundial, el Mitsubishi Zero (Bueschel, 1970, pp. 4-6).

## **2. Metodología**

### **2.2 PROCESOS DE MANUFACTURA USADOS.**

Termoformado: Los vehículos públicos y privados como camiones, trenes, subterráneos, aviones, automóviles, etc. cuentan con muchas piezas plásticas termoformadas como parte de sus equipos, la mayoría de ellas se utilizan para ensamblar componentes internos o externos no estructurales. Entre ellos: asiento, respaldo, reposabrazos, vista de puerta, mesa de servicio, parabrisas, protector de instrumentos, protector, spoiler, etc.

La operación de calentamiento es uno de los pasos más largos y difíciles en el proceso de termoformado, lo que resulta en el mal uso de materiales y recursos humanos. Por lo tanto, este capítulo está dedicado a la transferencia de calor para tratar de averiguar qué sucede cuando se calientan los plásticos. Aunque los científicos dividen la transferencia de calor en tres fenómenos diferentes: conducción, convección y radiación, en realidad los tres fenómenos ocurren simultáneamente. (Manual técnico de termoformado, págs. 5-18)

Mecanizado: El mecanizado de piezas aeronáuticas ha logrado proporcionar el andamiaje necesario para sostener el sector aeroespacial. Todos los días aparecen nuevos materiales para respaldar los requisitos de alto rendimiento de los servicios prestados. Por ejemplo, las aleaciones con alta dureza y diferentes composiciones requieren condiciones favorables durante el procesamiento de piezas aeroespaciales. De esta manera, puede obtener fácilmente la pieza o el conjunto deseado.

Esto se aplica a los materiales basados en fibra de carbono y aleaciones de titanio. Aunque estos últimos son más sencillos, también presentan problemas de difícil manejo. Por otro lado, también hay que tener en cuenta la alta temperatura en la turbina, al igual que ocurre con las superaleaciones a base de níquel. Este tipo de mecanización aeronáutica exige una altísima calidad buscando procesos de fabricación que aseguren una mayor productividad. Y todo esto requiere una industria de manejo de aeronaves fuerte, innovadora y revolucionaria. (Martínez, 2020, Mecanizado de Piezas de Aviación).

### **3. LÍNEA BASE PARA ENFOQUE DEL NUEVO DISEÑO.**

Después de estudiar todos los principios aerodinámicos básicos de la aeronave base, comience a recopilar información similar a un modelo cero o un modelo con la misma configuración geométrica para comenzar a realizar comparaciones aerodinámicas computacionales que guiarán el diseño tal como será. Hay métodos más avanzados. Ready determinará de forma más eficiente las medidas de cada componente que compondrá la maqueta de avión.

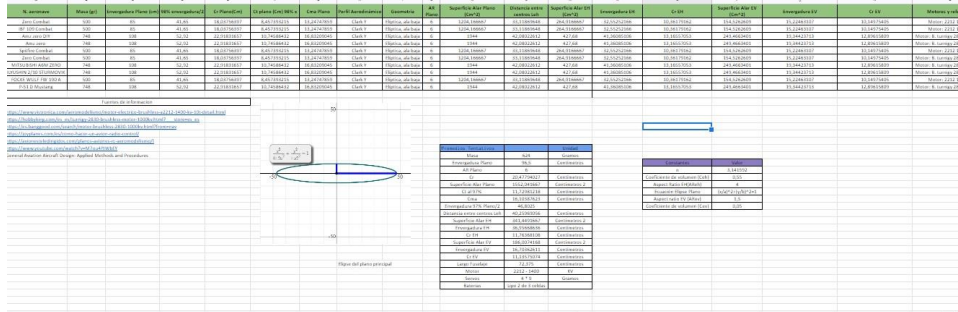


Figura 02. Línea base usada en el proyecto.

Después de hacer los cálculos pertinentes y hallar los valores de envergadura, superficies alares, clases de motores y hélices que darán como resultado el modelo de aeronave, se procede a buscar las holguras en el fuselaje para determinar la posición de las superficies de control para asegurar que estén funcionando correctamente.

Para facilitar el proceso de análisis se utilizó el programa de diseño de modelos de aviones E-Calc en el cual al ingresar la información relacionada con el diseño este realiza varios cálculos para aumentar la precisión, con el objetivo de proporcionar análisis utilizando varias calculadoras para encontrar el rendimiento, el peso y el equilibrio, el centro de gravedad y otras características básicas del modelo de diseño de aviones

Dentro del desarrollo se usó un software con tres cálculos aerodinámicos como lo muestran las figuras 3,4 y 5:



Figura 03. Cálculo para hélices.

Visit our ads partners or advertise (<https://www.eCalc.ch/advertising.htm>) on eCalc (/index.htm)

**eCalc - w&bCalc**  
Full-Version  
Language: english

**Measurements**

Aircraft Type: <input type="text" value="Propeller Aircraft"/>	Datum Position: <input type="text" value="Leading Edge"/>
Front Weight: <input type="text" value="424"/> g	Rear Weight: <input type="text" value="200"/> g
Datum -> front Support: (f) <input type="text" value="45"/> mm	front -> rear Support: (d) <input type="text" value="500"/> mm
Gewicht der Batterie: <input type="text" value="30"/> g	Datum -> Battery: (b) <input type="text" value="-120"/> mm
required Center of Gravity: <input type="text" value="205.3"/> mm	Datum -> Trim Weight: (w) <input type="text" value="1200"/> mm

Remarks:

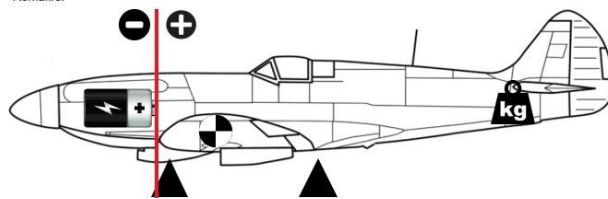


Figura 04. Cálculo de centro de gravedad.

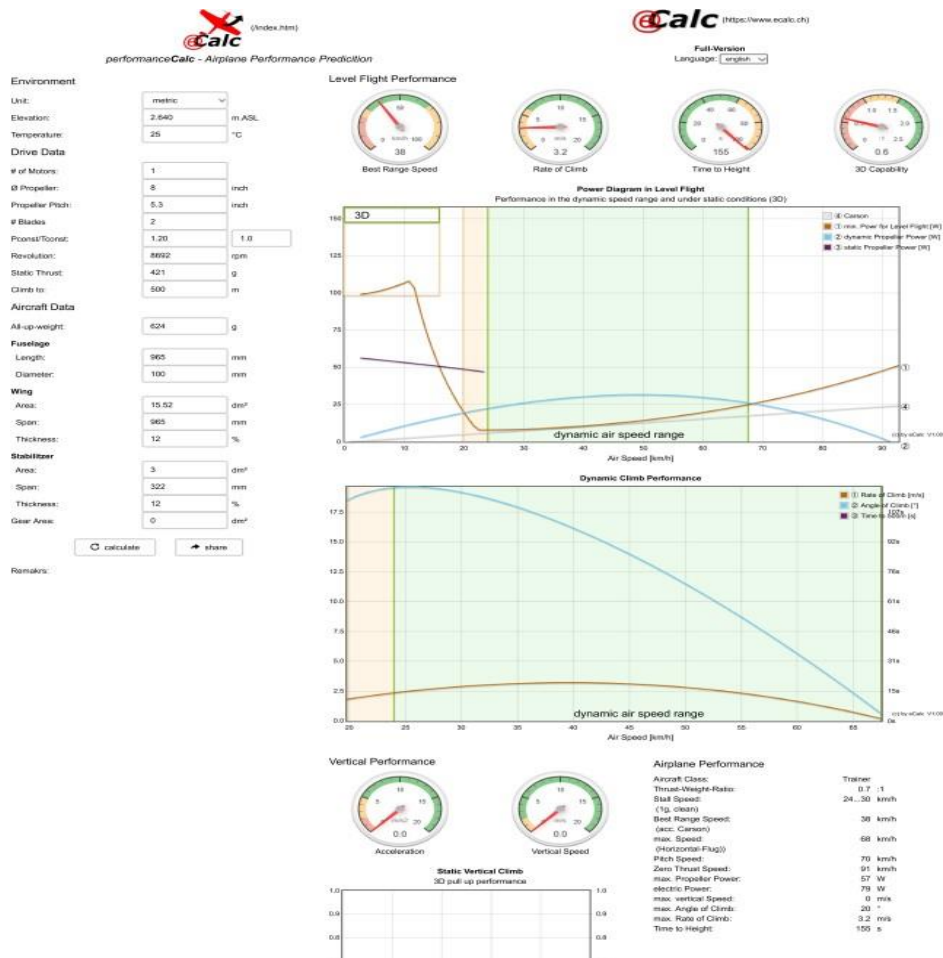


Figura 05. Cálculo de performance.

El propósito de utilizar este software matemático es buscar la precisión en el diseño y obtener datos reales con un margen de error muy bajo para que el diseño pueda verificarse una vez finalizado.

#### 4. FASES DE DISEÑO DEL AEROMODELO

##### 4.1 Diseño Guía

El enfoque del proyecto fue el proceso de producción, con el objetivo de desarrollar un modelo de avión basado en la producción de un avión real, para lo cual se decidió introducir unas pautas, trazar una línea de trabajo para lograr el objetivo principal. Construir un modelo de aeronave con suficientes parámetros mecánicos para poder realizar la siguiente fase de vuelo y utilizar la aerodinámica correcta para que coincida con el ciclo de vuelo en función de la altitud, el despegue, el crucero, el descenso y el aterrizaje final. Todo se basa en los fundamentos de la física y la aerodinámica. Estas son las ciencias que estudian cómo se comporta el cuerpo en diferentes condiciones.

El primer paso es seleccionar un modelo existente que le permita encontrar nuevos datos en los que basarlo y comenzar a realizar un análisis matemático para lograr el rendimiento deseado de este nuevo modelo.

Analizando el avión utilizado en la Segunda Guerra Mundial, su principal característica fue: que era un modelo estable, supo superar muchas adversidades y logró su principal objetivo, defender la tropa, al encontrar esa cualidad se empieza la búsqueda de aeromodelos de la misma fisionomía para tener una estadística promedio sin tener una desviación para encontrar un patrón que permitiera obtener nuevos cálculos de masa, envergadura, superficie alar, longitud y la correcta ubicación de las superficies de control para que cuando el aeromodelo entre en la fase de pruebas de vuelo logre mantener un performance adecuado y pueda planear en el aire.

#### **4.2 Planos**

Armados con una base matemática y aerodinámica, continuamos diseñando diversas aeronaves para facilitar la construcción y montaje de los modelos obtenidos de los análisis anteriores. El software elegido fue SolidWorks, que creará un plano 3D a partir de los datos del ancho del ala, la superficie del ala, la cuerda, la longitud y la cuerda base para mostrar cómo se verá la aeronave cuando se construya, y luego comenzará a diseñar según el modelo de la aeronave. Zero Japanese obtuvo los resultados que se muestran en las Figuras 6, 7, 8 y 9.



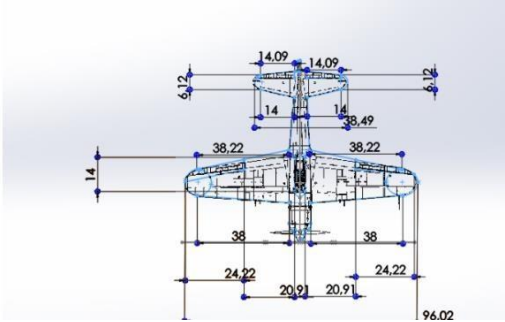


Figura 06. Vista superior

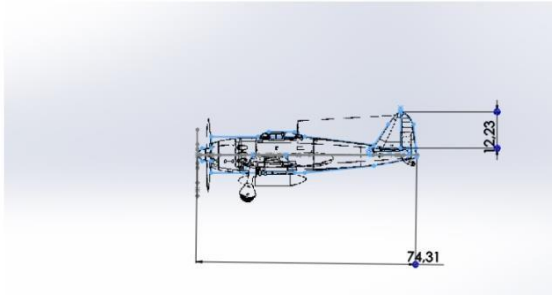


Figura 07. Vista lateral.

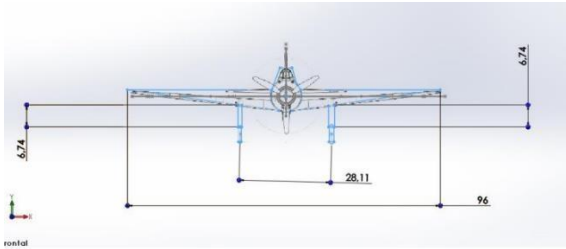


Figura 08. Vista frontal.

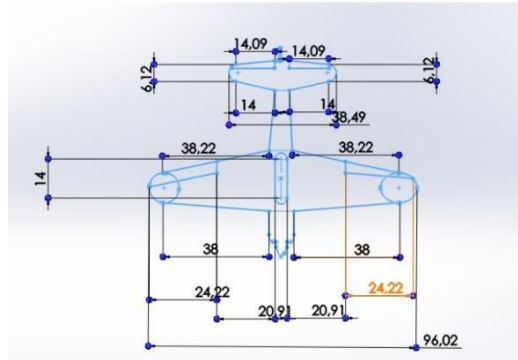


Figura 09. Medidas aeromodelos.

Como se puede observar en las figuras, el modelo de aeronave obtenido de los cálculos es un modelo con características estructurales específicas como un fuselaje semi-acoplado sostenido por cuadernas, rieles y largueros que le darán forma y mantendrán la resistencia aerodinámica para soportar cargas. Una de las otras características es que las aeronaves elípticas darán la sustentación adecuada porque los bordes de ataque serán uniformes, creando una gran relación de eficiencia. Esto se logra a través de un diseño basado en embergaduras hechas de manera que un avión típico sea mecánicamente eficiente y soporte las condiciones de presión atmosférica presentes en vuelo.

#### 4.3 Elección de materiales

A la hora de montar una maqueta de avión, es fundamental un análisis adecuado para determinar el tipo de materiales a utilizar, ya que cada pieza tiene una función diferente y también características diferentes que forman la estructura interna del aeromodelo.

Cada tipo de material tiene diferentes propiedades mecánicas, químicas y físicas que lo ayudan a funcionar de manera óptima y eficiente. En este caso, se decidió implementar el uso de foamboard. Esto se debe a que es un material muy utilizado en la construcción de modelos de aviones porque es liviano y de fácil acceso.

Este material consiste en dos capas de papel las cuales recubren un centro de poliestireno el cual tiene una resistencia de alto impacto, fácil de cortar, es fuerte y suave lo que hace que el Aeromodelo no quede pesado y tenga un mejor rendimiento, para darle la forma de los planos se implementa un corte

por medio de un láser para que este tuviera una mejor precisión y no quedara con defectos que a futuro llegaran a afectar la aeronave.

También se utiliza MDF de 5 mm para el marco, que actúa como el riel de guía básico para el fuselaje. Este material tiene rigidez en seco y propiedades de tracción que son beneficiosas para la estructura y brinda soporte.

### 5. CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE.

En la cuarta etapa de diseño se empieza la construcción y ensamble del aeromodelo resultante de los cálculos y análisis hechos previamente.

Se inicia dándole forma al fuselaje ya que este necesitaba de unas cuadernas que sirvieran como soporte y además le dieran forma de semimonocasco.

Para la construcción de los planos se implementaron dos tipos de perfiles para que funcionaran de costillas y así generar sustentación de manera adecuada.

Los perfiles seleccionados fueron Clark Y y Naca 0010, se hizo un diseño previo en Solid Words para tener medidas de precisión, así como lo muestra la figura 10.

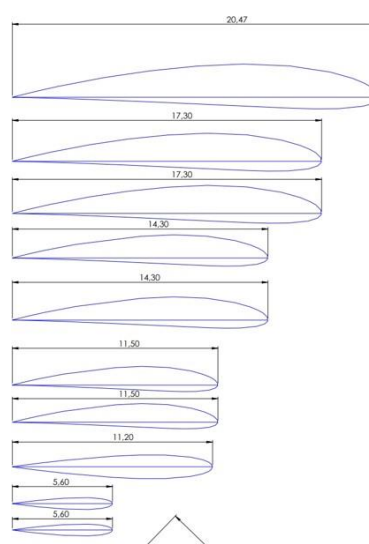


Figura 10. Planos de perfiles Clark Y y NACA 0010

Después de realizar el diseño, se realiza el corte por láser para facilitar el proceso, ahorrar tiempo y lograr una mayor precisión. Todos estos se encuentran en los materiales de foamboard que se usan comúnmente en el diseño. Sin embargo, el material se consumía debido a la temperatura en el cual el corte por láser de la parte de poliestireno hizo el corte, por lo que luego de resaltar este error, decidí cortar el estabilizador manualmente.

Una vez se obtuvieron todas las partes de la aeronave se empieza el ensamble y finalmente se obtiene un bosquejo así como lo muestra la figura 11.



Figura 11. Inicio de ensamble aeromodelo.

Seguido a esto mediante icopor se empieza a moldear las partes para recubrir el esqueleto y así terminar con el diseño plasmado en los diferentes planos realizados en el software.



### 5.1 Uso de electrónica

Para el aeromodelo se implementó electrónica básica para mostrar movimiento en las superficies de control y a su vez mostrar movimiento en las hélices.

Para generar movimiento en el aeromodelo se usó:

- 3 servomotores SG90, 9g
- Batería 2200mah -25/35c 3s
- ESC: 30A(la cosita. Amarilla)
- Hélice: 8040
- Motor brushless: 1000KV-2212
- Probador de Servos 3ch.

Todo esto con el fin de hacer una interfaz que modulara la velocidad con la que trabaja el motor y fuese convertida en movimiento para las superficies de control.

## 3. Análisis, resultados y discusión

- El diseño de aeromodelos se ha convertido en un tema de gran relevancia que hace que las personas apasionadas por el mundo de la aviación incursionen en este medio.
- El uso de una guía para enrutar un proyecto de diseño es fundamental para hacer el trabajo más corto, debido a que ya existirá un enfoque más claro.
- La elección de materiales para la construcción y ensamble del aeromodelo es fundamental para hacer que este tenga un rendimiento aerodinámico correcto, ya que la aviación funciona bajo estándares de calidad muy altos para evitar accidentes, y con buenos materiales se logra un aeromodelo liviano pero eficiente, resistente y con durabilidad.

- No todas las técnicas que se usan son las indicadas porque todos los casos son diferentes, en este proyecto se logró evidenciar que el corte láser es útil siempre y cuando el material que se va a usar es compacto y no tiene riesgo al contacto con altas temperaturas porque se puede afectar sus condiciones iniciales.

## Referencias

Bueschel, R. (1970). Mitsubishi A6M1/2/-2N Zero-Sen in Imperial Japanese Naval Air Service. Canterbury: Osprey.

Smith, P. (2015). Mitsubishi Zero: Japan's Legendary Fighter. Barnsley: Pen & Sword Books.

Franck. (03 de 06 de 2009). Les avions de legende. Recuperado el 03 de 06 de 2020, de Les avions de legende: <http://les-avions-de-legende.e-monsite.com/pages/les-chasseurs/les-chasseursjaponais/mitsubishi-a5m.html>

Gudmundsson, S. (2022). General aviation aircraft design: Applied methods and procedures (2a ed.). Butterworth-Heinemann.

# INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LAS OPERACIONES AÉREAS

## ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN AERONAUTICAL OPERATIONS

Cristian Lozano Tafur<sup>1</sup> y Rosa Gabriela Camero Berrones<sup>2</sup>, Pedro Melo Daza<sup>3</sup>, Jaime Orduy Rodriguez<sup>4</sup>, Iván Barón Rodriguez<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Universidad Americana de Europa, Doctorando, cristian.lozano@unade.edu.mx.

<sup>2</sup> Universidad Americana de Europa, Docente, rosagabriela.camero@aulagrupo.es.

<sup>3</sup> Escuela de Aviación del Ejército, Docente, pedromelodaza@cedoc.edu.co

<sup>4</sup> Fundación Universitaria Los Libertadores, Docente, jeorduyr@libertadores.edu.co

<sup>5</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Doctorando, ivan.baron@inpe.br

**Resumen.** El uso de la inteligencia artificial ha incrementado en los últimos años con la industria 4.0 y la generación de datos en las industrias y la industria aeronáutica no se queda atrás. Existen diferentes trabajos relacionados con el uso de la inteligencia artificial en aviación. La presente investigación pretende realizar un estado del arte del uso de la inteligencia artificial en las operaciones aéreas, enfatizando en los procesos de planeación de vuelos, predicción de trayectorias y optimización de recursos.

**Palabras clave:** Aviación, inteligencia artificial, machine learning, trayectorias

**Abstract.** The use of artificial intelligence has increased in recent years with the industry 4.0 and the generation of data in industries and the aviation industry is not far behind. There are different works related to the use of artificial intelligence in aviation. The present research aims to make a state of the art of the use of artificial intelligence in aviation operations, emphasizing the processes of flight planning, trajectory prediction and resource optimization.

**Keywords:** Aviation, artificial intelligence, artificial intelligence, machine learning, trajectories

## 1. Introducción

El transporte aéreo es una de las industrias con mayor crecimiento actualmente, lo cual se traduce en mayor consumo de combustible, contaminación ambiental, tiempos de servicio, mantenimiento, consumibles y tripulación, que conlleva a mayores costos operacionales (Calvo Fernández, 2017; Gössling & Humpe, 2020). Por otro lado, el constante crecimiento ha obligado la necesidad de mejorar los sistemas de control de tráfico aéreo con el fin de prevenir demoras y mejorar la seguridad (Medeiros et al., 2012).

Las soluciones que se han brindado es la aplicación de técnicas como Navegación de Área (RNAV), método de navegación que permite la operación de aeronaves en cualquier ruta de vuelo deseada dentro de la cobertura de las ayudas a la navegación con referencia a la estación o dentro de los límites de la capacidad de las ayudas autónomas, o una combinación de estas. Este método fue mejorado con la introducción del Rendimiento de Navegación Requerido (RNP), cuya diferencia radica en el monitoreo y alerta de rendimiento de la aeronave a bordo (Medeiros et al., 2012). Estas metodologías han permitido operar una mayor cantidad de aeronaves en el mismo espacio aéreo y mejorar la seguridad pero no están dedicadas a la optimización, concepto en el cual se interesan los operadores.

Un plan de vuelo eficiente es uno de los factores más importantes en las operaciones aéreas, ya que permite operar con seguridad, mejorar la confianza de la tripulación y un ahorro significativo de combustible. El cálculo del combustible no es un cálculo lineal ya que depende de varios factores, por ende es un valor difícil de predecir (Simões Spencer, 2011).

Los operadores aéreos utilizan softwares que permiten planear el vuelo teniendo en cuenta diferentes aspectos operacionales, el resultado de esta planificación no siempre resulta el más óptimo debido a las congestiones del espacio aéreo no pronosticadas o meteorología, ya que los despachadores se basan en las publicaciones que actualiza la autoridad aeronáutica.

El actual aumento masivo de generación de datos permite utilizar algoritmos que transforman estos datos en información útil, algunas investigaciones han permitido que las aerolíneas utilicen sistemas de inteligencia artificial construyendo algoritmos de machine learning para recolectar y analizar datos con el propósito de predecir demoras, clima, performance, planes de vuelo o combustible. Algunas de estas compañías utilizan softwares como los desarrollados por Airspace Intelligence, FlightAware, entre otras.



La inteligencia artificial (AI) normalmente se compara con la inteligencia humana cuando se realiza una prueba específica, su concepto puede variar según su punto de vista y pueden definirse a través de los procesos mentales o de la conducta. El libro “Inteligencia Artificial Un Enfoque Moderno” muestra una definición desde cuatro puntos de vista diferentes como se muestra en la figura 1.

Sistemas que piensan como humanos	Sistemas que piensan racionalmente
<p>«El nuevo y excitante esfuerzo de hacer que los computadores piensen... máquinas con mentes, en el más amplio sentido literal». (Haugeland, 1985)</p> <p>«[La automatización de] actividades que vinculamos con procesos de pensamiento humano, actividades como la toma de decisiones, resolución de problemas, aprendizaje...» (Bellman, 1978)</p>	<p>«El estudio de las facultades mentales mediante el uso de modelos computacionales». (Charniak y McDermott, 1985)</p> <p>«El estudio de los cálculos que hacen posible percibir, razonar y actuar». (Winston, 1992)</p>
Sistemas que actúan como humanos	Sistemas que actúan racionalmente
<p>«El arte de desarrollar máquinas con capacidad para realizar funciones que cuando son realizadas por personas requieren de inteligencia». (Kurzweil, 1990)</p> <p>«El estudio de cómo lograr que los computadores realicen tareas que, por el momento, los humanos hacen mejor». (Rich y Knight, 1991)</p>	<p>«La Inteligencia Computacional es el estudio del diseño de agentes inteligentes». (Poole <i>et al.</i>, 1998)</p> <p>«IA... está relacionada con conductas inteligentes en artefactos». (Nilsson, 1998)</p>

**Figura 1.** Algunas definiciones de inteligencia artificial (Russell & Norving, 2009)

La inteligencia artificial ha tenido su desarrollo desde los años 40s por Donald Hebb's y su crecimiento y aplicación se ha evidenciado en los años 90s. a partir de este momento los investigadores han concentrado su interés en el desarrollo de inteligencias más generales, teniendo como resultado sub campos de la inteligencia artificial tales como reconocimiento de habla e imagen, redes neuronales, robótica, aprendizaje automático, entre otras (McCorduck & Cfe, 2004). En la actualidad la AI ha tomado un papel importante debido al alto volumen de datos que se generan dentro de las diferentes industrias, los algoritmos son más sofisticados, rápidos y pueden resolver bases de datos cada vez más extensas y heterogéneas (Robert, 2014). Además, debido a que la potencia computacional ha mejorado ha nacido la era del big data, esta era es caracterizada por las 3 V's: volumen, velocidad y variedad. Esto se debe a que un alto volumen de datos son almacenados, estos datos tienen una amplia variedad de formatos (números, imágenes, textos y otras) y son analizados a una alta velocidad (Bleu & Marc, 2021). Las herramientas usadas para el análisis del big data son Machine Learning y Deep Learning.

El machine learning (ML) consiste en un conjunto de métodos usados con el objetivo de encontrar patrones a partir de los datos de forma automática (Murphy, 2013). Los patrones que son encontrados pueden ser usados para crear predicciones de datos nunca antes vistos y pronostica el comportamiento futuro, los pronósticos pueden ayudar a la identificación de acciones subsecuentes sin necesidad de entender totalmente el comportamiento de los datos (Bzdok et al., 2018). De esta manera el ML ha sido una herramienta efectiva en aplicaciones como toma de decisiones, detección de fraude, diagnóstico de cáncer, recomendación de sistemas, asistentes de voz, y otras (Bleu & Marc, 2021).

Los algoritmos existentes se muestran en la figura 2 (Louridas & Ebert, 2016). Como se puede observar se derivan de dos estrategias de aprendizaje: supervisado y no supervisado.

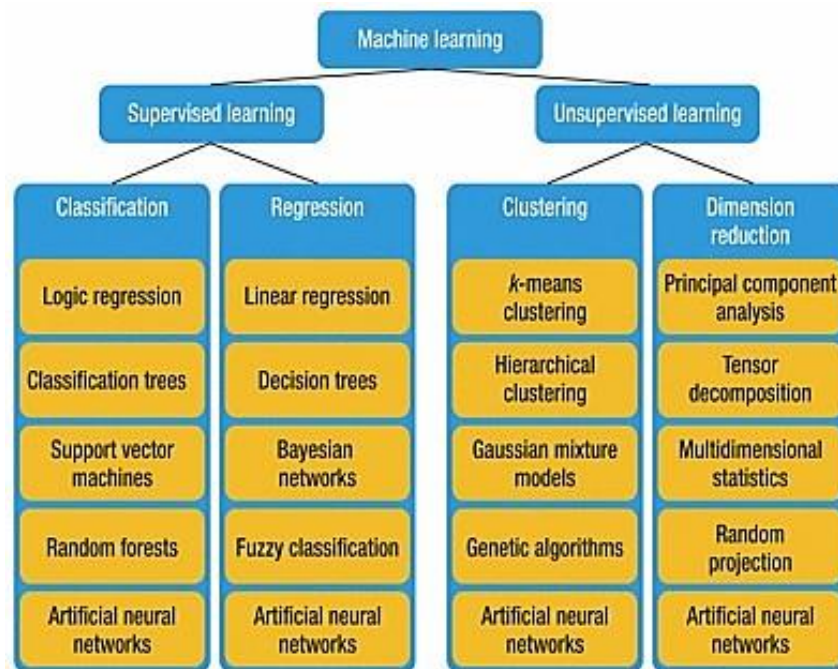


Figura 2. Algoritmos de machine learning (Louridas & Ebert, 2016)

El aprendizaje supervisado permite que un modelo de ML aprenda el mapeo de una entrada  $x$  relacionado con una salida  $y$ , utilizando un conjunto de datos de entrenamiento compuesto por pares de entrada-salida (Murphy, 2013). Es decir, el aprendizaje

supervisado es utilizada cuando el conjunto de entrenamiento comprende los datos y la salida autentica del proceso que utiliza estos datos (Vandehzad & Holmgren, 2020).

- **Clasificación**

Los algoritmos de clasificación son usados cuando la respuesta se fundamenta en un conjunto finito de resultados, es decir una etiqueta discreta.

- **Regresión**

Los algoritmos de regresión estiman y comprenden las relaciones entre las variables. Estos análisis se enfocan en una variable independiente y una series de otras variables que cambian, por esta razón es útil para la predicción y el pronóstico .

La tabla 1 presenta una relación entre algunos de los modelos y algoritmos mencionados.

**Tabla 1.** Algoritmos supervisados

<b>Tarea</b>	<b>Algoritmo</b>
Clasificación	Regresión logística
	Arboles de decisión
	Support Vector Machine (SVM)
	k-Nearest Neighbor (KNN)
	Naibe Bayes
	Reandom forest
Regresión	Boost
	Regresión linear
	Arboles de regresión
	Support Vector Regressor

**Fuente:** Autores.

El objetivo del aprendizaje no supervisado es descubrir conocimiento a partir de un conjunto de datos (Murphy, 2013). En este caso, los datos no están etiquetados y los algoritmos de ML se basan en la estructura de la entrada x para crear grupos de puntos de datos similares, determinar la distribución de los datos dentro del espacio de entrada o reducir datos de dimensiones superiores a datos de o 3 dimensiones para su visualización (Bishop, 2006). En decir, el aprendizaje no supervisado es usado cuando el conjunto de entrenamiento comprende los datos pero no contiene soluciones para ellos, por lo tanto la computadora debe resolver el problema por si misma (Vandehzad & Holmgren, 2020). En

la práctica, estos algoritmos más utilizados, ya que no se necesita etiquetar los conjuntos de datos, lo que da como resultado más datos disponibles (Bleu & Marc, 2021).

- **Clustering**

Consiste en juntar puntos de datos que son similares y separar puntos de datos que son diferentes. La medida de similitud entre los puntos de datos y la representación de un grupo son las diferencias clave entre los diversos algoritmos de agrupación (Wermter, 2021).

- **Reducción de dimensión**

Los algoritmos de reducción de dimensión, reducen el número de variables que se consideran para encontrar la información requerida.

La tabla 2 presenta una relación entre algunos de los modelos y algoritmos mencionados.

**Tabla 2.** Algoritmos no supervisados

<b>Tarea</b>	<b>Algoritmo</b>
Clustering	K means
	DBSCAN
	Hierarchical clustering
	Gaussian Mixture Models
	Hidden Markov Models
Reducción de dimension	Análisis de componentes principales
	Descomposición de tensores
	Estadística multidimensional
	Random projection

**Fuente:** Autores.

El propósito de esta revisión es buscar y analizar la información disponible en bases de datos relacionadas con la inteligencia artificial utilizada en operaciones aéreas, enfocándose en los procesos de planeación de vuelos, predicción de trayectorias y optimización de recursos.

## 2. Metodología

Realizar una revisión sistemática requiere establecer una metodología de trabajo que clarifique y simplifique la búsqueda de investigaciones y el procesos de sintetizado, por tal razón se plantean tres fases las cuales son la planeación, ejecución y reporte.

### **1.1. Planeación**

La planeación consiste en definir el problema a ser investigado, la ecuación de búsqueda a partir de las palabras clave y los criterios de exclusión. Para esta investigación las ecuación de búsqueda seleccionada es:

*( TITLE-ABS-KEY ( artificial AND intelligence OR machine AND learning ) AND TITLE-ABS-KEY ( aircraft ) AND TITLE-ABS-KEY ( trajectory OR prediction OR delay OR flight OR fuel ) )*

Como base de datos se seleccionó la Scopus cuyos criterios de exclusión fueron todos aquellos documentos que no fueran artículos de investigación.

### **1.2. Ejecución**

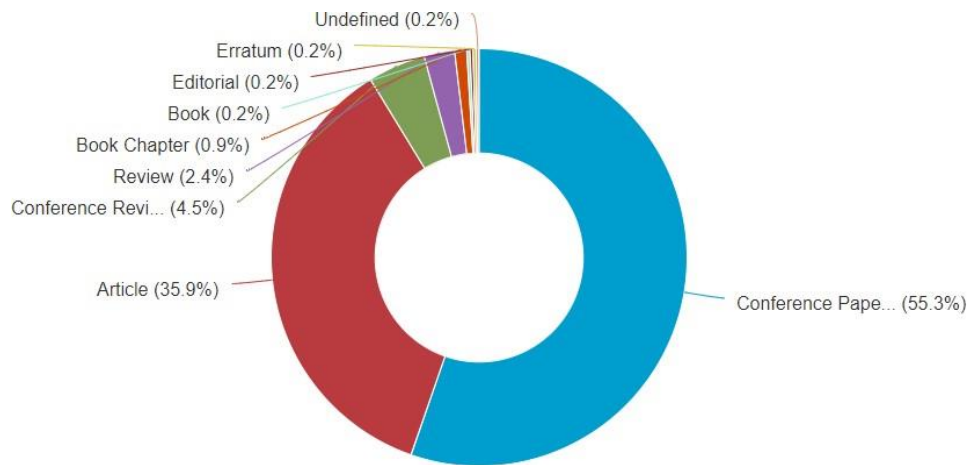
El proceso de ejecución se refiere a la aplicación de la ecuación de búsqueda en las bases de datos seleccionadas, una vez la información ha sido recolectada se realizan los diferentes filtros y se aplican los criterios de exclusión.

### **1.3. Reporte**

El reporte consiste en presentar la información obtenida de mayor relevancia y su impacto.

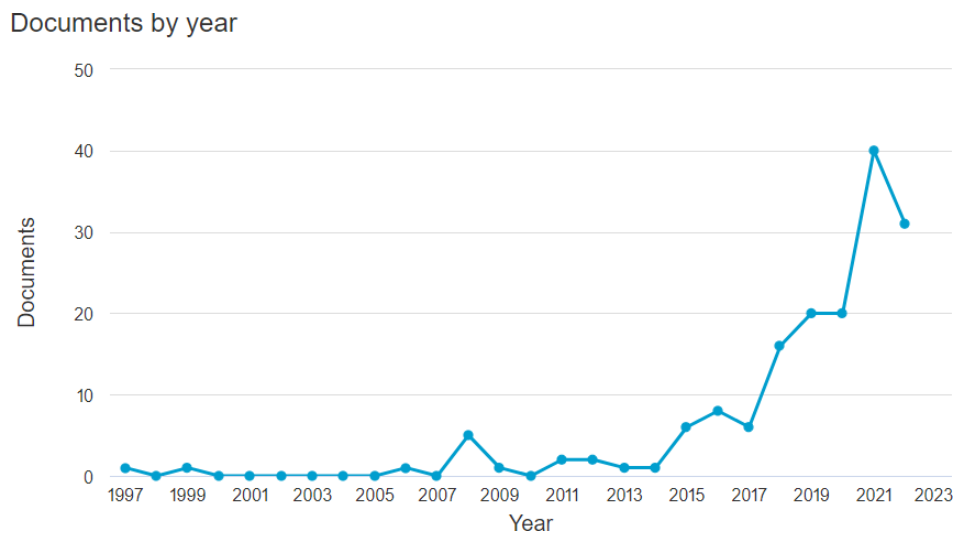
## **3. Análisis, resultados y discusión**

Realizando la búsqueda en Scopus se encontraron 423 resultados distribuidos como se observa en la figura 3. Se observa que la mayoría de publicaciones realizadas son artículos de conferencia seguidos de artículos.



**Figura 3.** Tipos de documentos sin refinamiento

Aplicando los criterios de exclusión los resultados encontrados se reducen a 162 artículos publicados. La figura 4 muestra la variación de publicaciones por año, se puede observar que la inteligencia artificial tiene un impacto significativo en investigación a partir del año 2018.



**Figura 4.** Publicaciones por año







algoritmos, la predicción de trayectorias 4-D basada en tierra se puede dividir principalmente en modelos basados en el rendimiento de la aeronave y modelos basados en la trayectoria (Shi, 2020).

Las predicciones de trayectoria hoy en día son investigaciones atractivas pero complejas ya que deben interactuar modelos de operación de aeronaves, planeación de vuelo y las condiciones ambientales (Courchelle et al., 2019; Library & Cheung, 2018; Roskam, 1998; Takeichi, 2018). Por otro lado, el incremento de los datos ha permitido un aumento en las investigaciones en sistemas ATM, este incremento se ha dado gracias a los equipos de detección, estaciones terrestres, satélites y demás instalaciones que proporcionan la cantidad suficiente de datos para los sistemas de gestión y tráfico aéreo. Un estudio importante corresponde a la base de datos de aeronaves (BADA), la cual proporciona especificaciones de modelos teóricos y conjuntos de datos específicos relacionados que permiten simular con precisión el comportamiento de cualquier aeronave (EUROCONTROL, 2004). Además, los datos históricos de las trayectorias de vuelo pueden ser recolectados por las estaciones terrestres ADS-B, datos que han sido utilizados en la predicción de trayectorias (Harada et al., 2019). Los datos meteorológicos no son de fácil acceso pero tienen un impacto importante en la predicción de trayectorias (Choi et al., 2016).

#### **1.4. Modelos basados en rendimiento**

Se han realizado diferentes investigaciones acerca de la predicción de trayectorias basadas en modelos como Point-Mass, cinemáticos, cinéticos, entre otros (Musialek et al., 2010). Los modelos de estimación de estado establecen la ecuación de movimiento en función de la velocidad, posición, aceleración y otros atributos de la aeronave. Este modelo es relativamente simple pero conlleva a errores debido a la incertidumbre causada por la incapacidad de capturar las maniobras de la aeronave con precisión, por lo tanto solo funciona en periodos cortos de tiempo (Zeng et al., 2022). Los modelos cinéticos analizan las fuerzas de la aeronave, a partir de algunos supuestos ideales con poca consideración de las restricciones reales y el comportamiento humano (Lymporopoulos et al., 2006; Porretta et al., 2008; W. Schuster et al., 2012; Wolfgang Schuster & Porretta, 2010). Estos modelos cinéticos requieren datos de rendimiento de la aeronave, estado de la aeronave, condiciones ambientales e intenciones de la aeronave, además de otros parámetros, algunos de ellos comercialmente sensibles y de difícil obtención, por otro lado se usan configuraciones predefinidas o estimaciones en la base de datos existente. La incertidumbre de estos datos de entrada induce incertidumbre en la predicción de la trayectoria. Por esta razón las investigaciones realizadas en SESAR apuestan a mejorar esta situación (Zeng et al., 2022).

Los modelos de estimación de estado usados corresponden a Kalman Filter (KF), algoritmo de filtro de partículas y Modelo oculto de Markov (HMM) como estimación de modelo único. Para la estimación del multi modelos se han usado, multi modelo KF, Modelo múltiple de interacción (IMM) e IMM mejorado (Zeng et al., 2022). También se han usado algunos algoritmos de inteligencia artificial para la estimación del combustible (Trani et al., 2004), predicción del empuje (Yildirim Dalkiran & Toraman, 2021), estimación de la velocidad basados en los efectos del viento (Porretta et al., 2008), detección de conflictos de aeronaves a partir del modelo múltiple de interacción de media residual (RMIMM) (Hwang et al., 2003) y en investigaciones recientes se han desarrollado modelos que permiten predecir trayectorias y performance (Hrastovec & Solina, 2016; X. Tang et al., 2015).

### **1.5. Modelos basados en trayectorias**

Los modelos de Machine Learning utilizan algoritmos y minería de datos para aprender trayectorias de vuelo históricas y datos meteorológicos con el objetivo de predecir trayectorias. Su construcción se realiza a partir de suposiciones débiles o nulas. Estos algoritmos no requieren un modelado explícito del rendimiento, los procedimientos y el espacio aéreo de la aeronave, solo requiere aprender las leyes de los datos introducidos. Estos algoritmos también se consideran como un tipo de ingeniería de datos, ya que cuanto mayor sea la cantidad de datos, mejor será el efecto. Debido a la gran cantidad de datos a partir de trayectorias, es posible extraer patrones de trayectorias complejas y extraer características importantes, lo cual proporciona datos y una base preliminar para la predicción de trayectorias (Zeng et al., 2022).

Generalmente los vuelos siguen la misma ruta planificada y sobrevuela la misma secuencia de waypoints, lo cual indica que las trayectorias históricas son regulares, proporcionando una alta viabilidad en el uso del aprendizaje automático (Lin et al., 2019). Esta metodología extrae la ley de los cambios en la trayectoria de la aeronave a lo largo del tiempo a partir de una gran cantidad de datos y utiliza la ley para predecir la trayectoria de la posición. Generalmente utiliza dos enfoques, el primer enfoque se basa principalmente en las leyes subyacentes de la operación de aeronaves y extrae patrones de trayectoria representativos. El segundo enfoque, se basa en la reconstrucción del espacio de entrada y salida (Lin et al., 2019). Se han utilizado diferentes algoritmos como algoritmos de regresión, redes neuronales, agrupamiento y otros modelos. La tabla 3 muestra algunos de los algoritmos utilizados.

**Tabla 3.** Sobrevista de modelos utilizados para la predicción de vuelos

<b>Modelo</b>	<b>Descripción</b>	<b>Referencia</b>
Modelo de regresión	Regresión lineal	(Hamed et al., 2013; Hong & Lee, 2015; Kanneganti et al., 2018)
	Regresión por pasos	(de Leege et al., 2013)
	Regresión no lineal	(Hamed et al., 2013; Tastambekov et al., 2014)
Modelo de redes neuronales	Redes neuronales feedforward	(Le Fablec & Alliot, n.d.; Verdonk Gallego et al., 2018, 2019; Wu et al., 2020)
	Red neuronal Elman	(Min et al., 2020)
	LSTM	(Shi et al., 2018, 2021; Xu et al., 2021; Yang et al., 2019; Zeng et al., 2020; Zeng & Zhibin, n.d.)
	DNN + LSTM	(X. Zhang & Mahadevan, 2020)
	CNN + LSTM	(Ma & Tian, 2020)
	GRU	(H. Zhang et al., 2020)
	Red neuronal bayesiana	(X. Zhang & Mahadevan, 2020)
Red antagonica generativa	(Pang & Liu, 2020)	
Modelo de agrupamiento	Modelo de mezcla gaussiana con agrupamiento Bosque aleatorio con agrupamiento Redes neuronales con agrupamiento	(Barratt et al., 2019; Tran et al., 2020; Wang et al., 2017)
Otros modelos	Predicción de intervalos no paramétricos Programación genética	(Hamed, 2014; C. Zhang et al., 2016)

**Fuente:** Mostradas en la tabla.

### **1.6. Bases de datos**

Existen algunas bases de datos que se han usado en investigaciones referentes a la predicción de trayectorias de vuelo, en las que se encuentran: datos de rendimiento de aeronaves, datos de monitoreo de aeronaves y datos meteorológicos.

- **Datos de rendimiento de aeronaves**

Los datos de rendimiento son aquellos que incluyen las envolventes operacionales de la aeronave (velocidades, pesos, consumos de combustible, etc.), aerodinámica, entre otros parámetros. Actualmente estos datos se pueden encontrar en Base of Aircraft Data (BADA), Aircraft Noise and Performance (ANP), entre otras (Fukuda et al., 2010)(Zeng et al., 2022).

BADA es un modelo de rendimiento de aeronaves desarrollado por Eurocontrol en cooperación con los fabricantes de aeronaves y aerolíneas. Se basa en el método cinético para el modelado de rendimiento de aeronaves, incluyendo la base teórica para el cálculo de los parámetros de rendimiento de la aeronave y los coeficientes específicos para el cálculo de sus trayectorias. Actualmente BADA tiene dos series ampliamente usadas, la serie 3 que contiene los datos del 100% de las aeronaves que operan en Europa y la serie 4 que ha mejorado los cálculos de rendimiento, la cual tiene aproximadamente el 70% de las aeronaves que operan en Europa (EUROCONTROL, 2004).

ANP es conjuntamente desarrollada por el departamento de transporte de Estados Unidos, European Control Center y European Aviation Safety Agency. Esta base de datos proporciona las características de ruido y rendimiento de más de 150 tipos de aeronaves de aviación civil, y se utiliza para el cálculo de ruido alrededor de los aeropuertos. Los fabricantes de aeronaves proporcionan los datos para cada tipo de motor, los cuales se publican dentro del marco de la regulación (EU) 598/2014 (X. Tang et al., 2015; Zeng et al., 2022).

- **Datos de vigilancia de aeronaves**

Los datos de monitoreo incluyen diferentes aspectos de posicionamiento y velocidad actual y se proporcionan en tiempo real. Estos datos son usados para el monitoreo de la trayectoria, como lo hace el sistema de vigilancia dependiente automática (ADS-B) y el radar de vigilancia secundario.

El ADS-B es un sistema de vigilancia el cual usa la navegación satelital para localizar la posición de la aeronave y difundir esta posición a otras aeronaves o antenas en tierra. Esta

técnica hace que las aeronaves sean visibles y se proporcione una alerta situacional. Los datos proporcionados por el ADS-B contiene (Pham, 2019):

- Flight ID: número de serie único que representa cada vuelo
- Hora: fecha (mes/día/año) y hora UTC
- Posición: latitud (grados decimales), longitud (grados decimales) y altitud (ft)
- Ground speed: velocidad horizontal relativa con respecto al suelo (nudos)
- Tasa de ascenso: cambio de altitud (pies por minuto)
- Rumbo: orientación de la aeronave con respecto al norte (grados decimales)

Flightradar24 es un servicio de rastreo de vuelo de aeronaves global el cual permite visualizar en tiempo real el flujo de tráfico aéreo. Combina los datos de múltiples fuentes, incluyendo ADS-B, posicionamiento multipunto y datos de radares. Flightradar24 funciona a nivel mundial (incluyendo Colombia) ya que cuenta con más de 20.000 receptores de ADS-B (FlightRadar 24, 2020).

Existen otras plataformas tales como FlightAware, OpenSky network, ADSBExchange, variflight los cuales también reciben los datos enviados por el sistema ADS-B, los administran y visualizan, la deficiencia con estas plataformas es que no cuentan con una red de receptores suficiente en Colombia (Exchange, 2022; FlightAware, 2020; Network, n.d.; VariFlight, 2022).

La base de datos de planes de vuelo (<https://flightplandatabase.com/>) tiene una gran colección de planes de vuelo destinados principalmente a la simulación de vuelo. Por esta razón, la mayoría de los planes no tienen ninguna identificación de vuelo o información de tiempo. Pero pueden ser usados como guía a la planificación de rutas (Kiesiläinen, 2020).

- **Datos meteorológicos**

Los datos meteorológicos proporcionan información relacionada a las condiciones ambientales, como temperatura, dirección y velocidad del viento, presión de aire y cambios en la gravedad y fuerzas magnéticas. Las bases de datos más usadas corresponden a EUROCONTROL con Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), North American Mesoscale Forecast System (NAM), entre otras (Zeng et al., 2022).

The China Meteorological Data Network es un collector y administrador de archivos e información meteorológica. Recolectan, procesan, almacenan, recuperan y dan servicio a datos meteorológicos a nivel mundial (CMDC, n.d.).

EUROCONTROL for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) es una organización que vuelve a analizar datos meteorológicos, proporciona pronósticos meteorológicos y desarrolla modelos numéricos y sistemas de asimilación de datos, proporcionan el monitoreo atmosférico Copernicus y servicios de cambio climático de la comunidad Europea (ECMWF, n.d.).

National Center for Environmental Information (NCEI) proporciona clima global, pronósticos, alertas y análisis para socios y comunidades de usuarios externos. Corresponde a uno de los archivos de datos ambientales más importantes de mundo, por su cantidad de datos y modelos de pronóstico (NCEI, 2019).

Aircraft Meteorological Data Relay (AMDAR) es un sistema que compone la Organización de Meteorología Mundial, utiliza principalmente sensores, computadoras y sistemas de comunicación a bordo de aeronaves existentes para recopilar, procesar y formatear datos meteorológicos y transmitirlos a la estación terrestre a través de enlaces satelitales o de radio. Los datos recopilados se pueden utilizar en una variedad de aplicaciones meteorológicas, incluidos pronósticos meteorológicos para el público, monitoreo y pronóstico del clima, sistemas de alerta de desastres meteorológicos y, lo que es más importante, monitoreo y pronóstico del tiempo para apoyar a la industria de la aviación (Organization, 2022).

WorldClim corresponde a una base de datos de clima global con alta resolución espacial, la cual tiene 19 tipos de bases de datos bioclimáticas y bases de datos climáticos básicos mensuales (WordClim, 2022).

Meteoblue calcula datos meteorológicos de alta calidad a nivel mundial, realiza visualización, pronóstico, almacenamiento aplicaciones móviles entre otras capacidades dedicada a diferentes industrias (Meteoblue, 2022).

Los datos abiertos del Instituto Meteorológico de Finlandia contiene conjuntos de datos a disposición del público de forma gratuita, en un formato digital (Finnish Meteorological Institute, 2013).

## **5. Conclusiones**

Para finalizar el estudio, se concluye que el uso de una metodología hace posible refinar la información encontrada. Este estudio se enfocó a la búsqueda de información de la inteligencia artificial aplicada en operaciones aéreas, donde se encuentran diferentes metodologías en torno al machine learning. Esta metodologías han sido aplicadas en el estudio de predicción de trayectorias, meteorología, reducción de consumo de combustible, rendimiento de aeronaves y gestión del tráfico aéreo, adicionalmente se

observó que en los últimos 4 años ha habido un incremento de investigaciones en este entorno.

## Referencias

- Barratt, S. T., Kochenderfer, M. J., & Boyd, S. P. (2019). Learning Probabilistic Trajectory Models of Aircraft in Terminal Airspace from Position Data. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(9), 3536–3545.  
<https://doi.org/10.1109/TITS.2018.2877572>
- Besada, J. A., Garcia, J., de Miguel, G., Jimenez, F. J., Gavin, G., & Casar, J. R. (2000). Data fusion algorithms based on radar and ADS measurements for ATC application. *IEEE National Radar Conference - Proceedings*, 98–103.  
<https://doi.org/10.1109/RADAR.2000.851812>
- Bishop, C. M. (2006). Pattern Recognition and Machine Learning. In *Information Science and Statistics*. Springer-Verlag New York.  
<https://www.springer.com/gp/book/9780387310732>
- Bleu, L., & Marc, H. (2021). *A METHODOLOGY FOR THE PREDICTION AND ANALYSIS OF PRECURSORS TO FLIGHT ADVERSE EVENTS* [Georgia Institute of Technology]. <https://smartech.gatech.edu/handle/1853/64698>
- Bzdok, D., Altman, N., & Krzywinski, M. (2018). Points of Significance: Statistics versus machine learning. *Nature Methods*, 15(4), 233–234.  
<https://doi.org/10.1038/NMETH.4642>
- Calvo Fernández, E. (2017). *Planificación de trayectorias 4D de aeronaves en entornos multiobjetivo* [Universidad Politécnica de Madrid].  
[https://oa.upm.es/47387/1/ESTHER\\_CALVO\\_FERNANDEZ.pdf](https://oa.upm.es/47387/1/ESTHER_CALVO_FERNANDEZ.pdf)
- Choi, S., Kim, Y. J., Briceno, S., & Mavris, D. (2016). Prediction of weather-induced airline delays based on machine learning algorithms. *AIAA/IEEE Digital Avionics*

- Systems Conference - Proceedings, 2016-Decem.*  
<https://doi.org/10.1109/DASC.2016.7777956>
- CMDC. (n.d.). *China Meteorological Data Network*. Retrieved May 18, 2022, from <https://data.cma.cn/en/?r=article/getLeft&id=348&keyIndex=2>
- Courchelle, V., Soler, M., González-Arribas, D., & Delahaye, D. (2019). A simulated annealing approach to 3D strategic aircraft deconfliction based on en-route speed changes under wind and temperature uncertainties. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 103, 194–210. <https://doi.org/10.1016/J.TRC.2019.03.024>
- de Leege, A. M. P., van Paassen, M. M., & Mulder, M. (2013). A machine learning approach to trajectory prediction. *AIAA Guidance, Navigation, and Control (GNC) Conference*. <https://doi.org/10.2514/6.2013-4782>
- ECMWF. (n.d.). *EUROCONTROL for Medium-Range Weather Forecasts*. Retrieved May 18, 2022, from <https://www.ecmwf.int/en/about>
- EUROCONTROL. (2004). User Manual for the Base of Aircraft Data (BADA). *European Organisation for the Safety of Air Navigation, EUROCONTROL*, 3.6(10), 1. [www.eurocontrol.int](http://www.eurocontrol.int)
- Exchange, A.-B. (2022). *ADS-B Exchange*. <https://www.adsbexchange.com/>
- FAA. (2015). Next Generation Air Transportation System (NextGen). *FAA Website, May 2010*, 28–30. <https://www.faa.gov/nextgen/>
- Finnish Meteorological Institute. (2013). *Finnish Meteorological Institute*. Snow Statistics. <https://en.ilmatieteenlaitos.fi/open-data-sets-available>
- FlightAware. (2020). *FlightAware - Rastreador de vuelos / Estado de vuelos*. <https://flightaware.com/>
- FlightRadar 24. (2020). Live Flight Tracker - Real-Time Flight Tracker Map | Flightradar24. In *FlightRadar24*. <https://www.flightradar24.com/how-it-works>
- Fukuda, Y., Shirakawa, M., & Senoguchi, A. (2010). Development and evaluation of trajectory prediction model. *27th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences 2010, ICAS 2010*, 4, 3090–3097.
- Gössling, S., & Humpe, A. (2020). The global scale, distribution and growth of aviation:



- Implications for climate change. *Global Environmental Change*, 65, 102194.  
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102194>
- Hamed, M. G. (2014). *Méthodes non-paramétriques pour la prévision d'intervalles avec haut niveau de confiance : application à la prévision de trajectoires d'avions*.  
<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00951327>
- Hamed, M. G., Gianazza, D., Serrurier, M., & Durand, N. (2013). Statistical prediction of aircraft trajectory: regression methods vs point-mass model. *10th USA/Europe ATM R&D Seminar, 2013*(June), pp. <http://www.atmseminar.org/>
- Harada, A., Takeichi, N., & Oka, K. (2019). An optimal trajectory-based trajectory prediction method for automated traffic flow management. *AIAA Scitech 2019 Forum*. <https://doi.org/10.2514/6.2019-1360>
- Hong, S., & Lee, K. (2015). Trajectory prediction for vectored area navigation arrivals. *Journal of Aerospace Information Systems*, 12(7), 490–512.  
<https://doi.org/10.2514/1.I010245>
- Hrastovec, M., & Solina, F. (2016). Prediction of aircraft performances based on data collected by air traffic control centers. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 73, 167–182. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.10.018>
- Hwang, I., Hwang, J., & Tomlin, C. (2003). Flight-mode-based aircraft conflict detection using a residual-mean interacting multiple model algorithm. *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit*.  
<https://doi.org/10.2514/6.2003-5340>
- Jeon, D., Eun, Y., & Kim, H. (2015). Estimation fusion with radar and ADS-B for air traffic surveillance. *International Journal of Control, Automation and Systems*, 13(2), 336–345. <https://doi.org/10.1007/s12555-014-0060-1>
- Kanneganti, S. T., Chilson, P. B., & Huck, R. (2018). Visualization and Prediction of Aircraft trajectory using ADS-B. *Proceedings of the IEEE National Aerospace Electronics Conference, NAECON, 2018-July*, 529–532.  
<https://doi.org/10.1109/NAECON.2018.8556782>
- Kiesiläinen, J. (2020). *Predicting aircraft arrival times with machine learning* [University

of Jyväskylä].

<https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/69366/1/URN%3ANBN%3Afi%3Aju-202006023624.pdf>

- Le Fablec, Y., & Alliot, J. M. (n.d.). *Using Neural Networks to predict aircraft trajectories*.
- Library, W. O., & Cheung, J. C. H. (2018). Flight planning: node-based trajectory prediction and turbulence avoidance. *Meteorological Applications*, 25(1), 78–85. <https://doi.org/10.1002/MET.1671>
- Lin, Y., Yang, B., Zhang, J., & Liu, H. (2019). Approach for 4-D trajectory management based on HMM and trajectory similarity. *Journal of Marine Science and Technology (Taiwan)*, 27(3), 246–256. [https://doi.org/10.6119/JMST.201906\\_27\(3\).0007](https://doi.org/10.6119/JMST.201906_27(3).0007)
- Louridas, P., & Ebert, C. (2016). Machine Learning. *IEEE Software*, 33(5), 110–115. <https://doi.org/10.1109/MS.2016.114>
- Lymperopoulos, I., Lygeros, J., & Lecchini, A. (2006). Model based aircraft trajectory prediction during takeoff. *Collection of Technical Papers - AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference 2006*, 2, 843–854. <https://doi.org/10.2514/6.2006-6098>
- Ma, L., & Tian, S. (2020). A Hybrid CNN-LSTM Model for Aircraft 4D Trajectory Prediction. *IEEE Access*, 8, 134668–134680. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3010963>
- McCorduck, P., & Cfe, C. (2004). Machines Who Think. In *Machines Who Think*. <https://doi.org/10.1201/9780429258985>
- Medeiros, D. M. C., Silva, J. M. R., & Bousson, K. (2012). RNAV and RNP AR approach systems: the case for Pico Island airport. *International Journal of Aviation Management*, 1(3), 181. <https://doi.org/10.1504/ijam.2012.045738>
- Meteoblue. (2022). *Meteoblue*. <https://content.meteoblue.com/es>
- Min, W., Jiawei, W., Jinhui, G., Lihua, S., & Bogong, A. (2020). Multi-Point Prediction of Aircraft Motion Trajectory Based on GA-Elman-Regularization Neural Network. *Integrated Ferroelectrics*, 210(1), 116–127.

<https://doi.org/10.1080/10584587.2020.1728853>

Murphy, K. (2013). *Machine Learning: a Probabilistic Perspective*.

Musialek, B., Munafo, C. F., Ryan, H., & Paglione, M. (2010). Literature survey of trajectory predictor technology. In *Federal Aviation Administration*.

<http://www.tc.faa.gov/its/worldpac/techrpt/tctn11-1.pdf>

NCEI. (2019). National Centers for Environmental Information. In *Monthly climate tables*. <https://www.ncei.noaa.gov/resources>

Network, O. (n.d.). *Opensky network*. Retrieved May 18, 2022, from

<https://opensky-network.org/about/about-us>

Oliveira, M. (2019). *A DATA-DRIVEN APPROACH FOR AIR TRAFFIC OPERATIONAL PERFORMANCE CHARACTERIZATION AND PREDICTION* [São José dos Campos].

[https://www.academia.edu/40941810/A\\_DATA-DRIVEN\\_APPROACH\\_FOR\\_AIR\\_TRAFFIC\\_OPERATIONAL\\_PERFORMANCE\\_CHARACTERIZATION\\_AND\\_PREDICTION](https://www.academia.edu/40941810/A_DATA-DRIVEN_APPROACH_FOR_AIR_TRAFFIC_OPERATIONAL_PERFORMANCE_CHARACTERIZATION_AND_PREDICTION)

Organization, W. M. (2022). *AMDAR*.

<https://public.wmo.int/en/programmes/global-observing-system/amdar-observing-system>

Pang, Y., & Liu, Y. (2020). Conditional generative adversarial networks (Cgan) for aircraft trajectory prediction considering weather effects. *AIAA Scitech 2020 Forum, 1 Part F*. <https://doi.org/10.2514/6.2020-1853>

Pham, D.-T. (2019). Machine learning-based flight trajectories prediction and air traffic conflict resolution advisory. In *Thesis: de Université de recherche Paris Sciences et Lettres PSL Research University*.

[https://www.researchgate.net/publication/342259893\\_Machine\\_learning-based\\_flight\\_trajectories\\_prediction\\_and\\_air\\_traffic\\_conflict\\_resolution\\_advisory](https://www.researchgate.net/publication/342259893_Machine_learning-based_flight_trajectories_prediction_and_air_traffic_conflict_resolution_advisory)

Porretta, M., Dupuy, M. D., Schuster, W., Majumdar, A., & Ochieng, W. (2008).

Performance evaluation of a novel 4D trajectory prediction model for civil aircraft. *Journal of Navigation*, 61(3), 393–420.

<https://doi.org/10.1017/S0373463308004761>

- Robert, C. (2014). Machine Learning, a Probabilistic Perspective . In *Chance* (Vol. 27, Issue 2). <https://doi.org/10.1080/09332480.2014.914768>
- Roskam, J. (1998). Airplane Flight Dynamics and Automatic Flight Controls - Part II. In *Book*. DARcorporation.
- Russell, S., & Norving, P. (2009). Inteligencia Artificial: Un enfoque moderno. In *Inteligencia Artificial* (2nd ed.). Prentice Hall. [www.pearsoneducacion.com](http://www.pearsoneducacion.com)
- Schuster, W., Porretta, M., & Ochieng, W. (2012). High-accuracy four-dimensional trajectory prediction for civil aircraft. *Aeronautical Journal*, 116(1175), 45–66. <https://doi.org/10.1017/S0001924000006618>
- Schuster, Wolfgang, & Porretta, M. (2010). High-performance trajectory prediction for civil aircraft. *AIAA/IEEE Digital Avionics Systems Conference - Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/DASC.2010.5655515>
- SESAR. (n.d.). *SESAR Joint Undertaking | Background on Single European Sky*. Retrieved May 11, 2022, from <https://www.sesarju.eu/>
- Shi, Z. (2020). *4-D Trajectory Prediction and Its Application in Air Traffic Management* (Issue September) [University of Technology Sydney]. <https://opus.lib.uts.edu.au/handle/10453/143917>
- Shi, Z., Xu, M., & Pan, Q. (2021). 4-D Flight Trajectory Prediction with Constrained LSTM Network. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(11), 7242–7255. <https://doi.org/10.1109/TITS.2020.3004807>
- Shi, Z., Xu, M., Pan, Q., Yan, B., & Zhang, H. (2018). LSTM-based Flight Trajectory Prediction. *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks, 2018-July*. <https://doi.org/10.1109/IJCNN.2018.8489734>
- Simões Spencer, K. (2011). *Fuel Consumption Optimization using Neural Networks and Genetic Algorithms* [Universidade Tecnica de Lisboa]. <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395143171393/dissertacao.pdf>
- Takeichi, N. (2018). Adaptive prediction of flight time uncertainty for ground-based 4D trajectory management. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*,

95, 335–345. <https://doi.org/10.1016/J.TRC.2018.07.028>

- Tang, X., Chen, P., & Zhang, Y. (2015). 4D trajectory estimation based on nominal flight profile extraction and airway meteorological forecast revision. *Aerospace Science and Technology*, 45, 387–397. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2015.06.001>
- Tang, Y., Wu, H., Xu, Z., & Huang, Z. (2012). ADS-B and SSR data fusion and application. *CSAE 2012 - Proceedings, 2012 IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering*, 2, 255–258. <https://doi.org/10.1109/CSAE.2012.6272769>
- Tastambekov, K., Puechmorel, S., Delahaye, D., & Rabut, C. (2014). Aircraft trajectory forecasting using local functional regression in Sobolev space. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 39, 1–22. <https://doi.org/10.1016/J.TRC.2013.11.013>
- Tran, P., Pham, D.-T., Schultz, M., Alam, S., Le, T.-H., & Tran, P. N. (2020). *Short-Term Trajectory Prediction Using Generative Machine Learning Methods Adaptive Large Scale Trajectory Planning View project Data Analytics and Machine Learning View project Short-Term Trajectory Prediction Using Generative Machine Learning Methods*. <https://www.researchgate.net/publication/342706973>
- Trani, A. A., Wing-Ho, F. C., Schilling, G., Baik, H., & Seshadri, A. (2004). A neural network model to estimate aircraft fuel consumption. *Collection of Technical Papers - AIAA 4th Aviation Technology, Integration, and Operations Forum,ATIO*, 2, 669–692. <https://doi.org/10.2514/6.2004-6401>
- Vandehzad, M., & Holmgren, J. (2020). *Efficient flight schedules with utilizing Machine Learning prediction algorithms*. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1480542/FULLTEXT01.pdf>
- VariFlight. (2022). *VariFlight*. <https://www.variflight.com/en/>
- Verdonk Gallego, C. E., Gómez Comendador, V. F., Amaro Carmona, M. A., Arnaldo Valdés, R. M., Sáez Nieto, F. J., & García Martínez, M. (2019). A machine learning approach to air traffic interdependency modelling and its application to trajectory prediction. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 107, 356–386.

<https://doi.org/10.1016/J.TRC.2019.08.015>

Verdonk Gallego, C. E., Gómez Comendador, V. F., Sáez Nieto, F. J., Orensa Imaz, G., & Arnaldo Valdés, R. M. (2018). Analysis of air traffic control operational impact on aircraft vertical profiles supported by machine learning. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 95, 883–903.

<https://doi.org/10.1016/J.TRC.2018.03.017>

Wang, Z., Liang, M., & Delahaye, D. (2017). Short-term 4D trajectory prediction using machine learning methods. *SESAR Innovation Days*.

Wermter, S. (2021). *A Novel Approach to Flight Phase Identification using Machine Learning*.

WordClim. (2022). *Global climate and weather data*.

<https://www.worldclim.org/data/index.html>

Wu, Z. J., Tian, S., & Ma, L. (2020). A 4D trajectory prediction model based on the BP neural network. *Journal of Intelligent Systems*, 29(1), 1545–1557.

<https://doi.org/10.1515/JISYS-2019-0077/MACHINEREADABLECITATION/RIS>

Xu, Z., Zeng, W., Chu, X., & Cao, P. (2021). Multi-Aircraft Trajectory Collaborative Prediction Based on Social Long Short-Term Memory Network. *Aerospace 2021*, Vol. 8, Page 115, 8(4), 115. <https://doi.org/10.3390/AEROSPACE8040115>

Yang, K., Bi, M., Liu, Y., & Zhang, Y. (2019). LSTM-based deep learning model for civil aircraft position and attitude prediction approach. *Chinese Control Conference, CCC, 2019-July*, 8689–8694. <https://doi.org/10.23919/CHICC.2019.8865874>

Yildirim Dalkiran, F., & Toraman, M. (2021). Predicting thrust of aircraft using artificial neural networks. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 93(1), 35–41.

<https://doi.org/10.1108/AEAT-05-2020-0089>

Zeng, W., Chu, X., Xu, Z., Liu, Y., & Quan, Z. (2022). Aircraft 4D Trajectory Prediction in Civil Aviation: A Review. In *Aerospace* (Vol. 9, Issue 2). MDPI.

<https://doi.org/10.3390/aerospace9020091>

Zeng, W., Quan, Z., Zhao, Z., Xie, C., & Lu, X. (2020). A Deep Learning Approach for Aircraft Trajectory Prediction in Terminal Airspace. *IEEE Access*, 8,

151250–151266. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3016289>

Zeng, W., & Zhibin, Q. (n.d.). *Aircraft Trajectory Prediction Using Deep Long*

*Short-Term Memory Networks*. <https://doi.org/10.1061/9780784482292.012>

Zhang, C., Zhang, X., Shi, C., & Liu, W. (2016). Aircraft Trajectory Prediction Based on

Genetic Programming. *Proceedings - 2016 3rd International Conference on*

*Information Science and Control Engineering, ICISCE 2016*, 158–162.

<https://doi.org/10.1109/ICISCE.2016.44>

Zhang, H., Huang, C., Xuan, Y., & Tang, S. (2020). Real-time prediction of air combat

flight trajectory using GRU. *Xi Tong Gong Cheng Yu Dian Zi Ji Shu/Systems*

*Engineering and Electronics*, 42(11), 2546–2552.

<https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-506X.2020.11.17>

Zhang, X., & Mahadevan, S. (2020). Bayesian neural networks for flight trajectory

prediction and safety assessment. *Decision Support Systems*, 131, 113246.

<https://doi.org/10.1016/J.DSS.2020.113246>

## **Aplicaciones Industriales, ambientales y académicas de los drones que utilizan termografía Infrarroja: Una revisión**

### **Industrial, environmental, and academic applications of drones using Infrared Thermography – Review**

<sup>1</sup>Didier Aldana Rodríguez <sup>[6483-9580]</sup>, <sup>1</sup>Biviana Valentina Suarez <sup>[9243-1785]</sup>, <sup>1</sup>Rubert Esteban Betancourt Olaya <sup>[3814-9201]</sup>, <sup>1</sup>Julián Felipe Sánchez Roberto <sup>[3556-6405]</sup>, <sup>1</sup>Gabriela Benavides Cotrino <sup>[0415-3616]</sup>, <sup>1</sup> Gabriel Esquivel Huertas<sup>[2391-8767]</sup>, y Rosa <sup>1</sup>Camila Gómez Arévalo <sup>[0644-6196]</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Aviación del Ejército.

**Resumen.** La termografía es una técnica de ensayos no destructivos sin contacto que se le agrega valor al ser articulada con los drones, permitiendo realizar diversas aplicaciones principalmente en la inspección de obras civiles, campos de celdas fotovoltaicas, la agricultura y otras aplicaciones ambientales. La cámara infrarroja embarcada en UAV (Unmanned Aircraft Systems) se utiliza ampliamente para detectar la de laminación superficial, humedad y pérdidas de energía entre otras anomalías, siendo un sistema rentable que ofrece tiempos de inspección 10 a 15 veces más cortos que las técnicas convencionales. El uso de vehículos aéreos no tripulados para imágenes IRT es un tanto complejo que requiere un técnico experimentado y software de pos procesamiento robusto para el análisis de imágenes, pero es una aplicación que tiene una gran prospectiva y lo hacen un área de investigación interesante, que puede producir resultados de impacto en diferentes campos del conocimiento.

**Palabras clave:** Termografía infrarroja, Drones, Plantas fotovoltaicas, edificios e inspección

**Abstract.** Thermography is a non-contact non-destructive testing technique that adds value by being articulated with drones, allowing various applications to be carried out mainly in the inspection of civil works, photovoltaic cell fields, agriculture and other environmental applications. The infrared camera on board UAVs (Unmanned Aircraft Systems) is widely used to detect surface delamination, humidity and energy losses among other anomalies, being a cost-effective system that offers inspection times 10 to 15 times shorter than conventional techniques. The use of UAVs for IRT imaging is somewhat complex, requiring an experienced technician and robust post-processing software for



image analysis, but it is an application that has great prospects and makes it an interesting research area, which may produce impact results in different fields of knowledge.

**Keywords:** Infrared thermography, Drones, Photovoltaic plants, buildings and inspection

## 1. Introducción

Las inspecciones de estructuras y componentes industriales y de energía son necesarias para mantener operaciones seguras con el objetivo de extender la vida útil y garantizar la confiabilidad a través de aprobaciones regulatorias. Un proceso sostenible que garantiza la eficiencia energética (Morgenthal, (2014). Esta inspección consiste en realizar un monitoreo de la condición estructural utilizando la tecnología de pruebas no destructivas (END) para detectar discontinuidades en los materiales, errores en los componentes estructurales y energía desperdiciada sin afectar la física. Incluye evaluaciones periódicas para Componente o estructura a ensayar.

Hoy en día, las inspecciones de infraestructura se realizan principalmente mediante inspecciones visuales equipadas con sensores y cámaras especialmente diseñadas para capturar imágenes y datos de alta resolución, que revelan cambios en las propiedades físicas, posibles defectos y discontinuidades en los componentes estructurales. Estas inspecciones son realizadas por inspectores que utilizan métodos manuales para acceder al edificio a través de escaleras, andamios, montacargas y helicópteros tripulados, utilizando cuerdas y arneses para llegar al edificio.

.De acuerdo con las inspecciones visuales en (Morgenthal, (2014) (Hallermann, 2015) la inspección completa y la evaluación detallada del estado de los puentes son costosas, técnicamente complejas y requieren mucho tiempo. Especialmente la recopilación de datos y la generación de imágenes son las etapas más importantes y exigentes. La inspección visual de puentes es para detectar defectos tales como grietas, hendiduras, corrosión, porosidad, delaminación, pérdida de material en aisladores cerámicos y conexiones eléctricas deficientes. La detección precisa de estos defectos requiere la adquisición de imágenes de alta resolución a distancias determinadas por las especificaciones y características de la cámara y el sensor utilizados, así como las características de la imagen. Según, (Hallermann, 2015) estos aspectos limitan, dificultan o impiden que los inspectores accedan a ciertas partes de la estructura, limitan la cantidad, calidad y claridad de las imágenes disponibles para los inspectores, crean un estado de cosas subjetivo. Los resultados y las decisiones se basan en el análisis de una o más imágenes. Ante estas limitaciones, el uso de un sistema de vehículos aéreos no tripulados (UAS) equipados con una cámara de infrarrojos como plataforma de visualización y recopilación de datos e imágenes es un método innovador y sencillo de control y seguimiento que supone una importante ventaja frente a los métodos tradicionales y el uso

de aeronaves tripuladas. Hoy en día, las inspecciones de infraestructura se realizan principalmente mediante inspecciones visuales equipadas con sensores y cámaras especialmente diseñadas para capturar datos e imágenes de alta resolución, que revelan cambios en las propiedades físicas, posibles defectos y discontinuidades en los componentes estructurales. Estas inspecciones son realizadas por inspectores que utilizan métodos manuales para acceder al edificio a través de escaleras, andamios, montacargas y helicópteros tripulados, utilizando cuerdas y arneses para llegar al edificio Escalar, peligros potenciales y condiciones de trabajo duras si un inspector se encuentra con un accidente eléctrico.

Según ( Hallermann N. G., 2014) el nombre más común para estos vehículos es el término vehículo aéreo no tripulado, pero en los últimos 30 años el término ha evolucionado de vehículo aéreo no tripulado (UAV) a términos más específicos como vehículo aéreo no tripulado (UAV). Hizo. .Aeronaves a Control Remoto (RPAS).) Y sistemas aéreos no tripulados (UAS), términos y acrónimos utilizados por científicos y académicos, autoridades aeronáuticas (OACI, I. C., 2015), (European Aviation Safety Agency - EASA , 2005), (UAEAC, U. A. , 2020) y empresas que fabrican o mantienen sistemas de aeronaves. i) El vehículo aéreo no tripulado, ii) el control terrestre estación, y iii) el enlace de comunicación entre la aeronave y la estación terrestre (Adabo, 2013), (Valavanis, 2014) (Ułanowicz, 2017) de ahí el nombre de sistema. , vuelo estable de la aeronave. Según EE. UU., los UAS podrían habilitar sistemas con cierto grado de automatización y control a través del pilotaje remoto por parte de humanos en tierra, vuelo autónomo bajo control de computadora o una combinación de ambos. La Agencia Nacional de Seguridad de Carreteras (NHTSA) (NHTSA & SAE International , (2014), accessed March 2017)se puede dividir a 6 niveles. I) Nivel 0. El segundo es admitir vuelos estáticos y de mantenimiento, ya que el modo de vuelo es por primera vez para mantener la altura del vuelo dinámico. Iii) El nivel 2 se navega en varios modos de vuelo proporcionado por el piloto, manteniendo la autonomía sin cambios inesperados durante el vuelo IV. ) A diferencia de los niveles de nivel 2, 3 y anteriores, el UAS incluye un cambio en el entorno de vuelo y un nuevo entorno Control v) Nivel 4. El sistema, el sistema y el UAS pueden responder y reaccionar) El nivel 5 puede navegar por autonomíaen todos los entornos y situaciones (Aldana, 2021) Actualmente, la prueba de frontera se prueba principalmente T. Se realiza. La alegría respaldada por sensores y cámaras está especialmente diseñada para detectar con precisión características físicas y fallas potenciales y obtener datos e imágenes de alta resolución que no son componentes estructurales continuos. Estas pruebas fueron realizadas por inspectores utilizando un método manual para acceder a edificios a través de escaleras.

Los UAS también se dividen en dos tipos según los modos de despegue y aterrizaje. Uno es el despegue y aterrizaje horizontal (HTOL), que se caracteriza por alas fijas, largo alcance y alta velocidad. Otro tipo es el de despegue y aterrizaje vertical (VTOL), que tiene una o más palas giratorias y se caracteriza por su capacidad para mantener un vuelo estacionario estable (Pratt, 2009), (Sa, 2014), lo que es ventajoso para las inspecciones de

puentes. VTOL es más lento que HTOL, pero más pequeño, más ligero y más caro. Según la configuración y el número de motores, las aeronaves de despegue y aterrizaje vertical se dividen en helicópteros y aeronaves polivalentes, siendo estas últimas utilizadas principalmente para fines civiles.

Porque se maneja bien, y es asequible. Si tiene 3 motores se llama tricóptero, si tiene 4 motores se llama cuadricóptero, si tiene 6 motores se llama hexacóptero y si tiene 8 motores se llama octocóptero (Cho, 2014). Un multirrotores tiene cinco componentes básicos (I. Gaponov and A. Razinkova, 2012), (Javir, 2015): i) un marco de plástico, fibra de carbono, madera o aluminio, ii) un conjunto de rotor de motor con una hélice de paso fijo. Vinculado a una rotación completa de 360° de la hélice conectada a un motor sin escobillas ubicado en el brazo del bastidor para una mayor eyección de aire), iii) Controlador electrónico de velocidad (ESC), motor basado en las RPM requeridas para la operación/min El dispositivo de control actual está controlado por el control de modulación de ancho de pulso (PWM). iv) Los multirrotores también utilizan un controlador de vuelo (FC). Puedes pensar en él como el cerebro del dron, enviando señales de comando al ESC. , en respuesta a la señal FC (Rx) transmitida por el receptor de la estación terrena (Tx), la señal generada por el comando recibido y la señal recibida de la FC interna y/o externa de otro tipo de sensores (Juniper, 2018.). Estos sensores, típicamente giroscopios, acelerómetros, barómetros y magnetómetros, permiten que el FC determine la actitud, la altitud, la velocidad y la posición de la aeronave, y cuentan con la ayuda de los sistemas de navegación. Los satélites pueden ser GPS o GLONASS. v) Posee una batería de polímero de litio (LiPo) que alimenta la electrónica del dron, con alta densidad de potencia y energía eléctrica (Elliott, 2016). La historia de la termografía infrarroja se remonta al siglo XIX, cuando Sir William Herschel descubrió la radiación térmica fuera del espectro visible. Usando un termómetro, midió el área fuera de la parte roja del espectro visible producido por el prisma. Demostró que existe una radiación invisible cuya energía se puede determinar por el calor que produce, y que esta radiación, a la que llamó infrarroja, obedece a las mismas leyes que la luz visible. Sin embargo, los primeros detectores para este tipo de radiación no se desarrollaron hasta 1830 y se basaron en el principio del termopar, denominado celda termoeléctrica (Gaussorgues & Chomet, 2012)

Los balómetros se introdujeron en 1880 y mejoraron en gran medida la sensibilidad de la detección infrarroja. Se basa en un material cuya resistencia cambia con la temperatura y mide la cantidad total de radiación emitida por un objeto en todas las longitudes de onda. Desde la década de 1870 hasta la de 1920, la tecnología avanzó con los primeros detectores cuánticos basados en la interacción de la radiación y la materia. Entre 1930 y 1944, el detector de sulfuro de plomo (PbS) se desarrolló para uso militar con espectroscopia infrarroja para mejorar la sensibilidad y el rango de detección. En las décadas de 1940 y 1950, este rango de detección se amplió utilizando antimonio de indio (InSb) (Gaussorgues & Chomet, 2012)

Durante la Segunda Guerra Mundial, las propiedades de la radiación infrarroja se utilizaron principalmente con fines militares. Unos años más tarde, la invención de los misiles guiados por infrarrojos aumentó el interés en el tema y las guerras que siguieron se intensificaron. En 1960, los detectores de telurio, mercurio y cadmio probaron la región del infrarrojo lejano. La empresa sueca AGA comercializó la primera cámara infrarroja para uso doméstico y comercial en 1963, coincidiendo con la publicación del primer artículo científico de la nueva Academia de Ciencias (OACI, I. C., 2015)

Las primeras cámaras infrarrojas cómodas y fáciles de usar aparecieron en la década de 1980, y el advenimiento de la era digital a mediados de la década de 1990 condujo a un rápido desarrollo de cámaras, reducción de costos y aumento de las aplicaciones de consumo.

Durante los últimos 30 años, las cámaras termográficas han demostrado ser una herramienta eficaz para el mantenimiento predictivo. Se basa en que cuando la temperatura del equipo sube, indica una desviación en su funcionamiento, lo que ayuda a encontrar de manera rápida y segura el problema existente sin interrumpir el funcionamiento normal del equipo (Neita Duarte, 2014). La termografía infrarroja (Balageas, 2007), (Bagavathiappan, 2013), (Jadin, 2012), (Korendo, 2001) es una técnica de evaluación no destructiva (NDE) ampliamente utilizada, y este éxito se debe a la variedad de procesos y eventos que puede cubrir y la velocidad a la que se adquieren las imágenes para monitorear la condición y/o condición del equipo. y/o componentes (Huda, 2013). Actualmente, la termografía se utiliza con éxito en la investigación, la caracterización de materiales y el control de estado en diversas industrias (Younus, 2012), por ejemplo: control de estado de equipos y componentes eléctricos (Shen, 2007), (Bagavathiappan S. S., 2008), (Meola, 2004) control de equipos industriales (Ummenhofer, 2009), (Avdelidis, 2003), (Márquez, 2012), costuras de soldadura de diagnóstico. (Luong, 1995), (Vadivambal, 2011), diagnóstico de componentes y materiales en la industria aeroespacial (Wyckhuyse, 2001), (Balaras, 2002), caracterización y análisis de materiales metálicos (Ring, 2012), e incluso puede ser utilizado en la industria alimentaria, carpintería, construcción y otros no industriales. Industrias de la salud y otros departamentos (Aldana D. , 2018)

## **2. Metodología**

Se realizó una revisión sistemática de literatura usando el método definido, a través de las herramientas SCOPUS para encontrar el espacio académico relevante (RAVE, 2011). De los cuales hasta el momento se ha usado un espacio relevante de 203 artículos, el proceso de búsqueda de información todavía se encuentra en desarrollo de los cuales lo que eran más pertinentes y se tomaron como foco de la investigación fueron 61

palabras clave para la búsqueda				
I. UAV				
II. DRONE				
III. APLICATION				
IV. THERMOGRAPHY				
	I.	II.	III	IV
203 artículos	92	50	24	37
Exclusión de investigaciones no relevante:				
101 artículos	32	30	29	10
Filtros de acuerdo con los criterios de selección				
61	11	12	5	33

Figura 1. Metodología de investigación espacio literario relevante (RAVE, 2011)

El objetivo general del estudio es realizar un estado del arte de las aplicaciones con drones y cámaras termográficas Para este propósito, se creó un método simple basado en estándares internacionales. Para abordar y contextualizar este tema, se realizó una búsqueda de información de literatura científica utilizando la base de datos SCOPUS, con la las siguientes ecuación de búsqueda: Infrared Thermography & UAS or RPAS or DRONE & Applications: arrojó un total de 203 referencias que aplicando filtros de la aplicación relacionados con ingeniería se redujeron a 101. Para seleccionar las 61 fuentes que fueron se realizó un análisis sistemático de literatura descrito en (RAVE, 2011). Las 203 referencias de SCOPUS fueron exportadas al programa Vosviewer, una herramienta de software para construir y visualizar redes bibliométricas para encontrar correlaciones entre estudios y palabras clave, lo que permite un análisis preciso y definición de análisis de potencia. En los edificios se utilizan cámaras térmicas como la abreviatura de IRT (InFred Testing) en inglés; La figura 1 muestra la correlación entre los estudios que utilizan palabras clave; el diámetro de los nodos representa la densidad y frecuencia de ocurrencia de las palabras clave, lo que permite seleccionar los nodos más relevantes para el estudio.



en valores térmicos. Evaluando la información obtenida a través de una cámara termográfica IR (o Workswell WIRIS) llevando a cabo análisis espectrales mediante el software Corel Player, proporcionando la recopilación de datos, almacenamiento y visualizando todos los datos obtenidos para su análisis. Se realizaron tres estudios a diferentes distancias y ángulos en tres escenarios: i) C1: con polvo en un borde, ii) C2: 75% libre de polvo y 25% con polvo y C3: lleno de polvo; en tres paneles Z1, Z2, Z3 y Z4 evaluándose en diferentes condiciones de temperatura ambiente. Los resultados demuestran que al haber presencia de polvo en cualquier área del panel, las temperaturas son más bajas, en todos los casos propuestos se obtuvieron casi los mismos resultados, ya que al no haber presencia de polvo estos presentan una mayor temperatura, teniendo mayor luminosidad captada por la cámara termográfica. Debido a sus ventajas, se propone implementar el sistema en áreas industriales de plantas fotovoltaicas con el fin de realizar un mantenimiento predictivo cuando sea necesario, reduciendo costos en mantenimiento y tiempo de operación, que se ven representados en la eficiencia de cada compañía.

En (Vergura) se dan a conocer posibles soluciones basadas en las numerosas aplicaciones de los UAV en los sistemas de inspección IR en plantas fotovoltaicas, apoyado en las normativas de vuelo de la EASA (Agencia Europea de Seguridad Aérea, proponiendo soluciones para las mejoras de la inspección en Europa. El uso de UAV para la inspección y monitoreo de plantas fotovoltaicas (PV), con análisis (IR) presenta una manera eficaz y fiable para detectar cualquier anomalía o defecto en los módulos fotovoltaicos, representando disminución de costos de mantenimiento y tiempo de revisión al tratarse de plantas fotovoltaicas, sin embargo, el uso de UAV deben cumplir con normas establecidas por la EASA que definen las restricciones para el vuelo de UAV en Europa (limitaciones de áreas geográficas) según su ubicación y altura en cada país. Se realizó un análisis bibliográfico, en base a tres factores: i) Reglas nacionales e internacionales de la UE del uso de UAV según el reglamento UE 2019/947 que clasifica las actividades según categorías, abierto, específico y certificado; estas dependiendo de la zona geográfica de cada país y las limitaciones que tengan del espacio aéreo. ii): se describe el sistema hardware-software en la inspección de módulos fotovoltaicos mediante UAV y cámaras IR y iii) Problemas presentes en las células fotovoltaicas, debido al polvo en los módulos y otros factores que pueden representar una inadecuada lectura de datos; recomendando tomar las imágenes en temperaturas normales con cielo despejado y tener en cuenta la humedad del ambiente entre otros factores. Finalmente se concluye que al hacer inspecciones con UAV con cámaras IR, permiten una disminución en tiempo y costos para una planta fotovoltaica, sin embargo, se deben tener parámetros en cuenta, como los reglamentos de uso de UAV en cada país, ya que cada uno tiene reglas diferentes según su espacio aéreo, se proponen soluciones de posibles problemas presentados en el procesamiento de imágenes, como condiciones de temperatura, emisividad, ángulo, distancia o defectos de cada módulo.

En (Álvarez-Tey, 2022) Se propone una metodología para inspecciones termográficas IR de plantas fotovoltaicas, permitiendo detectar anomalías, fallos u incidentes en los

módulos fotovoltaicos; Trabajando con los UAV se prevee una inspección más rápida, precisa y acertada; detectando posibles fallas y llevando a cabo un correcto mantenimiento en los módulos fotovoltaicos de una planta de generación eléctrica. Con base en el alto crecimiento del sector fotovoltaico y la búsqueda de energías renovables que permitan reducir el impacto ambiental, las plantas fotovoltaicas han ido aumentando su capacidad de potencia para la producción de energía; es por esto que mediante las inspecciones de imágenes térmicas con UAV permiten proporcionar gran flexibilidad y validez, obteniendo lecturas adecuadas a nivel aéreo y de suelo, evaluando fallas mediante la termografía IR y brindando técnicas de mantenimiento eficaces para localizar incidentes térmicos. La inspección implementada se realizó por medio de un octacóptero ATYGES FV8 y dos cámaras, Workswell WIRIS 336 y ThermaCam S60; este proceso se desarrolla por medio de dos etapas, una de inspección aérea detectando rápidamente las incidencias más relevantes a una altura de 15m en intervalos de registro termográfico de 2s, 3s y 5s; y otra más detallada a nivel del suelo permitiendo mejorar la detección hecha en la primera etapa; obteniendo valores que serán utilizados por el software termográfico y clasificándolos según las medidas radiométricas, determinando el fallo en cada módulo. Se determinó que en la primera etapa hubo un reconocimiento de fallas e incidentes de manera rápida y concisa determinando su ubicación correcta y permitiendo realizar una adecuada inspección en la segunda etapa, por lo que gracias a sus imágenes térmicas IR de alta resolución se delimitaron las anomalías térmicas de cada celda de los módulos. El estudio permitió conocer diversos factores que pueden irrumpir en la lectura de datos como la vegetación u objetos presentes en las imágenes, así como también el cambio de los datos por las variaciones de la temperatura ambiente, incidencia térmica, radiación solar y reflejos de calor, que afectan interpretación de los datos; Sin embargo este método es de gran eficacia debido a su mejora en la calidad de mantenimiento, por lo que es más versátil y menos costoso; siendo factores de gran importancia al hablarse de plantas fotovoltaicas.

El (Fernández, 2020)aborda el tema del uso de drones enfocados a la eficiencia y la rentabilidad de las plantas fotovoltaicas ya que están altamente controladas por sus procedimientos de operación y mantenimiento, porque actualmente el diagnóstico eficaz de cualquier posible fallo de las plantas fotovoltaicas sigue siendo un desafío técnico y económico, especialmente cuando se trata de plantas fotovoltaicas a gran escala. Este monitoreo de la planta fotovoltaica se lleva a cabo mediante mediciones de rendimiento eléctrico o procesamiento de imágenes. El primer enfoque presenta una capacidad de detección de fallas limitada, costosa, requiere mucho tiempo y es incapaz de identificar rápidamente la ubicación física de la falla. El segundo utiliza imágenes de termografía infrarroja para la caracterización de fallas de módulos fotovoltaicos, pero su configuración y procesamiento son bastante complejos y se requiere un técnico experimentado, por lo tanto el uso de vehículos aéreos no tripulados para imágenes IRT (Infrared Testing) de plantas fotovoltaicas para monitorear el estado de salud de los módulos fotovoltaicos se ha identificado como un enfoque rentable que ofrece tiempos de inspección 10 a 15 veces más cortos que las técnicas convencionales. Esta investigación proporciona un enfoque



completamente automatizado para detección, clasificación y geo posicionamiento de los defectos térmicos en los módulos fotovoltaicos. Inicia desde la toma de capturas termográficas a las celdas que se desean analizar que luego pasan a un algoritmo que clasifica y aparta aquellos pixeles que no pertenecen a la muestra de interés, así mismo, separa cada celda previamente analizada del total de celdas para estudiar las imperfecciones que la misma contiene, clasificando por colores el estado físico donde rojo significa que presenta imperfecciones muy relevantes, amarillo, que las imperfecciones no afectan el funcionamiento a corto plazo, y el verde, que las celdas se encuentran en excelente estado. El sistema fue probado en una planta fotovoltaica real en España. Los resultados obtenidos indicaron que se puede implementar una solución autónoma para una caracterización completa de los defectos térmicos.

En (Vergura S. , 2020) Se describe como el desarrollo tecnológico de los dispositivos fotovoltaicos ha avanzado considerablemente, pero los módulos fotovoltaicos comerciales no muestran mejoras análogas y su eficiencia sigue siendo baja. Por lo tanto, este artículo afirma que es importante contar con una herramienta de diagnóstico que pueda comprobar el funcionamiento actual de los módulos fotovoltaicos instalados. En este escenario, un vehículo aéreo no tripulado, equipado con una cámara infrarroja, representa una nueva vía para la evaluación rápida de fallas en plantas fotovoltaicas grandes o de difícil acceso y el descubrimiento de fallas fotovoltaicas. La termografía tiene la ventaja de no requerir desconectar el sistema fotovoltaico durante la inspección. Sin embargo, algunos parámetros específicos, como la emisividad, la temperatura reflejada y la resolución, se fijan durante la adquisición, incluso si sus valores dependen de la posición mutua entre la cámara IR y los módulos fotovoltaicos. El movimiento del UAV, equipado con una cámara IR, modifica la posición de la cámara IR, y debido a este movimiento, los valores de los parámetros pueden ser incorrectos durante la adquisición, lo que también se traduce en errores en el mapa radiométrico. El trabajo muestra que el análisis IR permite monitorear las plantas conectadas sin necesidad de desconectarlas. Esta es la razón principal del gran uso del análisis IR para detectar defectos en los módulos fotovoltaicos. Por último, concluye que primero es necesario resolver los problemas críticos, algunos de ellos involucran la configuración de la cámara UAV-IR, por ejemplo, la altura de vuelo y la velocidad del UAV. Estos problemas deben ser manejados por los técnicos antes y durante la adquisición de datos. Además, se propuso una ecuación semiempírica para el diagnóstico de los módulos fotovoltaicos, así mismo, se presentan dos ecuaciones para los valores estándar de emisividad siendo útiles para corregir el mapa térmico durante el posprocesamiento, pero además son necesarias para evitar errores radiométricos.

En (Fryskowska-Skibniewska, 2022). se desarrolló un algoritmo capaz de procesar imágenes térmicas que permitan la calibración geométrica rápida y de bajo costo para la cámara FLIR VUE PRO por medio de UAV para realizar pruebas de campo, mediante métodos de procesamiento de imágenes, determinando el impacto de la estructura/patrón según la calibración geométrica y las condiciones a los que se vean expuesto, con el objetivo de mejorar la calidad de toma de los termogramas. Proponen diferentes etapas

para la investigación, basadas en la preparación de patrones y materiales de calibración, determinando las condiciones a las que serán expuestas, y la validez de los métodos utilizados para el procesamiento de imágenes según las condiciones para su medición y operación. El experimento se llevó a cabo con un UAV ( DJI Phantom 3 Standard) y una cámara térmica (FLIR VUE PRO 640 R) para la primera etapa se realizaron ensayos de calibración 2D con diversos materiales de alta y baja emisividad, posterior a esto realizaron diferentes campos con cuatro tipos de patrones poniendo en prueba la calibración radiométrica en programas como Image Master, PhotoModeler y Matlab, por último se realiza el procesamiento de imágenes, donde se analiza la influencia de diversos factores en la medición; proponiendo métodos en la optimización de imágenes mejorando la calidad de obtención para la calibración geométrica. Al realizar el estudio los resultados obtenidos representaron variaciones por calibración, temperatura ambiente, calidad de imagen y nitidez. Los algoritmos propuestos para el procesamiento de imágenes demostraron que no solo se debe tener en cuenta las condiciones atmosféricas, sino también los métodos de mejora para la calidad de imágenes. Donde el mejor procesamiento de imágenes fue el de configuración de brillo y contraste dando una efectividad superior al 80%. La investigación concluyó que al comparar elementos con diferentes emisividades se debe tener en cuenta su composición química y estructural, materiales como el algodón causan irregularidades en los resultados finales. Finalmente se debe considerar la precisión de la calibración ya que esta se puede reducir con imágenes con geometría y contrastes incorrectos.

### **3.2 Inspección de edificios**

En (Lee, 2021). Se llevó cabo una evolución energética de techos de edificaciones, y la influencia que el color de la pintura (negro, azul, verde, gris y blanco) en la retención de energía en regiones de clima frío. La evaluación se realizó mediante una cámara termográfica infrarroja montada en un UAV, se compararon los resultados de la cámara termográfica infrarroja con los obtenidos con un termómetro láser. La evaluación se llevó a cabo en (Shenzhen, Guangdong, China), esto para determinar qué color podría mantener una temperatura cálida en los techos en las regiones de clima frío y la diferencia de temperaturas entre los otros colores puestos a prueba.

Se tomaron datos de la cámara TIR con el uso de un UAV, se compararon mediante tablas, ecuaciones, gráficas, imágenes, se seleccionó el área de estudio, análisis de correlación entre la temperatura superficial y la temperatura interior de la edificación y por último se hace la selección efectiva del color del techo cálido. Encontrando una diferencia de temperaturas en cada color, el más eficiente fue seleccionado para un techo cálido. Se evaluaron dichos colores en un tiempo de 4 meses (16 semanas), se obtuvieron gráficas con valores semanalmente para así llevar un estimado y tener una comparación clara y evidente entre la temperatura superficial vs la temperatura interior. Se observó que el color negro tiene la temperatura más alta y el color blanco tiene la temperatura más baja. Finalmente se obtuvo que hay varios métodos para reducir la pérdida de calor, pero esos métodos son costosos y demandan bastante tiempo, tienen un grado de dificultad elevado

aplicado a varias edificaciones. Este podría ser uno de los métodos más amigables con el medio ambiente ya que es mediante la absorción de luz solar o natural. Llegaron a la conclusión de que el color blanco es el color que refleja bastante luz y el color negro por el contrario la absorbe, por lo tanto el color blanco es aplicado a los techos frescos y el negro a los cálidos. En futuras investigaciones, se puede llevar a cabo múltiples análisis de regresión y comparación de temperaturas teniendo en cuenta el material del techo, el espesor y la forma.

En (Daffara, 2020) se propuso un sistema simple y rentable para la termografía aérea 3D de edificios, para prestar en mayor y especial atención a la elección de instrumentos y software de reconstrucción para elaborar un análisis 3D por medio termográfico de un edificio. fue elaborado un estado del arte de diferentes proyectos que se han hecho con anterioridad y recopilando información de estos de los hardware y software que se utilizaron, y haciendo una comparación entre estos para identificar cuáles son las ventajas y desventajas de cada sensor se escoge un sensor con el que se describe el sistema, pasando por un algoritmo de detección de manchas basado en la intensidad y por último dan algunos resultados experimentales virtuales para validar la propuesta a través del simulador Coppeliasim.

El sistema únicamente se validó con una cámara FLIR Duo R puesto que, si bien la FLIR C2 es una cámara termográfica dual visible, el tamaño limitado del sensor de luz no proporciona suficiente resolución espacial para su aplicación en el campo de la reconstrucción 3D aérea. De hecho, para una reconstrucción 3D densa, la resolución de la imagen debe ser lo suficientemente alta como para capturar la textura de la superficie reconstruida. En las reconstrucciones 3D generadas, es evidente que el método propuesto es capaz de mapear información térmica con una precisión aceptable. Se tomaron imágenes 2D y después de la calibración fue posible reconstruir el 3D en la banda visible con técnicas SFM (Structural From Motion) y luego agregar la información térmica. El sistema propuesto cumplió con su cometido porque demostró que con un sistema simple y rentable se pueden obtener datos aceptables para el análisis termográfico 3D de un edificio y no acudir siempre a los sensores LiDAR que aunque son más eficaces y arrojan alta precisión espacial son más costosos que el sistema propuesto. Se propone seguir investigando y avanzando en tecnología que siga siendo rentable económicamente pero que dé competencia a sensores de muy alto costo como se han visto en otras industrias, que a menor costo se pueden encontrar competidores dignos que pueden representar un auge en esta gama.

En (Ficapal, 2019) Se implementó un control climático en edificios ensamblado a partir de múltiples paneles de vidrio para soportar cargas externas como el viento o la lluvia y falla del sistema de aislamiento que crea áreas de resistencia de puente térmico reducida. Identificar fachadas térmicas. Puentes en el sistema, con pocas molestias para los residentes. Para evaluar el sistema de control se usaron cámaras térmicas infrarrojas embarcadas en vehículos aéreos no tripulados (UAV). El envejecimiento puede causar una

degradación menor del material en áreas como interfaces y selladores. Se compararon los resultados de usar una sonda y las medicaciones con el UAV, se observó poco efecto sobre la distorsión del material del marco del puntal y la radiación del cuerpo, ya que la diferencia entre los datos de temperatura de la sonda experimental y la cámara infrarroja fue muy pequeña.

En (Mayer, 2021) . Describen un método para detectar gradientes térmicos en imágenes de termografía aérea y caracterizarlos en términos del riesgo de formación de moho en edificios, pérdidas de energía, costos de actualización y beneficios de actualización. Utilizando un conjunto de datos recopilados por drones en el área urbana de la ciudad alemana de Karlsruhe, fue posible identificar los tipos de gradientes térmicos que se pueden detectar de manera confiable en las imágenes térmicas. Clasificaron y caracterizaron 14 tipos de gradientes térmicos asociados con edificios alemanes en las décadas de 1950 y 1960. Las fotos aéreas se pueden tomar de forma más rápida y económica desde todos los ángulos, incluidos los tejados. Por lo tanto, las imágenes térmicas de drones son ideales para el análisis de edificios en sitios/ vecindarios/ comunidades. En aplicaciones prácticas, la fotografía aérea térmica tiene un gran potencial para obtener información sobre inventarios de edificios en preparación para la modernización de varios edificios. Una desventaja de las imágenes térmicas de campo amplio de UAV es la falta de registros térmicos internos del edificio y la falta de información detallada sobre los materiales y métodos de construcción individuales. Por lo tanto, el método de análisis de edificios a escala del sitio propuesto en este estudio debe funcionar con supuestos simplificados. Los resultados analíticos basados en suposiciones simplificadas pueden ser inexactos y sesgados.

En (Bae, 2022) proponen un sistema llamado SMART SKY EYE, este se basa en los vehículos aéreos no tripulados para la detección de defectos en estructuras y evaluar el nivel de seguridad previo a efectuar una inspección de seguridad convencional, realizada por inspectores. Para la implementación de esta propuesta se utilizaron los UAV Intel Falcon 8+ y el DJI Phantom 3 Standard, junto a estos, cámaras de alta resolución y termográficas que con la ayuda de un software llamado Pix4D, calcula automáticamente la distancia de muestra del suelo, de disparo, focal de la cámara, coordenadas 3D. Se llevó a cabo un modelado 3D a través del mapeo que ofrece el software, y al mismo tiempo que va fotografiando el edificio o estructura este va mejorando su eficiencia topográfica gracias a algoritmos de aprendizaje automático.

Se hicieron estudios en tres edificios, en el primer caso se realizó una inspección del exterior con el método propuesto y se pudieron encontrar grietas reticulares, trazas de óxido, desconchado y acero expuesto, fuga de agua y blanqueamiento, y decoloración en el primer caso. En el segundo caso se pudo medir la inclinación del edificio, “el resultado integrado fue una calificación de nivel 2, o “uso limitado del edificio”. El resultado total se calificó como nivel 3 (peligro) según la regla de selección del nivel de riesgo más alto.”Y en el último edificio se realizó una inspección profunda de grietas donde en la parte

inferior del mismo se encontraron tres grietas, cada una con una profundidad de 80, 60 y 60 mm respectivamente.

Gracias a las capacidades que tiene SMART SKY EYE las tecnologías de inspección de emergencia tomarán una objetividad más eficaz y será más fácil monitorear y administrar la seguridad tanto del personal humano como el de los edificios utilizando los datos digitales recibidos. Como limitaciones se tienen que aún faltan por mejorar estos métodos propuestos para poder tener una buena fiabilidad de este, ya que permite resguardar la seguridad de los operarios, es mucho más rápido para inspeccionar y no tan costoso a comparación del método convencional, pero debido a esto se propone crear un big data adicional para mejorar la eficiencia del aprendizaje de algoritmos, junto con la fabricación de varios imitadores de grietas y aprender a mejorar la precisión de la información real de las mismas.

En (Benz, 2021) Evaluaron el rendimiento energético de edificaciones implementando UAS, cámaras termográficas y RGB (Red, Green Blue). Mediante características y parámetros físicos, se implementa el uso de un modelo tridimensional básico con el objetivo de determinar características térmicas de edificaciones tomando como base el valor U como indicador, usando como objeto de referencia (Schule an der Hart), generación de rutas de vuelo UAS, aplicación de análisis de sensibilidad en objetos de referencia, reconstrucción fotogramétrica 3D, estimación del valor U, evaluación del rendimiento energético, tablas comparativas, gráficos de barras, diagramas de flujo, simulación de modelos de arquitectura, cámaras RGB y telegráficas.

Obteniendo la identificación de las posiciones de los par de sensores de la edificación de la escuela mediante el UAS, se creó un modelo en 3D con un set de imágenes identificando la edificación desde distintos puntos de vista, y finalmente se tomaron los valores u de la edificación propuestos en el marco de la práctica con UAS. Finalmente se concluyó que el marco propuesto para los sistemas basados en UAS, las evaluaciones de eficiencia energética arrojaron resultados prometedores. Para la implementación de UAS basados en la termografía, fue posible generar un termograma en 360 grados de la edificación con la ayuda de las cámaras RGB y termográficas. Como limitación, se determinó la restricción en las aplicaciones de la termografía generalmente a aplicaciones portátiles, por lo tanto se limitan en ángulos de visión, poniendo como desafío la calidad de los UAS implementados en los termogramas deben ser mejorados para así permitir un valor U estimado más exacto en cuestión de transmitancia térmica.

### **3.3 inspección de puentes**

En (Cheng, 2020) se describe cómo las salpicaduras en el fondo de la plataforma de un puente, conocidas como revestimiento de la plataforma, suelen indicar el deterioro del refuerzo debido a la corrosión. Los métodos de ensayo no destructivos (NDT), como las

cámara infrarrojas embarcadas en UAV, se utilizan ampliamente para detectar la delaminación superficial. Realizaron un modelo de aprendizaje profundo (DeepLearning) que utiliza codificador-decodificador para la creación automática de perfiles de clase y así poder mostrar las capacidades del modelo seleccionado. Con estudios experimentales para recopilar datos termográficos de partes de hormigón con delaminación artificial incrustadas a diferentes profundidades en un entorno natural. Implementaron estrategias de aumento de datos para tener más exactitud en la varianza de la muestra para el modelo. El rendimiento del modelo y el efecto de las estrategias de aumento se evalúan a través de conjuntos de datos. Finalmente, proponen un procedimiento llamado detector de ventana deslizante densa, para procesar y componer automáticamente las predicciones del modelo para así poder implementarlo en el puente. Ese modelo de estudio tiende a sobre ajustarse cuando no se introduce ningún aumento en los datos de entrenamiento. Esa observación fue validada mediante la medición en un puente de concreto en servicio. Determinaron que el modelo tenía la intención de predecir falsamente las áreas defectuosas cuando se entrenó con datos aumentados y se validó y probó con datos no aumentados. El modelo sufrió baja precisión y recuperación cuando se entrenó con el conjunto no aumentados y se probó con conjuntos aumentados.

En (Omar, 2017) realizan monitoreo del estado de componentes de un puente Hormigón Armado (CR) y describen la implementación de procedimientos de mantenimiento oportunos son esenciales para reducir los costos de administración del puente. La aplicación de la tecnología de ensayos no destructivos (NDT) es uno de los métodos efectivos para monitorear y predecir el deterioro de las cubiertas de los puentes. Las herramientas de NDT permiten la detección temprana de procesos de deterioro, lo que permite priorizar acciones correctivas. Las pruebas de IRT de los puentes a gran escala tienen como objetivo revelar defectos ocultos. Actualmente, el uso limitado de estas técnicas es en situaciones especiales de inspección donde se detectan defectos y defectos críticos. Dos estudios de casos de cubiertas de puentes demostraron que es posible utilizar imágenes térmicas obtenidas con cámara embarcadas en UAV (Unmanned Aircraft Systems), para recopilar datos de manera rápida y confiable para la evaluación del estado de la cubierta de puentes. Las zonas de fallas del subsuelo identificadas en el sistema propuesto se validaron utilizando otra técnica de NDT, llamada perforación con martillo. Como resultado, se determinó que los UAV pueden proporcionar evaluaciones de tableros de puentes confiables, rápidos y rentables en comparación con los métodos tradicionales que implican inspecciones de tableros de puentes que requieren mucha mano de obra. La capacidad de detección remota del UAV elimina las interrupciones del tráfico y reduce el riesgo asociado con las inspecciones de puentes.

### **2.1 3.4 aplicaciones ambientales**

En (Cheng K. H., 2022 )Este artículo se describió la aplicación de UAV's para monitoreo costeros para detectar la presencia de la bacteria *Escherichia coli* en Yim Tin Tsai en Hong Kong. En 1 año de investigación, se obtuvieron 84 termogramas desde una altura de 70 metros, donde se evidenciaba presencia de *E. Coli*, información que fue procesada y analizada con el software MatLab, hallándose lo siguiente: i) La temperatura media del agua en cada estación del año, ii) se obtuvo una relación de 0.93 entre las muestras termográficas y muestras físicas tomadas en el lugar de la prueba, así como una variación de temperatura de 0.83°C, iii) Los modelos de estimación aplicados para el análisis de los resultados de las pruebas fue el indicado arrojando relaciones cercanas a 1. El estudio de los datos tomados por el UAV permitió la utilización de los mismos sin discriminación de la cantidad a evaluar dentro de un rango de 256, evidenciando que el análisis de concentraciones de *E. Coli* en grandes cantidades es más detectable la con aplicación de termografía infrarroja, pues permite una observación e investigación casi inmediata de grandes cantidades de pruebas recolectadas, lo que se considera un gran avance para la seguridad costera y la salud pública contribuyendo a sistemas de alertas sanitarias para ciudades costeras, sin embargo la capacidad Termográfica de un dron comercial es de 256niveles, por lo tanto no se puede evaluar más datos a partir de este nivel, además, el modelo establecido sólo es aplicable en áreas tropicales o subtropicales en donde la temperatura media del agua costera sea superior a 18.36°C durante todo el año pues los algoritmos fueron diseñados para trabajar sobre este umbral. El artículo propone desarrollar una cámara termográfica de mayor capacidad de toma de datos, establecer algoritmos de estimación para más playas con más profundidad acuática pues así es posible una mayor precisión en la toma de datos y el análisis de los datos puede ser llevado a cabo mediante mejores modelos a través de múltiples regresiones lineales y Machine Learning.

En (Zhou, 2022) realizan el reconocimiento automático de fugas en terraplenes de roca terrestre basado en termografía infrarroja pasiva, UAV y algoritmos aprendizaje profundo, en particular, la erosión por escorrentía es una de las causas más devastadoras del daño a las riberas de los ríos, durante la temporada de inundaciones. Actualmente las inspecciones manuales son la principal forma de detectar derrames en las riberas de los ríos, hecho que genera que la prevención de desastres sea difícil hoy en día.

La identificación de fugas en represas se realiza mediante clasificación de imágenes. En esta investigación aplican termografía infrarroja en una plataforma de simulación de derrames y luego se crea una base de datos de imágenes infrarrojas, con más de 10.000 imágenes de anomalías térmicas en diferentes regiones provocadas por 6 tipos de fugas en presas. Utilizando estas imágenes y un método de aprendizaje por transferencia basado en AlexNet, se busca clasificar e identificar las fugas. La investigación planteaba la detección de fugas en los terraplenes por medio de imágenes infrarrojas buscando las anomalías que pudiese haber por medio de estas imágenes térmicas. Se demostró con más de 10000 imágenes que se tomaron en el estudio, que esta tecnología es altamente eficiente.

Algunas fugas son difíciles de detectar por eso los autores proponen que se estudie más a fondo la detección de fugas desde que están apenas surgiendo, es decir, fugas nuevas que puedan crearse y se deben detectar lo más pronto para actuar.

(Cucho-Padin, 2020) este artículo se desarrolló un software de código abierto de procesamiento de imágenes térmicas obtenidas con un UAV, para mejorar la gestión del riego en cultivos de papa (*Solanum tuberosum* L.) Buscaban detectar por medio de la tecnología infrarroja el cierre de estomas para determinar el índice de estrés hídrico del cultivo y así definir parámetros para el riego de las plantas. el objetivo es mejorar el sistema de riego de los cultivos de papa, bajo una metodología de investigación de otros estudios agrícola que han demostrado ser eficientes por medio de la tecnología infrarroja identificando por imágenes los tejidos sanos y no sanos de la planta y el nivel de estrés que ella presenta por riego excesivo.

Se utilizó material vegetal , dos parcelas con 180 plantas aproximadamente en cada una, se realizó la toma de imágenes y el análisis de las mismas, se realizó comparaciones entre las imágenes, se calculó el umbral basado en el color, y se realizó un análisis estadístico de dos métodos (T1 y T2) implementados con todos los datos recolectados. Se realizaron dos parcelas para hacer la comparación, se concluyó que fue un 60,9% más efectivo en T1 que en T2. Se pudo concluir que la aplicación de este sistema es efectiva para mejorar el sistema de riego de las plantas y reducir el estrés de la planta del cultivo de papa. Se tuvo un limitante y fue que el sistema que usan se limita únicamente con imágenes en formato FLIR (no es estándar) para la extracción de datos sin procesar. Invitan a que la comunidad agrícola conocedora del tema se anime a probar su software y a enviar comentarios sobre el para posibles mejoras a futuro, dejan el código abierto para descargar.

En (Zhou R. W., 2022) en este artículo se puso a prueba la tecnología de termografía infrarroja pasiva (IRT) en la detección de tuberías de los terraplenes de los ríos. Se tuvo como objetivo contribuir al estado actual de esta tecnología fortaleciendo la capacidad de gestión de contingencias para terraplenes de ríos, ya que las tuberías es una de las causas que intensifican fallas en los mismos, dada la necesidad de una detección eficaz de las tuberías situadas en estos, este artículo presenta por medio de una aeronave no tripulada equipada con tecnología IRT la detección de tuberías de los terraplenes de los ríos para mejorar y ampliar a futuro su capacidad de defensa de inundaciones catastróficas. Se elaboró una plataforma al aire libre simulando las tuberías para llevar a cabo experimentos de tuberías pasivas de diferentes profundidades y caudales durante las noches y las tardes, y en días lluviosos, para finalizar con un experimento en un terraplén de río real. Se estudiaron en detalle las características de distribución de calor de la salida de las tuberías con la cámara termográfica infrarroja FLIR T1050sc y en el trabajo de campo se contrató un UAV DJI mavic 2, que lleva detector térmico infrarrojo FLIR y lente visible.

La anomalía de temperatura y la forma del área de anomalía de temperatura fueron los dos aspectos por los que se logró detectar la salida de la tubería; en tardes soleadas, noches



claras y en los días de lluvia se muestra una anomalía local de temperatura más alta. La forma del área de anomalía de temperatura creada por la salida de la tubería da como resultado estructuras de nubes floculantes en las imágenes infrarrojas. El UAV puede completar rápidamente la detección, cubriendo todas las áreas de interés, incluidos los lugares a los que es difícil acercarse a las personas logrando que no solo garantice la seguridad del personal encargado de verificar el estado de los terraplenes, sino que también se ahorre tiempo y esfuerzo. Se tienen tres limitaciones principales, como lo son que las condiciones del suelo sean complejas, la distancia de detección sea mayor a cierta altura (10m) y es aire esté muy húmedo, y las regulaciones de cambio de la temperatura del agua, ya que la base para identificar las tuberías por este método es la diferencia de temperatura entre la salida de la tubería y el agua. A raíz de esto serían útiles algoritmos de identificación automática de tuberías basados en imágenes térmicas de UAV e imágenes visibles, ya que con estos la capacidad de prevención de eventos de inundaciones aumentará y se podrán evitar catástrofes.

### **2.2 3.5 aplicaciones misceláneas**

En (Zhao, 2020) se realizó un análisis utilizando imágenes térmicas 3D para analizar dos espacios peatonales como objetos de estudio de caso, con el propósito que los diseñadores evalúen y mejoren el ambiente térmico en el espacio peatonal. Se realizó por medio de imágenes térmicas y temperaturas radiantes medias (MRT) recopiladas por un dron y una cámara infrarroja. Se escogieron dos espacios peatonales alrededor de los edificios de enseñanza y los edificios de dormitorios en un campus universitario como objetos de estudio de caso para detectar el ambiente térmico en zonas peatonales con diferentes condiciones de ambiente. De acuerdo con los datos de medición y los resultados del análisis, se obtuvo como resultado la diferencia de TRM en el espacio peatonal entre las zonas soleadas y sombreadas era superior a 3 y C, y los valores de MRT variaron un poco en el espacio peatonal notándose vegetación alta alrededor de los edificios de dormitorios. Se concluyó que las imágenes térmicas en 3D pueden mostrar de manera efectiva la distribución de la temperatura de la superficie estudiada en cualquier ángulo. Se tuvieron algunos problemas como por ejemplo que hay pocos estudios con la combinación de ambas tecnologías por lo cual hay muchos datos que procesar y poco espacio donde almacenarlos. Proponen que se realice una simplificación del procesamiento de datos por medio de la planificación de rutas peatonales en mapas y programar dichas rutas para hacer la extracción de datos MRT en el espacio peatonal.

En (Fang, 2022) El objetivo es monitorear los vehículos aéreos no tripulados que representan amenazas en zonas como aeropuertos u otras zonas restringidas, tanto en el día como en la noche, por medio de una tecnología que denominan anti-UAV basada en imágenes termográficas, una red densa residual separable en profundidad, una técnica llamada fusión de características multiescala y termografía infrarroja. Esto es importante

para evitar accidentes en zonas pobladas o en aeropuertos, que puedan causar los drones que sobrevuelan cerca de ellos, ya sea en un ámbito militar o civil. Se utilizaron imágenes IR térmicas con el fin de detectar objetos pequeños en por medio de imágenes residuales es decir el desorden o el ruido que presentan las imágenes por medio de: i) método basado en la supresión de fondo, ii) Método basado en la mejora del objetivo, iii) Método basado en la separación de los blancos y el fondo. iv) predicción de imágenes residuales. Se encontró que la detección es efectiva aunque un poco compleja, y que la supresión de fondo es un poco más intuitiva al mostrar un resultado de UAV encontrado. No se puede suprimir los fondos del todo y los métodos usados presentan algunos problemas ya que los fotogramas también indican falsas alarmas y esto es grave. En algunos casos se presentaban fallas en la detección y falsas alarmas

En (Lagüela, S., Díaz, L., Roca, D., & Lorenzo, H, 2015) se pretende implementar el uso de UAVs para generar mosaicos y modelos digitales termográficos de terrenos llegando a áreas de difícil acceso como techos en edificaciones, bosques y áreas de césped. La mayoría de estudios termográficos se han tomado desde un punto de vista terrestre generados por medio de una plataforma móvil o de un operador. Los estudios se llevaron a cabo en el municipio de Vigo, provincia de Pontevedra en el noreste de España. Zona montañosa con edificaciones dispersas, con el fin de facilitar la obtención de datos, reducción de tiempo y disminución de costos.

La investigación se llevó a cabo mediante adquisición de datos, clasificación del uso de la tierra, mosaicos termográficos, modelado digital termográfico del terreno y un software llamado ArcGIS para realizar el MTD (Monitoreo Térmico Digital), se usó una cámara termográfica Gobi384 y un UAV de 8 motores brushless. Para el chequeo de la metodología propuesta se realizó la comparación entre los valores de superficie y tres usos del suelo con la realidad y se encontró un error de menos del 5% consecuente con el mapa oficial del instituto nacional de cartografía.

Se generaron los mosaicos desde el aire usando texturas y modelos digitales del terreno obteniendo los parámetros de interés eficientemente para cada objeto presente, teniendo como limitante que se tienen consecuencias principalmente tecnológicas como la limitación del aérea por la autonomía de vuelo del vehículo aéreo utilizado por el tiempo reducido de vuelo (15 a 30 minutos) también dependiendo de la carga paga montada, tomando como desafío que el MTD (Monitoreo Térmico Digital) podría ser implementado para posibles usos a futuro en áreas de vegetación.

En (Carvalho) Se tuvo lugar la inspección de una banda transportadora en una industria minera mediante un UAV equipado con una cámara termográfica. Las Imágenes de la banda transportadora captadas por la cámara termográfica, se comparan con las imágenes de referencia de una base de datos, con el fin de identificar defectos, articulado al uso de procesos morfológicos, tablas comparativas y análisis de datos mediante MATLAB. Para la obtención de resultados se configuran ciertos parámetros como la distancia de la cámara

a los rodillos, las condiciones de operación y tasa de producción e identificación de fallos en los rodillos. Se presentaron excelentes resultados en términos de precisión, se tomó el proceso morfológico con la lectura de los datos de las temperaturas en cada pixel, se usó una matriz radiométrica y se definió que los defectos térmicos en los rodillos se presentan en las regiones donde la temperatura es mayor que 45°C, esto ocurre en los bordes, en donde la banda de caucho tiene una temperatura elevada.

La inspección realizada en el estudio tuvo un enfoque interesante ya que resuelve problemas de accesibilidad y movilidad asociado en la inspección de componentes industriales críticos, se determinó que mientras un inspector con sus habilidades tarda 9 horas en realizar la inspección, con la implementación del UAV se tarda 9 minutos y finalmente se pueden identificar varios problemas visualmente con las imágenes generadas por la cámara termográfica.

Los autores creen que el verdadero vuelo autónomo podría cambiar las reglas del juego este sistema es de escala industrial, aunque las normativas locales aún pueden impedirlo. Se espera que la percepción y la visión del robot aéreo desempeñen un papel importante en esta aplicación, agregando sensores acústicos para mejorar la previsibilidad de fallas.

## **2.3 Citaciones y referencias**

Para efectos de normalización con el proceso editorial todas las referencias de artículos, libros, conferencias y demás bibliografía se hará utilizando el formato APA sexta edición. En términos de tablas, figuras y ecuaciones, todas, sin excepción, deberán ser referenciadas en el texto. No se aceptarán tablas, figuras o ecuaciones que no sean referenciadas dentro del cuerpo del texto.

## **3. Conclusiones**

Los drones son considerados robots aéreos que agregan valor a técnicas y procedimientos tradicionales de inspección, tales como la termografía infrarroja aplicada mediante cámaras especializadas, que al ser embarcadas en un dron aumentan el campo de acción, disminuyen tiempos, costos y mitigan los riesgos asociados al trabajo en alturas.

La termografía es una técnica bastante transversal que puede ser aplicada en varios campos y/o áreas del conocimiento, siendo un factor común en aplicaciones de inspección de estructuras, la agricultura, el análisis ambiental de estructuras civiles y la medición de variables ambientales entre otros.

La precisión de los datos obtenidos mediante drones y cámaras termográficas es comparable e incluso mejor que la obtenida por métodos tradicionales, aunque presenta limitaciones como el clima y algunas variables ambientales que afectan el vuelo.

## Referencias

- Adabo, G. J. (2013). "Unmanned aircraft system for high voltage power transmission lines of Brazilian electrical system." *Auvsis's unmanned systems*.
- Aldana, D. (2018). Aplicación de la termografía infrarroja como método de inspección no destructivo para el mantenimiento predictivo del proceso de extrusión de tubería en PVC". Bogotá, Universidad Nacional de Colombia.
- Aldana, D. Á. (2021). "Use of Unmanned Aircraft Systems for Bridge Inspection: A Review". *Revista DYNA* 88.17 , 32-41.
- Álvarez-Tey, G. &-L. (2022). Strategy Based on Two Stages for IR Thermographic Inspections of Photovoltaic Plants. *Applied Sciences*, 6331.
- Avdelidis, N. P. (2003). Transient thermography in the assessment of defects of aircraft composites. *Ndt & E International*, 433-439.
- Bae, J. L. (2022). SMART SKY Eye system for preliminary structural safety assessment of buildings using unmanned aerial vehicles. . *Sensors*, 22(7), 2762.
- Bagavathiappan, S. L. (2013). Infrared thermography for condition monitoring—a review. *Infrared Physics & Technology*,. 35-55.
- Bagavathiappan, S. S. (2008). Condition monitoring of exhaust system blowers using infrared thermography. *Insight-Non-Destructive Testing and Condition Monitoring*, 512-515.
- Balageas, D. L. (2007). Termografía infrarroja: una técnica multifacética para la Evaluación No Destructiva (END). *In IV Conferencia Panamericana de END*,. Buenos Aires.
- Balaras, C. A. (2002). Infrared thermography for building diagnostics. *Energy and buildings*, 171-183.
- Benz, A. T. (2021). Framework for a UAS-based assessment of energy performance of buildings. *Energy and Buildings*, 250, 111266.
- Carvalho, R. N. (s.f.). A UAV-based framework for semi-automated thermographic inspection of belt conveyors in the mining industry. . *Sensors*, , 20(8), 2243.

- Cheng, C. S. (2020). Automatic delamination segmentation for bridge deck based on encoder-decoder deep learning through UAV-based thermography. *NDT & e International*, 116, 102341.
- Cheng, K. H. (2022 ). Effective coastal Escherichia coli monitoring by unmanned aerial vehicles (UAV) thermal infrared images. . *Water Research*, 222, 118900.
- Cho, O.-h. K.-j.-k. (2014). Stabilized UAV flight system design for structure safety inspection. *16th International Conference on Advanced Communication Technology. IEEE*.
- Cucho-Padin, G. R. (2020). Development of an open-source thermal image processing software for improving irrigation management in potato crops (*Solanum tuberosum* L.). . *Sensors*, 20(2), 472.
- Daffara, C. M. (2020). A cost-effective system for aerial 3D thermography of buildings. *Journal of Imaging*, , 6(8), 76.
- Elliott, A. (2016). *Build your own drone manual: owners' workshop manual*. . Haynes North America Incorporated.
- European Aviation Safety Agency - EASA . (2005). *policy for unmanned aerial vehicle (UAV) certification, K'oln, Germany*.
- Fang, H. D. (2022). Infrared Small UAV Target Detection Based on Depthwise Separable Residual Dense Network and Multiscale Feature Fusion. . *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*,, 71, 1-20.
- Fernández, A. U. (2020). Robust detection, classification and localization of defects in large photovoltaic dplants based on unmanned aerial vehicles and infrared thermography. *Applied Sciences*, 10(17), 5948.
- Ficapal, A. &. (2019). Framework for the detection, diagnosis, and evaluation of thermal bridges using infrared thermography and unmanned aerial vehicles. . *Buildings*,, 9(8), 179.
- Fryskowska-Skibniewska, A. D. (2022). The Conception of Test Fields for Fast Geometric Calibration of the FLIR VUE PRO Thermal Camera for Low-Cost UAV Applications. *Sensors*, 22(7), 2468.
- Gaussorgues, G., & Chomet, S. .. (2012). *Infrared thermography*. . Obtenido de Springer Science& Business Media.

- Hallermann, N. G. (2014). "Vision-based deformation monitoring of large scale structures using Unmanned Aerial Systems." *IABSE Symposium Report. Vol. 102. No. 8. International Association for Bridge and Structural Engineering.*
- Hallermann, N. G. (2015). "Unmanned Aerial Systems (UAS)–Survey and monitoring based on high-quality airborne photos." *IABSE Symposium Report. Vol. 105. No. 22.*
- Huda, A. N. (2013). Application of infrared thermography for predictive/preventive maintenance of thermal defect in electrical equipment. *Applied Thermal Engineering. 220-227.*
- I. Gaponov and A. Razinkova. (2012). "Quadcopter design and implementation as a multidisciplinary engineering course," . *Proceedings of IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering* , (págs. pp. H2B-16-H2B-19). Hong Kong.
- Jadin, M. S. (2012). Recent progress in diagnosing the reliability of electrical equipment by using infrared thermography. *Infrared Physics & Technology, 55(4), 236-245 .*
- Javir, A. V. (2015). "Design, analysis and fabrication of quadcopter." . *Journal of Advance Research in Mechanical & Civil Engineering (ISSN: 2208-2379), 16-27.*
- Juniper, A. (2018.). *The Complete Guide to Drones.* Hachette UK, .
- Korendo, Z. &. (2001). Thermography based diagnostics of power equipment. *Power Engineering Journal, 33-42.*
- Lagüela, S., Díaz, L., Roca, D., & Lorenzo, H. (2015). *Opto-Electronics Review., 23(1), 78-84.*
- Lee, K. P. (2021). Roof Color-Based Warm Roof Evaluation in Cold Regions Using a UAV Mounted Thermal Infrared Imaging Camera. *Energies, 14(20), 6488.*
- Luong, M. P. (1995). Infrared thermographic scanning of fatigue in metals. *Nuclear Engineering and Design, 363-376.*
- Márquez, F. P. ( 2019). Condition monitoring system for solar power plants with radiometric and thermographic sensors embedded in unmanned aerial vehicles. . *Measurement, 139, 152-162.*
- Márquez, F. P. (2012). Condition monitoring of wind turbines: Techniques and methods. *Renewable Energy, 46, 169-178.*

- Mayer, Z. H. (2021). Aerial thermographic image-based assessment of thermal bridges using representative classifications and calculations. . *Energies*, 14(21), 7360.
- Meola, C. C. (2004). The use of infrared thermography for nondestructive evaluation of joints. *Infrared physics & technology*, 93-99.
- Morgenthal, G. a. ((2014). "Quality assessment of unmanned aerial vehicle (UAV) based visual inspection of structures." . *Advances in Structural Engineering* 17.3, 289-302.
- Neita Duarte, L. Y. (2014). Principios básicos de la termografía infrarroja y su utilización como técnica para mantenimiento predictivo.
- NHTSA & SAE International . ((2014), accessed March 2017). Obtenido de [https://www.sae.org/misc/pdfs/automated\\_driving.pdf](https://www.sae.org/misc/pdfs/automated_driving.pdf)
- OACI, I. C. (2015). *Doc 10019 AN/507 Manual sobre sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS)*.
- Omar, T. &. ( 2017). Remote sensing of concrete bridge decks using unmanned aerial vehicle infrared thermography. *Automation in Construction*, 83, 360-371.
- Pratt, K. S. (2009). "CONOPS and autonomy recommendations for VTOL small unmanned aerial system based on Hurricane Katrina operations." . *Journal of Field Robotics* 26.8, 636-650.
- RAVE, J. I. (2011). *Revisión sistemática de literatura en ingeniería*. . Medellín: Univ. de Antioquia .
- Ring, E. F. (2012). Infrared thermal imaging in medicine. *Physiological measurement*, , 33(3), R33.
- Sa, I. S. (2014). Inspection of pole-like structures using a vision-controlled VTOL UAV and shared autonomy. *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IEEE*.
- Shen, G. &. (2007). Infrared thermography for high-temperature pressure pipe. *Insight-Non-Destructive Testing and Condition Monitoring*, 151-153.
- UAEAC, U. A. . (Junio de 2020). *Reglas Generales De Vuelo Y De Operación - RAC 91. Reglas Generales De Vuelo Y De Operación - RAC 91. Bogotá, Colombia*.
- Ułanowicz, L. M. ( 2017). "Controlling the operation process of the unmanned aerial system." . *Journal of KONBiN* 44.1, 5-36.

- Ummenhofer, T. &. ( 2009). On the use of infrared thermography for the analysis of fatigue damage processes in welded joints. *International Journal of Fatigue*, 130-137.
- Vadivambal, R. &. (2011). Applications of thermal imaging in agriculture and food industry—a review. *Food and Bioprocess Technology*, 186-199.
- Valavanis, K. P. (2014). "Handbook of unmanned aerial vehicles.-Springer Publishing Company." .
- Vergura, S. .. (s.f.). Unmanned Aerial Vehicle for Infrared Inspection of Photovoltaic Modules.
- Vergura, S. (2020). Correct Settings of a Joint Unmanned Aerial Vehicle and Infrared Camera System for the Detection of Faulty Photovoltaic Modules. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 124-130.
- Wyckhuysse, A. &. (2001). A study of wood inspection by infrared thermography, part I: Wood pole inspection by infrared thermography . *Journal of Research in Nondestructive Evaluation*, 1-12.
- Younus, A. M. (2012). Intelligent fault diagnosis of rotating machinery using infrared thermal image. *Expert Systems with Applications*, 2082-2091.
- Zhao, X. L. (2020). Analysis of the thermal environment in pedestrian space using 3D thermal imaging. . *Energies*, 13(14), 3674.
- Zhou, R. W. (2022). Automatic recognition of earth rock embankment leakage based on UAV passive infrared thermography and deep learning. . *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, , 191, 85-104.
- Zhou, R. W. (2022). Detect submerged piping in river embankment by passive infrared thermography. . *Measurement*,., 202, 111873.



**Design thinking en fases de empatía e identificación del problema para la propuesta de emprendimiento de una empresa de transporte de carga basada en aeronaves remotamente tripuladas (ARTs) en Bogotá y alrededores**

**Design thinking in phases of empathy and identification of the problem for the entrepreneurial proposal of a cargo transport company based on remotely manned aircraft (ARTs) in Bogotá and surroundings**

José Guillermo Parada Logreira<sup>1</sup> Henry Andrés Porras Perucho<sup>2</sup> Lorena Cruz Gutierrez<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad de San Buenaventura, Profesor, [jparada@usbbog.edu.co](mailto:jparada@usbbog.edu.co)

<sup>2</sup>Universidad de San Buenaventura, Profesor, [ing.dpraeronautica@usbbog.edu.co](mailto:ing.dpraeronautica@usbbog.edu.co)

<sup>3</sup>Universidad de San Buenaventura, Profesor, [cea.dprcontaduria@usbbog.edu.co](mailto:cea.dprcontaduria@usbbog.edu.co)

**Resumen.** El presente trabajo de investigación en proceso consiste en la intención de iterar una oportunidad de negocio basada en transportar alimentos en el área de la sabana de Bogotá. Dicha iteración está basada en la ejecución de la metodología Design Thinking, sin embargo, al estar aún en pleno desarrollo, se presenta la fase de empatía con el cliente objetivo y de identificación del problema del mismo. De estas se espera validar si los productores de la sabana de Bogotá podrían transportar de forma efectiva sus alimentos a través de ARTs.

**Palabras clave:** Design thinking, emprendimiento, transporte, drone, aeronave

**Abstract.** The present research work in progress consists of the intention of iterating a business opportunity based on transporting food in the area of the Bogota savannah. Said iteration is based on the execution of the Design Thinking methodology, however, as it is still in full development, the phase of empathy with the target client and identification of its problem is presented. From these, it is expected to validate if the producers of the Bogota savannah could effectively transport their food through art.

**Keywords:** Design thinking, entrepreneurship, transport, drone, aircraft

## Introducción

Las empresas de carga a nivel nacional e internacional desarrollan sus actividades en la industria logística. Su labor es ejecutar procesos de abastecimiento, transporte y distribución de mercancías, de esta manera poder garantizar que los productos se encuentren oportunamente en el lugar donde el cliente final espera poder adquirirlos, teniendo esto en cuenta, las empresas de categoría logística se consideran pilares de la economía, debido a que por medio de estas se cumple el requerimiento de satisfacer las necesidades del consumidor. Con la nueva etapa de la pandemia referente a la nueva normalidad, se aumentó la necesidad de estos procesos no sólo por las medidas sanitarias aplicadas por cada gobierno sino también por el incremento en las compras online, y requerimiento del consumidor de recibir sus productos en “la puerta de su casa”. Por tal motivo, además del estado del producto, variables como la velocidad y el tiempo son muy importantes en el negocio logístico (beetrack, s.f.a).

En Colombia, para el periodo 2000-2003, el transporte terrestre aportó el 75% del total del PIB transporte (Ministerio de Transporte de Colombia, 2005a) (Pérez, 2005), y en el último trimestre del año 2021, el sector transporte contribuyó 4.62% al PIB registrado (Ministerio de Transporte de Colombia, 2021).

Con respecto a transporte terrestre para el periodo 2008-2018, el transporte de carga terrestre representó un 35% del total (Rincón Munar, 2019). Para ese mismo periodo, el transporte de carga registró las siguientes modalidades: transporte terrestre 72%, el transporte férreo 25.2%, transporte fluvial 1.6%, el cabotaje 1.1% y el transporte aéreo 0.1% (Rincón Munar, 2019). Para el año 2020, la participación del transporte de carga terrestre aumentó al 84.4% (Ministerio de Transporte de Colombia, 2021b). Lo cual determina la dependencia del transporte de carga terrestre para el abastecimiento de los diferentes sectores económicos y aporte al crecimiento económico en el país.

Desafortunadamente, existen situaciones en Colombia que impactan las variables de tiempo y velocidad, afectando el desarrollo de las actividades logísticas y los resultados que se esperan. De acuerdo con el Departamento Nacional de Planeación (DNP), los principales obstáculos que tiene las empresas logísticas en Colombia son la falta de zonas de cargue y descargue (32,3%); carencia de infraestructura y congestión (22,2%); falta de talento humano (16,9%) y alto precio de las bodegas (10,2%), el gobierno nacional tiene estimado realizar un inversión para mejorar estos procesos (Legiscomex, s.f.), sin embargo, sucesos tales como derrumbes en las carreteras, malas condiciones en las vías, protestas e incluso el desarrollo de la pandemia por el Covid-19 afectan el desarrollo de las actividades logísticas y los resultados que se esperan, todo esto conlleva a demoras en las entregas, desabastecimiento, daño en el producto por los tiempos de entrega, todos estos

contratiempos se traducen en sobrecostos en el servicio y descontento del cliente final (Ahumada Rojas, 2021).

Con relación al servicio público de transporte de carga por carretera, para el año 2005, el Ministerio de Transporte registraba 1198 empresas habilitadas para ofrecer este servicio, de las cuales, el 41% se encontraban en el departamento de Cundinamarca (Ministerio de Transporte de Colombia, 2005).

Tabla 1. Empresas de transporte de carga por dirección territorial

Dirección Territorial	Empresas	Porcentaje
Antioquia	174	15%
Atlántico	74	6%
Bolívar	34	3%
Boyacá	58	5%
Cauca	14	1%
Caldas	8	1%
Cesar	4	0%
Córdoba Sucre	3	0%
Cundinamarca	491	41%
Guajira	0	0%
Huila	22	2%
Magdalena	30	3%
Meta	6	1%
Nariño	22	2%
N. Santander	44	4%
Quindío	9	1%
Risaralda	16	1%
Santander	50	4%
Tolima	19	2%
Valle	120	10%
TOTAL	1198	100%

En el año 2005, el departamento de Cundinamarca contaba con 800.38 km de vías primarias, de los cuales 345.90 eran pavimentados en buen estado, es decir el 43% (Ministerio de Transporte de Colombia, 2005). Para el año 2018, Colombia ocupaba el puesto 97 entre 140 países en materia de conectividad de las carreteras (Barros Frago, 2020). A diciembre de 2021, la red vial primaria en Cundinamarca a cargo del Instituto Nacional de Vías INVIAS, cuenta con 87.78% de las vías pavimentadas y 12.22% de vías no pavimentadas. Con relación a las vías pavimentadas, solo el 41.02% de las vías se encuentra en estado bueno o muy bueno (Instituto Nacional de Vías [INVIAS], 2021).

En Cundinamarca, en el año 2021, durante las jornadas del paro nacional, la movilidad del departamento se vio gravemente afectada debido al cierre de sus vías (Publicaciones Semana, 2021) (Caracol Radio, 2021). El mantenimiento y reparación de los corredores viales también influyó en cierres parciales o totales de las vías del departamento (Vía 40 Express, 2022) (Gutiérrez, 2021). De acuerdo con el Instituto Nacional de Vías INVIAS, se registraron 13 incidentes viales el día 10 de febrero de 2022, restringiendo el transporte de carga en la mayoría de los casos (Instituto Nacional de Vías [INVIAS], 2022).

Las dificultades en conectividad afectan de manera significativa la industria agrícola del país.

El Departamento Nacional de Planeación DNP define la pérdida pos cosecha de productos vegetales como (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2016): Pérdidas por derrame o degradación durante el manejo, almacenamiento y transporte entre el cultivo y la distribución.

Para los productos animales, la pérdida pos cosecha es definida (DNP, 2016): Para la industria porcina, bovina y avícola, la pérdida se da en la muerte del animal durante su transporte al matadero o condena en el matadero. Para la industria piscícola, la pérdida se refiere a derrame y degradación durante el congelamiento, empaquetamiento, almacenamiento y transporte después de llegar a tierra.

Para la leche, la pérdida se refiere a derrame y degradación durante el transporte entre la granja y la distribución.

En 2013, el Ministerio de Salud y Protección Social en compañía de la Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y la Agricultura FAO, presentaron resultados de pérdida pos cosecha de frutas y verduras en el país del año 2010 (Combariza, 2013). Las pérdidas pos cosecha de frutas, alcanzaban el 22.93% de la producción nacional estimada en 5.036.737 toneladas. En Cundinamarca este porcentaje de pérdida aumentó al 41.4% de la producción. En verduras, las pérdidas pos cosecha fueron el 16.3% de la producción nacional. En este informe se identifica a Cundinamarca como el cuarto departamento en producción de frutas, y el segundo en producción de verduras (Combariza, 2013).

En 2016, el DNP indica que, de la oferta nacional disponible de alimentos, estimada en 28.5 millones de toneladas, se pierden y desperdician un total de 9.76 millones de toneladas, de los cuales, el 19.8% ocurre en la etapa de pos cosecha (DNP, 2016).

En 2017, se identificó que el 75% de los productos agrícolas ofrecidos por dos productores del municipio de El Colegio Cundinamarca, se venden en los mercados campesinos de la ciudad de Bogotá, debido a mejores precios de venta de estos productos en comparación con otros medios de comercialización (López-Posada y Pachón-Ariza, 2017)

El sector salud, también registra inconvenientes a la hora de transportar y abastecer las zonas de difícil acceso por carretera. El 22 de julio de 2022, el Gobernador de Cundinamarca, Nicolás García, reportó que la gobernación se encontraba contratando los servicios de un helicóptero ambulancia para cerca de la mitad de los municipios del departamento (CONSTRUYENDO CIUDAD BOGOTÁ-REGIÓN, 2021).

Distintos autores afirman que la solución a estos problemas logísticos se encuentra por medio de la tecnología, estos plantean que, por medio de programas de rastreo, seguimiento en línea, inteligencia artificial, visibilidad en tiempo real y análisis de datos se puede generar una estrategia que permita una mejor gestión logística, encontrando rutas óptimas, e incluso estudiando la posibilidad de generar un enfoque en la industria que sea eco-amigable. (beetrack, s.f.b), (Portafolio, 2021).

Resulta pertinente evaluar cómo por medio de un emprendimiento de transporte de carga a partir de la implementación de tecnología aeronáutica, más específicamente Aeronaves Remotamente Tripuladas, para lograr ejecutar sus procesos de forma fluida, garantizando que no se afecte el estado del producto, se favorezca la velocidad de los procesos y mejorar el uso del tiempo, adicionalmente, teniendo en cuenta las afectaciones de la pandemia en el contacto de las personas.

Por tanto, se define la siguiente pregunta problema: **¿Cómo una aeronave tripulada remotamente puede aportar a resolver dificultades en los procesos logísticos relacionados con el transporte de carga por medio de la creación de un emprendimiento en Bogotá y sus alrededores?**

La industria de transporte de carga y el sector logístico son de los principales generadores de dinero en la economía mundial y nacional, y en efecto favorecen el desarrollo de las actividades de otros sectores de la economía. De acuerdo al Ministerio de Comercio de Colombia, el país generó un PIB corriente de US\$271,5 miles de millones en 2020, inferior en 16,1% al registrado en 2019 (Mincit,2021), afectado por la pandemia generada por el Sars-Covid 19, sin embargo, aun así, el transporte de carga suele aportar al PIB del país aproximadamente un 4,2% y genera 1,5 millones de empleos directos e indirectos, lo anterior de acuerdo a datos de Colfecar. (Portafolio, 2021)

En el caso de Colombia las actividades de transporte de carga se desarrollan en su mayoría a través de las carreteras nacionales, es decir de forma terrestre, por lo cual la infraestructura es clave y en este sentido de acuerdo a Findeter, Colombia en 2019 se ubicó en el IGC (Índice de Competitividad Global), en el puesto 57 entre 141 economías del mundo. En cuanto al componente de infraestructura, Colombia se encuentra en la posición más baja en calidad de carreteras, con un puntaje de 3,4. En cambio, la conectividad aeroportuaria se encuentra en la posición 31 a nivel mundial, con un puntaje de 144 sobre 200. (Findeter, 2021)

Debido a lo anterior, Colombia ha enfocado sus esfuerzos en realizar inversión en infraestructura, de forma que en el Plan de Desarrollo 2018-2022 del gobierno colombiano se ha definido el Pacto por Colombia, Pacto por la equidad estima recursos por 66,2 billones de pesos (6% del total), relacionados con los sectores transporte, hacienda y planeación; se destacan las inversiones relacionadas con la consolidación de corredores viales primarios y secundarios, así como el fortalecimiento de otros modos de transporte: fluvial, marítimo y férreo. (Findeter,2021)

Por tal razón es de vital importancia aplicar soluciones innovadoras que permitan apoyar al transporte de carga en su evolución y por ende el desarrollo de actividades logísticas fluidas y efectivas que incrementen la competitividad de las empresas de la región y del país.

Esta investigación se enfoca en determinar la viabilidad en la creación de un emprendimiento en transporte de carga basa en Aeronave Remotamente Tripulada ydirigida de forma remota, que sirva para realizar las actividades de transporte de carga en la zona de Bogotá y sus alrededores de una manera más ágil y fluida, de forma que las operaciones no sean perjudicadas por factores externos al negocio, tales como lluvias, deslizamientos de tierra, bloqueos, paros sociales o problemas de infraestructura vial.

Por tal motivo, se define como objetivo general Determinar la viabilidad en la creación de un emprendimiento en transporte de carga basada en Aeronave Remotamente Tripulada en Bogotá y alrededores.

## **1. Metodología**

Para efectos de este proyecto se utilizara la metodología de innovación y emprendimiento Design thinking, el cual permite trazar soluciones innovadoras mediante el desarrollo de competencias orientadas a la resolución de problemas, con argumentos abductivos y con el empleo de materiales (Cross, 2011) Este proceso cuenta ante todo con un enfoque de resolución de problemas desde la perspectiva de la creatividad y la utilización de métodos de trabajo no convencionales a partir de un razonamiento abductivo (Urroz, 2018)

Como beneficio de esta metodología se cuenta con el favorecimiento al mercado en cuanto a nuevos productos y servicios con la creación de estrategias más atractivas para consumidores y potenciales clientes (Brown, 2008) Y a su vez propone nuevos modelos de negocio cuyo objetivo principal es cubrir las necesidades humanas que no son atendidas brindando la posibilidad a las organizaciones de hacer las cosas diferentes.

Este modelo se caracteriza por hacer frente a situaciones complejas desde nuevas perspectivas para transformar el mundo se cuenta con esta forma distintiva de innovar que se configura como un desafío para una nueva construcción social que, sin duda, podría tendrá un impacto real en la vida de las personas (Leinonen & Durall, 2014)

Este proceso consiste en realizar la siguiente secuencia de fases:

Tabla 2. Fases de metodología design thinking

<b>FASES</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
Fase 1	Empatizar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificar las actividades y empatizar con los clientes y/o áreas en profundidad y ponerse en el lugar de ellos</li> <li>- Se observan las necesidades físicas y emocionales además de ver cómo conciben el mundo a través de su mirada</li> </ul>
Fase 2	Definir	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revisar la información evidenciada en el proceso de empatía y centrarse en los dolores y problemas, se debe definir el rumbo por medio del planteamiento del problema</li> <li>- Se trata de precisar la idea de un proyecto o enmarcar los puntos fuertes y débiles en la propia autoexploración</li> </ul>
Fase 3	Idear	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se realiza un prototipo para ver qué tal funciona, si es útil, si cumple con los objetivos propuestos o no, así se garantiza la reducción de costos y la entrega de un producto validado</li> <li>- El objetivo es unificar la información para proyectarse hacia la acción</li> </ul>
Fase 4	Crear	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Crear un prototipo que representa el resultado de la convergencia en la generación de ideas</li> <li>- Se realizan procesos cortos de pruebas y repeticiones para materializar la idea más relevante</li> </ul>
Fase 5	Validar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consiste en someter el prototipo final a una exposición grupal y establecer un feedback para validar o depurar las soluciones planteadas hacia la mejor</li> </ul>

FASES	NOMBRE	CARACTERÍSTICAS
		-Seleccionar unos clientes pilotos para realizar la prueba y poderlo sacar al mercado, la retroalimentación del cliente o área usuaria es muy importante porque ayuda a mejorar el prototipo antes de lanzarlo al mercado

## 2. Análisis, resultados y discusión

### Fase de Empatía.

Para la fase de Empatía se han realizado entrevistas a empresarios agrícolas de la sabana de Bogotá, que cultivan, cosechan y comercializan productos agrícolas tales como frutas y verduras. Dichas entrevistas representan a 17 empresarios del sector agrícola de la sabana de Bogotá.

Se ha utilizado la herramienta de mapa de empatía para organizar la información recopilada a nivel general y consolidarla para empatizar con la situación del cliente objetivo. Dicho cliente objetivo son los empresarios agrícolas que requieran transportar sus productos de forma efectiva y rentable.

El mapa de empatía, como herramienta ha permitido organizar la información de lasiguiente manera:

Qué piensa y siente:

- Depende del negocio. El negocio agrícola quiere comercializar sus productos con facilidad y efectividad, pero depende de su compromiso en la entrega del producto. Es decir, existen dos opciones, la primera es si debe esperar a los compradores interesados a que se acerquen a la empresa en el momento de la cosecha, y la segunda, sucede cuando tiene su producción comprometida para entregar a un cliente en un lugar determinado, y dicha entrega debe ser oportuna, garantizando las óptimas condiciones físicas del producto.
- El negocio agrícola no existe, sino que cada producto es distinto y cada producto es un negocio independiente. De esta manera, de acuerdo al cliente, existe el negocio de la papa, el negocio del queso, el negocio de la leche, el negocio de tomate, el negocio de las flores, y así sucesivamente.

Qué oye y que ve:

- Escucha de los otros empresarios agrícolas y de clientes y de la industria en general, que cada producto es un negocio distinto, por tanto, cada producto tiene su propio funcionamiento.



- Los intermediarios, que suelen transportar y revender el producto hasta fruver, mercados públicos y supermercados, tienen mucho poder de negociación, frente a los negocios agrícolas. Lo anterior genera incertidumbre en cuanto a la rentabilidad del negocio.

Qué dice y hace:

- El empresario agrícola trata de organizar el negocio de forma que siga siendo conveniente a nivel económico, o al menos trata de no perder la producción.
- Se unen en asociaciones o cooperativas, de forma de poder lograr mayor poder de negociación frente a intermediarios y encontrar mayor rentabilidad.
- Tratar en algunos casos de encargarse de la parte del transporte, ya sea de forma individual o en grupo.

Esfuerzos:

- El empresario agrícola es experto en la producción, pero se esfuerza en garantizar un transporte oportuno, mejorar su rentabilidad, elevar su poder de negociación, y garantizar el buen estado del producto.

Resultados:

- El empresario busca organizar un poco mejor su empresa, alcanzando más poder en la cadena de valor, y si es posible con las ventas listas antes de cosechar.

### **Fase de Definir.**

La intención de la fase de definir, es precisamente la de acercarse a la definición del problema que tiene el cliente objetivo. Para ello se utiliza la herramienta de hipótesis del problema. En esta se especula con la posibilidad de que los clientes tengan ciertos problemas en específico, pero para poder comprobarlos, se han desarrollado las entrevistas con los empresarios agrícolas, y de esta manera se validan sus problemas.

**Tabla 3.** Hipótesis del problema

<b>Segmento: Negocios agrícolas sabana de Bogotá</b>	
<b>Problema: Transporte difícil de ejecutar para sus productos</b>	
<b>Hipótesis</b>	<b>Diseño de experimentos</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. No posee vehículos propios</li> <li>2. Depende de un intermediario</li> <li>3. El intermediario le compra o le transporta</li> <li>4. Hay negocios agrícolas que no saben cuando venderán su producto.</li> <li>5. La cadena de valor tiene muchos intermediarios</li> <li>6. El estado de las vías, derrumbes y época invernal puede complicar el negocio.</li> </ol>	Entrevista a representantes de negocios agrícolas que requieren comercializar y entregar su cosecha.
	<b>Aprendizaje y descubrimientos</b>
	Se validan todas las hipótesis.

**Fuente:** Autores.

A partir de lo anterior, y de las entrevistas realizadas se puede interpretar que en efecto los empresarios agrícolas cuentan con variedad de problemáticas, pero que el transporte de sus productos es muy clave en los resultados de sus negocios, en especial cuando se han comprometido a entregar un producto en una fecha y sitio determinado, pero sin contar con un medio de transporte efectivo y oportuno.

Este, por supuesto sería el considerado el cliente objetivo. El otro tipo de empresario agrícola, que normalmente vende el producto esperando que los intermediarios se acerquen a negociar, normalmente no necesitaría transportar el producto, por tanto no sería el cliente objetivo en este momento, salvo que en un futuro decida abarcar más en la cadena de valor de su negocio.

A su vez, una empresaria agrícola propone cambiar el cliente objetivo de empresarios agrícolas y redirigirse hacia empresas grandes que deban entregar productos de forma masiva, y que se ubiquen precisamente en la zona de la sabana de Bogotá. Plantea que este tipo de empresas requieren transporte de forma permanente y cuentan con el presupuesto para acceder a formas de transporte más costosas.

### 3. Conclusiones

La metodología Design Thinking cuenta con 5 fases, siendo las fases de empatía, de definición del problema, de ideación, de prototipado y la fase de testeo. Este trabajo de investigación se encuentra en ejecución y ha avanzado las fases de empatía y de definición del problema.

En este punto de avance, al haber entrevistado a empresarios agrícolas de la sabana de Bogotá, se ha comprobado que, en efecto, aquel empresario que dentro de su negocio deba entregar en un momento determinado su producción en forma oportuna y en óptimas condiciones, tiene a estar interesado en formas de transporte que le proporcionen la tranquilidad y que aporten en la rentabilidad de su negocio.

Por lo anterior, es altamente recomendable continuar con las fases de ideación, prototipado y testeo de Design Thinking, determinando si una aeronave remotamente tripulada podría satisfacer el requerimiento o problema del cliente objetivo a nivel de transporte de sus productos.

En todo caso, es también recomendable analizar la propuesta de la empresaria agrícola que argumenta que trabajar el transporte de empresas grandes con producción continua podría ser más rentable porque son empresas con una necesidad continua de transportar sus productos terminados y con mayor capacidad financiera.

### Referencias

- Ahumada Rojas, O. G. (03 de septiembre de 2021). Tras la pandemia y el paro, el trancón logístico continúa. El Tiempo. <https://www.eltiempo.com/economia/sectores/porque-persiste-el-trancon-logistico-luego-del-pandemia-y-el-paro-615314>
- Barros Frago, J. J. (2020). ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE CARGA TERRESTRE EN LOS ÚLTIMOS
- Beetrack. (s.f.a). Importancia de la logística en empresas. <https://www.beetrack.com/es/blog/importancia-de-la-logistica-en-empresas>
- Beetrack. (s.f.b). 6 problemas de distribución logística de productos. <https://www.beetrack.com/es/blog/logistica-de-distribucion/>
- Blank, S. D. (2012). The Startup Owner's Manual. K & S Ranch.
- Brown, T. (2008). Design Thinking. Harvard Business Review.
- Caracol Radio. (03 de mayo de 2021). Estas son las vías en Cundinamarca afectadas por manifestaciones. Recuperado el 17 de febrero de 2022 de [https://caracol.com.co/emisora/2021/05/03/bogota/1620007138\\_770580.html](https://caracol.com.co/emisora/2021/05/03/bogota/1620007138_770580.html)

- Combariza, J. A. (2013). Perfil Nacional de Consumo de Frutas y Verduras. Bogotá: Ministerio de Salud y Protección Social.
- Construyendo Ciudad Bogotá-Región. (22 de julio de 2021). HELICÓPTERO PARA ENTREGA DE VACUNAS EN CUNDINAMARCA [Archivo de Vídeo]. Youtube. [https://www.youtube.com/watch?v=\\_nD1ftL70Ic](https://www.youtube.com/watch?v=_nD1ftL70Ic)
- Departamento Nacional de Planeación. (2016). PÉRDIDA Y DESPERDICIO DE ALIMENTOS EN COLOMBIA. Bogotá: Ministerio de Transporte.
- Findeter, Banca de Desarrollo Territorial (2021) ESTUDIO DEL SECTOR TRANSPORTE COLOMBIANO, Septiembre 2021.
- Gutiérrez, H. (11 de octubre de 2021). El mal estado de las vías rurales o terciarias y cómo afectan en economía, salud y educación. Recuperado el 17 de febrero de 2022 de <https://www.rcnradio.com/recomendado-del-editor/el-mal-estado-de-las-vias-rurales-o-terciarias-y-como-afectan-en-economia>
- IDEO. (07 de 2017). ¿Qué es el Design Thinking? ¿Quién lo creó? Historia y fases de la metodología. Obtenido de Design Thinking: <https://www.designthinking.services/2017/07/que-es-el-design-thinking-historia-fases-del-design-thinking-proceso/>
- Instituto Nacional de Vías. (27 de diciembre de 2021). Estado de la Red Vial. Recuperado el 17 de febrero de 2022 de <https://www.invias.gov.co/index.php/component/content/article/2-uncategorised/57-estado-de-la-red-vial>
- LegisComex. (s.f). Conoce los principales obstáculos que tienen las empresas al exportar o importar productos en Colombia. Recuperado el 17 de febrero de 2022 de <https://www.legiscomex.com/Documentos/perfil-logistico-colombia-2016-rci308>
- T. Leinonen, E. Durall Gazulla, Pensamiento de diseño y aprendizaje colaborativo, Comunicar; Comunicar 42: ¿La revolución de la enseñanza?; 107-116 URL [https://www.scipedia.com/public/Leinonen\\_Durall\\_2014a](https://www.scipedia.com/public/Leinonen_Durall_2014a)
- López-Posada, J. C., & Pachón-Ariza, F. A. (2017). Identificación de ventajas y desventajas de los canales de comercialización en las economías campesinas de dos municipios de Meta y Cundinamarca, Colombia. Rev.investig.desarro.innov, 8(1), 35-47.
- Mincit, Oficina de Estudios Económicos (2021) CONTEXTO MACROECONÓMICO DE COLOMBIA, Abril 2022.
- Ministerio de Transporte. Oficina Asesora de Planeación Grupo Planificación Sectorial. (2005). Caracterización del Transporte en Colombia Diagnóstico y Proyectos de Transporte e Infraestructura (p. 7). Bogotá: Ministerio de Transporte.
- Ministerio de Transporte. (26 de noviembre de 2021a). Trabajo conjunto entre transportadores y MinTransporte contribuyó al crecimiento del 13,2% del PIB. Recuperado el 17 de febrero de 2022 de <https://www.mintransporte.gov.co/publicaciones/10478/trabajo-conjunto-entre-transportadores-y-mintransporte-contribuyo-al-crecimiento-del-132-del-pib/>
- Pérez, G. J. (2005). La infraestructura del transporte vial y la movilización de carga en Colombia. Cartagena, Colombia: Banco de la República.

- Portafolio. (24 de noviembre de 2021). ‘Transporte de carga crecerá sobre un 9 % al cierre de 2021’. Recuperado el 17 de febrero de 2022 de <https://www.portafolio.co/economia/infraestructura/presidenta-de-colfecar-habla-de-los-desafios-del-transporte-de-carga-558883>
- Portafolio. (07 de noviembre de 2021). Logística, un sector que apuesta al 100% por la digitalización. Recuperado el 17 de febrero de 2022 de <https://www.portafolio.co/negocios/empresas/logistica-un-sector-que-apuesta-al-100-por-la-digitalizacion-558250>
- Publicaciones Semana. (13 de mayo de 2021). ¡Atención! Estos son los cierres en Cundinamarca por el paro nacional. Recuperado el 17 de febrero de 2022 de <https://www.semana.com/nacion/articulo/atencion-estos-son-los-cierres-en-cundinamarca-por-el-paro-nacional/202116/>
- Rincón Munar, J. N. (2019). Productividad en el transporte de carga por carretera en Colombia. [Tesis de Especialización, Universidad Externado de Colombia, Bogotá]. Repositorio Institucional – Universidad Externado.
- Urroz (2018) Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos, ISSN-e 1668-0227, N°. 69, 2018 (Ejemplar dedicado a: Presente y futuro del diseño latino), págs. 195-206
- Vía 40 Express. (01 de febrero de 2022). PRIORIZANDO LA SEGURIDAD DE LOS USUARIOS SE REALIZAN CIERRES INTERMITENTES DE LA VÍA EN EL ALTO DE CANECAS, POR ESTABILIZACIÓN DE TALUDES. Recuperado el 17 de febrero de 2022 de [https://caracol.com.co/emisora/2021/05/03/bogota/1620007138\\_770580.html](https://caracol.com.co/emisora/2021/05/03/bogota/1620007138_770580.html)

## **Uso del software de ingeniería para la validación del diseño de aeronaves no tripuladas de ala fija**

## **Use of engineering software for design validation of fixed wing unmanned aircraft**

Juan Diego Carreño Triana<sup>1[0000-0002-0479-8481]</sup> y Didier Aldana Rodríguez<sup>2[0000-0002-6483-9580]</sup>

<sup>1</sup>Fundación universitaria los libertadores, estudiante, jdcarrenot@libertadores.edu.co.

<sup>2</sup>Fundación universitaria los libertadores, profesor, daldanar@libertadores.edu.co.

### **Resumen.**

En este documento se encuentra un paso a paso en el uso de softwares educativos para la validación del diseño de una aeronave no tripulada de tipo ala zagi, realizando simulaciones que se asemejan a las condiciones de operación de la vida real para así poder realizar un modelo funcional y argumentar el funcionamiento del mismo.

### **Palabras clave:**

UAV, software, diseño, validación, ala fija.

### **Abstract.**

In this document there is a step by step in the use of educational software for the validation of the design of an unmanned aircraft of the wing zagi type, carrying out simulations that resemble the operating conditions of real life in order to be able to make a model functional and argue its operation.

### **Keywords:**

UAV, software, design, validation, fixed wing.

## 1. Introducción

El uso de aeronaves no tripuladas a tomado un gran auge a lo largo del último lustro en la mayoría de sus campos de aplicación (entretenimiento, seguridad, industrias, agronomía, etc). Para el diseño optimo de estas aeronaves se debe tener en cuenta la teoría de diseño aeronáutico; además de que para la certificación de una aeronave se deben cumplir con los requisitos de certificación diseño, para esto dentro de la industria aeronáutica se cuenta con diferentes métodos de cumplimiento establecidos de manera general, para obtener una relación adecuada dentro de la documentación generada. Dentro de estos métodos de cumplimientos se cuenta con declaraciones de cumplimiento, cálculos, diagramas, simulaciones, etc. Las casas fabricantes deciden con qué tipo de método de cumplimiento se dará validez al requisito de certificación que se tiene; la simulación es un método de cumplimiento que ha tomado bastante fuerza en la última década debido a que los valores que se obtienen están dentro de un rango de error bajo comparado con los valores obtenidos por medio de cálculos. Por este motivo las entidades aeronáuticas han optado por ser un poco más flexibles ante una justificación de un diseño de una aeronave mediante este método de cumplimiento, esto debido a que las casas fabricantes han mantenido una trazabilidad fuerte en el diseño y aeronavegabilidad continuada de sus aeronaves.

Ahora que las entidades son un poco más flexibles y permiten sustentar diseños de componentes, sistemas, etc. Mediante simulaciones, dentro de la industria nace la necesidad de que el personal sepa operar algunos softwares y tenga la capacidad de comparar datos y tomar decisiones para así mismo justificar un diseño mediante este método de cumplimiento. Con base en lo anterior en este documento se expone un paso a paso con el fin de poder saber que es un software y sus utilidades, además de saber elegir un software y saber que datos y valores obtener dentro del mismo; con el fin de realizar un modelo funcional con estudio de ingeniería.

## 2. Metodología

**Etapa 1:** La primera etapa se desarrolla teniendo en cuenta la metodología de investigación correlacional en donde se da una indagación y apropiación de los conceptos, lo que se hace es llevar a cabo una recopilación de información acerca del diseño de aeronaves convencional para así dar inicio al diseño conceptual de la aeronave no tripuladas de la fija. (Metodología de la investigación, 1991)

**Etapa 2:** Durante el transcurso de la segunda etapa se tuvo en cuenta la metodología de diseño de Palh y Beitz en donde interfieren funciones y subfunciones combinados con la

geometría y características del material; además de utilizar la metodología de diseño aeronáutico del Dr. Jan Roskam para los coeficientes de sustentación y la metodología del Ing. Snorri Gudmundsoon para la geometría de la aeronave no tripulada. (Roskam, 2018), (Roskam, 2018), (Gudmundsoon, 2014).

**Etapa 3:** La última etapa se lleva a cabo con la metodología de investigación experimental, en donde se llevan a cabo las pruebas de vuelo y se observa el comportamiento entre la interacción de la aeronave con el flujo de aire y la respuesta de la electrónica a través del receptor (rx) y el transmisor (tx). (Metodología de la investigación, 1991)

### 3. Análisis, resultados y discusión

El software se puede definir como el conjunto de programas de cómputo, procedimientos, reglas, documentación y datos que forman parte de las operaciones de un sistema (IEEE), también se puede entender como todo lo intangible de un sistema. Este término fue utilizado por Jhon W Tukey en 1957 en el ámbito de la ingeniería de software y las ciencias de la computación; una de las teorías que forma la mayor base del software moderno es la propuesta que fue publicada por Alan Turing con su ensayo “números computables” que fue publicado en 1936 (Roger). El software se puede separar en tres tipos dependiendo de la lógica de programación, uno de ellos es el software de sistema, este tipo permite establecer una relación entre el hardware y el usuario por medio de la programación lógica del código que es quien se encarga de ejecutar todas las aplicaciones necesarias para que un sistema opere, algunos ejemplos de este tipo de software pueden ser los sistemas operativos, controladores de dispositivos, etc. Otro de los tipos de software es el de programación, este tipo de software permite al usuario desarrollar nuevos programas informáticos por medio del uso de lenguajes de programación, varios ejemplos de este tipo de software son los editores de texto, compiladores, interpretes, etc. Y por último el software de aplicación que permite a los usuarios llevar a cabo tareas específicas en cualquier ámbito de desarrollo que se pueda automatizar o asistir, este tipo de software incluye aplicaciones de control, aplicaciones ofimáticas, software educativo, etc. (Calameo, s.f.).

El software educativo es el tipo en el cual se enfocará el documento, este tipo de software permite realizar instrucción, formación y enseñanza facilitando así mismo los procesos de aprendizaje del usuario; esta es una herramienta pedagógica que se caracteriza por ser didáctica, utilizar un ordenador, su interactividad, facilidad de uso y lo más importante es que independiza el aprendizaje de cada usuario. Mediante este tipo de software de tipo



educativo se puede sustentar y validar un diseño de una aeronave no tripulada de tipo ala delta (ala zagi). Hay que tener en cuenta teoría de diseño aeronáutico, aerodinámica, estructuras, estabilidad y consumo energético, además de que no existe un software que realice todas las operaciones lógicas para poder realizar las diferentes simulaciones y validaciones de todas las áreas de estudio. Por eso se utilizan múltiples softwares que permiten realizar el análisis de cada una de las áreas de estudio y así previamente poder integrar todos los resultados de las simulaciones y poder obtener un diseño robusto.

Antes de utilizar los softwares primeramente se deben definir los requerimientos y requisitos de diseño de la aeronave. Para la explicación del proceso de validación se usará un modelo que fue construido por el grupo SUE del semillero de drones de la fundación universitaria los libertadores en poliestireno como material principal para la competencia de AESS race que es organizada por la IIE (Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos) que contaba con los siguientes requisitos

- Envergadura del ala entre 60 a 140 cm.
- Se debe respetar el RAC (Reglamento Aeronáutico Colombiano).
- Cada equipo debe contar con un control RF y la electrónica de la categoría a participar.
- Cada equipo debe adjuntar un análisis aerodinámico justificado.



*Ilustración 1 Modelo SUE.*

Después de tener los requisitos de diseño uno de los primeros softwares a utilizar, para realizar la validación del diseño es XFLR5 debido a que este software gratuito que permite al usuario analizar perfiles y aeronaves en 3D operando a Reynolds bajos. Este software trabaja Xfoil junto con la teoría de lifting y vortex, esta teoría se programa en 4 módulos internos que permiten analizar y generar curvas de sustentación, además también permite calcular detalladamente el perfil a través de flujo directo e inverso simulando la trayectoria del mismo en un diseño en 3D (volante, s.f.).

El primer módulo a usar es el módulo de análisis directo de perfiles que es quien se encarga de generar las curvas de sustentación para así poder elegir perfil aerodinámico más adecuado para el diseño, en el caso de un ala zagi se debe procurar tener una fuerza de sustentación alta a bajas velocidades.

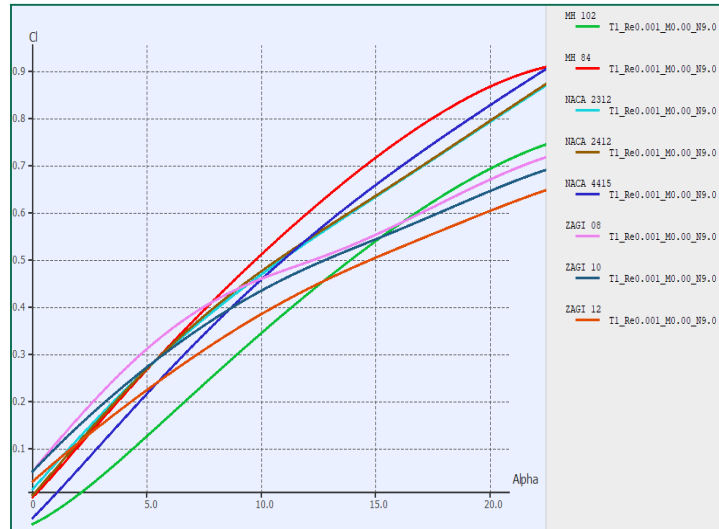


Ilustración 2 Comparación entre perfiles aerodinámicos.

Como para la explicación se usa un modelo que fue construido por el grupo SUE, cabe recalcar que esta aeronave en su diseño usa el perfil MH84 debido a que este posee buenas características de sustentación con un coeficiente de sustentación de 1,8; si bien el Dr. Jan Roskam sugiere que los aeromodelos posean coeficientes de sustentación de entre 1,2 a 1,8 (volante, s.f.); después de haber realizado el análisis de elección del perfil aerodinámico el usuario se le sugiere modelar el perfil aerodinámico mediante un diseño CAD. Para realizar este diseño y la obtención de las fuerzas aerodinámicas externas y estructurales internas se puede utilizar el software SolidWorks que es pago, este permite crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño, todo esto mediante sus módulos CAD, Simulation, Plastics, 3D, PCB, Composer, Inspection, PDM y CAM (Systemes, s.f.).

Lo primero que se debe hacer dentro del software es realizar el diseño CAD de la aeronave no tripulada ala zagi teniendo en cuenta la teoría de diseño aeronáutico; el grupo SUE utilizó la metodología de diseño del Dr. Jan Roskam y el Ing. Snorri Gudmundsson, además del perfil elegido en anteriormente.

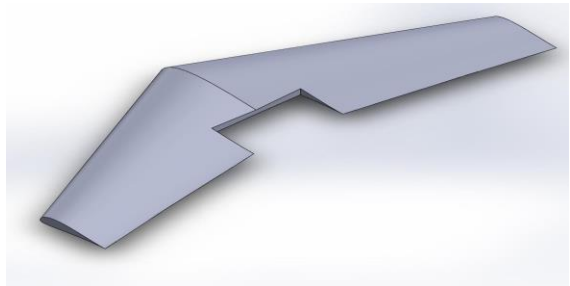


Ilustración 3 Ala zagi diseñada en SolidWorks.

Igualmente, este software nos permite realizar la simulación aerodinámica sobre el modelo diseñado con el módulo Flow Simulation para así poder obtener las fuerzas aerodinámicas externas que actúan sobre la aeronave; basando la simulación en condiciones idénticas a las condiciones de operación en la vida real aplicando la teoría de aerodinámica. En donde en la entrada se ingresan los valores de la velocidad del aire, número de Reynolds, altitud de operación, etc.

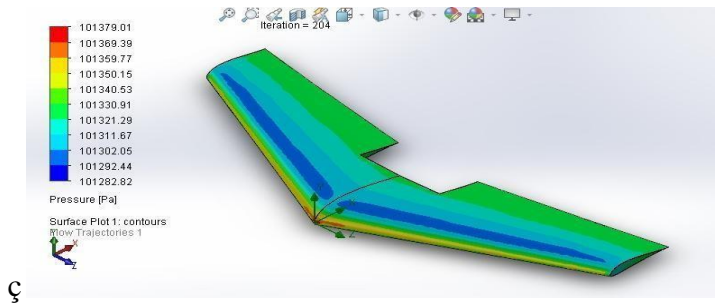
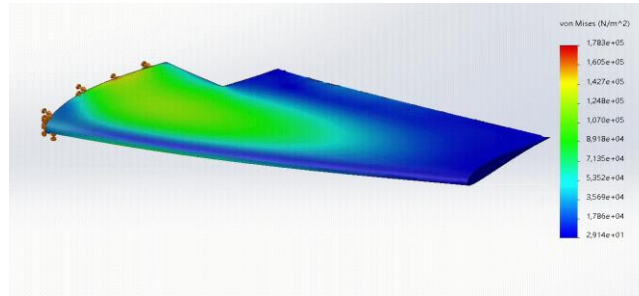


Ilustración 4 Fuerza externa actuante (presión).

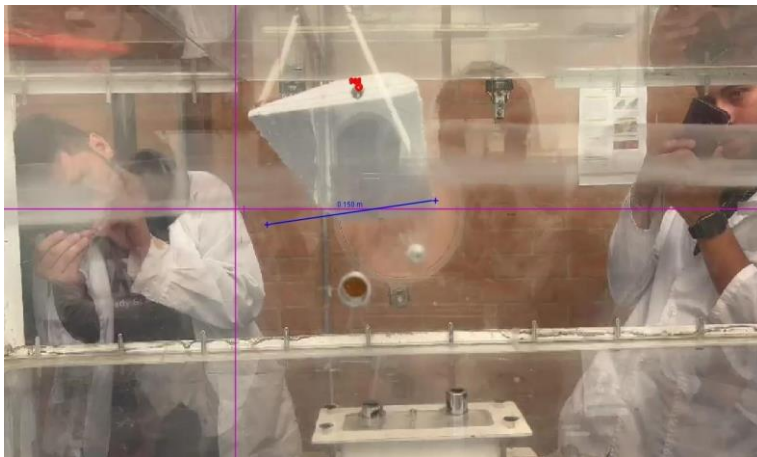
Posteriormente al obtener las fuerzas externas se utiliza el módulo Simulation en donde se importan las cargas aerodinámicas externas halladas anteriormente y así observar cómo estas cargas externas actúan dentro de la estructura interna del ala zagi, la simulación se realiza aplicando la teoría de materiales dúctiles de Von Mises y así se obtienen los esfuerzos estructurales internos a los que se ve sometida la aeronave.



*Ilustración 5 Esfuerzos y deflexión del perfil debido a cargas externas e internas.*

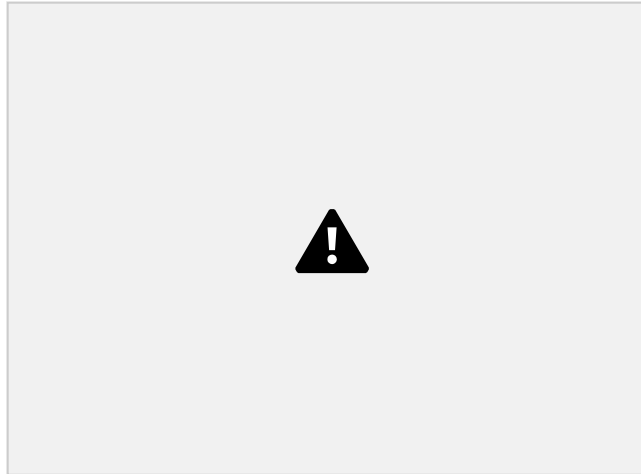
Para observar la deflexión máxima que se evidencia en la ilustración 5, el grupo SUE uso el túnel de viento de la Fundación Universitaria los libertadores junto con el software Tracker que es un software de modelado y análisis de video gratuito, este permite realizar modelos cinemáticos y dinámicos de partículas de masa puntual, para así poder realizar un seguimiento automático por medio de superposiciones de posición, velocidad y aceleración.

Al crear el perfil aerodinámico en poliestireno con la geometría del perfil MH84 y someterlo a un flujo de aire constante se evidencia la deflexión que se observa en la ilustración 5 debido a las cargas externas e internas, al grabar el video de la prueba en el túnel de viento e importarlo al software Tracker lo que se debe hacer es ajustar un eje de coordenadas junto con una vara de calibración para obtener datos precisos de la simulación que se realice en el software, seguido de elegir un rastreo automático de masa puntual para así saber cuál es la deflexión máxima que sufre el perfil aerodinámico.



*Ilustración 6 Seguimiento automático de masa puntual.*

Seguidamente al tener el conocimiento de las cargas aerodinámicas externas y estructurales internas además de la deflexión máxima lo que se hace es usar el software XFLR5 para poder realizar el análisis de estabilidad en donde se usa el módulo de diseño el módulo de diseño en donde se creará la aeronave con los parámetros de diseño requeridos por el usuario para previamente hacer el uso del análisis de estabilidad estática que se encuentra dentro del mismo modulo.



*Ilustración 7 Análisis de estabilidad del perfil MH84*

Luego de haber hecho ya el análisis y validación de la aerodinámica, diseño, estabilidad y estructura lo que queda es fabricar la aeronave con los refuerzos en el intradós, extradós y parte central de la aeronave; estos refuerzos son de palo cedro debido a que soportan las cargas deflexión evidenciada en la estructura. La aeronave se fabrica también para saber su masa total y así poder realizar el análisis del consumo energético del conjunto motor-hélice. Como se viene haciendo la explicación con el modelo SUE del semillero de drones de la fundación universitaria, esta aeronave no tripulada cuenta con una masa de 573,4 g.

El último software a utilizar para la validación del diseño es Ecal, este es una plataforma online de pago que permite realizar la simulación de aeromodelos RC en donde se pueden simular helicópteros, aeronaves con fan eléctrico, multirrotores y aeronaves de hélice; aparte permite realizar simulaciones de centro de gravedad, performance y búsqueda inicial de motorización si no se tiene gran experiencia en el aeromodelismo por RC.

Para el análisis de una aeronave no tripulada de tipo ala zagi se utiliza el software de aeronave con hélice, este permite realizar iteraciones entre diferentes combinaciones de componentes electrónicos como lo son las baterías Lipo, motores brushless, hélice y ESC para poder elegir el sistema de propulsión eléctrico adecuado respecto al peso y características de diseño y operación de la aeronave (Ecal, s.f.).

<b>General</b>	Peso del modelo: 574 g <input type="checkbox"/> con Motorización <input type="checkbox"/> 20.2 oz	Nº de motores: 1 (con la misma batería)	Envergadura: 1040 mm 40.94 inch	Superficie alar: 21.76 dm <sup>2</sup> 337.3 in <sup>2</sup>	Res. aerodinámica: estándar <input type="checkbox"/> 0.03 Cd
<b>Celdas batería</b>	Tipo (Cont. / max. C) - nivel de carga: LiPo 2200mAh - 35/50C <input type="checkbox"/> - media <input type="checkbox"/>	Configuración: 3 S 1 P	Capacidad por celda: 2200 mAh 2200 mAh total	descarga max. 85% <input type="checkbox"/>	Resistencia: 0.0073 Ohm
<b>Variador</b>	Tipo - Sincronización: max 40A <input type="checkbox"/> - normal <input type="checkbox"/>	Corriente: 40 A cont. 40 A max.	Resistencia: 0.006 Ohm	Peso: 50 g 1.8 oz	Sección del cable hasta la batería AWG12=3.30mm <sup>2</sup> <input type="checkbox"/>
<b>Motor</b>	Fabricante - Tipo (Kv) - refrigeración: EMAX <input type="checkbox"/> - GTII-2212-2200 (2200) <input type="checkbox"/> media <input type="checkbox"/> <input type="button" value="buscando..."/>	KV (w/o torque): 2200 rpm/V <input type="button" value="Asistente KV hélice"/>	Corriente sin hélice: 1.85 A @ 10 V	Límite (hasta 15s): 501 W <input type="checkbox"/>	Resistencia: 0.029 Ohm
<b>Hélice</b>	Tipo de hélice: personalizada <input type="checkbox"/> - 0° <input type="checkbox"/>	Diámetro: 7 inch	Paso: 5 inch	número de palas: 2	Const de Potencia/Empuje: 1.20 / 1.0



*Ilustración 8 Entradas Ecal.*

Batería		Motor a eficiencia óptima		Motorización Total		Avion	
Carga:	16.92 C	Corriente:	23.98 A	Peso de la Motorización:	300 g	Peso total:	574 g
Voltaje:	10.28 V	Voltaje:	10.38 V		10.6 oz		20.2 oz
Tensión nominal:	11.10 V	Revoluciones*:	20527 rpm	Potencia-Peso:	720 W/kg	Carga alar:	26 g/dm <sup>2</sup>
Energía:	24.42 Wh	Potencia eléctrica:	249.0 W		327 W/lb		8.5 oz/ft <sup>2</sup>
Capacidad total:	2200 mAh	Potencia mecánica:	213.4 W	Empuje-Peso:	2.31 : 1	Carga alar cúbica:	5.7
Capacidad usada:	1870 mAh	Eficiencia:	85.7 %	Corriente al máximo:	37.22 A	Velocidad estimada de pérdida:	27 km/h
Tiempo min de vuelo:	3.0 min			Potencia(entrada) al máximo:	413.2 W		17 mph
tiempo medio de vuelo:	8.8 min			Potencia(salida) al máximo:	313.1 W	Velocidad estimada (en horizontal):	108 km/h
Peso:	171 g			Eficiencia al máximo:	75.8 %		67 mph
	6 oz			Par:	0.16 Nm	Velocidad estimada (en vertical):	71 km/h
					0.12 lbf.ft		44 mph
						Trepada estimada :	19.8 m/s
							3896 ft/min

Mediante las salidas se evidencia que la aeronave SUE con un peso de 574 g realizaría un vuelo optimo con un sistema de propulsión eléctrico compuesto por una batería de 220mAh, un motor brushless 2212 de 220kv con una hélice 7050 y un ESC de 40 amperios.



*Ilustración 10 Modelo SUE en vuelo*

Al integrar todos los resultados calculados por los softwares el usuario podrá realizar un modelo funcional con los materiales y requerimientos de diseño además de poder realizar una sustentación de la ingeniería aplicada al diseño de la aeronave no tripulada de tipo alazgi.

#### 4. Conclusiones

- El uso del software en ingeniería ayuda a optimizar las labores y tiempos de diseño de una aeronave no tripulada.
- Se elige el perfil MH84 debido a que en el libro de diseño aeronáutico de Jan Roskam se sugiere un coeficiente de sustentación de 1,8 para aeromodelos y a sus características de estabilidad estática que presenta.
- Se colocan refuerzos estructurales en el borde de ataque en el intradós y extradós, junto con la zona central del cuerpo de la aeronave no tripulada debido a la deflexión evidenciada en la simulación de Tracker y la prueba en el túnel de viento y los esfuerzos internos a los que se ve sometida la aeronave.
- Se usa el sistema de propulsión arrojado por el software Ecal y la aeronave se desempeña óptimamente en el vuelo y se tiene una tolerancia de consumo de corriente para el ESC.

#### Referencias

- Calameo. (s.f.). Recuperado el 15 de 10 de 2022, de <https://en.calameo.com/read/005519904c27a4a327cd1>
- Ecal. (s.f.). *Ecal*. Recuperado el 15 de 10 de 2022, de <https://www.ecalc.ch/>
- Gudmundsoon, S. (2014). *General aviation aircraft design: applied methods and procedures*. USA: Elsevier.
- IEEE. (s.f.). *Standart Glossary of Software Engineering Terminology*.
- Roger, S. P. (s.f.). *Ingeniería del Software, un enfoque Práctico, Quinta edición edición*. México: Mc Graw Hill.
- Roskam, D. J. (2018). *Airplane Design*. Lawrence: Dar Corporation.

Systemes, D. (s.f.). *Solidworks*. Recuperado el 15 de 10 de 2022, de <https://solid-bi.es/solidworks/#:~:text=SOLIDWORKS%20es%20un%20software%20de,proceso%20de%20desarrollo%20del%20producto>.

volante, G. (s.f.). *Planos y técnicas de aeromodelismo*. Recuperado el 15 de 10 de 2022, de <https://gatovolante.wordpress.com/2020/06/11/analisis-de-aeromodelos-con-xflr-5/>

## **Rol del Ingeniero Aeronáutico en la astronomía.**

## **Role of the Aeronautical Engineer in astronomy.**

Cristian Lozano<sup>1</sup>, Juan Bermudez<sup>1</sup>, Jeison Cruz<sup>1</sup>, Kevin Castañeda<sup>1</sup> & Pedro Melo<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Escuela de Aviación del Ejército Bogotá, Colombia.

**Resumen.** La exploración espacial se ha convertido en uno de los temas más hablados en casi todo el mundo durante los últimos años y esto se debe a varias razones como la investigación de nuevos planetas, satélites naturales, galaxias e incluso identificar amenazas para nuestro ecosistema por parte de asteroides que orbitan alrededor del sol, entre otros. Los ingenieros han tenido un rol importante en la astronomía porque gracias a ellos se ha podido llevar humanos al espacio y poder explorar la luna. Debido a esto, se busca revisar las capacidades que puede determinar un ingeniero aeronáutico con el fin de contribuir con dichos conocimientos en la astronomía para realizar investigaciones, innovaciones e implementar estrategias de búsqueda de asteroides por medio del programa *The International Astronomical Search Collaboration* y ser aplicado en espacios académicos de universidades.

**Palabras clave:** Asteroides, Astronomía, Astrometrica, Ingeniería Aeronáutica, Pan-STARRS.

**Abstract.** Space exploration has become one of the most talked about topics in almost the entire world in recent years and this is due to several reasons such as the investigation of new planets, natural satellites, galaxies and even identifying threats to our ecosystem by asteroids that orbit around the sun, and so on. Engineers have played an important role in astronomy because thanks to them it has been possible to take humans into space and to explore the moon. Due to this, it seeks to review the capabilities that an aeronautical engineer can determine in order to contribute with said knowledge in astronomy to carry out research, innovations and implement asteroid search strategies through the International Astronomical Search Collaboration and be applied in college subject.

**Keywords:** Asteroids, Astronomy, Astrometrica, Aeronautical Engineering, Pan-STARRS.

### **1. Introducción**

¿Por qué vuela un avión? Dando una breve respuesta a esto, lo que permite que un avión vuele es la sustentación generada sobre sus alas a medida que gana velocidad (Kosky, Balmer, Keat, & Wise, 2021). Estos conocimientos son derivados de espacios académicos fundamentales que ven los ingenieros aeronáuticos en sus respectivas universidades, uno de estos elementos es llamado aerodinámica, el cual describe las cargas cuantitativamente en forma dimensional y como coeficientes, explora la fuerza y los momentos aerodinámicos: sustentación, arrastre, fuerza del viento cruzado, momento de cabeceo, momento de balanceo y momento de guiñada que actúan sobre superficies aerodinámicas,

alas y aviones. En algunas universidades se abre un espacio académico a la astronomía (Houghton, Carpenter, Collicott, & Valentine, 2013). De acuerdo a esos conocimientos, un ingeniero aeronáutico está capacitado para hacer pruebas en modelado 3D de la aerodinámica de aeronaves a través de túneles de viento para analizar y mejorar dichas discrepancias con fin de tener una mejor autonomía en vuelo (Iljaszewicz, Lusiak, Pastuszak, & Novak, 2020), (Li, y otros, 2022) y (He, Sun, Gao, & Yang, 2022). Ahora, ¿qué pasaría si estos conocimientos son aplicados en la astronomía?

Los sistemas de propulsión y energía auxiliar se centran en el intercambio de información técnica e ideas entre ingenieros y científicos que trabajan en programas espaciales y de misiles balísticos, hipersónicos, calentamiento aerodinámico, estructuras de materiales, propulsión, comunicaciones, computadoras, y bioastronáutica (Morrow, Ely, & Smith, 1961). Esto demuestra que la ingeniería ha sido muy importante en los inicios de la exploración espacial porque abre paso a la primera misión espacial concebida por los soviéticos llamada *Sputnik 1* en el cual se lanza el primer satélite artificial (Burns & Turchak, 2007). Permitiendo, el inicio de investigación en el espacio. Gracias a la ingeniería se pueden encontrar hazañas imprescindibles como lo fue el *Vostok 1*. El cual, se logró llevar el primer hombre al espacio “Cosmonauta”. logro conseguido nuevamente por los soviéticos. Seguidamente se encuentra otra hazaña importante que es el *Apollo 11* donde se lleva el primer hombre a la luna “Astronauta”, logro meritado por los Estados Unidos de América (Artola, 2009). Como se evidencia, los ingenieros tienen una disciplina cada vez más dominada por las técnicas de modelado, una práctica que requiere procesos como comprender el problema y construir, así como evaluar los diseños antes de la fabricación física de un producto (Edgar & Antonio, 2014). Actualmente se cuenta con una de las mejores obras para la astronomía, el telescopio espacial James Webb, es un telescopio espacial infrarrojo de 6,5 m diseñado para abordar cuatro temas científicos principales: fin de la edad oscura: primera luz y reionización; el ensamblaje de galaxias, el nacimiento de estrellas y sistemas protoplanetarios; y la formación de los sistemas planetarios y los orígenes de la vida (Clampin, 2008).

La astronomía posee temas importantes en los que un ingeniero puede aportar con sus conocimientos como lo es la búsqueda de asteroides. el cual, se han diseñado programas para la investigación y desarrollo de tecnologías con fin de buscar y detectar asteroides gracias a la buena calidad del software Astrometrica que alcanzan actualmente los telescopios como Pan-STARRS (Micheli, Wainscoat, & Denneau, 2018). En la Fig. 1. Se observa una foto del *Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System* (Pan-STARRS) que se encuentra ubicado en el Observatorio Haleakala, Hawái, EE. UU. Lugar donde se hacen (NEO, *Near Earth Orbit*), son los vecinos más cercanos y la investigación sobre ellos es importante no solo para comprender el origen y la evolución del Sistema

Solar, sino también para comprender las consecuencias y proteger a la sociedad humana de los impactos potenciales (Lister, y otros, 2021).



**Figura 1.** Telescopio Pan-STARRS (Rob).

Alrededor de 240.000 asteroides fueron observados por el telescopio Pan-STARRS1 durante los primeros 15 meses de su misión de estudio de todo el cielo de 3 años dando como inicio el funcionamiento de este telescopio (Vereš, y otros, 2015). A partir de este telescopio, han nacido grandes investigaciones para la exploración espacial. Una de las investigaciones fue sobre la evidencia de el hecho de no tener en cuenta el movimiento adecuado es responsable de la mayoría de los sesgos regionales observados en la astrometría de asteroides producidos por el estudio del cielo Pan-STARRS, así como del sesgo hacia el norte de 0,02 segundos de arco observado en nuestra propia astrometría Apophis (Tholen, Micheli, & Elliott, 2013). Otra importante investigación realizada fue el análisis de la detectabilidad de un objeto en el rango de tamaño del reciente impactador de Chelyabinsk bajo las capacidades actuales de descubrimiento y seguimiento, utilizando la estrategia de observación específica de la encuesta Pan-STARRS como punto de referencia (Micheli, Wainscoat, & Denneau, 2018). Un paquete de software moderno que produce descubrimientos e identificaciones automáticas de asteroides a partir de catálogos de detecciones transitorias de telescopios de exploración astronómica de próxima generación. MOPS logra una eficiencia superior al 99,5 % en la producción de órbitas a partir de una

población sintética pero realista de asteroides cuyas mediciones se simularon para un telescopio de clase Pan-STARRS (L, y otros, 2013).

Una de las razones por las cuales se busca investigar los asteroides es porque existe una problemática que se genera hipotéticamente sobre el impacto de un asteroide de 100 km de tamaño que puede transformar la Tierra en un planeta inhóspito, provocando así la extinción de muchas formas de vida, incluida la especie humana (Salotti, 2022). No obstante, las técnicas modernas para la defensa planetaria de cometas y asteroides implican la desviación del bólido a través de medios cinéticos, gravitatorios o radiactivos. Si bien son potencialmente efectivos, ninguno de estos métodos es capaz de operar en un modo de interdicción terminal en el que la amenaza se descubre con poco tiempo antes del impacto (Lubin & Cohen, 2022). Los asteroides cercanos a la Tierra representan una amenaza considerable para la seguridad de la Tierra, donde su impacto podría causar un gran desastre. Para la desviación de asteroides, el impacto cinético es una estrategia efectiva. Los resultados de la simulación demuestran que la forma del impactador afectará el efecto de desviación. El impactador en forma de bala dará como resultado un mayor incremento de velocidad del asteroide (Youtao, Yuhai, Bo, & Ying, 2022).

La NASA había realizado el lanzamiento de una nave espacial DART el cual interceptó el sistema binario Didymos e impactar la pequeña luna (Dimorphos), para probar la efectividad de los impactadores cinéticos para la desviación de las trayectorias de asteroides peligrosos (Capannolo, y otros, 2021).

## 2. Metodología

Un ingeniero aeronáutico puede iniciar en el mundo de la astronomía por medio del programa *The International Astronomical Search Collaboration (IASC)*. En el cual se analizan imágenes proporcionadas por el telescopio Pan-STARRS y poder detectar asteroides que el propio telescopio no ha logrado identificar (Ascencio-Moran, Calero-Juarez, Pajares-Acuña, & Roman-Gonzalez, 2019). Permitiendo nuevos conocimientos sobre la astronomía que en este caso son los asteroides y así poder empezar a crear ideas para la innovación o creación de dispositivos que faciliten la exploración espacial. Como se puede observar en la Fig. 2. el análisis de los asteroides por medio del software Astrometrica es gracias a 4 imágenes que suministra el telescopio Pan-STARRS, estas imágenes contienen información importante para el análisis de objetos en el espacio.

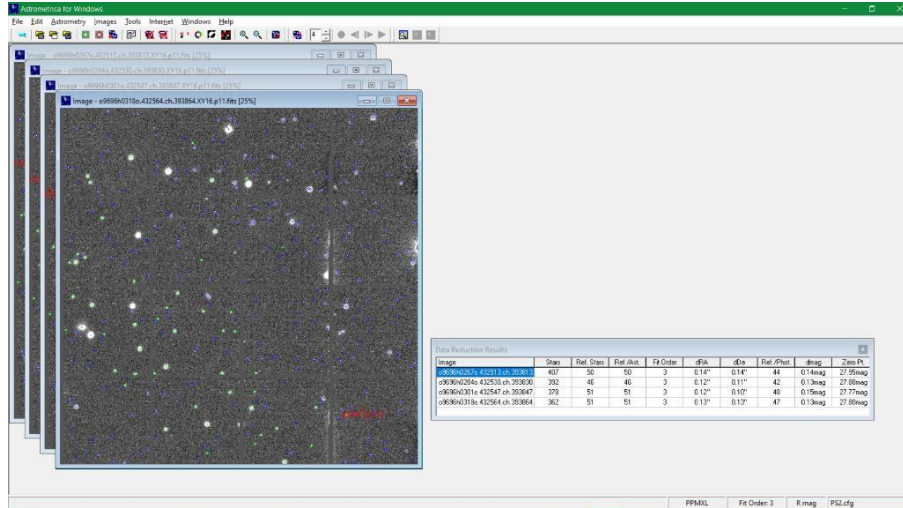
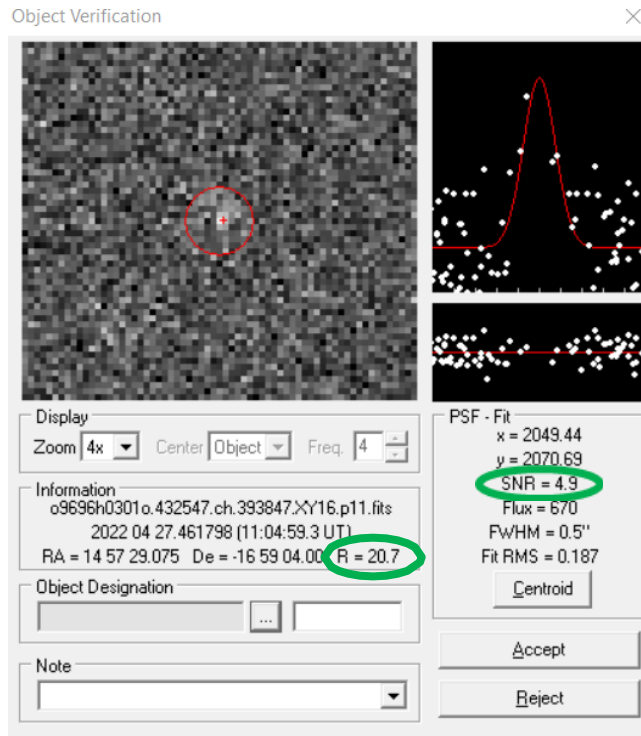


Figura 2. (Astrometrica, Software Astrometrica con imagenes para el analisis de asteroides).

Unas características simples para saber si se encontró un posible asteroide es que el objeto debe tener una trayectoria lineal y que esa trayectoria se pueda observar en 3 o 4 imágenes. Una vez que se haya hecho ese primer descubrimiento, se abre una tabla como se puede evidenciar en la Fig. 3. El cual, muestra unas características de ese objeto hallado donde se definirá si realmente es un candidato para ser asteroide o no.





**Figura 3.** (Astrometrica, Tabla de verificación de datos del objeto).

Image	Stars	Ref. Stars	Ref./Ast.	Fit Order	dRA	dDe	R
o9696h0267o.432513.ch.393813	407	50	50	3	0.14"	0.14"	20.7
o9696h0284o.432530.ch.393830	392	46	46	3	0.12"	0.11"	20.7
o9696h0301o.432547.ch.393847	378	51	51	3	0.12"	0.10"	20.7
o9696h0318o.432564.ch.393864	362	51	51	3	0.13"	0.13"	20.7

**Figura 4.** Tabla de resultados de datos (Astrometrica, Tabla de resultados de datos).

Los parámetros para definir si es asteroide, se deben cumplir con los siguientes requerimientos.

- Visualizando la Fig. 3. La relación señal/ruido (SNR) debe estar en un rango de entre 3.5 y 12.
- Como se observa en la Fig. 4. La declinación y la ascensión recta del objeto (dRA y dDe) deben estar muy cerca de 0.00.
- Observando las Fig. 2 y 3. La magnitud (R) debe ser constante en las 4 imágenes del telescopio.

Una vez determinado que es un posible candidato para asteroide, se debe realizar un informe MCP como se observa en la Fig. 5. Con el propósito de que expertos en asteroides le hagan un seguimiento a ese candidato y después de aproximadamente 3 años determinar si es un asteroide o no.

```

COD F51
OBS J. Bulger, T. Lowe, A. Schultz, M. Willman
MEA T. Vorobjov, PS1 Science Consortium
TEL 1.8-m f/4.4 Ritchey-Chretien + CCD
ACK MPCReport file updated 2020.02.15 10:58:07
NET PPMXL
NEW0001 C2019 10 24.58871204 11 48.498+14 24 22.67 21.0 R F51
NEW0001 C2019 10 24.59977804 11 48.323+14 24 09.50 21.0 R F51
NEW0001 C2019 10 24.61076604 11 48.141+14 24 11.29 21.2 R F51
NEW0001 C2019 10 24.62169404 11 47.877+14 24 20.22 20.9 R F51
---- end ----
    
```

Figura 5. (Astrometrica, Informe MCP).

### 3. Análisis, resultados y discusión

Durante el presente informe se puede probar la participación de un ingeniero aeronáutico en el sector de la astronomía. Ya que, es de mucha importancia. Los ingenieros aeronáuticos aplican la ciencia y la tecnología para la investigación, diseño, fabricación y mantenimiento de aeronaves, misiles, satélites y vehículos espaciales. Por consiguiente, la exploración espacial ha avanzado impresionantemente y existen muchos campos en el cual se pueda hacer partícipe como ingeniero aeronáutico. En cuanto las búsquedas de asteroides, encontramos que es un tema en el cual se ha abarcado desde hace varios años y ha avanzado su investigación considerablemente. Existen 20 campañas registradas en el campamento de septiembre – Octubre, del *International Astronomical Search Collaboration* de búsqueda de asteroides. En la tabla 1 se logra observar la cantidad de grupos que existen por campaña y cada grupo cuenta con aproximadamente 4 personas, donde se evidencia la participación de varios países, entre esos Colombia, que cuenta con participación de la Universidad Distrital contando con 15 grupos.

Tabla 1. Lista de campañas de septiembre – octubre 2022.

Numero	Campaigns	Number of teams
1	All Nepal Asteroid Search Campaign	15
2	All Serbia Asteroid Search Campaign	9
3	All Turkey Asteroid Search Campaign	15
4	All Uruguay Asteroid Search Campaign	15
5	All Venezuela Asteroid Search Campaign	40
6	International Asteroid Search Campaign	165
7	Astrophile Asteroid Search Campaign	7

8	CB Devgun Memorial Asteroid Search Campaign	20
9	Dr. Kalam Science Club Odisha Asteroid Search Campaign	10
10	GAOM Argentina Asteroid Search Campaign	10
11	Hands – On Universe India Asteroid Search Campaign	15
12	Ignited Minds – SKYAAC ‘Saptarishi India’ Asteroid Search Campaign	30
13	MARSG India Asteroid Search Campaign	20
14	MCTI 2022 Asteroid Search Campaign	31
15	National Spaceonova Asteroid Search Campaign	15
16	SEDS Sri Lanka Asteroid Search Campaign	8
17	Spaceport India Asteroid Search Campaign	15
18	SSERD Asteroid Search Campaign	10
19	Tamilnadu Asteroid Search Campaign	20
20	UDistrital Asteroid Search Campaign	15
<b>Total</b>		<b>485</b>

**Fuente:** Producción propia.

De acuerdo a la Tabla 2. Se evidencian algunos hallazgos de asteroides confirmados por personas de varios países. En el cual, un ingeniero aeronáutico puede ser parte de este gran sin número de conmemorados por la participación y hallazgo de asteroides.

**Tabla 2.** Lista de alguno de los reconocimientos por el hallazgo de asteroides.

<b>Asteroid</b>	<b>Name</b>	<b>Number</b>	<b>Citizen Scientist</b>	<b>Team</b>	<b>Location</b>
2007 CJ51	Not Named	278134	L. Hunter, Whitehurst, & T. Haynie.	Meredith Collage	USA - NC
2007 CQ54	Not Named	424064	Rose, Sebastien & Di Joseph.	Cordova High School	USA - CA
2007 DB85	Not Named	185484	J. Jones, M. Crevier & D. Weiser.	Belmont High School	USA - NH
2007 DQ63	Julius Olsen	221698	J. Skykes, R. Pohll & A. Lening	South Anchorage High School	USA – AK
2007 GA4	Pawel Maksym	315166	M. Bogowicz, P. Jasinski, D. Swierczewska & B. Dluzewska	Czacki High School	Poland
2007 TS70	Not Named	364630	Sato, Sugiyama & Takayanagi	Shizouka University	Japan

2009 TD2	Not Named	407139	K. Dankov	Bulgarian Academy of Science	Bulgaria
----------	-----------	--------	-----------	------------------------------	----------

**Fuente:** Producción propia.

La exploración espacial jamás va a parar debido a la cantidad de galaxias por observar, cuerpos celestes por analizar y fenómenos por descubrir. Por consiguiente, se invita a los ingenieros aeronáuticos a que hagan parte de la astronomía investigando e innovando para compartir los conocimientos y poder avanzar con esta exploración espacial.

#### 4. Conclusiones

Un ingeniero Aeronáutico está completamente capacitado para participar en el área de la astronomía, cumpliendo con labores de investigación e innovación facilitando la búsqueda de nuevos objetos como lo son los asteroides y así mismo ser de gran ayuda para futuras misiones espaciales.

Una buena práctica para empezar con la divulgación científica en el área de la astronomía es abriendo espacios académicos en universidades en busca del fortalecimiento de este aspecto y en consecuencia impulsar a los estudiantes para que desarrollen el ámbito de la investigación.

#### Referencias

Artola, R. (2009). *La carrera espacial del Sputnik al apollo 11*. Alianza Editorial.

Ascencio-Moran, J., Calero-Juarez, J., Pajares-Acuña, M. d., & Roman-Gonzalez, A. (2019). Experience in asteroid search using Astrometrica software. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 455 - 460.

Astrometrica. (s.f.). *Informe MCP*. The International Astronomical Search Collaboration.

Astrometrica. (s.f.). *Software Astrometrica con imagenes para el analisis de asteroides*. The International Astronomical Search Collaboration.

Astrometrica. (s.f.). *Tabla de resultados de datos*. The International Astronomical Search Collaboration.

Astrometrica. (s.f.). *Tabla de verificación de datos del objeto*. The International Astronomical Search Collaboration.

- Burns, K. R., & Turchak, L. I. (2007). Sputnik - Why the Russians were first in space. (págs. 528 - 540). A Collection of Technical Papers - AIAA Space 2007 Conference.
- Capannolo, A., Zanotti, G., Lavagna, M., Epifani, E. M., Dotto, E., Della Corte, V., . . . Pirrotta, S. (2021). Challenges in LICIA Cubesat trajectory design to support DART mission science. *Acta Astronautica*, 208 - 218.
- Clampin, M. (2008). The James Webb Space Telescope (JWST). *Advances in Space Research*, 1983- 1991.
- Edgar, S. M., & Antonio, P. J. (2014). Lógica y abstracción en la formación de ingenieros: una relación necesaria. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 299 - 310.
- He, R., Sun, H., Gao, X., & Yang, H. (2022). Wind tunnel tests for wind turbines: A state-of-the-art review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Houghton, E., Carpenter, P., Collicott, S., & Valentine, D. (2013). *Basic Concepts and Definitions*. Aerodynamics for Engineering Students (Sixth Edition).
- Iljaszewicz, P., Lusiak, T., Pastuszak, A., & Novak, A. (2020). Aerodynamic analysis of the aircraft model made with the 3D printing method. *Transportation Research Procedia*, 118 - 133.
- Kosky, P., Balmer, R., Keat, W., & Wise, G. (2021). Aeronautical Engineering. *Exploring Engineering (Fifth Edition)*, 113-128.
- L, D., R, J., T, G., M, G., J, K., A, M., . . . W, S. y. (2013). The Pan-STARRS Moving Object Processing System. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 357 - 395.
- Li, W., Liu, T., Martinez-Vazquez, P., Chen, Z., Huo, X., Liu, D., & Xia, Y. (2022). Correlation tests on train aerodynamics between multiple wind tunnels. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*.
- Lister, T., Gomez, E., Chatelain, J., Greenstreet, S., MacFarlane, J., Tedeschi, A., & Kotic, I. (2021). NEOExchange - an online portal for NEO and Solar System science. *Icarus*.
- Lubin, P., & Cohen, A. N. (2022). Asteroid Interception and Disruption for Terminal Planetary Defense. *Advances in Space Research*.
- Micheli, M., Wainscoat, R. J., & Denneau, L. (2018). Detectability of Chelyabinsk-like impactors with Pan-STARRS. *Icarus*, 265 - 272.

- Morrow, C., Ely, L., & Smith, M. (1961). *Ballistic missile and aerospace technology : proceedings of the Sixth Symposium on Ballistic Missile and Aerospace Technology. Vol. 2, Ballistic missile and space electronics*. New York: Academic Press.
- Rob, R. (s.f.). *Pan-STARRS1 Observatory atop Haleakala Maui at sunset.*
- Salotti, J. M. (2022). Humanity extinction by asteroid impact. *Futures*.
- Tholen, D. J., Micheli, M., & Elliott, G. T. (2013). The effect of proper motion on Pan-STARRS asteroid astrometry. *Icarus*, 625 - 627.
- Vereš, P., Jedicke, R., Fitzsimmons, A., Denneau, L., Granvik, M., Bolin, B., . . . Price. (2015). Absolute magnitudes and slope parameters for 250,000 asteroids observed by Pan-STARRS PS1 – Preliminary results. *Icarus*, 34 - 47.
- Youtao, G., Yuhai, F., Bo, X., & Ying, W. (2022). Effectiveness analysis of multiple kinetic impacts of near-Earth asteroids. *Advances in Space Research*, 2883 - 2892.

## CREACIÓN DE UN PROYECTO EN ARCGIS COMO HERRAMIENTA DE APOYO PARA EL ÁREA DE DEFENSA TERRESTRE DE LA EMAVI

### MAKING AN ARCGIS PROJECT AS A SUPPORT TOOL FOR GROUND DEFENSE AREA OF EMAVI

Paula Daniela Hernández <sup>1</sup>, Mateo Cubides Galeano<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Escuela militar de aviación “Marco Fidel Suarez”, Estudiante,  
pdhernandezm@emavi.edu.co.

<sup>2</sup>Escuela militar de aviación “Marco Fidel Suarez”, Estudiante,  
mcubidesg@emavi.edu.co

**Resumen.** El presente artículo de investigación es un desarrollo que versa sobre la creación de un proyecto en ArcGis como herramienta para el área de la defensa terrestre de la Emavi, Unidad Aérea Militar (UMA) de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), que se encuentra en Santiago de Cali, Valle del Cauca; colindante con la comuna quinta y la comuna octava en el casco urbano de la ciudad. Este SIG se realiza en el software ArcGIS, observando las falencias o aspectos de seguridad que pudieran afectar a la base aérea, considerando el gran riesgo de ser amenazada por delitos formales como grupos organizados al margen de la ley; delincuencia informal, con modalidades como atentados, homicidios, delincuencia, infiltración y espionaje; entre otras modalidades que alteran el orden público, el bienestar y la tranquilidad no solo de la UMA, sino también de sus ciudadanos. Asimismo, se recopila la información pertinente con fuentes secundarias para obtener datos a través de la visita y comunicación con el Grupo de Inteligencia Aérea y el de Seguridad. Observatorio de la ciudad de Santiago de Cali. El análisis de estos datos es la primera orientación para la realización del SIG y el diagnóstico de los factores favorables y desfavorables que pudieran afectar a la Base Aérea como requisitos indispensables para desarrollar el Sistema. Finalmente, con los resultados del desarrollo del SIG, se estima brindar un beneficio a la Base Aérea “Marco Fidel Suárez”, al optimizar los ejercicios de seguridad y brindar un análisis más didáctico para las labores de monitoreo, protección, estudios e inteligencia. El proyecto aprovecha la tecnología gracias a la gestión de la interfaz de mapas, información y datos, lo que redundará en una mejora continua de este sistema.

**Palabras clave:** ArcGis, sistema de información geográfica, modelo lógico, base aérea.

**Abstract.** This research article is a development that deals with the creation of a project in ArcGis as a tool for the area of land defense of the Emavi, Military Air Unit (UMA) of the Colombian Air Force (FAC), which is located in Santiago de Cali, Valle del Cauca; adjacent to the fifth commune and the eighth commune in the urban area of the city. This GIS is carried out in ArcGIS software, observing the shortcomings or security aspects that could affect the air base, considering the great risk of being threatened by formal crimes such as organized groups outside the law; informal crime, with modalities such as attacks, homicides, delinquency, infiltration and espionage; among other modalities that alter the public order, welfare and tranquility not only of the UMA, but also of its citizens. Likewise, relevant information is compiled with secondary sources to obtain data through the visit and communication with the Air Intelligence Group and the Security Group. Observatory of the city of Santiago de Cali. The analysis of these data is the first orientation for the realization of the GIS and the diagnosis of the favorable and unfavorable factors that could affect the Air Base as indispensable requirements to develop the System. Finally, with the results of the GIS development, it is estimated to provide a benefit to the "Marco Fidel Suarez" Air Base, by optimizing security exercises and providing a more didactic analysis for monitoring, protection, studies and intelligence tasks. The project takes advantage of technology thanks to the management of the interface of maps, information and data, which results in a continuous improvement of this system.

**Keywords:** ArcGis, Geographic information system, logical model, air base.

## 1. Introducción

En el marco de la misión institucional de la Fuerza Aérea Colombiana de volar, entrenar y combatir para vencer y dominar el aire, el espacio y el ciberespacio, es pertinente visualizar todas las áreas en las que se desempeñan los servidores y militares de la institución, siendo esta, la valerosa especialidad de la Seguridad y Defensa de las Bases Aéreas. Esta especialidad es la responsable de desarrollar planes, procedimientos y operaciones terrestres que mantengan la seguridad y la integridad de las Unidades Militares Aéreas (UMA) donde se ofrecen los servicios aeronáuticos a la patria. Uno de estos procedimientos se enfoca en la supervisión y vigilancia del perímetro de la UMA, identificando zonas de alta vulnerabilidad que sean un punto frágil para la Institución, pero un punto de quiebre para el enemigo. Ante estas eventualidades, el personal que se desempeña en estos cargos y sus directivas, son conscientes que hay momentos en donde no es de gran facilidad desarrollar patrullas o “rondas” para hacer un reconocimiento de las actividades que se presentan en estos puntos; de tal forma, que, en ciertas ocasiones, tienen que tomar decisiones críticas y priorizar actividades. Es por esto que desde que inició la era tecnológica, de los sistemas de gestión de la información y por supuesto las herramientas informáticas, ha sido de gran agrado la investigación y la búsqueda de una solución eficiente, pertinente, ágil y segura para analizar esta situación particular de la institución. El proyecto enfoca en el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), como una eficaz herramienta que es capaz de



recopilar, almacenar, procesar y visualizar información geográfica con herramientas para la identificación de entidades geográficas. Estos sistemas tienen una alta utilidad en el manejo de información con base espacial que brindará una herramienta para el análisis de los datos de manera lógica y coordinada; además, facilita la gestión de la información geográfica con el fin de solucionar complicaciones, desarrollar nuevas técnicas de información y dar respuesta a necesidades que se relacionan con la actividad geomática. Esta investigación, plantea el diseño preliminar de un Sistema de Información Geográfica, integrando esta herramienta a las actividades que se desarrollan para brindar seguridad terrestre de una UMA como lo es la Escuela Militar de Aviación “Marco Fidel Suárez” (EMAVI). Así mismo, se permite reconocer un registro de los casos críticos de inseguridad en esta Unidad a lo largo del tiempo. Se pretende llevar el diseño y estructuración del SIG a una interfaz de usuario que facilite su uso e interpretación para fortalecer todos los aspectos de seguridad terrestre. Esto permite en un futuro obtener una mayor claridad en el procesamiento y análisis de cada uno de los casos de riesgo a los que la EMAVI se ve expuesta y como se pueden enfrentar de manera eficiente y segura. Finalmente, en este documento se encontrará la información pertinente al desarrollo de la investigación, teniendo en cuenta que es el seguimiento y complemento de una búsqueda desarrollada diez (10) años atrás, aproximadamente. En las primeras secciones se encuentra el estado del arte y fuentes puntuales que mencionan los parámetros y la información general que hasta la fecha se han realizado. Posteriormente, se encuentra el enfoque metodológico de esta investigación, encontrando los objetivos y el desarrollo técnico con el cual se desarrolló este proyecto. Finalmente, se encuentra la sección del desarrollo y la obtención de resultados, donde se describe como fueron las actividades de cada etapa para obtener el resultado esperado. Para finalizar el documento, se encuentran conclusiones y recomendaciones finales, que han sido producto de todo el desarrollo mencionado.

## **2. Metodología**

Se realiza este proyecto en el software ArcGIS buscando una mejoría a las falencias y aspectos de seguridad que podrían afectar la base aérea, teniendo en cuenta el gran riesgo de ser amenazada por los grupos organizados al margen de la ley; con modalidades como atentados, homicidios, delincuencia, infiltración y espionaje que alteran el orden público, el bienestar y la tranquilidad no solamente de la UMA, sino de sus ciudadanos. Así mismo, se recopila la información pertinente, con fuentes secundarias para obtener datos por medio de la visita y comunicación con el Grupo de Inteligencia Aérea y el Observatorio de Seguridad de la ciudad de Santiago de Cali. El análisis de esos datos es la primera orientación para la realización del SIG y el diagnóstico de los factores favorables y desfavorables que podrían afectar la seguridad de la Base Aérea como requisitos esenciales para desarrollar el proyecto. Finalmente, con los resultados del desarrollo del proyecto, se estima ofrecer un beneficio a la Base Aérea “Marco Fidel Suárez”, al optimizar los

ejercicios para la seguridad y brindar un análisis más didáctico para el seguimiento, protección, estudios y labores de inteligencia. El proyecto ofrece la oportunidad de aprovechar la tecnología gracias a la gestión de la interfaz de mapas, información y datos, permitiendo un mejoramiento continuo de este sistema. En esta sección se describe el paso a paso de su trabajo de investigación, definiendo claramente las fases de este, las herramientas utilizadas, y las actividades propuestas para llevar a cabo las diferentes tareas.

### **Método de Investigación**

El método de investigación para la realización del estudio consiste en un método mixto debido a que incluye la participación de sujetos en el estudio; así mismo, emplea procesos de inferencia estadística para generalizar las conclusiones de una muestra a una población, en este caso, la base aérea Marco Fidel Suarez y sus alrededores. Con los resultados del estudio se busca brindar herramientas para la atención a una población predeterminada mediante el uso y desarrollo de un Sistema de Información Geográfica.

### **Tipo y enfoque de la investigación**

Este estudio tiene como referencia un enfoque de investigación descriptiva, la cual, tiene como objetivo estudiar, diagnosticar y caracterizar una situación crítica de la vida real en una UMA (Unidad Militar Aérea), buscando una solución estratégica como posible alternativa para erradicar el problema. La situación crítica que se establece es la vulnerabilidad en los cuatro (04) puntos de acceso a la unidad, ya que son zonas de alto riesgo ante un posible ataque para violar la seguridad de la Base Aérea “Marco Fidel Suárez”. Se evalúa la posible solución estratégica mediante la implementación de un Sistema de Información Geográfica actualizable y eficaz, con el fin de proveer parámetros de vigilancia y seguimiento para la seguridad de los puntos más vulnerables y críticos de la UMA.

### **Etapas metodológicas**

Para el desarrollo del Sistema de Información Geográfico se usa el modelo de desarrollo de software tipo “Cascada”, este modelo se aplica al desarrollo de proyectos, pues, se basa en un modelo lineal, consistente en una secuencia de procedimientos para el desarrollo secuencial, ordenado y dependiente. Este modelo facilita la gestión del desarrollo debido a sus rigurosas etapas y permite contar una organización más fácil y eficaz sin mezclar las fases de desarrollo. (Rodríguez, 2018). Así mismo, el enfoque de este proyecto alinea con el modelo “Cascada”, pues se basa en una perspectiva clásica y básica donde cada etapa debe esperar la finalización de la etapa anterior, esto le da sustento al desarrollo al entender que, al lograr el resultado esperado, cada etapa ha sido cumplida exitosamente. En la Figura 1 se expone el modelo tipo cascada que aplica para este proyecto.

### **Etapa 1. Análisis:**

Son los requerimientos generales y técnicos que resultan de la búsqueda de información pertinente a las siguientes características: fallas en los aspectos de seguridad de la base aérea Marco Fidel Suarez, antecedentes de seguridad ocurridos contra la UMA, información relevante de las zonas aledañas a la EMAVI que parametriza y corrobora los puntos vulnerables de la unidad. Con esta información de manera organizada en una matriz de requerimientos y tablas, se incluye de manera estratégica en la base de datos del software seleccionado con el fin de reconocer y supervisar los sitios donde se presentan mayores incidentes ya sean, homicidios, capturas, atentados o algún otro tipo de acto malintencionado. Todo este desarrollo es disponible gracias a Los diferentes estudios realizados, de acuerdo al plan de seguridad de la Base Aérea “Marco Fidel Suárez”, además de un análisis de las zonas focales o puntos estratégicos donde se podrían llevar a cabo atentados u otro tipo de incidentes que puedan poner en riesgo la seguridad de la unidad.

### **Etapa 2 Diseño: Modelo Lógico**

En primera instancia, es preciso resaltar que muchos de los softwares que son aplicables a los Sistemas de Información Geográfica, NO son libres, por lo tanto, es necesario contar con la licencia para el manejo del software seleccionado. Posteriormente, se establecen las funciones que debe cumplir este proyecto como lo son: caracterizar los mayores eventos que podrían poner en riesgo la seguridad terrestre de la base aérea Marco Fidel Suarez y facilitar el uso de la interfaz mediante iconos, simbología, imágenes, colores, entre otros. Se plantea un diseño mediante la inducción de una base de datos al software siendo esta brindada por el GRUIA (Grupo de Inteligencia Aérea), además se analizan las herramientas que permiten la creación de mapas inteligentes, puntos geográficos y datos informativos.

### **Etapa 3. Desarrollo del proyecto al servicio de la seguridad terrestre de la UMA**

Teniendo en cuenta la formulación conceptual del proceso para el desarrollo del proyecto vista en la sección, es preciso tomar como punto de partida los requerimientos funcionales. Estos requerimientos se representan en diagramas que representan el proceso conceptual para incluirlo el Modelo Lógico. En estos diagramas, todos los objetos involucrados se estructuran y se relacionan entre sí. Así mismo, en esta etapa se evidencia el procedimiento, las etapas y los ajustes que se aplican en el desarrollo y configuración del proyecto; en otras palabras, es la secuencia ejecutable que se realiza para obtener el resultado final de la interfaz interactiva que este proyecto plantea.

### **Etapa 4. Pruebas: Modelo final del SIG.**

El proyecto al finalizar su desarrollo, debe permitir la visualización de las zonas terrestres desde una perspectiva espacial de la base Aérea Marco Fidel Suarez, con el resultado de evidenciar las fallas de seguridad de una manera más dinámica y poder interactuar con las mismas. El software representa esta información mediante una histórica de hechos delictivos a lo largo del tiempo que se visualiza en el mapa terrestre dentro del proyecto

mediante colores, imágenes, datos, íconos, símbolos y aspectos significativos que identifican los diferentes tipos de clasificación de la seguridad como: asesinatos, atentados y más actos presentados en las zonas aledañas a la Base Aérea “Marco Fidel Suárez”.

### **Fuentes de Información**

Las fuentes de información son aquellas que indican en dónde se encuentra la información necesaria para dar cumplimiento a los objetivos de la investigación. (Sección Investigación, 2020) En este proyecto y bajo los parámetros de los objetivos, se identifica que es necesario recolectar datos e información histórica que serán el soporte y el punto de partida para el desarrollo de la investigación y los resultados. Por lo anterior, se seguirá la teoría de las fuentes primarias y secundarias como se describe a continuación.

#### **I. Fuentes Primarias**

Las fuentes primarias son las más cercanas al evento que se investiga, es decir, “Son aquellas que provienen directamente del autor de la investigación como las entrevistas, encuestas, fotos, videos; o sus publicaciones originales como libros, tesis doctorales, monografías, documentos oficiales, artículos científicos, ponencias, entre otros”.(Alvarez, 2012) Como se mencionó anteriormente, se proyecta hacer uso de estas importantes herramientas como lo serán: Entrevistas y encuestas al personal del GRUSE y de inteligencia de la base, que proveerán la información como actores principales. Se clasifican estas fuentes para aplicar en este proyecto debido a que la metodología se basa en el modelo de cascada y por lo tanto es importante contextualizar el trabajo de grado mediante la información real del usuario final.

#### **II. Fuentes Secundarias**

Según (Alvarez, 2012) las fuentes secundarias, “es la información resultante de las fuentes primarias y que han sido elaboradas por otro investigador; como resúmenes de libros, compilaciones, citas bibliográficas, fichas bibliográficas, bases de datos bibliográficas, comentarios breves de revistas, entre otros”. Teniendo en cuenta lo anterior, también es necesario darle seguimiento y fundamento técnico a la información que se recolectó mediante las entrevistas al usuario final donde manifiesta una necesidad particular, la cual, será solucionada a través de este proyecto siguiendo un enfoque tecnológico e innovador como lo es el uso de los Sistemas de Información Geográfico.

### **Técnicas para la Recolección de la Información**

Las técnicas de recolección de información se obtienen de las fuentes primarias, a través de técnicas cualitativas y cuantitativas que permiten saber cómo se obtendrá la información necesaria para llevar a cabo el proyecto. Por lo tanto, se han definido tres importantes

técnicas las cuales resultan muy eficientes en este proceso de recolección de la información y se describen a continuación.

### **I. La Observación**

La observación consiste en la indagación sistemática, dirigida a estudiar los aspectos más significativos de los objetos, hechos, situaciones sociales o personas en el contexto donde se desarrollan normalmente; permitiendo la comprensión de la verdadera realidad del fenómeno. La observación se fundamenta en buscar el realismo y la interpretación del medio y que se debe planear cuidadosamente en: Etapas, aspectos, lugares y personas. (Bastis Consultores, 2020)

### **II. La Entrevista**

La entrevista de investigación es uno de los métodos de recopilación de datos informativos, ya que permite recoger y analizar varios elementos como: la opinión, la actitud, los sentimientos, las representaciones de la persona entrevistada, los acontecimientos, afirmaciones, registros y datos basados en la experiencia, entre otros. La entrevista establece una relación especial entre el investigador, la persona entrevistada y la información que se quiere obtener; además, es una excelente herramienta para plantear nuevas hipótesis y dar respuesta a antiguas conjeturas. (Blog Entrevistas, 2021)

### **III. La Encuesta**

Es una técnica de recopilación de información donde el investigador interroga a los investigados y de esto obtiene los datos requeridos. La encuesta permite obtener información de un grupo socialmente significativo de personas relacionadas con el problema de estudio; que posteriormente, a través de un análisis cuantitativo o cualitativo, resultan las conclusiones que correspondan a los datos recogidos. (Bastis Consultores, 2020)

## **3. Análisis, resultados y discusión**

### **Análisis**

Identificación de requerimientos para el SIG Se requieren datos de entrada para ingresar al aplicativo seleccionado para desarrollar este SIG, para el efecto se buscaron los datos relevantes según las técnicas de recolección de información establecidas para este proyecto, donde algunas de estas herramientas fueron: reuniones con el cliente final, consultas técnicas con personal experto, ensayos de prueba/error y encuestas.

### **Coordenadas Geográficas**

Las coordenadas geográficas son aquellas que ayudan ubicar un punto exacto en la tierra las cuales se ven representadas por latitud y longitud. La latitud es aquella distancia representada en grados, minutos y segundos respecto al paralelo principal. (Norte y sur). La longitud es la distancia en grados, minutos, y segundos respecto al meridiano principal. (Este y Oeste). (Función pública, 2021) Existe un sistema de coordenadas geográficas mundial que permite localizar cualquier punto de la Tierra, llamado WGS84 cuyas siglas en inglés corresponden a World Geodetic System 84 (que significa Sistema Geodésico Mundial 1984). El WGS84 es un Sistema de Referencia de Coordenadas de uso habitual en la comunidad de los SIG y se caracteriza por utilizar una proyección cilíndrica equidistante sencilla. (Coordenadas GPS, 2022)

En cumplimiento del primer requerimiento planteado se hace una consulta vía internet mediante un Creador de Enlaces para Mapas Personalizados, de tal forma que se referencian los puntos de interés y el mismo aplicativo brinda direcciones desde cualquier punto GPS.

#### **Base de datos de antecedentes de la UMA**

Para cumplir con el segundo requerimiento estimado para desarrollar el SIG planteado, se realizó una búsqueda de información y registros históricos con el fin de obtener un expediente que registre los ataques y puntos de vulnerabilidad de la base aérea Marco Fidel Suárez. Se desarrolla mediante un primer acercamiento presencial a la sección de seguridad de la unidad llamado el Grupo de Seguridad y Defensa de Bases Ni 15, lugar donde trabaja personal uniformado y personal civil con alta experiencia y conocimiento en estos aspectos. Mediante esta visita, se logra obtener la información necesaria para estructurar la base de datos planteada. Este cumplimiento fortalece las cualidades del SIG que se propone y permite brindar una información más real, verídica y eficiente.

Base de datos: Para la creación de la base de datos se hace uso de la herramienta complemento del software Arc Gis 10.6 conocida como Arcmap, este complemento permite crear una conexión con el software ArcGIS, creando por medio de tablas el ingreso de los datos ya obtenidos. La especificación de la base de datos es de modelo relacional ya que nos permite representar con facilidad los aspectos de seguridad que afectan la base aérea “Marco Fidel Suarez”.

#### **Diseño y configuración del software.**

Como primera etapa se utilizó la herramienta SASPlanet la cual ayuda a georreferenciar automáticamente la imagen, en cumplimiento del cuarto requerimiento (IV); para luego ser utilizada en ArcGIS, y se evidencia en la Figura 1.

#### **Cardinalidad:**

Para el diseño de la cardinalidad se tienen en consideración los siguientes aspectos: -Un incidente solo puede tener una coordenada -Un frente guerrillero puede aparecer muchas

veces en la recopilación de la información -Una misma modalidad se presenta en muchos incidentes, siendo esta reiterativa al pasar del tiempo -Un incidente solo puede tener una información específica, cada uno diferente a los demás.



**Figura 1. Georreferenciación de la imagen en SASPLANET**

### **Pruebas e interpretación de resultados**

Finalmente, gracias a los procedimientos realizados y siguiendo la modelo cascada que permite el cumplimiento exitoso de cada etapa, en este punto se ha logrado un óptimo resultado que concluye en el desarrollo del Sistema de Información Geográfico planteado en este proyecto.



**Figura 2. Incidentes de seguridad**

Los resultados se interpretan de la siguiente manera: Gama de colores siendo el color rojo representativo de las zonas con más alto riesgo de inseguridad, el color verde que representa las zonas en las que han ocurrido menor cantidad de incidentes demostrando que estos sectores presentan un menor índice de vulnerabilidad, el color blanco son las zonas más alejadas que no registran algún tipo de incidente y por lo tanto no se considera zona crítica, los iconos facilitan el reconocimiento el conocimiento del tipo de incidente que ocurrió en las zonas resaltadas, así mismo permite identificar la fecha histórica de los hechos. Todo este desarrollo se representa en la Figura 2, que es el resultado de la interfaz totalmente creada.

### Pruebas de Percepción y Apreciaciones

Como última etapa para el desarrollo de un software se debe ejecutar una actividad relacionada con el control de calidad, percepción y apreciaciones por parte de Pares Académicos y el usuario final. Se realizó este control mediante una encuesta de diez preguntas con selección entre el intervalo de uno a cinco, siendo esta última la máxima calificación de calidad; las preguntas utilizadas se listan a continuación:

La encuesta fue aplicada a 6 personas mediante una interacción inicial con el software, la cual les permitió contextualizar e interpretar la interfaz propuesta; 5 de ellas son los Pares Académicos, es decir, aquellas personas que también se involucran y se desempeñan en el área de la ingeniería informática y la persona N° 6 es el usuario final que corresponde a una señorita Oficial de la especialidad de Seguridad y Defensa de Bases que labora en la UMA en estudio (EMAVI).

Finalmente, se obtiene un resumen técnico de la encuesta realizada obteniendo como resultado un promedio de 4/5 en aspectos de calidad, comodidad, rápido entendimiento y facilidad de uso del software diseñado; mediante la Figura 3 se expone el resultado gráfico del resumen técnico.



Figura 3. Resultados encuesta de percepción del software



### **Impacto Institucional**

Este trabajo resulta de un extenuante proceso investigativo que fortalece una de las Funciones Sustantivas de toda Institución de Educación Superior de Colombia, obteniendo en primer lugar un exitoso resultado en la formación de los futuros profesionales que sirven a la nación desde el sector defensa. Así mismo se fortalecen los procesos que nutren estas fases en el área de la investigación, la programación y el uso adecuado de los Sistemas de Información Geográfica, que, sin duda, son unas excelentes herramientas para robustecer las capacidades de la Institución.

Por otro lado, el uso de estas herramientas informáticas facilita en gran manera la optimización de recursos y tiempo, por lo que le permite a la Fuerza Aérea Colombiana ahorrar, distribuir, enfocar el capital económico y humano disponible para fortalecer otras áreas que requieren atención.

Finalmente, este desarrollo permite mayor efectividad en las operaciones de seguridad terrestre ya que mitiga los riesgos implícitos en cada actividad. El personal de estos anillos de seguridad tendrá la capacidad de identificar rápidamente cualquier tipo de suceso y así mismo por medio del proyecto, se destinará la información para la toma de decisiones

Los autores disponen de esta sección para incluir la información necesaria de su proyecto que puede incluir análisis, experimentos, resultados y discusión. Se sugiere ser muy explícito en la información y colocar la adecuada. Además, se puede hacer uso de subsecciones para mejorar la redacción y estructura.

### **Discusión**

Una vez concluida la realización del Proyecto, se considera pertinente darle trazabilidad a este estudio de tal manera que fortalezca las habilidades investigativas y las que se relacionan con la ingeniería informática. Por lo anterior se recomienda investigar sobre las siguientes temáticas:

Desarrollar estudios acerca de la seguridad en los barrios aledaños, consultando con, estaciones de policía de las comunas que se encuentran en la zona, para tener información sobre presunta presencia de actores criminales, contando con el apoyo del observatorio de seguridad de la ciudad que brinda datos precisos y trabaja directamente con la alcaldía de Santiago de Cali.

Este proyecto está disponible para su seguimiento, uso y mejoras continuas que permitan establecer un mejor desempeño en la interfaz preliminar que ha resultado de este estudio; como, por ejemplo, ampliar esta capacidad a una aplicación en los teléfonos móviles.

Extender el proyecto de grado a las bases de la Fuerza Aérea Colombiana que sea aplicable a zonas urbanas como rurales, además se sugiere una fusión de la información de cada una

de las bases para un análisis completo y global al servicio de la seguridad terrestre de las UMA se considera se debe estudiarla posibilidad de adquirir las licencias y permisos pertinentes para el uso académico de estos sistemas, que no sean de uso público por cuestiones de seguridad, pero que sí sean un recurso educativo controlado para la educación y formación integral de los Ingenieros Informáticos que serán los futuros oficiales de la Fuerza Aérea Colombiana al servicio de la patria.

#### **4. Conclusiones**

Teniendo en cuenta el análisis de problemáticas y contextualización del desarrollo proyecto, se concluye que el sistema desarrollado cumple con cada uno de los objetivos planteados al inicio de la investigación. Siendo este SIG una herramienta de gran apoyo, para la identificación de las zonas más críticas en aspectos de la seguridad terrestre que afecta a la Base aérea Marco Fidel Suarez.

En primer lugar, se entiende que los Sistemas de Información Geográfico constituyen un soporte para el manejo de datos geoespaciales, y su utilidad es aplicada a la seguridad de un predio o espacio delimitado terrenal. A partir del desarrollo de este SIG se evidencia que estos sistemas facilitan la dinámica y la interpretación de los datos obtenidos con respecto a información de las zonas aledañas a la base Aérea Marco Fidel Suarez, debido a la forma en relacionar y reflejar las observaciones respecto a la seguridad, sus antecedentes, sus circunstancias, sus contextos y sus debilidades.

A partir del análisis precedente, respecto a la facilidad del uso del software Arcgis (v10.5), se obtuvo el desarrollo del SIG con las especificaciones necesarias, para poder ser creado, ejecutado y posteriormente modificado según las necesidades con respecto al ingreso de futuros datos.

De acuerdo a los objetivos planteados se concluye que el proyecto permite a los usuarios crear consultas de manera dinámica, interactiva y eficiente, que resulta de la optimización de una herramienta que facilita la integración, análisis y representación eficiente a través de mapas geográficos para visualizar la información de seguridad pertinente. Finalmente, se evidencia que la integración de la base de datos con el proyecto mediante los mapas de un territorio genera un gran aporte y acción efectiva a la hora de la comprensión e interpretación de la información, siendo esto, el resultado esperado de este proyecto investigativo.

## Referencias

Achicanoy.(2018). Análisis y proyección de las coberturas vegetales mediante el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica en la localidad de Suba, Bogotá-Colombia. Revista Unal.

Acosta. (2010). Revista Electrónica de Historia, 0,7.

Alvarez, A. (2012). Técnicas de Investigación. Santiago de Cali: Escuela Militar de Aviación "Marco Fidel Suárez".

AristaSur. (23 de diciembre de 2010). AristaSur. Obtenido de <https://www.aristasur.com/contenido/sistema-decoordenadas-geograficas-longitud-y-latitud>

Bastis Consultores. (02 de Marzo de 2020). Online Tesis. Obtenido de <https://online-tesis.com/tecnicasde-recoleccion-de-datos-para-realizar-un-trabajo-deinvestigacion/>

Blog Entrevistas. (Octubre de 2021). Questionpro Software . Obtenido de <https://www.questionpro.com/blog/es/recoleccion-dedatos-para-investigacion/>

Carrero. (2018). Dialnet. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=146572>

CNPI. (2021). Critical National Infrastructure. Obtenido de <https://www.cpni.gov.uk/criticalnationalinfrastructure0#:~:text=In%20the%20UK%2C%20there%20are,%20Space%20Transport%20and%20Water.>

Concepto D. (2021). Obtenido de <https://concepto.de/>

Coordenadas GPS. (10 de Febrero de 2022). Coordenadas-GPS.org. Obtenido de <https://www.coordenadas-gps.com/mapapersonalizado>

Cubides, M. (2022). Sisnjkbkjb. Emavi, 9.

Definición D. (2021). Obtenido de <https://definicion.de/?s=configuracion>

EL TIEMPO. (1996). Obtenido de <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-293676>

Escariz. (22 de agosto de 2017). SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICOS. Obtenido de <https://www.calixtoescariz.com/blog/ventajassistemas-informacion-geografica/>

Esri. (17 de enero de 2021). Esri Colombia -ArcGIS. Obtenido de [https://esri.co/?gclid=Cj0KCQjwoaCBhCARIsAAkNQiv7DGw5GX09ETHW3WFwHxkXJhMi\\_0PtQLvxCWxBu0DafIQXFhUE4saAt3sEALw\\_wcB](https://esri.co/?gclid=Cj0KCQjwoaCBhCARIsAAkNQiv7DGw5GX09ETHW3WFwHxkXJhMi_0PtQLvxCWxBu0DafIQXFhUE4saAt3sEALw_wcB)

Función pública. (2021). SUIT . Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/> ,

ICDE. (13 de julio de 2020). Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales, ICDE, Gobierno Nacional de Colombia. Obtenido de Marco Normativo: <https://www.icde.gov.co/sobrenosotros/marco-normativo>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC. (12 de octubre de 2018). Página web del Instituto Geográfico Agustín Codazzi del Gobierno Nacional de Colombia. Obtenido de <https://www.igac.gov.co/es/ide/estrategia-y-gobiernogeoespacial/estandares>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2021). Sistema de información Geográfico para la planeación. Obtenido de <https://sigot.igac.gov.co/es/Ionos>. (24 de Julio de 2020). Digital guide Ionos. Obtenido de <https://www.ionos.es/digitalguide/paginasweb/desarrollo-web/diagrama-de-casos-de-uso/>

Joos, G. (2011). SIG en Defensa Springer Handbook of Geographic Information. Obtenido de [https://doi.org/10.1007/978-3-540-72680-7\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-540-72680-7_25)

LA VICTORIA ES DE TODOS. (02 de agosto de 2019). Obtenido de <https://www.cgfm.mil.co/es/tags/comando-aereo-decombate-no-7#:~:text=El%20Comando%20A%C3%A9reo%20de%20Combate,%3A%20Valle%20del%20Cauca...>

LA VICTORIA ES DE TODOS. (02 de agosto de 2019). Obtenido de <https://www.cgfm.mil.co/es/escuela-militar-deaviacion-marco-fidel-suarez>

Majumdar. (2021). Una aplicación GIS especial - reconstrucción histórica militar. Periodica Polytechnica Civil Engineering,, págs. 25-31. Obtenido de <https://doi.org/10.3311/pp.ci.2007-1.04>

Ministerio de Educación Nacional. (2020). Obtenido de <https://www.mineduacion.gov.co/1621/article190610.html>

Ministerio de educación Nacional. (06 de Abril de 2022). Obtenido de <https://www.mineduacion.gov.co/1621/article190610.html>

Nabil Bachagha, X. W. (2020). Remote sensing and GIS techniques for reconstructing the military fort system on the Roman boundary (Tunisian section) and identifying archaeological sites.

National Defense Strategy Commission. (2018). Providing for the defense Commission.

Netec. (2021). Netec, enseñando expertos. Obtenido de <https://www.netec.com/queesprogramacion#:~:texto=La%20programaci%C3%B3n%20in%20form%C3%A1tica%20es%20el%20que%20tiene%20que%20hacer>.

Nieto. (2016). IG educativo. Programa de Doctorado de Didáctica de las Ciencias Sociales y del Patrimonio de Barcelona. Obtenido de [http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/106743/6/GNB\\_TESIS.pdf.txt](http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/106743/6/GNB_TESIS.pdf.txt)

Organización de los Estados Americanos. (2003). Obtenido de <http://www.oas.org/es/>

Oxford University. (2022). Oxford Learners Dictionary. Obtenido de <https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/us/> Paul A, M. F. (2005). GIS. En M. F.

Paul A, Geografic Information Systems and Science. Profesional Review. (2022).

Profesional Review . Obtenido de <https://www.profesionalreview.com/hardware/>

Qgis Sources. (2017). Obtenido de <https://www.qgis.org/es/site/>

Revista Semana. (05 de Julio de 2020). Los secretos del atentado con carro bomba a la Escuela General Santander. Semana, pág. 2. Obtenido de <https://www.semana.com/nacion/articulo/asi-seplaneo-el-atento-a-la-escuela-general-santander-porparte-del-eln/684164/>

Rodriguez. (2017). Universidad Dstrital Francisco Jose de Caldas. Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/6430>

Rodríguez, S. &. (25 de mayo de 2018). Modelo lineal o de cascada. Obtenido de [http://www.utpuebla.edu.mx/divisiones/tic/TIC/2\\_materias/2/image/2do\\_sist/Introducción%20al%20análisis%20y%20diseño%20de%20sistemas/Portafolio%20de%20evidencias/Producto%204.pdf](http://www.utpuebla.edu.mx/divisiones/tic/TIC/2_materias/2/image/2do_sist/Introducción%20al%20análisis%20y%20diseño%20de%20sistemas/Portafolio%20de%20evidencias/Producto%204.pdf)

Sección Investigación. (2020). Manual de Investigación Para la Elaboración de Trabajos de Grado. Santiago de Cali: Escuela Militar de Aviación.

Significados. (2019). Obtenido de <https://www.significados.com/?s=mapa>

Steven D. Warren, C. F. (1992). SPOT imagery and GIS in support of military land management, Geocarto International. 35-43.

UNAM. (2007). Admisiones Programas. Obtenido de [https://programas.cuaed.unam.mx/repositorio/moodle/pluginfile.php/909/mod\\_resource/content/1/contenido/index.html](https://programas.cuaed.unam.mx/repositorio/moodle/pluginfile.php/909/mod_resource/content/1/contenido/index.html)

Vásquez. (2013). Análisis geográfico del delito. Revista derecho penal y criminología, 419,448.

Vasquez, R. (2018). Use of free geographical information systems for the protection of the environment. Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2218-36202018000200158](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202018000200158)

Voigtmann Informations Technologien. (2022). Voigtmann Informations Technologien. Obtenido de <https://www.voigtmann.de/es/desarrollodesoftware/disenodesoftware/#:~:text=Dise%C3%B1o%20de%20software%20es%20el,el%20riesgo%20de%20desarrollos%20err%C3%B3neas>.

Warren, B. (2007). SPOT Imagery and GIS in Support of. US ARMY CELLER, 41-44.  
Warren, B. (s.f.). SPOT Imagery and GIS in Support of. US ARMY CERL, 40-44.  
Xuri, Y. (2010). GIS-based simulation system for wartime military highway transportation. 5th International Conference on Computer Science & Education,, (págs. 1810-1812).



Fundación de Educación Superior San José FESSANJOSE  
Institución de Educación Superior | Vigilada MINEDUCACION  
Reconocimiento personería jurídica: Resolución No. 412 del 6 de febrero de 2007

# Memorias 3er SEMINARIO INTERNACIONAL EN MANTENIMIENTO E INVESTIGACIÓN AERONÁUTICA.

Compilación de memorias, edición y corrección de estilo  
**Msc. Ing. Jonathan Steven Vargas Cañon**

Diseño Grafico  
**Julián Andrés Casallas Torres**

Producción  
**Editorial Fundación de Educación Superior San José**  
**Dirección de investigaciones e innovación**

**RECURSO WEB:**

<https://sitio.usanjose.edu.co/usanjose-editorial/>