ESCUELA TÉCNICA DE LA FUERZA AÉREA "ETFA"

TECNOLOGÍA SUPERIOR UNIVERSITARIA EN CIENCIAS MILITARES AERONÁUTICAS

Evaluación técnica del desempeño estructural y operacional de un prototipo de dron de bajo costo para entrenamiento y reconocimiento básico en la Escuela Técnica de la Fuerza

Autores: Humanante Guaman, Jhoel David

Paca Paredes, Matias Jesus

Director: Capt. Téc. Avc. Valdez Taco, Daniel Amador



Latacunga, 04 de septiembre del 2026

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Los drones FPV de bajo costo representan una alternativa accesible para fortalecer la formación práctica de los alumnos de la Escuela Técnica de la Fuerza Aérea en áreas como estructura, electrónica, sistemas de control, comunicaciones y operación de vuelo. Sin embargo, antes de utilizarlos en ejercicios de entrenamiento y reconocimiento básico, es necesario comprobar que su funcionamiento sea estable, seguro y predecible.

Por esta razón, la investigación evalúa el desempeño estructural y operacional de un prototipo ensamblado con componentes comerciales COTS, mediante pruebas técnicas en tierra y vuelos controlados. Se analizan su estabilidad, respuesta de control, autonomía inicial, confiabilidad de las conexiones y utilidad como recurso complementario para la instrucción militar.

CAPÍTULO I

Justificación

El estudio se justifica por la necesidad de proporcionar a la ETFA evidencia técnica sobre las capacidades y limitaciones del prototipo FPV de bajo costo antes de incorporarlo a ejercicios de entrenamiento y reconocimiento básico. El bajo costo de sus componentes no garantiza por sí solo estabilidad, seguridad ni confiabilidad operacional.

Las pruebas en tierra y los vuelos controlados permiten verificar la estructura, tornillería, conexiones eléctricas, motores, enlace de comunicación, respuesta de control y autonomía. Los resultados servirán para identificar fallas, establecer condiciones seguras de empleo y utilizar el prototipo como recurso complementario para la formación técnica de los alumnos.



Objetivos

CAPÍTULO I

Objetivo General

Evaluar el desempeño estructural y operacional del prototipo mediante pruebas técnicas controladas, con la finalidad de comprobar su estabilidad, respuesta de control, autonomía inicial y utilidad en ejercicios de entrenamiento y reconocimiento básico en la ETFA.

Objetivos Específicos

1. Realizar pruebas en tierra para verificar el estado estructural, la fijación de los componentes, las conexiones eléctricas, la respuesta de los motores y la comunicación con el sistema de control.

2. Ejecutar pruebas controladas de operación básica, registrando observaciones sobre estabilidad, maniobrabilidad, autonomía y aplicabilidad del prototipo como recurso de instrucción.

CAPÍTULO II

Marco Teórico

Dron FPV de bajo costo

Un dron FPV es una aeronave multirrotor no tripulada, controlada a distancia mediante la transmisión de video en tiempo real. Su funcionamiento depende de la integración de la estructura, sistema de propulsión, controladora de vuelo, batería y enlaces de comunicación. En esta investigación se evalúa un prototipo ensamblado con componentes comerciales COTS.

Estructura de fibra de carbono

La fibra de carbono fue seleccionada por su elevada resistencia, rigidez y bajo peso. Sin embargo, su desempeño depende de la calidad de fabricación, orientación de las fibras, espesor y fijación de las uniones. Por ello, deben revisarse posibles fisuras, delaminaciones, desgaste, vibraciones y aflojamiento de la tornillería.

CAPÍTULO II

Marco Teórico

Sistema de propulsión y energía

El sistema de propulsión está compuesto por cuatro motores brushless Racerstar RS2205 de 2300 KV, un ESC SpeedyBee BLS 35A Mini V2 y una batería LiPo Tattu FunFly 4S de 1550 mAh. La interacción de estos componentes determina el empuje, la respuesta de los motores, el consumo energético y la autonomía del prototipo.

Sistema de control y comunicación FPV

El control de vuelo se realiza mediante una tarjeta SpeedyBee F405 Mini con firmware Betaflight. Los comandos se transmiten mediante ExpressLRS en 2,4 GHz, mientras que el video utiliza una cámara Caddx Turbo EOS2 y un transmisor AKK X2-Ultimate en 5,8 GHz. La estabilidad y seguridad dependen de la confiabilidad y continuidad de estos enlaces.

CAPÍTULO II

Marco Teórico

Estabilidad y respuesta de control

La estabilidad es la capacidad del dron para mantener un comportamiento controlado y responder de manera predecible a las órdenes de ascenso, descenso, avance, giro y aterrizaje. Depende de la distribución del peso, la rigidez del chasis, la calibración de la controladora, la respuesta uniforme de los motores y el nivel de experiencia del operador.

Autonomía y reconocimiento básico

La autonomía corresponde al tiempo efectivo durante el cual el dron puede mantenerse en operación. Este parámetro permite establecer la duración de los ejercicios, el momento seguro de retorno y el margen de energía para el aterrizaje. En actividades de reconocimiento básico, también condiciona el recorrido y el tiempo disponible para observar un área mediante el sistema FPV.

CAPÍTULO III



- Cuantitativo.
- Experimental-evaluativo.
- Basado en mediciones y registros obtenidos durante pruebas técnicas y vuelos controlados.

- Descriptiva, de campo y aplicada.
- Inspección estructural antes y después de los vuelos.
- Diseño experimental controlado de medidas repetidas.

- Un prototipo FPV de bajo costo.
- Una prueba piloto realizada en el CIDFAE, Ambato.
- Cinco pruebas controladas efectuadas en la ETFA, Latacunga.

- Observación directa, sistemática y estructurada.
- Lista de chequeo técnico en tierra.
- Bitácoras y tarjetas de prueba de vuelo o *Flight Test Cards*.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN TIERRA

- La masa del prototipo listo para volar fue de aproximadamente **1,15 kg**, registrada durante la primera prueba y utilizada como referencia en las sesiones posteriores.
- El chasis de fibra de carbono no presentó grietas, deformaciones ni delaminaciones visibles. Los motores, hélices, controladora, ESC, cámara y sistema de comunicación funcionaron inicialmente de manera satisfactoria.
- Se identificó el aflojamiento progresivo de la tornillería por efecto de las vibraciones y, durante el tercer vuelo, la desconexión de los cables de un motor por fatiga en el punto de soldadura.
- Se identificó el aflojamiento progresivo de la tornillería por efecto de las vibraciones y, durante el tercer vuelo, la desconexión de los cables de un motor por fatiga en el punto de soldadura.
- Se identificó el aflojamiento progresivo de la tornillería por efecto de las vibraciones y, durante el tercer vuelo, la desconexión de los cables de un motor por fatiga en el punto de soldadura.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN TIERRA

Prueba	Duración operacional	Distancia	Resultado principal	Novedad
Vuelo 1	25 min	75 m	Despegue y avance satisfactorios	Caídas y recuperación
Vuelo 2	25 min	68 m	Respuesta adecuada al avance	Revisión de hélices
Vuelo 3	25 min	70 m	Funcionamiento inicial satisfactorio	Desconexión de un motor
Vuelo 4	25 min	72 m	Continuidad de las prácticas	Tornillería floja
Vuelo 5	25 min	75 m	Respuesta satisfactoria	Caídas sin daño estructural visible

Resultados principales

- El prototipo respondió correctamente durante el despegue y el avance.
- La distancia máxima alcanzada fue de aproximadamente **75 metros**.
- El modo Acro y la experiencia limitada del piloto dificultaron los giros, correcciones y retornos.
- Los **25 minutos** corresponden a la duración total de cada sesión, incluyendo caídas, recuperación y reposicionamiento; por tanto, no representan la autonomía continua en el aire.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES

El objetivo general fue alcanzado parcialmente, ya que se obtuvo evidencia inicial del desempeño del prototipo y se comprobó su capacidad para despegar, avanzar y transmitir video; sin embargo, todavía no puede considerarse apto para misiones operacionales.

El chasis de fibra de carbono resistió las caídas sin fracturas visibles, pero el aflojamiento de la tornillería y la desconexión de los cables de un motor demostraron la necesidad de mejorar las fijaciones, soldaduras e inspecciones técnicas.

El prototipo alcanzó distancias de hasta 75 metros y respondió adecuadamente en maniobras básicas. No obstante, el modo Acro, la experiencia limitada del piloto y la falta de una medición precisa de la autonomía restringen su uso a prácticas de entrenamiento en espacios controlados y bajo supervisión.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES

Reforzar las conexiones eléctricas y soldaduras, asegurar correctamente la tornillería e implementar inspecciones técnicas obligatorias antes y después de cada vuelo.

Incrementar el entrenamiento del operador mediante simuladores y prácticas progresivas en modo Acro, comenzando con maniobras básicas, baja altura y distancias controladas.

Realizar nuevos ensayos con mayor precisión, registrando por separado el tiempo efectivo en el aire, la duración de la sesión, el alcance del enlace y la calidad del video, para determinar la autonomía real y ampliar gradualmente las condiciones de uso del prototipo.

GRACIAS POR SU ATENCIÓN

